

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Представленная читателю рукопись по технологии плавки «Ausmelt» является продолжением серии «Металлургия в лицах», задуманной профессором, д.т.н. Набойченко Станиславом Степановичем, направленной на популяризацию металлургии тяжёлых цветных металлов среди работников отрасли, студентов, молодых специалистов и людей, интересующихся историей цветной металлургии, разработками и совершенствованием новых процессов и аппаратов.

В первом томе рукописи был сделан анализ истории создания и развития автогенных процессов в металлургии меди и никеля, а также оборудования для их реализации.

Во втором томе изложена практика выбора перспективной технологии для условий наиболее старого в России предприятия – ЗАО «Карабашмедь», проектирования, строительства и пуска в эксплуатацию печи «Ausmelt», а также путей модернизации и развития основного, вспомогательного и сопутствующего оборудования для этого процесса. При этом автор привёл наиболее полную версию строительства и развития Карабашского медеплавильного завода в начале XX века под руководством английского промышленника Л. Урквартса, в последующем одного из основоположников строительства медных рудников и заводов в компании Mount Isa (Австралия).

При сборе и анализе информации использовались только общеодоступные открытые источники, представляемые в органы надзора, контроля и экологической экспертизы в соответствии с законодательством РФ. Кроме того, были проанализированы доступные воспоминания участников событий по внедрению, освоению и совершенствованию процесса Ausmelt.

Особую благодарность хотелось бы выразить Е. Г. Орлову, П. В. Зубову, Ю. Ф. Побережному, С. В. Залуденко за ценные замечания при обсуждении моделей и принципов работы печи.

Автор надеется, что представленная рукопись будет полезна для техников и инженеров-металлургов в производстве тяжёлых цветных металлов.

Приятного чтения и анализа!

## ГЛАВА 2. ЗАВОД «КАРАБАШМЕДЬ»

Реализация процесса автогенной плавки на печах «Аусмельт» в России была осуществлена в 2006 г. на заводе ЗАО «Карабашмедь» в г. Карабаш Челябинской области. Этот случай является первым примером осуществления данной технологии в странах бывшего СССР и единственным, до настоящего времени, в нашей стране.

Карабашский медеплавильный комбинат (ныне АО «Карабашмедь») является одним из старейших действующих медеплавильных заводов на Урале.

История завода как металлургического предприятия отслеживается с 1822 г., когда на базе колчеданных месторождений Соймоновской (Соймановской) долины Растиргуевыми было получено разрешение на строительство плотины на реке Сак-Элга с восемью плавильными печами при ней. Данная местность активно осваивалась с середины XVIII века компаниями, связанными с добычей россыпного (в основном) и рудного золота в условиях, являющихся прообразом «золотой лихорадки» в Калифорнии и на Аляске в более поздние годы XIX века. Золотодобытчики отнеслись с настороженностью к появлению нового объекта в пойме реки Сак-Элга, что привело к возникновению беспорядков, которые жестоко подавлялись управляющими от Растиргуевых – Г. Зотовым и П. Харитоновым. Только после вмешательства со стороны Правительства царской России в лице графа А. Г. Строганова, осудившего управляющих и отправившего их в ссылку, в 1827 г. строительство возобновилось и через 15 лет после его начала, 28 апреля 1837 г., было завершено пуском завода в эксплуатацию. В том же году было построено ещё четыре шлизофена для переработки черновой меди. Завод получил четырёхлетнее освобождение от уплаты казённых податей, отработал пять лет и выпустил за этот период 1354 пуда меди. Медная руда добывалась в шахтах, построенных около реки Рассыпуха, притока реки Сак-Элга, и у подножия Сунгурских гор. В 1838 г. было получено 0,2 тыс. пудов меди, в 1839 г. – 0,5 тыс. пудов, в 1840 г. – 0,3 тыс. пудов, в 1841 г. – 0,2 тыс. пудов, в 1842 г. – 0,1 тыс. пудов. В 1843 г. выплавлено 54 пуда (табл. 2.1). В 1843 г., после получения разрешения в Уральском горном правлении, его остановили под предлогом «убожества»<sup>1</sup> оставшихся запасов медных

<sup>1</sup> Среди специалистов сложилось устойчивое мнение, что остановка медеплавильного производства была вызвана необходимостью перевода всех работников завода на

руд. На имеющихся производственных мощностях была организована переработка передельного чугуна. Для этого были построены четыре временных кричных горна и два временных молота для производства кричного железа. В 1845 году были введены в строй ещё два кричных молота. Это оборудование считалось запасным: оно предназначалось для передела излишков чугуна, возникавших только в период недостатка гидроэнергии для действия молотовых фабрик Верхне-Кыштымского завода. Не имея постоянных поставок чугуна, завод периодически останавливался, в частности – не работал в 1855–1858 и в 1863–1865 гг. Став передельным, завод действовал до 1866 г. В молотовой фабрике при четырёх контузских горнах находилась шестицилиндровая деревянная воздуходувная машина. На заводе также имелась кузница с тремя горнами. Энергетическое хозяйство составляли 10 наливных колёс общей мощностью 150 лошадиных сил. Численность рабочих в этот период колебалась от 75 до 88 человек. В 1866 году из-за нерентабельности производства завод был закрыт [38].

В связи с массовым внедрением в европейских странах технологии плавки с использованием угля и кокса в доменных процессах, что существенно снижало себестоимость производства и позволяло увеличивать удельную мощность металлургических агрегатов, в

---

более эффективное и прибыльное производство по добыче и переработке золотых россыпей на этой территории. Думается, причина остановки была не в этом. После прекращения переработки медных руд на заводе провели модернизацию и начали перерабатывать передельный чугун, не сокращая персонал предприятия, то есть никакого значимого высвобождения людей не было. В то же время в период работы завода на приисках и золотых рудниках были существенно ухудшены условия труда и отдыха. В памяти нового управляющего и всех жителей долины ещё были свежи воспоминания о народных выступлениях, приведших к осуждению и ссылке предыдущих управителей. Это позволяет предположить наличие связи предшествующих событий с прекращением деятельности медеплавильного производства. И это вполне возможно, так как обжиг сульфидных руд осуществлялся в кучах или напрямую в печах, что приводило к выбросам в атмосферу тысяч пудов серы. Завод находился в долине, обрамлённой со всех сторон горами: пары диоксида серы, сероводорода, газовой серы, диоксида иmonoоксида углерода – всё это «накрывало» работников приисков и жителей поселений при рудниках, создавая тяжёлые условия для проживания, убивая всю растительность на прилегающей территории и ограничивая деятельность приисков. Автор предполагает, что именно это стало главной причиной останова медного производства. Полное прекращение деятельности предприятия 1866 г. было вызвано остройшим дефицитом трудовых ресурсов, возникшим после отмены крепостного права в 1861 г., и более рентабельными условиями по добыче золота.

1900–1903 гг. в России сформировались кризисные явления из-за снижения мировых цен на металлы.

Табл. 2.1. Производительность Сак-Элгинского завода в 1837–1866 гг., пуды

Год	Cu	Год	Cu, Fe	Год	Fe	Год	Fe	Год	Fe
1838	200	1842	100	1845	22500	1850	17100	1859	12000
1839	500	1843	54 Cu	1846	13400	1852	5900	1860	3800
1840	300	1843	20500 Fe	1847	7100	1853	13800	1862	20700
1841	200	1844	23700	1849	23500	1854	5300	1866	20000

Все уральские заводы использовали в качестве топлива древесный уголь, что делало их продукцию неконкурентоспособной как по отношению к европейским заводам, так и к заводам юга России, начавшим применять кокс. Большинство уральских заводов стали убыточными и работали на износ, испытывая трудности с оборотными средствами на производство, поддержание и реконструкцию мощностей. Одной из таких компаний было «Общество Кыштымских горных заводов» наследников Л. И. Растворгева. В состав компании входили: «...находящиеся в Пермской губ. Екатеринбургского уезда горные заводы: Верхне- и Нижне-Кыштымские, Каслинский и Верхнетеченская фабрика, Красноуфимского уезда той же губернии заводы Нязепетровский и Шемахинский и в Уфимской губ. Златоустовского уезда лесной участок, именуемый Киолимским, со всеми выгонными, сенокосными и пашенными землями и лесами в количестве около 530 000 десятин, с золотыми промыслами, рудниками, фабричными, жилыми и прочими строениями и всею заводскою движимостью, материалами и работами на ходу, равно всею кассовою наличностью, ценностями бумагами, контрактами, обязательствами и всем делопроизводством».

К началу XX века Общество, руководимое новым управителем П. М. Карпинским, существенно улучшило состояние своих заводов, провело модернизацию кузнечного и прокатного оборудования, построило электростанцию, запустило печи для получения древесного угля, увеличившие его выход с 50 до 80 %, модернизировало рудники по добыче железной руды, активно развивало золотодобычу из россыпей и коренного золота с использованием процессов цианирования и амальгамации. Результатом явилось незначительное снижение себестоимости производства и высвобождение из-под залога около поло-

вины выпускаемой продукции. Главным недостатком производственного комплекса оставались высокие трудозатраты на получение древесного угля. По данным Д. И. Менделеева, в Обществе в 1900 г. на основном производстве работало почти 4000 рабочих, а на обеспечении металлургии древесным углём – более 6500 человек, занятых заготовкой и подвозкой дров.

Руководители компаний и акционеры видели надвигающийся кризис на предприятии и в российской металлургии, в связи с чем разработали программу по существенному изменению профиля общества с акцентированием его на меди и золоте, имеющих стабильную динамику роста спроса и увеличения цены.

Техническое переустройство заводов, начатое в 1900 г., планировалось завершить к 1903 г. Оно требовало капиталовложений, поэтому в 1900 г. всё имущество Кыштымского горного округа было заключено в Ярославско-Костромском земельном банке для получения ссуды в 3,473 млн руб. Намеченный план по модернизации предприятий не был выполнен из-за начавшегося на Урале промышленного кризиса. Общество пыталось поправить финансовые дела новыми займами, например, под залог металлов от Екатеринбургского отделения Государственного банка России оно получило кредит в размере до 1,5 млн руб., но снижение цен на металлы и появление на рынке проката и литья с более низкими затратами на производство привели к невозможности не только осуществления реконструкции заводов, но и обеспечения текущей деятельности. Усугубила положение дел с реализацией продукции Русско-японская война 1904–1905 гг. Получение вагонов для вывоза продукции, которая оседала на складах предприятий, стало весьма серьёзной проблемой. Начались задержки по выплате заработной платы рабочим. Суммарная кредиторская задолженность на 01.01.1906 г. составила 8,385 млн руб. при балансе в 15,963 млн руб. Над Обществом нависла угроза банкротства.

Безвыходность положения заставила владельцев искать сильного и энергичного инвестора и их внимание было обращено на англичанина Л. Урквтарта, ранее организовавшего на Каспии эффективную работу нефтедобычных промыслов. Энергичный, стремящийся к высокому положению в бизнесе человек, 6 декабря 1906 г. он подписывает регистрационные документы «Англо-Сибирской компании», делает запрос в Москву и в Санкт-Петербург о перспективах предполагаемых финансовых вложений. Из нескольких рекомендованных направлений были выбраны горно-металлургические предприятия

по добыче меди на Урале<sup>2</sup>.

2



### Джон Лесли Уркварт (1874–1933)

Родился 11.04 в Айдыне (Оttоманская империя) в семье выходцев из Шотландии. В 1887 семья переехала в Шотландию. В середине 1890-х он устроился инженером-стажёром в фирму «Харвей и Компания» и начал посещать Шотландский технический колледж, где изучал механику и электротехнику. С 1896 Уркварт работал химиком на заводах в Броксфорде и в Ланарке, позднее стал генеральным директором лакричного завода ОТС в г. Уджа. В 1902 был приглашён в компанию «Шибаен», где стал управляющим. Одновременно был назначен британским вице-консулом и объединил весь британский нефтяной капитал в регионе. Уркварт владел английским, французским, турецким, греческим, русским, немецким, азербайджанским языками, прекрасно знал местный быт и обычай народов. После ранения в результате покушения на него в 1906 аннулировал все свои контракты с нефтяниками. Вернувшись в Лондон, он организовал «Англо-Сибирскую компанию» с целью инвестирования в Россию. В 1906–1907 Уркварт скупил акции Кыштымских заводов и стал управлять горным обществом. Им была создана корпорация «Общество Кыштымских заводов». В 1910 был построен и запущен Карабашский медеплавильный завод, ставший самым современным и мощным предприятием России. К 1915 завод стал первым среди ведущих в мире по уровню технической оснащенности, прогрессивным технологиям и оборудованию. В 1912 Уркварт возродил медное производство на Южном Урале, где им был построен медеплавильный завод по переработке медных колчеданов, золотосодержащих песков и железных шламов.

В 1913 Уркварт принял участие в обследовании рудников Алтая. Все шахты были затоплены, оборудование демонтировано и вывезено. По мнению представителей Кабинета ЕИВ, восстановление и разработка были нецелесообразны. Несмотря на отказ царского Правительства в восстановлении Риддера, Уркварт принял решение о начале работ по реанимации производства. Был возрождён для ежедневной добычи 6000 пудов свинцово-цинковых руд Риддерский рудник. 2 ноября 1915 заработала обогатительная фабрика с мощностью переработки 4500 пудов руды в сутки на цинковые и свинцовые концентраты. К концу года на ней было получено концентрата: свинцового – 5510 пудов, цинкового – 16 023 пуда. Было начато строительство второй обогатительной фабрики, был построен сернокислотный завод. Одновременно в Экибастузе, при угольных копях, были возведены свинцово-цинковый завод с ежегодной производительностью 40 тыс. т цинка и 25 тыс. т свинца; три угольные шахты, дающие 1 млн т угля в год. Стабильно заработала построенная ширококолейная железная дорога, соединившая Экибастуз с Воскресенской пристанью на Иртыше, протяжённостью 115 вёрст. Флот корпорации состоял из восьми пароходов и 26 барж. За вклад в российскую промышленность в 1916 Л. Уркварт был награждён орденом Святого Станислава «с звездой». После революции 1917 все предприятия Урквтарта, запасы его золота в банках России, все денежные вклады и ценные бумаги были экспроприированы и национализированы, заводы прекратили работу из-за отсутствия оборотных средств. В конце 1920 Уркварт, не прекращая борьбу за право взятия в концессию для запуска и эксплуатации своих предприятий в СССР, принимает активное финансовое, административное и управленческое участие в освоении медного месторождения *Mount Isa Mines в штате Квинсленд в Австралии*, используя при этом весь свой опыт строительства заводов в России. Эта горно-металлургическая компания работает и остается одной из наиболее эффективных в Австралии до настоящего времени. Уркварт скончался 13 марта 1933 года. Его прах хранится в церкви Брастед.

С учётом полученной информации, а также работ Д. Николаева по геологическому изучению сырьевой базы «Общества Кыштымских горных заводов»<sup>3</sup>, указывающих на наличие эксплуатируемых восемью<sup>4</sup> шахтами месторождений медных и колчеданных руд: Подсугурской, Апостольской, Георгиевской, Сугурской, Лазурьевской, Крылатки, Никольской, Конюхова, Тиссовской, – и подчёркивающих, что, помимо меди, только по запасам 46 млн пудов серы<sup>5</sup> Общество стоит на первом месте на Урале, Лесли вернулся в Санкт-Петербург, чтобы встретиться с председателем компании «Кыштым Майнинг Уоркс» – бароном В. В. Меллером-Закомельским. Кроме медных и серных руд в горных отводах этой компании из россыпей и коренных руд Соймоновской долины ежегодно добывалось от 5 до 30 пудов золота.

 Уркварт в этом проекте увидел возможность не только в организации эффективного производства меди на базе действующих компактно расположенных месторождений и имеющихся металлургических мощностей, но и в эффективной переработке золотосодержащей руды через плавку на медный коллектор<sup>6</sup> с попутным извлечением после электролиза и аффинажа золота, серебра, платины, селена и теллура. Для организации электролитического производства нужна была электроэнергия, которая могла быть взята с построенной Обществом электростанции в Нижнем Кыштыме.

<sup>3</sup> Николаев Д. Геологические исследования в Кыштымской даче Кыштымского горного округа // Труды Геологического Комитета. Т. XIX. Вып. 2. 1902. 135 с.

<sup>4</sup> В то время каждый добычный ствол назывался отдельной шахтой, даже если они были установлены на одном месторождении.

<sup>5</sup> В условиях предвоенного времени и развития химической промышленности сера являлась стратегическим сырьём, обеспечивающим производство серной кислоты и взрывчатки. В год в Соймоновской долине добывалось от 0,5 до 1,0 млн пудов высококачественного серного колчедана, содержащего 45–52 % серы. В 1898 г. было добыто 550 842 пуда серного колчедана, реализованного на химические заводы в Елабуге, Красноуфимске и с. Воззвиженском.

<sup>6</sup> Из доступных автору источников не удалось установить имя человека, подсказавшего эту идею Уркварту, позднее распространившему её на все управляемые им медные предприятия, так как последний не имел металлургического образования и до 1907 г. опыта работы в медной отрасли, он наверняка воспользовался консультациями грамотных специалистов в области переработки медных руд. Возможно, это были американские инженеры, осуществляющие технологическое обеспечение и поставку самого современного оборудования для реализации проекта в Соймоновской долине. Автор предполагает, что это были Х. Х. Нокс и Дж. Х. Аллен, рекомендациями которых руководствовался Л. Уркварт при выборе шахтных печей для технологии пиритной плавки.

В результате переговоров было принято решение об участии английского бизнеса в реализации проекта перепрофилирования заводов, приобретении им права собственности на имущество Общества. Для ускорения решения организационных вопросов и для маскировки прямой продажи бизнеса, на которую необходимо было получить разрешение Правительства царской России, было принято решение об учреждении и привлечении компаний, организованных Лесли Урквартом, включая «Англо-Сибирскую компанию», для оперативного руководства предприятиями, проведения геологоразведочных работ, закупки нового оборудования, строительства и реконструкции заводов через привлечённые займы, кредиты и залоги.

Для проведения геологоразведки силами вновь учреждённой акционерной компании «Пермь Корпорэйшн» и для последующей передачи ей управления бизнесом была нанята американская фирма «Нокс и Ален». В целях оперативного управления Урквартом назначили управляющим директором созданной компании «Кыштым Майнинг Уоркс». Для начала работ по добыче и переработке медно-цин-

ковых руд была выделена и использована ссуда в 161 тыс. фунтов стерлингов, а за всё Общество его владельцам была гарантирована Урквартом выплата в размере 300 тыс. фунтов стерлингов через выкуп акций. Притом, что по результатам геологиче-



Копёр Смирновского рудника, 1910 г.

ских исследований «Нокс и Ален» было показано, что эксплуатация медных рудников позволит получать прибыли свыше одного миллиона фунтов стерлингов ежегодно.

Всё лето и осень 1907 г. Уркварт жил в быстром темпе, управляя алмазным бурением, реорганизовывая рудники. Вместо старых лебёдок и насосов на рудное тело шахты Конюхова опустили четыре но-



Шахтёры с ПБУ, 1910 г.

шахте «Смирновская» были смонтированы два паровых компрессора: один – фирмы «Сулливан», производительностью  $15 \text{ м}^3/\text{мин}$ , второй – фирмы «Ингерсолрэнд» –  $12 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Была построена бурозаправочная мастерская, кузница для мелких поковок, ремонтно-механические и ремонтно-перфораторные мастерские. Руду в очистном забое перемещали тачками, частично перепуская по наклонным полкам-решёткам.



Конюховский рудник, 1908 г.

кладку отработанных пространств, что позволяло максимально извлекать медную руду из недр с минимальными потерями и разубоживанием. Высота этажа составляла 30 м. Этаж отрабатывали потолко-

вых стволов. Руду стали откатывать в вагонетках с боковым или лобовым опрокидом, на шахтах стали использовать перфораторное бурение. Шахты имели копры, двухбарабанные подъёмные машины с паровыми двигателями и однобарабанные углубочные лебёдки. На

На поверхности было организовано приготовление закладочной смеси, которую опускали в шахту по закладочным стволам.

Система разработки предполагала сплошное крепление выработок и за-

уступно, слоями (шорами), при длине очистного блока 30 м. При проведении работ по очистной выемке руды Уркварт заимствовал американский метод станковой крепи.

Кроме организации производственных процессов он кардинально усовершенствовал финансовую деятельность предприятия, реорганизовал управленческий аппарат: главным управляющим назначил талантливого русского инженера Филиппа Антоновича Иванова. Лесли Андреевич, как стали называть Урквarta по русскому этикету (отец Эндрю, значит – Андрей), лично проводил разъяснительную работу с мастерами о том, как управлять рабочими. Его манера говорить на русском языке впечатляла сотрудников тогда, когда он обращался к ним по имени и отчеству.

Для проверки технологических особенностей медных колчеданов в 1907 г. был построен Соймоновский завод (другое название – Старомедный завод или более раннее – Сак-Элгинский завод) с тремя небольшими круглыми шахтными водоохлаждаемыми печами для получения штейна в районе Соймоновска (ныне г. Карабаш). Высота



Соймоновский завод, 1907 г.

печи составляла 6 м, внутренний диаметр – 1,4 м, площадь сечения – 1,5 м<sup>2</sup>, высота горна равнялась 1,3 м. В 1908 г. на стадии строительства находилась четвёртая печь, но она так и не была построена. Главной целью технологических испытаний являлась отработка режима плавки руды без использования древесного угля – на донецком коксе.

При заводе были построены сортировочное и шихтарное отделения, откуда шихта в вагончиках по колошниковому мосту поступала на колошниковую площадку. Состав шихты: 2/3 руды и 1/3 флюсов. В качестве флюсов использовались карабашские кварциты. Загрузка шихты в печи производилась вручную, лопатами, кокс загружался отдельно. Каждая печь могла в сутки проплавлять 2,5–3 тыс. пудов руды и выдавать 250–300 пудов штейна. Полученный штейн содержал 15–25 % меди и отправлялся для дальнейшей переработки на Верхне-Кыштымский завод, где были смонтированы восемь небольших конверторов Мане-Давида с целью бессемерования штейна, на Нижне-Кыштымском заводе была переоборудована под огневое рафинирование одна из печей.

На заводе были произведены фактически только опытные плавки: в 1907 г. выплавлено 17,5 тыс. пудов, в 1908 г. – 38,75 тыс. пудов. В 1908 г. завод сгорел и не был восстановлен<sup>7</sup>.

Работа Соймоновского завода позволила специалистам Общества изучить особенности пиритной и полупиритной (американской)

<sup>7</sup> Второй раз, уже при Уркварте, опытный завод, построенный в 1907 г. в упрощённом и удешевлённом варианте, с отсутствием механизации и какого-либо современного оборудования, с применением тяжёлого ручного труда на всех операциях – от загрузки печей до выпуска и розлива штейна – и отработавший около двух лет, внезапно сгорел после пуска в эксплуатацию нового современного Карабашского медеплавильного завода. В соответствии с действовавшим законом от 1.12.1882 (№ 38989): «...Заводчик, поставленный в необходимость закрыть завод, обязывался предварить об этом своём намерении мирового посредника и население за год вперед, обеспечив при этом мастеровых запасом хлеба на один год. Мастеровым посессионных заводов, оставшимся по закрытии завода без работы, представлялся земельный надел в высшем по местности размере на льготных условиях относительно пользования топливом и уплаты повинностей. Те же меры по отношению к оставшимся без работы рабочим применяются в том случае, когда завод лишь сокращает своё производство...» Уркварт не мог ни остановить опытный завод, ни ограничить его работу без соответствующего согласования, получения разрешения и, главное, без обязательного несения расходов по компенсации рабочим, лишающимся работы. Учитывая активность и нестандартность мышления Урквarta, невозможность остановки завода без согласования и убеждения Уральского горного правления, необоснованность и нелогичность заявления об истощении или прекращении запасов колчеданных руд, автор допускает, что Лесли Уркварт просто скрёг производственные постройки Соймоновского завода, полностью выполнившего свою задачу, прекратив тем самым его существование по факту и не неся никаких дополнительных расходов на компенсации работникам и жителям посёлка.

плавок соймоновской руды с использованием донецкого кокса, обучить рабочих и выдать первые 277 тонн анодной меди. Директором и организатором производства на опытном заводе был Эрнст Васильевич Карлайль. Отработкой технологии плавки занимались инженеры А. П. Иванов и М. Ф. Наумов.

Одновременно со строительством и пуском опытного завода для отработки технологии на склоне горы Карабаш началось строительство завода плавки колчедана в ватерджакетных печах и конвертирования в конверторах Пирса-Смита. Всё оборудование поставлялось из Америки.

При выборе металлургического оборудования Уркварт руководствовался только самыми последними мировыми достижениями в области техники по данному направлению: так, конверторы Пирса-Смита, только изобретённые в 1908 г., были изготовлены, смонтированы и впервые в мире пущены в эксплуатацию одновременно с американцами – в сентябре 1910 г.

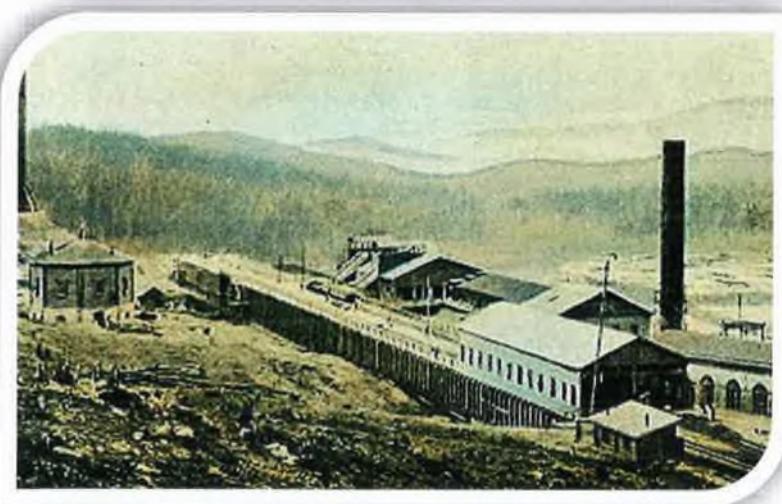


Строительство Карабашского завода, 1908 г.

Плавильное оборудование завода состояло из двух шахтных печей  $1,35 \times 10,67$  м и одной печи сечением  $1,2 \times 7,2$  м, шести обжиговых печей Мак-Дугаля для переработки мелкой руды, одной регенеративной отражательной печи для плавки огарка размером  $30 \times 5,8$  м,

работавшей на генераторном газе от генераторов Хильгера. Три конвертора Пирса-Смита 7,62 x 3,05 м перерабатывали штейн шахтных печей на черновую медь.

По мнению академика В. И. Смирнова, планировка Карабашского завода может служить примером наилучшего расположения и компоновки цехов с учётом ландшафта местности. Завод был построен на склоне горы террасами. На верхнем горизонте – две дымовые трубы, каждая из которых высотой около 60 м и диаметром 5 м, обслуживающие ватержакеты и отражательную печь. Ниже, на втором горизонте, были установлены эстакады и обжиговый цех, а также все подъездные пути к колошнику шахтных печей. Медеплавильный цех и силовая станция размещены на третьем, нижнем горизонте.

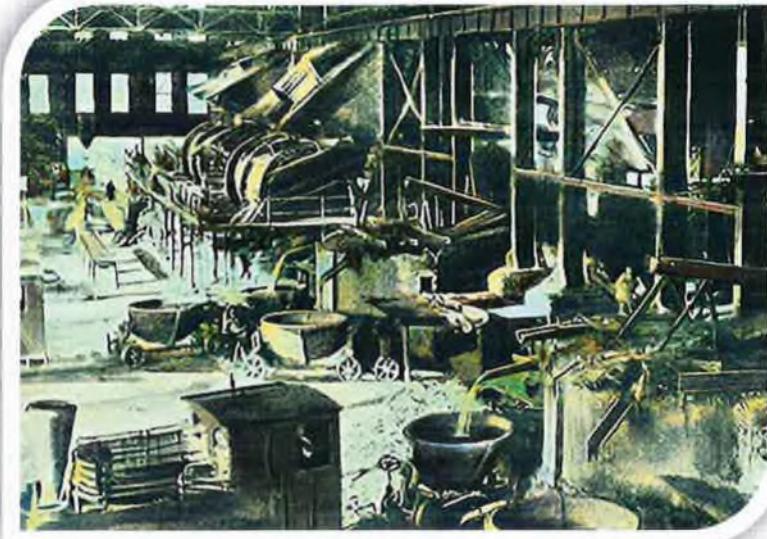


Подача шихты на ватержакетные печи, 1910 г.

Все горизонты были связаны между собой общей железнодорожной линией. Такое расположение завода исключало потребность в каких-либо вспомогательных подъёмных средствах и позволяло обеспечить естественную передачу материалов и полупродуктов с одного горизонта на другой.

В 1910 г. был пущен в эксплуатацию Карабашский завод с двумя шахтными печами, каждая из которых обладала производительностью до 480 тонн шихты в сутки, одной малой шахтной печью для переработки штейна и оборотных материалов и двумя 40-тонными конверторами.

Расход кокса при чисто пиритной плавке составлял 1,78 % от веса шихты. Производительность плавки на 1 м<sup>2</sup> сечения шахты достигала 55 т в сутки. Руда имела следующий состав: 2,37 % Cu; 36,44 % Fe; 42,45 % S; 6,66 % SiO<sub>2</sub>. Шихта содержала 75 % колчедана, 15 % кварца, 5 % известняка и 5 % оборотов. Выход продуктов плавки от веса шихты: штейна – 6,5 %, шлака – 86 %, пыли – 5,9 %. Штейн содержал 26,3 % меди, шлак – 0,43 % меди, пыль – 2,79 %.



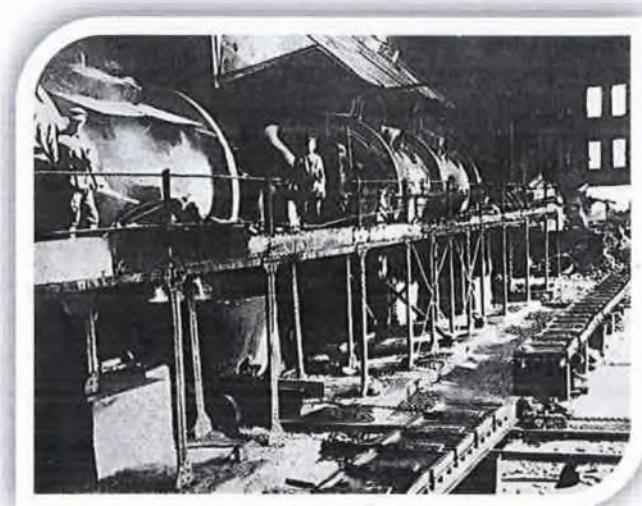
Плавильный цех Карабашского завода с двумя ватержакетами, двумя конверторами, участком розлива шлака и его удаления в чашах с использованием паровоза, 1910 г.

Весь штейн перерабатывался в двух конверторах, выполнявших 268 операций в год при средней длительности операции 35 часов и весе одной плавки – 32 т черновой меди. Прямое извлечение меди в

черновую равнялось 68,58 %. Потери меди с пылью составляли 7,01 %. Потери в шлаках достигали 12,56 %. Прочие потери были на уровне 11,39 %.

В отражательной печи плавилось до 164 т шихты в сутки. Шихта включала: пыль шахтных печей – 56%; рудную мелочь – 17%; обожжённые материалы – 10,7%; флюсы и обороты – остальное. Выход штейна достигал 23,7%, шлака – 62%. Извлечение меди в штейн составляло 84,62%, потери со шлаком равнялись 6,6%. Содержание меди в штейне было на уровне 9,07%, а в шлаке – 0,27%.

Штейн поступал на концентрационную плавку в малую шахтную печь. Все штейны с низким содержанием меди разливались «на пол», охлаждались, дробились и направлялись в плавку как оборотный материал. Штейны с содержанием меди выше 24% перерабатывались в жидким виде в конверторах.



Плавильный цех с двумя конверторами и участком розлива меди, 1913 г.

В Нижнем Кыштыме был построен анодный передел и цех электролиза меди с участком аффинажа медеэлектролитных шламов. Для этого было прекращено производство сортового железа на Нижне-Кыштымском заводе. Для размещения рафинировочных медеплавильных печей было использовано здание пудлинговой фабрики.

Здание имело длину 36 м, ширину – 24 м, в нём были размещены две рафинировочные анодные печи. Размеры печей были: длина – 5,5 м, ширина – 3 м, глубина – 0,4 м, ёмкость – более 40 т меди. Производи-



Карабашский завод, 1910 г.

тельность одной печи составляла 20–30 т анодов в сутки. Печи подолгу разогревались, а ещё дольше шла разливка меди вручную в чугунные изложницы железным ковшом диаметром 0,6 м. Для размещения электролизных ванн было использовано помещение волочильной фабрики, где до этого изготавливали железную проволоку.

Длина электролизного цеха была 68,4 м, ширина – 17 м. Серии ванн состояли из трёх линий, в каждой линии было 11 ванн. Всего было размещено 12 серий ванн, имевших размеры 1,84 x 0,68 м и глубину 1,1 м. Ванны изготавливались из дерева, внутри обмазывались кислотостойкой мастикой, а снаружи окрашивались каменноугольной смолой. С ноября 1908 г. Нижне-Кыштымский завод перешёл на переработку черновой меди с получением чистой рафинированной меди в виде катодов<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> В России впервые электролиз меди в промышленном масштабе был реализован на Алтае в 1893 г., но из-за низкой рентабельности реализация прекратилась. В этот же

Первоначально его производительность была 150 т катодов в месяц. В процессе электролиза меди в ваннах накапливался шлам, содержащий благородные металлы. Шлам из ванн вычерпывали вёдрами вручную, промывали на сите раствором серной кислоты и фильтровали через кошомный фильтр прямо над ванной, а затем просушивали на чугунных сковородах и отправляли для извлечения из него драгоценных металлов в Англию.



Плавильщики и загрузчики карабашского завода, 1910 г.

Одновременно с пуском в 1910 г. Карабашского медеплавильного завода была увеличена и мощность электролиза за счёт удлинения цеха с 68,4 до 82 м с установкой мостового электрического крана грузоподъёмностью 5 т и более совершенных печей Сименса ёмкостью по 25 т. Электролизный цех вмещал 14 серий по 33 ванны с системой включения электродов «мультиполь», к нему было пристроено помещение для предварительной обработки шламов.

---

период на Келакентском заводе Сименса электролиз меди проводился в течение 10 лет в небольших объемах. На Богословском медеплавильном заводе А. А. Ауэрбахом был построен и пущен в эксплуатацию цех электролиза меди в 1898 г.

В 1897 г. в Петербурге на заводе Розенкранца методом электролиза изготавливали медные трубы, а в 1903 г. были построены первый и второй цеха электролиза меди с получением медных катодов и вайербарсов.

В медеплавильном цехе построена третья рафинировочная печь с розливом меди через лётуку и стационарный ковш, установлены три паровых котла системы «Шухова», две вертикальные паровые машины системы «Шихау», каждая из которых обладала мощностью 250 л. с., с динамо-машинами постоянного тока по 200 кВт.

В 1910 г. в стадии запуска находилась железная дорога. В Верхнем Кыштыме были пущены первая в стране отражательная печь для переработки рудной мелочи на штейн.

В 1913 г. был перестроен рафинировочный цех, демонтированы все анодные печи, работавшие на дровах, и установлены одна анодная и одна вайербарсовая печи. Для вайербарсовой печи были приобретены две разливочные машины Уокера (одна в работе, вторая – резервная). Анодные печи стали регенеративными и обеспечивались четырьмя газогенераторами. Электролизный цех был расширен до 18 серий ванн. В 1913 г. была построена шламоплавильная печь. Сплав Доре подвергали аффинажу, слитки золота и серебра отправляли в Госбанк г. Екатеринбурга. Весь руководящий состав электролизного цеха был представлен англичанами и немцами, приехавшими в Россию для реализации этого проекта.



Рабочие кыштымских заводов, 1913 г.

В эти годы остро встал вопрос обеспечения заводов серной и азотной кислотами, необходимыми в производстве рафинированной меди. В связи с этим Л. Уркварт принял решение построить в Кыштыме химический завод для производства серной и азотной кислот. Такой цех был построен на Верхне-Кыштымском заводе. Уже в 1916 г. он произвёл 2482 т серной кислоты и 163 т азотной, а в 1917 г. – 3648 и 206 т соответственно. По своей производительности Кыштымский химический завод по выпуску кислот был самым крупным в России.

К середине 1908 г. перспектива развития Общества была многообещающей: давал прибыль департамент Кыштымского лесопромышленного комплекса, металлургические комплексы и литейные цеха становились более эффективными, показатели разведочного бурения почти в два раза увеличили расчёты по количеству меди в руде. По соглашению между «Англо-Сибирской компанией», «Восточно-Русскими месторождениями» и «Пермь Корпорэйши» 29 октября 1908 г. в Лондоне была утверждена ещё одна компания – «Кыштым Корпорэйши» – с уставным капиталом в один миллион фунтов стерлингов. Четверть акций была предложена государству.

К концу 1909 г. акционеры привели в порядок финансовые счета, что ещё более упрочило управленические качества Уркварта. Металлургические заводы производили по-



Руководство кыштымских заводов, 1913 г.

чи 24 000 тонн готового продукта, включая литые заготовки, имея при этом прибыль в размере 36 655 фунтов стерлингов чистого дохода. Завод по производству золота цианированием, добыча и реализация серного колчедана, другие небольшие металлургические производства стали приносить прибыль в размере 7665, 4050 и 41 469 фунтов стерлингов соответственно.

За двенадцать месяцев 1911 г., став самодостаточным предприятием, Карабашский завод произвёл 5140 тонн черновой меди, что составило почти 20 % от российской производственной мощности, при этом прибыль компании достигла 172 394 фунтов стерлингов. Железо принесло доход в размере 23 439, экспорт леса – 29 651, а пирит – 4919 фунтов стерлингов. После оплаты ипотечного кредита, банковских комиссионных платежей и всех видов процентов к ним у Уркварта оставалось около 26 000 фунтов стерлингов для продвижения работы вперёд, но, что более важно для будущего – он расширил свои контакты в области горного дела и финансовых структур. Цена реализации одной тонны катодной меди в 1911 г. равнялась 915 золотым рублям, плюс каждая тонна меди давала драгметаллов на 96 рублей. Полная себестоимость тонны меди равнялась 480 рублям, соответственно, чистая прибыль Общества составляла 531 рубль, что позволило при выплавке в 1913 г. 8,8 тыс. тонн меди получить прибыль в размере 4,673 млн золотых рублей.

Таким образом менее чем за два года Лесли Уркварт компенсировал все потери «Общества Кыштымских горных заводов», намного сократил долги и заложил основу дальнейшего развития производства. Одним из моментов, позволивших Уркварту добиваться поразительных успехов в организации бизнеса, являлась его способность формировать команду единомышленников и профессионалов в своём деле. Управляющим обществом работал инженер-металлург Н. Ф. Богулкин, управителем Соймоновской долины – инженер-металлург К. Д. Колясников, управляющим Карабашского завода – инженер-химик М. Ф. Наумов, управителем рудников – Ф. Я. Романов, управителем электролизного производства был англичанин И. Багюли и его заместителями: энергетик – Г. Аткинсон; технолог – Моррисон.

К 1915 году «Общество Кыштымских горных заводов» стало первым в числе ведущих в мире по уровню технической оснащённости, прогрессивным технологиям и оборудованию.



На заводе эксплуатировались ватержакетные печи по схеме полупиритной плавки, первые в России отражательная печь и конверторы Пирса-Смита, сернокислотное производство по утилизации серы из металлургических газов<sup>9</sup>. За период управления Обществом Лесли Урквартом с 1907 по 1918 г. было произведено 52,01 тыс. т катодной меди, что составляло почти 50 % от выпуска меди всеми уральскими заводами (табл. 2.2).



Кыштымский завод, плотина и вид на посёлок, 1912 г.

Состояние городов Кыштыма и Карабаша описано<sup>10</sup> Ф. П. Доброхотовым следующими словами: «...Теперь всюду электричество, сеть железных дорог, кипучая работа. И с внешней стороны селение сильно изменилось: настроено много новых больших домов, из них значительное число каменных, выстроены женская гимназия,

<sup>9</sup> При возвращении в Кыштым из командировки в Таналык Уркварту доложили, что менее чем за два года району нанесён непоправимый вред пиритной плавкой на Карабаше и дым от переработки сульфида железа попадает в жилой посёлок. Вся растительность по соседству с предприятиями «отравлена», а ландшафт нарушен. Чтобы приостановить бедствие, Уркварт дал управителю Иванову распоряжение установить более эффективные ловушки и абсорбционные башни, из которых, в свою очередь, можно было бы получать серную кислоту.

<sup>10</sup> Доброхотов Ф. П. Урал. Северный, средний, южный. Справочная книга. Петроград: Библиотека «Вечернего времени»; изд. Б. А. Суворина, 1917. С. 515–518.

народный дом, появился гостиный двор, завелись: клуб, библиотеки-читальни, школы; поставлен памятник Александру II, разбит общественный сад и роща. Торговые обороты в селениях превышают 2 млн руб., а промышленные – 1,5 млн руб. В Верхне-Кыштымском заводе производства: доменное, литье, механическое и медеплавильное, а Нижне-Кыштымский завод исключительно электролитный. На всех четырёх Кыштымских заводах выделяется 600 тыс. пудов меди.

Верхний Кыштым считается главным в округе, так как в нём находится главное управление. В состав округа входят заводы: Верхний и Нижний Кыштымские, Каслинский чугуноплавильный, чугунолитейный и железноделательный, Соймоновский и Карабашский – медные, Теченский – железопрокатный, Нязе-Петровский и Шемахинский в Красноуфимском уезде. Заводская дача имеет 521 тыс. десятин. В ней хороших и благонадёжных железных рудников мало, но имеются богатые залежи меди, рудное и россыпное золото, есть месторождения минералов (корунд, рутил, альбогранит, хризолит, сойминит, борзовит, кеммерит, везувиан и др.).

Местоположение Кыштыма очень живописное, с массой красивых горных уголков. Отсюда к югу начинается та часть Урала, которая называется «Уральская Швейцария», а Соймоновская долина почитается одной из самых здоровых местностей на Урале. Горному ландшафту особенную прелесть и жизнь дают многочисленные озёра, начиная небольшими, как Сугомак, и кончая настоящими морями, как Увильды, имеющие свыше 60 вёрст в окружности».

Кроме эффективной деятельности в Кыштымском горном округе Лесли Уркварт проявил свой организаторский талант в создании бизнеса на Южном Урале и Алтае.

 Рудники и металлургические заводы, железнодорога и пароходы, электростанции и лесопильные заводы, угольные шахты и коксохим на Алтае, Среднем и Южном Урале образовали самое большое предприятие в России и обеспечили стабильное развитие регионов. Только на Алтае за период работы с 1914 по 1917 гг. Лесли Уркварт и его команда инвестировали в производственный комплекс двадцать один миллион сто тысяч золотых рублей.

После революционных событий 1917 г. советское правительство своим распоряжением от 14 ноября 1917 г. ввело в действие на всех предприятиях России «Положение о рабочем контроле». Правление Кыштымской корпорации якобы оказалось активное сопротивление

исполнению требований новой власти. Поэтому 27 декабря 1917 г. был подписан декрет Совета народных комиссаров «О конфискации всего имущества акционерного общества Кыштымского горного округа». В нём говорилось: «*Ввиду отказа<sup>11</sup> завоудоуправления акционерного общества Кыштымского горного округа подчиняться декрету СНК о введении рабочего контроля над производством СНК постановил: конфисковать всё имущество акционерного общества Кыштымского горного округа, в чём бы это имущество ни состояло, и объявить его собственностью Российской республики.*

После 1917 г. все предприятия Урквартца, запасы золота в банках России, все денежные вклады и ценные бумаги были экспроприированы и национализированы, заводы прекратили работу. Л. Уркварт оценил ущерб от национализации созданных им активов в следующем объёме: Кыштымская компания – стоимость собственности, а также возмещение ущерба и потери прибыли – 25 241 325 фунтов стерлингов; компания на Иртыше (в том числе и Риддера) – в размере 27 500 000, для Таналыка была произведена оценка в размере 3 993 000 фунтов стерлингов. Итого он потерял активов на сумму 56 734 325 фунтов стерлингов.

Кроме активов, Советской властью было конфисковано большое количество металлов общей стоимостью более двух миллионов фунтов стерлингов золотом и серебром; из банков изъята денежная сумма, равная 500 000 фунтов стерлингов, а в Петроградских бюро национализирован огромный запас драгоценных металлов. В Риддере властью было конфисковано около 120 000 унций золота и 1 000 000 унций серебра.

Подводя итог работы Лесли Уркварта в «Обществе Кыштымских горных заводов», приведём слова 31-го Президента США Герберта Гувера (1929–1933), предшественника Рузвельта, неоднократно посещавшего Кыштымский округ и консультирующего компанию в вопросах горного производства:

*«Успех в Кыштыме имел важное значение. До настоящего времени российская индустрияправлялась немецкими и британскими профессионалами. Русские всегда им не доверяли, опасаясь по-*

---

<sup>11</sup> Информация в декрете противоречила действительности, т. к. в июне 1917 г. после 12-часовой забастовки администрация Общества подписала соглашение о введении рабочего контроля на предприятиях.

литических последствий. Они возмущались надуманным превосходством британских и немецких управленцев. Но они ничего не чувствовали по отношению к американцам. Это применимо не только к Кыштыму, но и к другим предприятиям России, где я и многие американцы осуществляли свою деятельность...

...Основной бизнес компании состоял в добыче руды и выплавке меди, а также содержал ряд попутных химических производств. Для пиритной выплавки требовалось 3–4 % древесного угля. Обработка древесного угля происходила по современной технологии и предусматривала выделение значительного количества утилизируемого газа, а также побочных продуктов: уксусной кислоты, древесного спирта, терпентина и т. д. Из сернистых газов, которые также являлись побочным продуктом обработки руды, компания получала сернистую кислоту. Медь очищалась для получения золота или серебра».

Подробный анализ роли Лесли Уркварт в основании Карабашского медеплавильного комбината, в его проектировании, строительстве, пуске в эксплуатацию и формировании концепции развития дан автором в связи с тем, что на этапе возрождения завода после



его останова в 90-е годы прошлого века были использованы технологические решения и оборудование, разработанные в Австралии, в том числе на заводах компании Mount Isa Mines, штат Квинсленд, основным организатором работы которых являлся Лесли Уркварт.

2 февраля 1923 г. Уркварт опубликовал статью в советской печати. Он напоминал, что продолжает считать Риддер, Экибастуз, Кыштым, Карабаш и Таналык вместе с Ленскими приисками своими предприятиями. До конца жизни Уркварт внимательно следил за тем, что происходило на его бывших предприятиях в России. Возглавляя крупнейшие международные компании (New Guinea Goldfields и другие), был заинтересован в разработке ряда рудников во Франции и Австралии. В конце 1920 г. Уркварт принял активное финансовое, административное и управленческое участие в освоении медного месторождения Mount Isa Mines в штате Квинсленд в Австралии, используя при этом весь свой опыт строительства заводов в России. Эта горнometаллургическая компания до настоящего времени работает и остаётся одной из наиболее эффективных в Австралии, разработчиком и поставщиком оборудования с использованием процесса TSL.

Уркварт имел собственность в Родезии, Новой Гвинеи, во Франции. Капитал вкладывался в промышленное производство. Большие затраты и колебания на бирже заставили его продать контрольный пакет акций компании Asarco. Находясь в поисках финансов и выполняя часть своих обязательств перед акционерами, в 1932 г. он переехал в Нью-Йорк, где был вовлечен в президентские выборы друга и партнёра по бизнесу Герберта Гувера.

Более половины жизни Уркварт прожил в России: здесь он построил свою репутацию, достиг своих величайших успехов. Здесь же он пережил горечь неудач, череду несчастий, времена взлётов и падений.

В 1933 г. Уркварт совершил поездку в Париж, по возвращении в Лондон из которой по дороге простудился, заболел тяжёлой формой пневмонии и в результате разрыва кровеносных сосудов в лёгких скончался 13 марта 1933 года, ровно за месяц до своего пятьдесят девятого дня рождения. Тело покойного кремировали, его прах хранится в церкви Брастед.

16 марта 1933 г. в газете «Файнэншл Таймс» опубликовали некролог, в котором, ссылаясь на личные качества Лесли Андреевича, такие как смелость, вера, здравый смысл, отметили: «*Оптимистичный мечтатель, он запряг свои мечты в колесницу усилий, секретом его личного обаяния был энтузиазм, в который он верил до конца*».

В советские годы Карабашский медеплавильный комбинат занимался как добычей, обогащением и переработкой руд с собственных шахт и рудников, так и переработкой богатых руд с вновь открываемых месторождений Южного Урала и Башкирии. Использование шахтной плавки позволяло получать максимально возможное извлечение меди и сопутствующих драгоценных металлов. Наибольший выпуск меди на заводе достигал почти 66 тыс. тонн в год при переработке богатых руд строящихся ГОКов (табл. 2.3). На предприятии сложилась собственная школа руководителей и металлургов, что позволяло внедрять самые современные технологические решения и приёмы в металлургии меди на переделах шахтная плавка – конвертирование. Карабашский завод являлся «кузницей кадров» не только для металлургии меди Урала, Казахстана и Сибири, но и для научных руководящих работников отраслевых институтов и научных учреждений.

К сожалению, со временем нерешённость ряда технологических проблем ещё в первые годы работы завода привела к их накоплению, усугублению и полной деградации производства в конце 80-х – начале 90-х годов при изменившихся социально-политических условиях в государстве. Причинами возникновения трудностей в эксплуатации явились: изменение физико-механических свойств карабашских руд по мере увеличения глубины их отработки и снижение содержания меди в перерабатываемом сырье. Большая доля мелочи в руде и нестабильное содержание в ней серы не только значительно затрудняли ведение процесса полупиритной плавки, но и приводили к сильному загрязнению окружающей среды из-за отсутствия газоочистных систем на предприятии советского периода работы. Для решения данной задачи коллектив завода под руководством проектного института «Севгипроцветмет» (впоследствии «Уралгипроцветмет») в 1933–1938 годах провёл реконструкцию комбината. Основным инновационным мероприятием того периода было строительство обогатительной фабрики флотационного обогащения сульфидных и вкрапленных руд карабашских месторождений.

Дальнейшей реконструкции завода по строительству мощностей по окускованию медных концентратов и цеха по утилизации серы помешала Великая Отечественная война. В военные годы загрузка комбината составила 25–40 % его мощности. Отражательная печь из-за недостатка сырья и топлива была законсервирована, а медные концентраты собственного производства перерабатывали в шахтных печах.

В послевоенные годы и до конца 70-х годов Карабашский медеплавильный комбинат, являясь одним из самых эффективных предприятий того периода, работая на износ, максимально наращивал выпуск металла для восстанавливаемой послевоенной экономики, обеспечивая строительство медных гигантов советской индустрии в Балхаше, Алматыке, Норильске, Оренбургской области и Башкирии.

Для увеличения производства меди на шахтных печах перерабатывали привозные богатые медные руды строящихся горно-обогатительных Учалинского и Гайского комбинатов, при этом игнорировались высокие содержания в руде свинца и цинка, делающие полупиритную плавку неэффективной, а это, в свою очередь, побуждало специалистов предприятия работать на печах в форсированном режиме, нанося вред оборудованию и окружающей среде.

Практически на тех же производственных площадях, работая на трёх шахтных печах и трёх конверторах, к 1970 году производство меди на заводе по сравнению с 1911 годом, возросло в 12 раз.

В то же время нерешённость вопросов окискования концентратов, отсутствие газоочистки и производства по утилизации серы из отходящих газов привели к снижению качественных и количественных технологических показателей Карабашского комбината по сравнению со вновь построенными металлургическими предприятиями в СССР. Предприятие начало приходить в «упадок».

Первое предупреждение о приостановке деятельности Карабашского медеплавильного комбината (КМК) было вынесено Южно-Уральским бассейновым управлением по регулированию использования и охране вод 21.09.1974 г. Основанием для него явилось заключение о том, что предприятие является основным загрязнителем окружающей природной среды и особенно реки Миасс в Челябинской области. Ежедневно выбрасывая в атмосферу большое количество сернистого ангидрида, тяжёлых цветных металлов, мышьяка, ртути и других элементов, комбинат окислил почву, погубил горный лес, ухудшил качество воды в Аргазинском водохранилище, являющемуся единственным питьевым источником водоснабжения Челябинского промрайона. Следующее предупреждение о закрытии медеплавильного цеха было принято органами областной санэпидемстанции 06.11.1975 г.

В ответ на эти предупреждения Минцветмет СССР 23.12.1975 утвердил ТЭО на строительство медно-химического комплекса на территории г. Карабаш. Несмотря на начало проектирования силами института «Унипромедь», управление «Союзмедь» Минцветмета СССР не только не включило финансирование работ на десятую пятилетку, но и своим постановлением от 5.11.1976 г. сократило капитальные вложения по комбинату с 7 млн руб. в 1976 г. до 2,6 млн руб. в 1980 г. при планируемой стоимости всего реконструируемого комплекса 120 млн рублей.

Неудовлетворённость этим решением привела к обращению надзорных органов в ЦК КПСС и Совет Министров СССР, результатом которого явилось решение от 23.01.1978 г. «О начале строительства медно-химического комплекса в 1981 г. и выделении 17 млн рублей на подготовительные работы в 1979 г.». Позднее дату начала строительства перенесли на 1986 г.

О состоянии предприятия того периода можно судить из текста постановления СЭС о приостановке работы одного конвертора 13.07.1981 г.: «... из-за непрерывного увеличения производства меди при значительной изношенности основных фондов ... на предприятии создались тяжёлые условия труда. Технология и основное металлургическое оборудование в настоящее время не отвечает действующим нормативам по технике безопасности, культуре производства, комплексности использования сырья, промсанитарии как непосредственно на заводской площадке, так и в г. Карабаш и его окрестностях. Промышленная площадка находится в центре города, жильё размещается в черте санитарно-защитной зоны и непосредственно примыкает к границе завода. ... Промышленная площадка комбината, город и его окрестности загазованы в недопустимых пределах. Концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе в 5–7 раз превышает предельно допустимые значения. В последние годы в связи с переработкой материалов вторичного и богатых руд Южного Урала в 1,5 раза увеличилось загрязнение атмосферного воздуха соединениями свинца, содержание которых на расстоянии 3 км от предприятия в 37 раз превышает ПДК. Сера, содержащаяся в сырье, совершенно не утилизируется и выбрасывается в атмосферу с газами отражательной, шахтной печей и конверторов. В связи с увеличением переработки клинкера, содержащего большое количество мелочи, резко увеличился пылевынос из шахтных печей. Увеличилась переработка пыли на отражательной печи, не имеющей очистных установок.

Металлургический цех комбината является основным источником загрязнения атмосферного воздуха. Очистка газа осуществляется в примитивных очистных сооружениях с низким КПД от 36,3 до 70,1 %. КПД работы электрофильтров на очистке тонких примесей не превышает 29,6 %. В составе выбросов, помимо меди и цинка, содержатся высокотоксичные соединения свинца, мышьяка, сернистый ангидрид. ... Технический уровень металлургического производства в настоящее время весьма низок и не удовлетворяет элементарным санитарно-гигиеническим требованиям. Здание металлургического цеха, построенное в 1910 г., не отвечает требованиям производства. В неудовлетворительном состоянии находятся здания, сооружения и конструктивные элементы. Металлическая кровля и стены цеха сильно коррозированы, имеют незакрытые проёмы. Само здание имеет открытую поверхность боковой стены восточной части, что является причиной сквозняков. В цехе тесно, металлоконструкции сильно

*изношены ... колошники печей не герметизированы ... конвертор № 5 и отражательная печь работают без газоочистки...».*

27.10.1983 г. Бассейновое управление вынесло очередное предупреждение о приостановке деятельности комбината с 01.01.1984 г. Следующее постановление по прекращению деятельности предприятия с 01.07.1987 г. было выдано 12.03.1987 г. сразу тремя надзорными органами: СЭС; Госинспекцией по охране атмосферного воздуха; Бассейновой инспекцией.

Огромная доля выбросов в окружающую среду вредных веществ и возросшая активность общественных движений в 80-х годах вынудили Минцветмет СССР уменьшить загрузку завода привозным сырьем и собственными медными концентратами. Если в 1985–1988 годах комбинат выпускал по 45–54 тыс. тонн меди в год, то к 1989 году производство меди сократилось до 29 тыс. тонн, а к 1990 году – до 8 тыс. тонн.

В январе 1989 г. была остановлена отражательная печь, работавшая без газоочистки на переработке медных концентратов. Осенью 1989 г. была прекращена работа обогатительной фабрики.

Состояние завода в начале 90-х годов прошлого столетия представлено на фото.



Карабашмедь, обогатительная фабрика, 1990 г.

Ситуацию со снижением производства не спасли и полумеры, связанные с перепрофилированием предприятия на переработку вторичного цветного лома в количестве от 80 до 100 тыс. т/год<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Приказ Министерства цветной металлургии СССР за № 178 от 26.05.1987 г.



Карабашский медеплавильный цех, 1990 г.

Построенная в мае 1990 г. новая отражательная печь для плавки низкосортного вторичного сырья, с площадью пода 14 м<sup>2</sup>, не могла обеспечить работу конвертерного передела и постоянно простоявала из-за острого дефицита ломов. С 01.05.1990 г. по предписанию надзорных органов был остановлен конвертерный передел. В период с 1990 по 1995 гг. на предприятии были остановлены три из четырёх шахтных печей. В 1990–1993 гг. комбинат выпускал по 7–9 тыс. тонн медного сплава и 7–13 тыс. тонн бедного медного штейна.



**В 1996 году было полностью прекращено медное производство на Карабашском медеплавильном комбинате.**

Проблемы в вопросах трудоустройства населения, обострение социальных проблем г. Карабаш, связанных с наполнимостью местного бюджета и финансированием объектов инфраструктуры, дефицит черновой меди на рынке страны и проблема загрузки сырьём Кыштымского медэлектролитного завода привели к тому, что по инициативе и при активном личном участии инженера-металлурга А. И. Вольхина вопрос возобновления производства меди на комбинате был рассмотрен на региональном уровне.

В 1997 г. губернатором Челябинской области Петром Ивановичем Суминым<sup>13</sup> была утверждена «Программа развития

13



**Сумин Пётр Иванович (21.06.1946 – 06.01.2011)**

Родился в п. Верхняя Санарка Челябинской обл. в многодетной крестьянской семье, окончил в 1964 среднюю школу и поступил на металлургический факультет Челябинского политехнического ин-та, который окончил в 1969. С 1968 по 1980 работал на Челябинском металлургическом заводе (ЧМЗ), прошёл путь от подручного сталевара до секретаря комитета ВЛКСМ. Являлся членом КПСС с 1972 по август 1991. С 1971 по 1978 секретарь комитета ВЛКСМ, секретарь Металлургического райкома ВЛКСМ (1973), второй секретарь Челябинского горкома ВЛКСМ (1974), первый секретарь Челябинского горкома ВЛКСМ. С 1978 – заместитель начальника ЭСПЦ-3 ЧМЗ. В 1980–1984 – второй, затем первый секретарь Металлургического РК КПСС. С 1984 –

председатель Челябинского горисполкома. В 1987 назначен первым заместителем председателя Челябинского облисполкома, в 1988 на альтернативной основе был избран вторым секретарём обкома партии. В 1989 был избран председателем Челябинского облисполкома, в 1991 – председателем Челябинского областного Совета народных депутатов. С 1990 являлся народным депутатом России, входил во фракцию «Коммунисты России». С 1993 по 1995 – вице-президент инвестиционной холдинговой компании «Выбор». Основатель и председатель Совета общественно-политического движения «За возрождение Урала» (с 1994 г.). С декабря 1995 – депутат Государственной Думы Федерального Собрания РФ второго созыва, член комитета Госдумы по бюджету, налогам, банкам и финансам, член депутатской группы «Народовластие».

22 декабря 1996 Сумин был избран губернатором Челябинской области. Вновь избран на этот пост 24 декабря 2000 года. 14 апреля 2005 президент РФ Владимир Путин внёс на рассмотрение Законодательного собрания Челябинской области кандидатуру Сумина для наделения его полномочиями губернатора региона, 18 апреля депутаты утвердили его на этом посту. Входил в состав Совета Федерации; являлся членом комитета Совета Федерации по бюджету, налоговой политике, финансовому, валютному и таможенному регулированию, банковской деятельности.

Награды: орден «За заслуги перед Отечеством» III степени (2010); орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2006); орден Почёта (2001); медаль «75 лет гражданской обороны» (МЧС России, 2008 год); медаль «В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина» (1970); почётный гражданин города Челябинска (2006); почётный гражданин Челябинской области (2004); наградное оружие – именной 9-мм пистолет ПМ. Именем Петра Сумина названа улица и сквер в г. Челябинск, а также улица в г. Копейск. Скончался ночью 6 января 2011 года. Похоронен на аллее почётных захоронений Успенского кладбища г. Челябинска.

цветной металлургии Челябинской области», согласно которой предусматривалась реконструкция Карабашского медеплавильного комбината с восстановлением металлургического производства и строительством комплекса утилизации серы из отходящих газов. Данная программа была согласована с областными комитетами по экологии и санэпиднадзором.

В 1997 г. за счёт финансирования фирмы B&D Urals Limited было произведено восстановление и запуск в работу одной шахтной печи и одного конвертора. Концепция восстановления комбината строилась на организации переработки малосернистых материалов, цветного лома, богатых медных концентратов с улавливанием сернистого газа химической очисткой с использованием продукции гипса в строительстве. В 1998 г. к работам по восстановлению комбината подключился Кыштымский мединеэлектролитный завод (КМЭЗ).

Для решения этой программы в январе 1998 г. было организовано ЗАО «Карабашмедь»<sup>14</sup>. В него вошли (основными фондами комбината до 1997 г.) Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) – 14,5 % акций, компания B&D Urals Limited (вновь построенными основными фондами) – 10 % акций и КМЭЗ (под планируемые инвестиции) – 75,5 % акционерного капитала.

Вся программа развития ЗАО «Карабашмедь» условно была разделена на несколько этапов:

- первый этап – возобновление производства путём восстановления и запуска основных производственных мощностей в металлургическом цехе по технологии шахтная плавка – конвертирование;
- второй этап предполагал строительство комплекса утилизации серы из отходящих газов медеплавильного производства;
- третий этап предусматривал модернизацию металлургического производства путём строительства печи автогенной плавки.

Разработка перспективных направлений развития, выбор основного плавильного оборудования, развитие сырьевой базы будущего предприятия и непосредственно восстановление «Карабашмеди» осуществлялись под руководством директора КМЭЗ

<sup>14</sup> В разработке и реализации программы реконструкции принимали участие: С. С. Бобов, О. Б. Ранский, Е. В. Торопов, Б. Е. Екимов, Н. А. Азаров, С. Н. Елсуков, В. Н. Колмачихин, Е. Г. Орлов, В. И. Ермилов, Ю. Г. Серебренников, И. В. Карнаухов, А. Р. Топчиев и др.

А. И. Вольхина<sup>15</sup>, являющегося основным акционером предприятия.

15



**Вольхин Александр Иванович  
(01.05.1954 – 02.12.2021)**

Родился в г. В.-Пышма Свердловской обл. Начал свою трудовую деятельность в 1971 учеником электрослесаря КИПиА Пышминского медеэлектролитного завода. С 1972 по 1978 являлся слушателем, а затем студентом металлургического факультета Уральского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института им. С. М. Кирова. С 1978 работал плавильщиком, мастером, старшим мастером вайербарсового передела комбината «Уралэлектромедь».

А. И. зарекомендовал себя технически грамотным инженером, исполнительным и инициативным работником, хорошим организатором производства, принимающим активное участие в освоении новой конструкции шахтной печи. В 1981 был назначен начальником медеплавильного цеха на Кыштымский медеэлектролитный завод входящего в структуру комбината «Уралэлектромедь». Работая начальником цеха, лично возглавил работу творческой бригады по модернизации медерафинировочных печей. Им было реализовано несколько десятков рационализаторских предложений.

В 1985 Александр Иванович был назначен главным инженером завода. Ему досталось тяжёлое «наследство», учитывая, что к этому времени основные производственные мощности Кыштымского медеэлектролитного завода – пионера в области рафинирования меди и производства медной электролитической фольги в России, морально и физически устарели. Под его руководством в условиях действующего производства была проведена полная реконструкция цеха фольги № 1 с переводом производства на технологию с нерастворимыми анодами, позволившая резко улучшить качество фольги и перейти на выпуск тонкомерной фольги с новыми видами покрытий, введён в строй действующих комплексов нового цеха фольги, реконструированы купоросное и шламовое отделения, внедрены установки испарительного охлаждения на анодных печах и многое другое.

27.11.1986 был назначен директором Кыштымского медеэлектролитного завода. В марте 1987 решением трудового коллектива Вольхин Александр Иванович был избран директором Кыштымского медеэлектролитного завода. За прошедшие годы, несмотря на известные трудности, переживаемые всей страной, завод из аутсайдера превратился в одно из самых передовых предприятий медной промышленности России, пережил второе рождение: обновлены все основные производственные мощности, созданы новые производства, расширена номенклатура выпускаемой продукции, увеличена степень её готовности, качество выпускаемой продукции полностью соответствует требованиям мирового рынка. Основное направление проводимой им технической политики – соответствие внедряемых технологий лучшим мировым образцам.

А. И. Вольхиным было предложено предусмотреть три этапа работы<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> **Вольхин А. И. (продолжение).** В медеплавильном цехе внедрена наклоняющаяся 350-тонная печь фирмы Maerg с компьютерной системой управления режимами работы. Восстановление меди осуществляется природным газом. Розлив анодов производится на карусельной машине с весовым дозированием. В цехе электролиза меди используется бесзосновная технология электролитического рафинирования с применением титановых матриц. Производство медного купороса производится с использованием вакуум-кристаллизационных установок. В 1997 была разработана технология получения никеля сернокислого реактивной чистоты вместо традиционного никелевого купороса. При развертывании аффинажного производства, наряду с технологией, «ноу-хау», компьютерными системами управления процессами, были закуплены и смонтированы: конвертор TROF, печь для обжига селена и система газоочистки. В 1993 под руководством А. И. в кратчайшие сроки была разработана технология производства радиаторной ленты электролитическим путём. Для очистки стоков заводской протоки была построена специальная станция нейтрализации. По инициативе А. И. в 1997 разработана, утверждена и реализуется в настоящее время Программа развития цветной металлургии Челябинской области. В рамках этой Программы он возглавил работы по восстановлению разрушенного медеплавильного завода в г. Карабаш. За два года полностью восстановлено производство со всей инфраструктурой, выбрана технология газоочистки и утилизации газа, заключены контракты, профинансировано и организовано строительство новых производств и металлургических переделов.

Все это было достигнуто благодаря умению А. И. за проблемами сегодняшнего дня видеть перспективу, его исключительной работоспособности, постоянному поиску новых путей развития, умению подобрать и расставить кадры, нацелить и сплотить коллектив на решение проблем. Вольхин являлся автором 17 изобретений, 55 рационализаторских предложений, 30 статей и нескольких монографий («Анодная и катодная медь», «Черновая медь и серная кислота»). В 1995 он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и внедрение способов рафинирования меди с применением кремнийсодержащих реагентов». Продолжая теоретические разработки по созданию и совершенствованию экологически чистых металлургических предприятий, в 2005 Вольхин защищает докторскую диссертацию по теме «Комплекс экологически чистых технологий переработки медьсодержащего сырья». А. И. отличала огромная личная ответственность за судьбу завода и его коллектива, скромность, доброжелательность и внимательное отношение к людям, и в то же время высокая требовательность, когда речь идёт о выполнении должностных обязанностей. В 1996 он был избран депутатом Законодательного собрания Челябинской обл. В 2000 повторно избран на эту должность. Занимая активную позицию по обучению молодёжи основам металлургии, в 2006 А. И. был избран на должность профессора кафедры металлургии филиала ЮУрГУ.

В 1997 Вольхин был награждён орденом Дружбы, а в 2000 – дипломом лучшего менеджера России. 03.06.2002 ему было присвоено звание «Почётный гражданин города Кыштыма». В 2002 – награждён почётным знаком «300 лет уральской металлургии». В 2002 ему было присвоено звание «Почётный металлург». 27.06.2007 Александр Иванович награждён орденом Почёта. В 2021 после заражения COVID-19 и непродолжительной болезни скончался, был похоронен на городском кладбище в г. Кыштым.

Стоимость первого этапа составила \$15 млн, второй этап требовал привлечения \$50 млн<sup>17</sup>. На реализацию третьего этапа закладывалось от 70 до 100 млн долл. США.

Для осуществления утверждённой программы акционерам ЗАО «Карабашмедь» предстояло преодолеть ряд важнейших проблем, а именно:

- ограничения в доступе к сырьевому рынку, так как практически вся медь из медных руд Урала и Сибири контролировалась Уральской горно-металлургической компанией, обеспечивающей сырьём собственные заводы;
- ограничения в доступе к финансовым ресурсам из-за неблагонадёжности заёмщика в лице ЗАО «Карабашмедь»;
- необходимость кардинального изменения технологии и применяемого оборудования для достижения видимых результатов по снижению загрязнения окружающей среды;
- необходимость снижения величины производственных затрат до уровня не выше, чем у основного конкурента – компании «УГМК-Холдинг»;
- необходимость привлечения и освоения огромного объёма инвестиций для осуществления намеченной программы.

В решении вышеназванных проблем принял активное участие И. А. Алтушкин. Новым бизнес-партнёром сразу была поставлена задача по поиску нетрадиционных путей решения развития предприятия с учётом использования современных инновационных технологий и схем управления комбинатом, эффективных способов привлечения и освоения финансовых ресурсов.

Используемая в 2000-х годах технология шахтной плавки, разработанная для переработки кусковых колчеданных руд почти 100 лет назад, имела следующие существенные недостатки:

- необходимость предварительного окускования сырья;
- трудности в герметизации металлургического агрегата и получении концентрированных газов;
- значительный пылевынос шихтовых материалов;

---

<sup>17</sup> В соответствии с Постановлением губернатора Челябинской области П. И. Сумина о разрешении на строительство сернокислотного цеха по технологии WSA, производительностью 390 тыс. тонн серной кислоты в год, от 27.01.2000 г., сметная стоимость строительства составляла 46,2 млн рублей, в том числе СМР – 23,5 млн рублей в ценах 1984 г.

- большой расход кокса или его заменителя для обеспечения плавки материалов;
- отсутствие механизации производственных процессов, преобладание тяжёлого физического труда при обслуживании печи;
- невозможность получения богатых штейнов для снижения затрат на последующем конвертерном переделе;
- затруднения, вплоть до невозможности переработки руд и концентратов с высоким содержанием цинка и свинца [39].

Попытка уменьшения негативных факторов шахтной плавки за счёт применения брикетирования медных концентратов по гидросиликатной схеме не решила проблем из-за низкого качества получаемого брикета и конструктивных особенностей загрузки шахтных печей ЗАО «Карабашмедь».

В сложившихся условиях и по указанию акционеров предприятия специалистами была выполнена большая работа по анализу имеющихся и выбору нового металлургического процесса для существенного и качественного изменения способов переработки металлургического сырья. Существенную роль в этой работе сыграли инженеры-металлурги: технический директор ЗАО «КМЭЗ» Сергей Степанович Бобов и заместитель исполнительного директора ЗАО «Карабашмедь» по строительству нового производства и экологии Евгений Германович Орлов.

Инновационный подход к решению проблемы сразу предопределил путь отказа от попыток улучшения процесса существовавшей полупиритной шахтной плавки и совершенствования её аппаратурного оформления.

За последние годы в нашей стране и за рубежом были разработаны и внедрены в практику производства меди новые, большей частью автогенные способы плавки медного сырья. На территории бывшего СССР успешно разрабатывались и внедрялись новые высокоэффективные процессы, обеспечивающие автогенность, получение сконцентрированных в малом объёме серосодержащих газов, утилизируемых в производстве серной кислоты. На Алмалыкском горно-металлургическом комбинате была освоена технология кислородно-факельной плавки и построен комплекс КФП большой единичной мощности. На медном заводе Иртышского полиметаллического комбината была отработана КИВЦЭТ-ная плавка для комплексной переработки полиметаллического сырья. На Норильском горно-металлургическом комбинате был построен завод

по переработке медных концентратов способом взвешенной плавки, там же успешно освоена технология плавки медных концентратов в печи Ванюкова. Построены промышленные металлургические комплексы ПВ на Норильском, Балхашском горно-металлургических комбинатах, Среднеуральском медеплавильном заводе. На Медногорском медно-серном комбинате была отработана технология автогенной шахтной плавки брикетированных и/или окатанных медных концентратов с обогащением дутья кислородом и плавка в печи «Победа» неокускованного, богатого по меди сырья. На комбинате «Североникель» для переработки медьсодержащего концентрата успешно эксплуатировались плавильный агрегат ААП и вертикальные конвертеры.

В настоящее время среди специалистов сложилось устойчивое мнение, что основным направлением в совершенствовании производства меди является разработка и внедрение автогенных процессов. Автогенные агрегаты позволяют интенсифицировать металлургическое производство, значительно сокращать затраты топливно-энергетических ресурсов, повышать комплексность использования сырья и существенно улучшать экологическую обстановку на рабочих местах, промплощадках и прилегающих территориях, а также улучшать условия труда и автоматизировать производство.

При анализе технологических схем переработки медьсодержащего сырья и выборе аппаратурного оформления процесса акционерами ЗАО «Карабашмедь» учитывались следующие дополнительные моменты:

- большие выбросы в окружающую среду сернистых соединений с действующего производства привели к деградации окружающей среды и недоверию жителей региона к любым действиям или обещаниям представителей предприятия;
- высокий моральный и физический износ существующего оборудования, объектов промышленной инфраструктуры и сооружений комбината требовал их полной замены или модернизации;
- в соответствии с требованиями общественности региона, государственных органов по контролю за соблюдением природоохранного законодательства выполнение всех работ по реконструкции должно быть осуществлено в очень короткие сроки;
- отсутствие строительных и подрядных организаций в регионе для выполнения больших объёмов работ по реконструкции;

- недостаток на промплощадке энергетических, газовых и водных ресурсов;
- ограниченность территории для размещения производственных мощностей и отходов производства;
- учитывалась и величина объёма капиталовложений со сроками окупаемости затраченных средств.

Ситуация осложнялась тем, что предприятие и г. Карабаш находятся в седловине, где в течение года очень часто создаются неблагоприятные метеорологические условия (НМУ). Отсутствие возможности «проветривания» промплощадки и жилой зоны приводит к тому, что промышленные выбросы не рассеиваются, создавая условия для создания высоких концентраций загрязняющих веществ. Соответственно, технологические решения на реконструированном предприятии должны позволять быстро останавливать промышленные агрегаты на неопределённый срок, максимально сохраняя их в работоспособном состоянии, с последующей возможностью возобновления работы по технологической схеме без ремонта или с минимальными затратами, связанными с пуском печей.

Анализ типовых показателей автогенных процессов по состоянию на 1998 г. приведён в табл. 2.4.

Взвешенная плавка концентратов – наиболее распространённая из всех известных процессов. Она характеризуется высоким извлечением меди, небольшим объёмом отходящих газов, возможностью получения элементарной серы из металлургических газов и высокими показателями по автоматизации процесса. При осуществлении этого процесса медные концентраты сжигают в факеле, образующемся при горении сульфидов шихты, подаваемой в раскалённое пространство печи через специальные горелки вместе с дутьём. За счёт теплоты, выделяющейся при горении сульфидов, раскалённая шихта нагревается и плавится. Образовавшиеся капли падают на поверхность шлакового расплава, находящегося в отстойной камере, где происходит расслоение штейна и шлака. Наиболее распространённые модификации взвешенной плавки: процесс Outokumpu (ПВП); кислородно-факельная плавка (КФП); КИВЦЭТ-ная плавка.

Процесс Outokumpu требует глубокой сушки концентрата (до влажности 0,1–0,3 %). Воздушное дутье обогащено кислородом до 70 %. Основные достоинства процесса: использование тепла сжигания сульфидов в вертикальном факеле и высокое извлечение серы в отходящие газы.

Недостатки плавки: невысокая удельная производительность; высокое содержание цветных металлов в шлаках; необходимость глубокой сушки исходной шихты и связанный с этим большой пылеунос (12–15 %); высокие температуры отходящих газов; а также невозможность переработки оборотных материалов и концентратов с изменяющимся содержанием серы.

Отличительной особенностью кислородно-факельной плавки является осуществление её в печах с горизонтальным факелом на дутье, обогащённом кислородом выше 95 %. Применение чистого технологического кислорода обеспечивает получение газов с высоким содержанием  $SO_2$ , что удешевляет их переработку на элементарную серу и серную кислоту. Недостатками этого процесса являются: сложная и дорогая подготовка шихты к плавке (глубокая сушка шихты); невозможность переработки оборотных материалов без предварительной подготовки; высокое содержание меди в отвальных шлаках; высокий пылеунос шихты; низкая комплексность использования сырья; высокая температура отходящих газов; невысокая удельная производительность и очень высокие энергетические затраты.

Процесс КИВЦЭТ-ной плавки основан на сочетании принципов взвешенной, циклонной и электротермической плавок. Стадии обжига и плавки, разделение продуктов плавки, обеднение шлаков и, при необходимости, конденсация паров цинка протекают в одном плавильном агрегате. Достоинствами этой технологии являются комплексность использования сырья, возможность попутного извлечения цинка, высокое содержание серы в отходящих газах. Недостатки агрегата: сложная и дорогая подготовка шихты; высокие энергозатраты; необходимость обогащения дутья кислородом; низкая удельная производительность и высокая температура отходящих газов.

При осуществлении автогенной плавки в расплаве шихтовые материалы тем или иным способом вначале вводят в ванну уже имеющегося сульфидно-оксидного расплава, они плавятся и растворяются в нём, а затем сульфиды, находясь в жидком состоянии, окисляются подаваемым в расплав дутьём. Основные достоинства плавки: менее жёсткие требования к качеству подготавливаемого сырья; возможность работы на меняющемся содержании серы в сырье; высокая удельная производительность; малое количество газа с высоким содержанием серы; низкий пылевынос; возможность работы на шихте 6–8 % влажности. Недостатки: высокая агрессивность расплавов; нахождение кессонированных элементов в расплаве. Модификации

процессов плавки в расплаве: процессы «Норанда», «Победа», «Эль-Тенъенте» и SKS; процесс «Мицубиси»; процесс Ванюкова (ПЖВ, ПВ); процессы Austmelt и Isasmelt.

В основе процессов «Норанда», «Победа», «Эль-Тенъенте» и SKS лежит технология непрерывной плавки медных концентратов до богатого штейна (65–77 % меди) с возможностью прямого получения черновой меди в горизонтальном поворачивающемся агрегате с боковым или нижним дутьём. Основными достоинствами процессов являются: низкая капиталоёмкость; простота обслуживания; относительно невысокое содержание кислорода в дутье; возможность переработки кусковых оборотных материалов. Факторы, снижающие эффективность процессов: невысокое содержание  $SO_2$  в газах; получение богатых по меди шлаков и необходимость их последующего обеднения; малая степень отгонки сопутствующих ценных элементов; низкая компания плавильного агрегата.

Особенностью процесса «Мицубиси» является то, что операции плавки, обеднения шлаков и конвертирования осуществляются в отдельных печах. При этом расплавы из одного агрегата перетекают в другой непрерывно и самотёком. Все печи стационарны. Преимуществами такой компоновки являются: большая производительность; низкое содержание меди в шлаках; высокая компания печей; получение богатых по сере газов; высокая автоматизация процесса. Недостатки этого передела: технологическая сложность; необходимость глубокой сушки материалов; высокое обогащение дутья кислородом; нахождение в агрессивных расплавах кессонированных элементов; высокие капитальные и эксплуатационные расходы.

Характерной особенностью плавки в жидкой ванне является то, что плавление и окисление сульфидов осуществляется в ванне шлака, которая движется в печи не в горизонтальном направлении, как в других известных процессах плавки, а в вертикальном – сверху вниз. В надфурменной зоне осуществляются плавление, растворение тугоплавких составляющих шихты, окисление сульфидов и укрупнение мелких сульфидных частиц. Ниже уровня фурм проходит расслоение штейна и шлака, которые выпускаются из печи раздельно через сифонное или шпуровое отверстия. Достоинствами процесса являются: большая удельная производительность; отсутствие жёстких требований к шихте по влажности и крупности; большое содержание серы в отходящих газах; высокая автоматизация процесса. Недостатками

данного способа плавки являются: нахождение кессонированных элементов в агрессивном расплаве; высокая температура отходящих газов; получение богатых по меди шлаков; большие капитальные и эксплуатационные затраты; невозможность длительного останова печи без выпуска массы.

С целью устранения или минимизации главного недостатка ПВ – нахождения кессонов в расплаве – в бывшем СССР и за рубежом были разработаны и внедрены процессы по плавке шихты в расплаве путём подачи кислородо-воздушной смеси через форму, вводимую в печь сверху, без погружения её в расплав. Данный процесс получил распространение под названиями «плавка в вертикальном конвертере» (СССР), «агрегат автогенной плавки» – ААП (СССР), Ausmelt (Австралия), Isasmelt (Австралия) и др.

Рассмотренная информация, с учётом особенностей, характерных для промплощадки в г. Карабаш, позволила специалистам остановиться для более детального анализа на технологиях и оборудовании автогенной шахтной плавки, печи Ванюкова и процессе TSL с погружным факелом.

При выборе технологии автогенного процесса для ЗАО «Карабашмедь» А. И. Вольхин и С. С. Бобов руководствовались и информацией, представленной в 2002 г. ЗАО «КМЭЗ» компанией Ausmelt Ltd. по процессу «Ausmelt» в рамках оценки возможности размещения комплекса из плавильной и конвертерной печей на промплощадке в г. Кыштым в новом анодном цехе печи Мерц.

С целью проверки рекламируемых технологических показателей процесса «Ausmelt» группа специалистов в составе: технического директора ЗАО «КМЭЗ» С. С. Бобова, начальника ПТС ЗАО «КМЭЗ» В. В. Шарабрина и зам. исполнительного директора ЗАО «Карабашмедь» по строительству нового производства и экологии Е. Г. Орлова посетила китайский завод Zhong Tiao Shan компании «Шанси Хуатун Коппер Лтд.» в г. Хуома. В ходе ознакомления с заводом, работающим по технологии «Ausmelt» с 1999 г., были обсуждены вопросы, связанные с выбором технологии, организацией работы производства, обслуживанием печи, достигаемым технологическим показателям и формированием эксплуатационных расходов. Со специалистами в Китае обсуждались вопросы по сопоставлению работы шахтных печей с печью «Ausmelt».

По результатам поездки в Китай специалистов под руководством С. С. Бобова<sup>18</sup> были сформулированы следующие выводы:

- все отмеченные в литературе преимущества процесса Ausmelt подтверждаются опытом эксплуатации завода;
- печь проста в эксплуатации и обслуживании;

18



#### **Бобов Сергей Степанович**

Родился 14.08.1953 г. в г. Тобольске Тюменской обл. В 1970 поступил в Уральский государственный университет им. А. М. Горького в г. Свердловске на химический факультет, по окончании которого в 1975 был направлен в институт «Унипромедь» в качестве старшего научного сотрудника.

С 1992 работал зам. начальника производственно-технического отдела Кыштымского медэлектролитного завода. В 1996 назначен главным технологом предприятия. С 1998 – технический директор – главный инженер ЗАО «КМЭЗ». В 2007 перешёл на работу в ООО «Торговый дом металлов».

Сергей Степанович проявил себя грамотным специалистом, принимал активное участие в реконструкции и модерни-

зации ЗАО «КМЭЗ» по вопросам аффинажа, производства медной фольги и выпуска медного купороса. Является одним из инициаторов коренной модернизации Карабашского медеплавильного комбината на основе процесса плавки «Ausmelt». Под его техническим руководством строится медеплавильный комплекс в г. Карабаш; система мокрой очистки металлургических газов на ЗАО «Карабашмедь»; установка утилизации серы Haldor Topsos на медеплавильном комбинате; строительство цеха по производству электролитической фольги на ЗАО «КМЭЗ»; идет строительство цеха электролиза по бесосновной технологии на ЗАО «КМЭЗ», внедрение роботизированных комплексов на обработке катодов, их упаковке и стопировка. Сергей Степанович имеет научную степень кандидата технических наук, он постоянно занимался научно-исследовательской работой, опубликовал более 30 научных работ в специализированных изданиях, является автором 14 патентов в области металлургии тяжёлых цветных металлов.

В 1992 Постановлением коллегии Министерства цветной металлургии СССР и Президиума ЦК профсоюза рабочих металлургической промышленности награждён знаком «Ударник одиннадцатой пятилетки». В 1997 награждён Почётной грамотой администрации Челябинской обл.

- система охлаждения печей на заводе ZTS, основанная на орошении водой металлических корпусов, скорее всего, неприемлема для российских условий;
- реконструкция действующего производства применительно к ЗАО «Карабашмедь» вызывает трудности, связанные с необходимостью увеличения высоты цеха как для печи Ausmelt, так и для варианта использования печи Ванюкова;
- для установки печи возможно рассмотрение варианта установки плавильной печи в главном пролёте в зоне перекидки кранов (её габариты 18 x 24 x 36,85 м);
- для сопоставления вариантов плавки с погружной фирмой целесообразно ознакомиться с работой стационарного агрегата ААП на комбинате «Североникель»;
- высказано сомнение в достаточности одной печи Ausmelt и одного кислородного блока при работе на бедных уральских концентратах для производства требуемого объёма черновой меди;
- отмечено, что производительность печи Ванюкова выше производительности печи Ausmelt практически в два раза;
- замечено, что печь Ausmelt работает на менее обогащённом дутье и использует топливо для поддержания теплового баланса;
- отражено, что печь Ванюкова имеет кессонированную шахту, систему охлаждения и более длительный срок эксплуатации;
- на печи Ванюкова при реконструкции ушли от котла-utiлизатора и перешли на систему кессонированных охладителей, что существенно упростило систему утилизации газа;
- отмечено, что печь Ванюкова имеет внутренний горн для разделения штейна в отличие от печи «Ausmelt», хотя декларируемое содержание меди в шлаках одинаково для обоих процессов;
- преимуществом печи Ausmelt является погружная форма, что обеспечивает более простой останов и пуск печи в период НМУ;
- для принятия окончательного решения по выбору плавильного агрегата необходимо выполнить сопоставительный анализ шахтной плавки, как существующего варианта, с процессами «Ausmelt», ААП и ПВ.

Сравнивая предварительно принятые и частично уже реализуемые решения по модернизации ЗАО «Карабашмедь» на базе шахтных печей и конверторов, специалисты КМЭЗ отмечали:

- три существующие шахтные печи имели суммарный объем отходящих газов около 210 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$ , плюс около 100 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  – от трех

конвертеров, что существенно превышало возможности строящейся газоочистки (170 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ );

- отходящие газы печей имеют низкое содержание сернистого газа – около 1 %, в то время как для автокаталитической работы сернокислотной установки Haldor Topsoe необходимо не менее 3,5 %;
- при работе на мелкодисперсном сырье шахтные печи имели большой пылевынос (около 12 %), требующий разработки технологии и монтажа оборудования для утилизации тяжёлых цветных металлов.

Плавка в жидкой ванне является более сложной технологией по сравнению с аппаратами TSL и ограничена в своих возможностях при возникновении длительных НМУ. Кроме того, прогноз сырьевой базы компании показывал, что в перерабатываемых концентратах будет сохраняться высокое содержание цинка и свинца, а наряду с необходимостью окатывания концентрата для плавки в шахтных печах, процесс АШП был отвергнут.

По мнению специалистов ЗАО «КМЭЗ» и ЗАО «Карабашмедь», единственным эффективным вариантом увеличения объёмов производства меди и драгметаллов из первичного сырья в г. Карабаш, при соблюдении требований природоохранного законодательства, являлся следующий:

- использование одной плавильной печи «Аусмелт» с электрической печью-отстойником для обезмеживания шлаков и кессонированным газоходом для охлаждения отходящих газов;
- использование одной существующей шахтной печи с полной герметизацией для переработки оборотных материалов и конвертерных шлаков;
- использование трех существующих конверторов с их частичной герметизацией.

В связи с этим для реконструкции предприятия была предложена технологическая схема с использованием агрегатов с погружным дутьём, что позволяло отказаться от предварительной сушки сырья, его подготовке по крупности, давало возможность размещения на ограниченных площадях, оборудование было просто в эксплуатации и обслуживании, вписывалось в освоенную технологическую схему плавка – конвертирование и позволяло получать концентрированные газы при умеренном обогащении дутья кислородом.

В связи с этим А. И. Вольхиным и И. А. Алтушкиным был сделан вывод, что увеличение производства черновой меди из первичного сырья по существующей в г. Карабаш технологии путём развития

технологии шахтной плавки – нерационально. Вместо печи Ванюкова был утверждён более совершенный вариант – процесс на базе печи «Аусмельт» производительностью 92 000 тонн штейна в год, содержащего 55 % меди с его переработкой на существующих конверторах.

В итоге при модернизации ЗАО «Карабашмедь» акционерами компаний было отдано предпочтение процессу «Аусмельт», который по удельной производительности не уступает лучшим технологиям, не требует окускования сырья, имеет невысокий пылевынос, не требует больших капиталовложений и энергетических затрат. Возможность автоматизации, простота конструкции и изученность технологического процесса позволяет провести освоение оборудования в наиболее короткие сроки. Одним из главных достоинств печи с погружным факелом является возможность длительных технологических простоев без повреждения при НМУ.

Выбор основного металлургического агрегата, качественно отличающегося от используемых шахтных печей, позволил по-новому рассмотреть вопросы по сопутствующим производствам и переделам, а именно: переработке шлаков автогенного процесса; утилизации металлургических газов; производству кислорода для автогенного процесса; конвертированию медных штейнов; шихтоподготовке.

На итоговом совещании 23 июня 2003 г. были обсуждены результаты командировок специалистов предприятий для ознакомления с работой действующих установок «Аусмельт» и была выработана общая позиция по направлениям пути развития ЗАО «Карабашмедь» и ЗАО «КМЭЗ». Итогом этого совещания явилось утверждение технического задания на проектирование установки плавильной печи «Аусмельт» взамен шахтных печей, разработанное техническим директором ОАО «Унипромедь» Г. А. Филюшкиным в содружестве с техническим директором «ЕПТК» В. Н. Колмачихиным, техническим директором ЗАО «КМЭЗ» С. С. Бобовым и главным инженером проекта Ю. И. Тарановым. Задание было утверждено представителем заказчика – директором ООО «Компания Уралмедьфонд» Ю. А. Филипповым и согласовано руководителем Челябинского округа по техническому и экологическому надзору В. Ю. Сквородкиным и начальником Главного Управления по делам ГО и ЧС по Челябинской области О. Б. Климовым [Приложение 3].

В период с 25 по 29 августа 2003 г. были проведены совместные совещания специалистов предприятий с представителем компании Ausmelt Ltd г-ном Гремом Джонсоном, где было положено начало

процессу строительства и внедрения печи и процесса «Ausmelt» в России в г. Карабаш.

Косвенным подтверждением правильности выбранного варианта являются аналитические работы специалистов, сравнивающих различные технологические схемы производственных процессов.

В 2019 г. на симпозиуме Copper 2019 авторами Ali Bunjaku, Hannu Johto и Lauri Pesonen был представлен сопоставительный анализ теоретического расчёта эксплуатационных затрат для различных схем переработки медного концентрата [74]. Анализ этого доклада с точки зрения технологии подробно выполнен в первой главе рукописи. Учитывая важность в оценке принятого решения по выбору технологии для ЗАО «Карабашмедь», ниже частично повторим этот анализ с добавлением его экономического блока.

За основу были взяты следующие процессы:

1. Технология взвешенной плавки Metso Outotec (ПВП) – технология взвешенной плавки Metso Outotec Kennecott конвертерная (ПВК – печь взвешенного конвертирования);
2. Технология взвешенной плавки Metso Outotec (ПВП) – технология переработки в конверторах Мане-Давида;
3. Технология плавки Metso Outotec Ausmelt TSL (ASF-плавильная печь Ausmelt) – технология переработки в конверторах Мане-Давида;
4. Технология плавки Metso Outotec Ausmelt TSL – технология Metso Outotec в конвертерной печи Ausmelt TSL;
5. Технология плавки «Мицубиси»;
6. Реактор с донной продувкой кислородом (SKS) – непрерывное конвертирование с донной продувкой;
7. Печь с боковым дутьём (SBF) – конвертеры верхней продувки.

Для всех семи способов выплавки была поставлена задача производства черновой меди из чистого медного концентрата с годовой производительностью переработки 1,2 млн т. Теоретический состав концентрата содержал, %: 27 *Cu*; 26 *Fe*; 31 *S*; 8,0 *SiO<sub>2</sub>*; 1,0 *CaO*; 1,0 *MgO*; 3,0 *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*. Дополнительным топливом для печей взвешенной плавки, взвешенного конвертирования и «Мицубиси» являлся природный газ. Энергетический уголь использовался в печах Ausmelt, реакторах с донной продувкой, печах с боковым дутьём. Результаты расчётов показаны в табл. 2.5 и 2.6.

Если по седьмому варианту, имеющему наиболее низкие трудозатраты, потребление воды и небольшой расход кислорода, можно согласиться с авторами (табл. 2.5), то о преимуществе процесса FSF–FCF можно спорить, так как он имеет только два плюса – сопоставимое извлечение меди, что является дискуссионным параметром, и низкий удельный расход огнеупоров.

С точки зрения передельных затрат авторы исследования отмечают минимальный уровень расходов для первого варианта (табл. 2.6). Данный вывод не совсем корректен, так как при сопоставимом расходе известкового флюса затраты на его закуп в 25 раз ниже в первом варианте, чем во втором. И если даже допустить, что это опечатка, то цена на этот флюс в разы ниже в первом варианте, чем во втором. Учитывая результаты расчётов по другим процессам (табл. 2.6), можно сделать предположение, что из всех зарубежных технологий был более предпочтительным третий вариант (плавка в печи «Ausmelt» – конвертирование в конверторах Мане-Давида), имеющий минимальные затраты по переделу – 53,07 \$/т концентрата.

## ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

Одно из самых старых медеперерабатывающих предприятий нашей страны было построено и скомпоновано в современном облике выдающимся английским организатором производства Джоном Лесли Урквартом (John Leslie Urquhart) в 1910 г. За годы эксплуатации завод прошёл путь от наиболее развитого и высокопроизводительного предприятия, являвшегося кузницей кадров в течение 60 лет и выпускавшего до половины всей российской меди, к самому экологически грязному и отсталому производству в стране к концу XX века.

В начале 2000-х г. инициативная группа в составе А. И. Вольхина и И. А. Алтушкина при поддержке губернатора Челябинской области П. И. Сумина сумела возродить остановленное в 1996 г. предприятие и организовать его реконструкцию с модернизацией всего металлургического комплекса.

После выполнения большой работы инженерами ЗАО «Карашмедь» и ЗАО «КМЭЗ» по выбору основного металлургического агрегата предпочтение было отдано в пользу процесса Ausmelt, использующего форму TSL. Этому решению способствовали и лучшие коммерческие условия, формы оплаты, сроки поставки основного и вспомогательного оборудования.

## ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧИ «АУСМЕЛТ»

### Природные условия территории размещения комплекса

**Климатические факторы.** Высокая расчленённость рельефа.

С юга на север абсолютные отметки увеличиваются от 310 м (Бого-  
родский пруд) до 330 м (Карабашский пруд) и 375,6 м (оз. Серебры).  
Увалы, окаймляющие город с запада, имеют отметку 410–470 м.  
Наивысшая точка Золотой горы, возвышающейся над городом с во-  
стока, достигает отметки 611,9 м. Город Карабаш и ЗАО «Карабаш-  
медь» представлены на обзорной карте на рисунке 3.1.



Рис. 3.1. Размещение г. Карабаш и ЗАО «Карабашмедь»

Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца 23,5 °C. Средняя температура наружного воздуха холодного месяца –16,2 °C. Скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет 5 %, 6 м/с. Среднегодовая роза ветров, %: С-10; СВ-4; В-6; ЮВ-3; Ю-18; ЮЗ-22; З-15; СЗ-22; штиль-30.

**Земельный участок** под производственную базу площадью 909 271,455 м<sup>2</sup> предоставлен в долгосрочное пользование (49 лет) на условиях аренды постановлением Главы администрации города Карабаш от 23.10.2000 № 532, ближайшие жилые кварталы находятся на расстоянии 100 м западнее промплощадки.

**Почвенные факторы.** Город Карабаш расположен в горнолесной зоне, что определяет тип и особенности почв: бурые, горнолесные, дресвяные и оподзоленные суглинки и супесчаные почвы, темно-серые подзолистые чернозёмы, малопригодные для пахоты. Кислая реакция, низкое содержание гумуса, невысокая ёмкость поглощения определяют невысокий иммунитет почв, т. е. их низкую способность противостоять техногенным нагрузкам. Многолетние выбросы в атмосферу и интенсивные рубки леса на прилегающих к городу землях в период активной золотодобычи с XVIII по XX вв. повлекли за собой развитие эрозионных процессов, в результате которых почва на окрестных горах почти полностью уничтожена, особенно на Золотой горе. Постоянное техногенное воздействие практически приостановило естественное возобновление растительности; почвы лесных массивов подвергнуты химической эрозии.

**Геологические и инженерно-геологические факторы.** В геологическом строении района принимают участие допалеозойские и палеозойские осадки и эфузивные покровы, прорванные инструзиями габбро-периодотито-пироксеновой и гранитной магмы. Наиболее древними осадочно-метаморфическими породами является комплекс пород, представленный кварцитами, кристаллическими сланцами, гнейсами, слюдисто-кварцитовыми сланцами, эпидото-хлориторого-вообманковыми сланцами и амфиболитами. Зеленокаменная толща слагается эфузивно-осадочным метаморфическим комплексом пород. Эта толща представлена порфиритами и их туфами, известняками, филлитами, зелёными сланцами, кремнистыми сланцами, хлоритовыми и кварцево-серicitовыми сланцами, сверху она перекрыта болотными отложениями и делювиальным шлейфом.

В районе развиты интрузивные породы, представленные тремя комплексами: ультраосновным и основным, щелочным и кислым. Все породы смяты и рассланцованны, распространены в средней части района и слагают антиклинальные поднятия.

Проявление магматической деятельности выражено и в образовании многочисленных жил. Коренные породы во многих случаях

перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями. Рыхлые отложения разделяются по генезису на отложения речных долин, дельтовидные шлейфы, отложения водоразделов и озерно-болотные отложения.

В районе развита изоклинальная складчатость. Складки часто опрокинуты на запад и сильно сжаты, усложнены мелкой складчатостью и разрывами. Синклинали разделены антиклиналями, в ядра которых интрутировали ультраосновные породы. Оси складок имеют меридиональное простиранье и погружение на юг. Однообразное крутое падение пород на восток говорит о изоклинальной опрокинутой на запад складчатости. К ядрам более мелких антиклиналей приурочены серпентиниты. В пределах зеленокаменной полосы имеет большое развитие трещинная тектоника и жильные образования с преобладанием северо-восточного простиранья. Массивы серпентинитов также разбиты трещинами. Образование Соймоновской долины очевидно было обусловлено тектоникой, а в последующем своём развитии она обязана процессам выветривания слагающих её пород зеленокаменной толщи. Глубина промерзания почвы 1,5–2 м без снежного покрова и 0,5–1 м при глубоком снежном покрове.

Литологический разрез промплощадки следующий: навал пиритных хвостов мощностью от 0,2 до 3,6 м (распространён в восточной части площадки); суглинок мощностью от 0 до 1,1 м (в юго-восточном углу площадки); дресва с разрушенным щебнем сланцев мощностью до 3 м; скальный грунт, представленный хлорито-серицитовыми сланцами, в верхней части сильно выветрелыми, залегает на глубине до 5 м, а местами выходит на поверхность, образуя обнажения. Расчётное сопротивление для скального грунта 4–6 кг/см<sup>2</sup>. Сейсмологическими наблюдениями последних лет получены данные, подтверждающие происходящие современные тектонические процессы и сейсмическую активность района. Вся территория Карабаша попадает в зону современных поднятий с вертикальной амплитудой 200–250 мм в год.

**Гидрогеологические условия** Карабаша формировались под сильным техногенным воздействием. Подземные воды в промзоне и черте города отличаются повышенной минерализацией, высоким содержанием сульфатов, аномальным содержанием рудных элементов, таких как железо, медь, цинк, свинец. На площадке выделяется три водоносных горизонта. Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к рыхлой части разреза, водовмещающими являются пески, супеси, дресва и щебень эфузивных пород. Подземные воды

безнапорные, уровень фиксируется вблизи поверхности на глубинах 1,0–1,5 м. Вода по составу хлоридно-натриевая, сульфатно-хлоридная, натриево-кальциевая с минерализацией 0,3–0,6 г/дм<sup>3</sup>, общей жёсткостью 8–16 мг-экв/дм<sup>3</sup>, содержание сульфатов 64–470 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридов 40–300 мг/дм<sup>3</sup>. Такой состав подземных вод верхнего водоносного горизонта обусловлен влиянием нижележащих водоносных горизонтов и прежде всего рудничных вод, отличающихся повышенным содержанием сульфатов.

Второй водоносный горизонт приурочен к сильно трещиноватым и выветренным коренным породам. Водовмещающими являются кремнистые сланцы, мраморизованные известняки и эфузивы силура и девона. Водообильность пород неоднородна, характеризуется дебитами скважин 0,5–1,5 до 5–7 дм<sup>3</sup>/с. По составу вода хлоридно-гидрокарбонатная, натриевая, с сухим остатком 0,4–0,8 г/дм<sup>3</sup>, общей жёсткостью до 15–22 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Воды горизонта используются ограниченно посредством индивидуальных скважин глубиной 25–40 м.

Третий водоносный горизонт приурочен к рудовмещающей толще пород, главным образом кремнистых сланцев. Непосредственно рудоносные породы – кварцево-серicitовые и кварцево-хлорито-серicitовые сланцы, представленные довольно плотными, практически водонепроницаемыми разностями. Мощность водоносного горизонта весьма значительна. Движение подземных вод в этой толще происходит по трещинным зонам. Обводненность обусловлена в значительной мере проникновением поверхностных вод через трещины и провалы в зоне шахтной подработки, а также перетеканием из второго водоносного горизонта. Активная подпитка подземных вод поверхностными прослеживается во время ливневых дождей.

Непосредственно к промплощадке примыкает Карабашский пруд на реке Серебрянка, построенный в 1907 г. для обеспечения оборотного водоснабжения Карабашского медеплавильного завода. Минерализация воды в пруду средняя – 325 мг/л, кислородный режим удовлетворительный: содержание растворенного кислорода 8,9 мг/л, насыщение воды кислородом – 81 %. Основной вклад в загрязнение водёма вносят ионы тяжёлых металлов. Вода Карабашского пруда классифицируется, как «чрезвычайно грязная» и относится к VII классу. Фоновые загрязнения пруда составляют: нефтепродукты – 0,15 мг/л; свинец – 0,05 мг/л; взвешенные вещества – 10,5 мг/л; мышьяк – 0,015 мг/л; сульфаты – 136 мг/л; хлориды – 21,1 мг/л; медь –

0,06 мг/л; железо общее – 0,39 мг/л; цинк – 2,4 мг/л. Основные характеристики Карабашского пруда: площадь водоосбора – 10 км<sup>2</sup>; нормальный подпорный уровень (НПУ) – 328,7 мБС; объём при НПУ – 1,02 млн м<sup>3</sup>; полезный объём – 0,8 млн м<sup>3</sup>; площадь зеркала водоёма при НПУ – 0,3 км<sup>2</sup>. Среднемноголетний приток воды 1,9 млн м<sup>3</sup> в год, средняя глубина – 2,4 м.

**Экологическая ситуация.** ЗАО «Карабашмедь» находится на отметке 375–380 м, высота самой большой трубы 127 м, т. е. отметка дымового шлейфа равна 500–510 м, что на 100 м ниже уровня гор восточного обрамления. Таким образом, восточная грязда является орографическим барьером, способствующим созданию турбулентных разнонаправленных вихрей, изменяющих направление господствующих ветров.

Особенности рельефа создают условия замкнутой долины, что способствует появлению температурных инверсий конвективных потоков воздуха. Всё это в сочетании с прогревом долины, отличающимся от прогрева прилегающей к городу местности, создаёт очень сложную картину распределения загрязняющих воздух веществ и определяет их перенос на относительно небольшие расстояния, а в безветренную погоду – оседание на городской территории. Санитарно-защитная зона предприятия 1000 м.

Согласно справке Челябинского областного Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, по состоянию на 2003 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха в районе размещения предприятия составлял: по диоксиду серы – 0,309 мг/м<sup>3</sup> при ПДК<sub>сс</sub> – 0,050 мг/м<sup>3</sup>; по взвешенным веществам – 0,350 мг/м<sup>3</sup> при ПДК<sub>сс</sub> – 0,100 мг/м<sup>3</sup>. Превышение предельно допустимых концентраций в районах жилой застройки и на границе СЗЗ наблюдалось в основном по двум загрязняющим веществам: диоксиду серы, свинцу и его соединениям и пяти группам суммации, содержащим в своём составе перечисленные соединения. Максимальные приземные концентрации имели следующие значения: на границе СЗЗ – свинец и его соединения 1,97 ПДК, диоксид серы 14,41 ПДК; в жилом массиве в пределах границы СЗЗ – свинец и его соединения 1,96 ПДК, диоксид серы 14,66 ПДК; в жилом массиве за пределами границы ССЗ – свинец и его соединения 1,96 ПДК, диоксид серы 12,78 ПДК.

Станция примыкания – ст. Пирит, Южно-Уральская железная дорога. Станция тупиковая, связана со ст. Кыштым железнодорожным путём (одна колея), тяга тепловозная. Автодороги: Миасс–Карабаш–

Кыштым–Касли с выходом на автомобильную трассу Екатеринбург–Челябинск; Карабаш–Аргаяш–Челябинск. Дорожное покрытие – асфальт.

**Обеспеченность ресурсами<sup>20</sup>.** Диаметр магистрального газопровода 219 мм, пропускная способность 100,0 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , расстояние до магистрального газопровода 18 км. Расстояние до ГРС 3,5 км, её пропускная способность по газу 10,0 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . На завод приходит газопровод диаметром 426 мм, разводка по промплощадке имеет диаметр труб 530 и 219 мм. В соответствии с утверждённым топливным режимом от 06.04.2005 г. разрешённый годовой объем потребления природного газа составляет 57 781 тыс.  $\text{нм}^3/\text{год}$ .

ЗАО «Карабашмедь» находится на севере Челябинской области, поэтому электроснабжение предприятия обеспечивается от Северного энергоузла, включающего в себя сеть 110–220 кВ Шагол – Мраморная – Кунашак – Касли – Уфалей – Тургояк – Таганай – Кыштым – Карабаш – Пирит. Электроснабжение действующих потребителей завода (установленная мощность 24–25 МВт) осуществляется по ВЛ 35 кВ от подстанции 110/35 кВ Пирит, на которой установлены два трансформатора по 16 МВА. Предусмотрено дополнительное питание от подстанции № 25. Все существующие потребители завода классифицированы по второй категории надёжности электроснабжения. Существовавшая схема электроснабжения предприятия не позволяла обеспечить требуемые объёмы энергопотребления, поэтому в рамках реконструкции предприятия была предусмотрена реконструкция сетей и строительство новой подстанции «Южная».

Производственное водоснабжение завода осуществляется от Богородского пруда, зарегулированного от р. Серебрянка и р. Сак-Элга. Водосбор пруда расположен в пределах Уральского и Ильменского хребтов, его площадь равна 90,73  $\text{км}^2$ . Пруд вытянутый, мелководный, наибольшая глубина 6 м, средняя глубина 2,1 м, средняя длина 1,3 км, средняя ширина 0,8 км, объем воды в озере 3 млн  $\text{м}^3$ . Водоём имеет искусственный подпор, создаваемый земляной плотиной длиной 373 м, построенной у места выхода р. Сак-Элга. Для забора воды на Богородском пруду сооружена типовая заглублённая насосная станция с тремя насосами типа 6НДВ (два рабочих и один резервный производительностью по 250  $\text{м}^3/\text{ч}$  и напором 101 м).

---

<sup>20</sup> Информация на начало проектирования комплекса «Аусмельт».

### **3.1. Этапы проектирования и строительства**

В рамках реконструкции и модернизации всего металлургического комплекса Карабашского медеплавильного комбината, параллельно с проектированием комплекса «Аусмельт», выполнялись работы по стабилизации работы завода и его увязки с новым оборудованием. Эти мероприятия позволяли обеспечить возрождение комбината, воссоздать рабочие места и выполнить условия для финансирования объектов модернизации с привлечением инвестиционных и кредитных ресурсов.

В течение 1998–1999 гг. была проведена реконструкция производственных мощностей: полностью восстановлены и построены новые металлургические агрегаты – три шахтные печи и три конвертора. Были капитально отремонтированы пылеулавливающие установки и газоходные тракты, дымовые трубы, проведён значительный объём работ по брикетированию мелкодисперсных концентратов, построены эстакады для приёма сырья. Выпуск черновой меди вырос с 7 тыс. т в 1998 г. до 45 тыс. т в 2003 г. Предприятие вышло на уровень объёмов производства, соответствующий середине 80-х годов, с весьма существенной разницей: эти объёмы были получены на меньшем количестве металлургических агрегатов и при меньшей численности, существенно меньшим объёмом выбросов. Затраты на восстановление производства составили 119,0 млн рублей.

В 2000 г. был начат следующий этап реконструкции предприятия – строительство комплекса по утилизации серы отходящих газов медеплавильного производства, задачей которого являлось полное прекращение выбросов вредных загрязняющих веществ в атмосферу и их утилизация в виде товарных продуктов.

В 2001 г. были введены первые объекты: кислородная установка короткоцикловой адсорбции фирмы Linde AG (Германия) по производству 5000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , не имеющая аналогов в России, и насосная станция на озере Богородском с системами водоснабжения, общей стоимостью около 246,6 млн рублей. Это позволило увеличить объёмы производства без увеличения количества выбросов и, кроме того, отказаться от использования питьевой воды на технические цели.

18 апреля 2003 г. было введено в эксплуатацию промывное отделение компании «Болиден», предназначенное для тонкой очистки 170 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  отходящих газов. Установка обеспечивала 97–99,9 %

очистки газов шахтной плавки от пыли, содержащей медь, цинк, свинец, мышьяк. Получаемые в результате очистки кеки использовались в качестве медесодержащего сырья. Условно чистый сток направлялся в заводскую оборотную систему. Для подачи газов на установку были реконструированы газоходы. Затраты на строительство этого комплекса составили 407,0 млн рублей.

Для уменьшения объёма конвертерных газов и устранения ненеорганизованных выбросов была выполнена установка газоплотного напыльника испарительного охлаждения для конвертора № 1. Выполнена реконструкции газоходных систем конверторов и шахтных печей.

В 2003–2004 гг. была введена в эксплуатацию установка для обессеривания отходящих газов медеплавильного производства с получением серной кислоты по технологии WSA фирмы Haldor Topsoe (Дания), также не имеющая аналогов в России. Кроме природоохранного эффекта это дало большой социальный и технико-экономический эффект. Начат выпуск нового вида продукции для предприятия – серной кислоты, увеличилось извлечение металлов в готовую продукцию. В 2003 году был введен в эксплуатацию рукавный фильтр ФРИК 5200 по проекту ОАО «Уралцветметгазоочистка». Это позволило снизить выбросы твёрдых веществ в атмосферу города, впервые был достигнут норматив ПДВ по свинцу. В этом же году были начаты работы по строительству насосной второго контура, здания главного корпуса плавильной печи «Аусмелт» и нулевой цикл самой печи, котла-utiлизатора, утилизационной котельной. Были размещены заказы на оборудование и материалы.

На разворачивающейся стройке было задействовано 15 подрядных организаций. Численность работающих на предприятии возросла с 670 человек в 1998 г. до 1500 в 2003 г. В пять раз увеличилась заработка плата основных рабочих. Выработка товарной продукции на одного работающего выросла за пять лет в 5,4 раза.

Предприятие возобновило своё участие в реализации городских мероприятий. Было закончено строительство 80-квартирного дома для переселения жителей из санитарно-защитной зоны. Восстановлен «Дом детства», выполнен капит ремонт городской больницы. Организован полноценное питание в ДДУ и школах города. Построен санаторий-профилакторий и городской спортивный зал. На организацию оздоровления работающих и населения только в 2003 г. было израсходовано 3,32 млн рублей.

Техническим руководителем всех работ на промплощадке ЗАО «Карабашмедь» являлся Е. Г. Орлов<sup>21</sup>.

21



**Орлов Евгений Германович**

Родился 15.11.1946 в г. Петропавловске Камчатской обл. в семье военнослужащего. В 1965 окончил Серовский металлургический техникум по специальности – производство стали. После техникума работал на Серовском металлургическом заводе (СМЗ). С 1969 по 1971 служил в Советской армии. В 1976 окончил Уральский политехнический институт по специальности инженер-металлург. После окончания института работал диспетчером смены на СМЗ. С 1979 работает на Карабашском медеплавильном комбинате (КМК) на должностях: загрузчик шихты; сменный мастер шахтных печей; 1983 – главный технолог производственно-технического отдела; 1985–1987 – секретарь партийного комитета комбината; 1987–1990 – заместитель главного инженера по техническому перевооружению. Под его непосредственным руководством ведётся перепрофилирование комбината на переработку ломов и отходов и начаты строительно-монтажные работы. 1990–1995 – главный инженер КМК, 1995–1998 – заместитель генерального директора по экономике и финансам. Принимал активное участие в создании ЗАО «Карабашмедь» (КМ). С 1998 по 1999 работал главным инженером КМ. 1999–2002 – главный металлург предприятия и руководитель строительства химико-металлургического комплекса «Аусмельт». 2002–2005 – заместитель исполнительного директора по строительству и экологии; 2005–2015 – начальник отдела строительства; 2015–2017 – начальник технического отдела. С 2018 и по настоящее время – советник генерального директора КМ. За время работы Евгений Германович зарекомендовал себя опытным и грамотным руководителем, правильно и рационально использующим свои знания и организаторские способности при проведении реконструкции предприятия. Свой профессиональный опыт передаёт молодому поколению, являясь наставником студентов и молодых специалистов. Е. Г. Орлов участвовал в выборе технологий и основного оборудования для КМ. При его непосредственном участии в 1998–2000 восстановлено металлургическое производство. Введён в эксплуатацию единственный в РФ медеплавильный комплекс печи «Аусмельт», два блока кислородной станции фирмы «Линде», газоочистка «Болиден», сернокислотное производство «Хальдор Топсе», рукавный фильтр ФРИК-5200 и многие другие объекты предприятия. За добросовестный труд и достигнутые успехи в труде награждён: знаком Министерства цветной металлургии и ЦК профсоюза «Победитель социалистического соревнования 1978 г.»; знаками ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС «Ударник XI пятилетки»; «Победитель во Всесоюзном конкурсе с присуждением денежной премии»; почётной грамотой и знаком «Лауреат премии ЦПВНТОЦветмет»; медалью «Ветеран труда»; знаком «Почётный металлург». За добросовестный труд Евгений Германович неоднократно был поощрён грамотами, благодарностями и денежными премиями от КМ, АО «Русская медная компания» и администрации г. Карабаша. За многолетний добросовестный труд, высокий профессионализм и наставническую деятельность был награждён знаком «Почётный наставник молодёжи» и медалью «Гордость Урала».

### **3.1.1. Первоначальный проект «Аусмельт», 2002 г.**

На основании обращения акционеров ЗАО «КМЭЗ» компания Ausmelt в феврале 2002 г. представила базовый проект завода производительностью 50 тыс. т черновой меди в год при максимальной переработке 371 тыс. т концентрата с его размещением на территории г. Кыштым на площадях анодного цеха плавки Мерц.

В основу предложения были положены схемы работающего плавильного завода Zhong Tiao Shan (Китай) и строящегося Birla Copper Dahej (Индия). Весь концентрат должен был плавиться в печи «Аусмельт» с получением богатого штейна, далее конвертироваться в аналогичной печи «Аусмельт» с выпуском черновой меди, которая доводилась по качеству до анодной меди в печи Мерц.

В качестве концентрата использовалось сырьё усреднённого состава с содержанием меди 17 % (табл. 3.1.1.1). В состав комплекса входил отстойник для расплава из плавильной печи и миксер для черновой меди.

Потребление кислорода содержания 95 % оценивалось в 400 т/сутки, время работы комплекса принималось равным 310 дней в год. Весь металлургический газ предлагалось нейтрализовать в скрубберах известковым раствором с целью получения гипса для строительных нужд.

На операции плавки закладывались следующие показатели:

- обогащение дутья кислородом до 40 %;
- до 50 % пыли из котла и электрофильтров возвращались в печь на плавку в следующем цикле, остальная пыль выводилась из схемы для переработки на цинковом заводе;
- было предположено, что до 50 % углерода будет сгорать в ванне печи, остальное количество требует дожигания в подсводовом пространстве печи с использованием специальной горелки в защитном кожухе;
- содержание меди в штейне – до 60 %;
- расплав штейна и шлака разделялся в отстойной печи (стационарном миксере или эл. печи);
- сжатый воздух подавался в форму при давлении 0,25 МПа, давление кислорода – 0,15 МПа;
- комплекс оснащался четырьмя формами.

Разделение расплава на фазы осуществлялось в отстойной печи, обогреваемой природным газом, с целью получения отвального

шлака (0,6 % **Cu**) с использованием кокса в качестве восстановителя. Шлак из печи гранулировался и отправлялся потребителям. Штейн порционно грузился в конвертер-печь «Аусмелт» в расплавленном виде по жёлобу или в твёрдом виде после его грануляции. Пыль, содержащая более 67 % цинка, отгружалась потребителям.

На стадии конвертирования дутьё обогащалось кислородом до 25 %. Пыль, уловленная в газоочистке, возвращалась на плавку. Гранулированный конвертерный шлак возвращался в плавильную печь «Аусмелт», а черновая медь периодически выпускалась и заливалась в миксер.

Конвертер производительностью до 90 тыс. т/г должен был работать в две стадии: на первой — содержание меди доводилось до 70–75 %, образующийся шлак от добавки флюса сливался на грануляцию; на второй стадии осуществлялась продувка с получением черновой меди, где с целью предотвращения образования магнетита и передува остатков шлака добавлялся кусковый уголь. В конвертерной печи предусматривалась возможность плавки гранулированного штейна плавильной печи. Для поднятия и опускания фурм применялась лебёдка с электроприводом. С линиями подачи воздуха, кислорода и природного газа фурма соединялась через гибкие шланги.

В миксере ёмкостью 300 т медь накапливалась с целью последующей переработки в анодной печи, в которую расплав черновой меди должен был поступать по футерованному и обогреваемому жёлобу или сливаться в ковши для передачи в анодную печь (рис. 3.1.1.1).

По представленной технологической схеме ожидалось извлечение меди в черновую 96 %; золота 99 %, серебра 98 %. Степень утилизации серы должна быть не менее 98 %. По желанию заказчика компания предусматривала возможность замены печи для конвертирования на типовой горизонтальный конвертор.

Плавильная и конвертерная печи должны были иметь внутренний диаметр 4 м и высоту до 10 м. Нижний ряд печи кессонировался. В крышке печи предусматривалось пять отверстий: для загрузки, диаметром 500 мм, для фурмы, для запасной горелки, для термопары и для отбора проб газа. Горелки позволяли нагревать печь до 1300 °С в послеремонтный период или поддерживать температуру в моменты простоя или замены фурм. Топливные горелки работали периодически и после окончания работы вынимались из печи.

Для размещения всего металлургического оборудования требовалось помещение габаритами 35 м x 45 м x 60 м (длина x ширина x высота).

Отходящие газы должны были охлаждаться в котлах-утилизаторах с попутной выработкой пара в плавильной печи 30,6 т/ч, в конвертерной на первом этапе – 23,8 т/ч и в период второго этапа конвертирования – 20,4 т/ч. Состав отходящих металлургических газов представлен в таблице 3.1.1.2.

Табл. 3.1.1.2. Состав отходящих металлургических газов по варианту 2002 г.

	Ед. изм	Плавка	Разделение фаз	Конвертирование I стадия	Конвертирование II стадия	Миксер
К-во	тыс. нм <sup>3</sup> /ч	44,0	20,0	31,0	26,5	10,0
<i>SO<sub>2</sub></i>	%	22,13	0,1	8,98	12,15	
<i>CO<sub>2</sub></i>	%	5,85	9,7	6,64	6,12	13,26
<i>O<sub>2</sub></i>	%	1,23	7,2	0,77	2,10	2,85
<i>H<sub>2</sub>O</i>	%	13,52	7,0	8,55	6,03	10,49
<i>N<sub>2</sub></i>	%	57,27	76,0	75,07	73,61	73,40
Т-ра	°C	1250	1400	1350	1350	1300

Для утилизации серы и по просьбе заказчика Ausmelt предложила использовать системы очистки FGD DynaWave Engineering компании Monsanto Enviro Chemi. В основе системы лежала конструкция типа трубы Вентури, через которую проходил высокоскоростной поток смеси газа и жидкости, предназначенный для создания зоны интенсивного перемешивания. Её первостепенными функциями являлись: охлаждение газа, поглощение диоксида серы и удаление пыли. Основываясь на оценке общего количества выводимой серы из паров отходящих газов, было возможно производство около 672 тыс. т/год гипса. Предполагалось, что будет получена эффективность улавливания *SO<sub>2</sub>* более 99 %. Учитывая возможные трудности со сбытом гипса, компания рекомендовала заказчику рассмотреть альтернативные варианты утилизации серы из газа.

Предварительно проект металлургического комплекса оценивался в \$90 млн, в том числе: 2 печи по \$2 млн; печь осаждения – \$1,7 млн; миксер – \$0,9 млн; плавильный корпус – \$8,5 млн; шихтарики – \$3,9 млн; оборудование для печей \$17,1 млн; газоочистка – \$23,3 млн; СМР – \$2,0 млн; грануляция \$1,5 млн; проектирование и шеф-монтаж – \$19,3 млн и прочие \$7,8 млн.

Проанализировав все достоинства и недостатки размещения комплекса в г. Кыштым, с учётом необходимости решения проблем по утилизации газов, обеднению шлаков и размещению отвалов, в 2003 г. акционеры компании ЗАО «Карабашмедь» и ЗАО «КМЭЗ» приняли решение по размещению комплекса «Ausmelt» на промплощадке в г. Карабаш с учётом осуществлённых и выполняемых мероприятий по реконструкции медеплавильного комплекса. В мае 2003 г., по предложению заказчика, компания Ausmelt обследовала новую промплощадку, уточнила своё предложение и сделала заключение по следующим вопросам:

- часть новой производственной инфраструктуры, а именно установку мокрой очистки газов «Болиден» и сернокислотный цех, работающий по технологии мокрого катализа WSA, можно увязать с проектируемыми печами «Ausmelt»;
- печь-отстойник, работающая на природном газе, заменяется на трёхэлектродную электропечь;
- газы плавильной печи, содержащие до 15 %  $SO_2$ , должны в обязательном порядке разбавляться конвертерными газами или атмосферным воздухом, так как система мокрого катализа работает на газе, не превышающем 6,5 %  $SO_2$ .

При работе электропечи в качестве отстойника для разделения штейна и шлака предполагалось использовать следующие решения: заливка штейна и шлака по жёлобу из печи Ausmelt осуществляется через входное загрузочное отверстие в верхней части электропечи; заливка конвертерного шлака осуществляется через специальный жёлоб, идущий от конвертера; загрузка восстановительного агента и флюса реализуется через бункера со смесью восстановительного агента и флюса.

Производительность печи по переработке расплава составляла: печной шлак – 43,8 т/ч; штейн – 13,2 т/ч; конвертерный шлак – 4 т/ч. Электрическая мощность печи – 6,3 МВА. Разработчиками проекта была предложена прямоугольная печь (14,0 x 6,4 x 3,0 м) с тремя электродами в одну линию. Поступление расплава в печь и выпуск обеднённого шлака располагались с противоположных концов печи. За счёт уровня расплава 1600–1800 мм шлак в печи должен был находиться в течение 6–8 часов. Обеднённый шлак, содержащий до 0,65 % меди, должен был гранулироваться и отгружаться в отвал. Штейн через сифон сливался в ковш для последующей переработки в конверторах.

Кессонированная ванна печи выкладывалась хромомагнезитовым огнеупором, свод – набирался из кессонированных элементов.

Самоспекающиеся электроды диаметром 1000 мм удерживались в ванне печи специальными держателями, позволяющими регулировать глубину их погружения в расплав. Расход электродной массы планировался на уровне 430 т/год. Для разрушения магнетита в расплаве применялся уголь с теплотворной способностью 23,4 МДж/кг. Средний расход угля для шлака типового состава предполагался на уровне 13,44 т/сут.

Отходящие газы из электропечи в количестве 9,06 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$  с температурой 650 °C и содержащие до 0,6 %  $\text{SO}_2$ , при запылённости 13,25 г/ $\text{м}^3$ , направлялись через водоохлаждаемый газоход в общую систему газоочистки печи «Ausmelt».

После анализа представленных проектных решений и с учётом дефицита установленной мощности на промплощадке в октябре 2003 г. заказчиком было принято решение о замене электропечи на миксерную печь-отстойник и отказе от конвертерной печи «Ausmelt». Последнее решение было вызвано необходимостью переработки большого количества богатых вторичных ломов в конверторах, что было трудно реализуемо в печи типа «Ausmelt».

Окончательная схема металлургического комплекса стала выглядеть следующим образом: плавка в печи «Ausmelt» – миксер для разделения штейна и шлака – конвертирование штейна в конверторах Мане-Давида – обеднение всех шлаков на обогатительной фабрике. Принятое решение потребовало увеличить мощность печи на 60 тыс. т для переработки концентрата обогатительной фабрики с доведением проектной производительности до 400 тыс./год по медьюсодержащему сырью.

Для обеспечения работы плавильного комплекса предполагалось использовать следующие ресурсы: производственная вода – из существующей оборотной системы производственного водоснабжения на Богородском пруде – 40 728  $\text{м}^3/\text{сут}$ ; питьевая вода – из системы питьевого водоснабжения г. Карабаша – 77  $\text{м}^3/\text{сут}$ ; общая потребляемая мощность установки печи фирмы Ausmelt – 4,1 МВт, а общая установленная мощность ЗАО «Карабашмедь» – 24,3 МВт. Проектом предусматривалась замена трансформаторов по 1000 кВА на трансформаторы 35/6 кВ мощностью по 16 000 кВА.

Расход кислорода на печь Ausmelt закладывался на уровне 9600 нм<sup>3</sup>/ч, что должно было обеспечиваться путём расширения существовавшей кислородной станции. Потребителями сжатого воздуха от существовавшей воздуходувной станции являлись: форма печи – 46 400 нм<sup>3</sup>/ч, Р – 140 кПа; резервная горелка – 14 500 нм<sup>3</sup>/ч, Р – 50 кПа; печь-миксер – 5600 нм<sup>3</sup>/ч, Р – 50 кПа; компрессорный воздух на нужды КИПиА – 200 нм<sup>3</sup>/ч, Р – 600 кПа. Суммарный расход природного газа на плавильное отделение составлял 2780 нм<sup>3</sup>/ч.

Время работы печи закладывалось 7500 часов в год при проектном коэффициенте использования оборудования 86 %. В 14 % простоев входили: еженедельное обслуживание оборудования; ремонт футеровки печи; внеплановые ремонты. Замена футеровки должна была осуществляться за 18 дней (2 дня остывание, 3 дня выбивка и удаление футеровки, 8 – новая футеровка и 5 дней на разогрев печи).

Изменение задания по производительности печи с учётом концентратата после обединения шлака потребовало уточнения её габаритных размеров, где главными критериями служили: объём зоны барботажа и скорость выхода газа из расплава. Новые размеры составили: внутренний диаметр печи 5 м; внутренняя высота цилиндрической части печи 10 м. При определении внутренней высоты руководствовались: максимальной глубиной расплава 1,5 м; высотой всплеска расплава и резервом для обеспечения свободного пространства под сводом. При указанных параметрах теплопотери печи составляли 22,6 ГДж/ч.

Футеровка пода печи охлаждалась снаружи за счёт естественной конвенции воздуха. Нижние стенки печи (нижний пояс) охлаждались кессонированными элементами. Вода распределялась на следующие основные участки: переходный участок аптеяка, свод, перемычки, охлаждающие панели, кессоны нижней части печи, переливные блоки, лёточные блоки, жёлоба.

Охлаждающая вода для переходного участка прежде всего нужна была для защиты его стальных конструкций. Вода для перемычек использовалась для защиты внутренних опорных перемычек футеровки. Их охлаждение было необходимо для защиты стальных перемычек, поддерживающих верхнюю кирпичную кладку печи. Охлаждающие панели использовались для защиты футеровки печи на высоком участке выплеска и износа цилиндра печи. Кессоны нижней части печи были нужны для защиты стальной конструкции на участке

под медными панелями. Панели для переливов применялись для защиты футеровки зоны перелива, которая изнашивается из-за постоянного потока расплавленного материала через перелив в сифоне. Вода потреблялась и для охлаждения водоохлаждаемого лёгкого блока для аварийного выпуска во время выхода продукта из печи. Жёлоб был необходим для непрерывного перетекания расплава в миксер или печь отстой и включал водоохлаждаемые медные секции для защиты футеровки от прогара.

В рамках изменённого технического задания компания Ausmelt выполнила новые расчёты производительности печи по медному концентрату с рассмотрением трёх вариантов его поставки:

- максимальный – 376,742 тыс. смт;
- основной – 323,158 тыс. смт;
- минимальный – 272,474 тыс. смт.

Производственная программа и баланс металлов для основного варианта реконструкции представлены в таблицах 3.1.1.3 и 3.1.1.4.

**Табл. 3.1.1.3. Производственная программа по основному варианту развития**

Переработано	Ед. изм	Год	Час
Медный концентрат	смт	323 158	43,088
Клинкер	смт	57 844	7,713
Золотые концентраты	смт	33 001	4,400
Оборотный шлак	смт	3062	0,408
Оборотный штейн	смт	1380	0,184
Оборотная пыль	смт	0	0
Кварц	смт	75 787	10,105
Известняк	смт	15 756	2,101
Вода для окатывания пыли	т	16 021	2,136
Природный газ	тыс. нм <sup>3</sup>	9918	1,322
Воздух на фурму	тыс. нм <sup>3</sup>	340 868	46,377
Кислород	тыс. нм <sup>3</sup>	72 000	9,600
Подсосы – воздух	тыс. нм <sup>3</sup>	21 182	2,824
<b>Получено</b>			
Штейн	т	91 999	12,267
Шлак	т	306 179	40,824
Печной газ (сухой)	тыс. нм <sup>3</sup>	408 428	54,457
Печной газ (влажный)	тыс. нм <sup>3</sup>	500 708	66,761
Пыль	смт	12 917	1,722

### 3.1.2. Вариант реконструкции ОАО «Унипромедь», 2004 г.

На базе технологических решений компании «Аусмельт» силами проектного института ОАО «Унипромедь» в содружестве с работниками КМ<sup>22</sup> в 2004 г. был разработан проект реконструкции предприятия с установкой печи «Аусмельт» в компоновке с шахтной печью для переработки оборотных материалов, конвертерных и печных шлаков, медных ломов. В соответствии с предложением 2004 г. предполагалась мощность предприятия по выпуску меди 90 тыс. т, выпуску серной кислоты 360–400 тыс. тонн, цинксодержащей пыли 5–7 тыс. тонн.

В качестве сырья закладывались 14–20 % по меди концентраты уральских заводов, перерабатывающих медно-цинковые колчеданные руды, в смеси с клинкером цинкового завода. Разработка ОАО «Унипромедь» основывалась на концепции развития КМ, предложенной инженером-металлургом В. Н. Колмачихиным в 2003 г.

Конструкция печи «Аусмельт» и принцип её работы полностью соответствовали описанной выше технологии. Отличия заключались в том, что расплав из печи поступал в миксер для разделения на штейн и шлак, который вывозился в шлаковозах V – 16 м<sup>3</sup> в прудки для охлаждения и последующего дробления. Размер одного прудка объёмом на 307 м<sup>3</sup> имел следующие размеры – 12 x 8 x 4 м. В аналогичные прудки вывозился и конвертерный шлак. Для обеспечения эффективного охлаждения прудки орошались оборотной водой. Количество прудков на рассматриваемую производственную программу закладывалось в количестве 12 шт. Оборотный шлак совместно с другими оборотными материалами в виде корок и выломок направлялся на плавку в шахтную печь совместно с вторичными медными ломами (рис. 3.1.2.1). Отвальный шлак из шахтной печи, содержащий не выше 0,4 % меди, гранулировался и отгружался потребителям для производства абразивных материалов. Штейн шахтной печи (вплоть до чёрной меди) с содержанием 25–75 % *Cu* передавался в конверторы для переработки совместно со штейном печи «Аусмельт» на черновую медь. Газ шахтной печи, содержащий не более 0,3 % диоксида серы, направлялся на пылеочистку и последующую нейтрализацию известковыми растворами с получением строительного гипса.

Как подвариант (рис. 3.1.2.2) рассматриваемой технологии было предложено перерабатывать шлак плавильной печи «Аусмельт»

<sup>22</sup> КМ – ЗАО «Карабашмедь».

на обогатительной фабрике, оставляя переработку конвертерного шлака в шахтной печи.

Данное предложение позволяло снизить затраты на твёрдое топливо для шахтной плавки, уменьшить габаритные размеры печи, что давало возможность улучшить её герметизацию и предотвратить низовые выбросы. Достоинством данного подварианта являлось использование восстановительной атмосферы шахтной печи для эффективного разрушения магнетита конвертерного шлака, что повышало общее извлечение меди по металлургическому переделу, гарантируя содержание меди в хвостах флотации не выше 0,4 % по меди, а в гранулированном шлаке шахтной печи не выше 0,3–0,4 % *Cu*. Высокая доля в шихте богатых ломов и низкое количество конвертерного шлака позволяли получать в шахтной печи чёрную медь, содержащую до 78–86 % меди.

В таблице 3.1.2.1 представлены технологические показатели по варианту АОА «Унипромедь» при переработке сырья в плавильной печи.

Табл. 3.1.2.1. Производственная программа по варианту «Унипромедь», 2004 г.

Сырьё	Ед. изм	Год	Час
Медный концентрат	смт	381 010	48,1
в нём медь	т	58 607	7,4
Клинкер	смт	42 872	5,4
в нём медь	т	1758	0,22
Золотые концентраты	смт	35 347	4,5
в них медь	т	219	0,03
Кварц	смт	73 200	9,2
Известняк	смт	13 568	1,7
<b>Всего меди в сырье</b>	<b>т</b>	<b>62 940</b>	<b>7,9</b>
Продукты плавки «Аусмельт»	Ед. изм	Год	Час
Штейн печи	т	122 050	15,4
в нём меди	%	47,56	47,56
меди в штейне	т	58 046	7,3
Шлак печи	т	304 698	38,47
в нём меди	%	1,5	1,5
Газ печи	тыс. нм <sup>3</sup>	498 960	63,0
в нём SO <sub>2</sub>	%	15,34	15,34

При условии переработки в шахтной печи только конвертерных шлаков по рассмотренному подварианту, ОАО «Унипромедь» была заложена дополнительная переработка в ней 40 тыс. тонн вторичных ломов с содержанием 65 % меди, 40 тыс. тонн богатых медных привозных шлаков с 21,3 % меди и 60 тыс. тонн собственного конвертерного шлака с 3 % меди.

Удельный проплав шихты в шахтной печи, содержащей до 54,6 % вторичного сырья в шихте, ожидался на уровне  $90 \text{ t}/(\text{m}^2 \cdot \text{сут})$  при расходе кокса 9 % от веса шихты. Расход воздуха закладывался на уровне  $1100 \text{ nm}^3/\text{t}$  шихты.

В соответствии с концепцией В. Н. Колмачихина<sup>23</sup>, обеднение печного шлака методом флотации имело существенные преимущества перед другими технологическими решениями. Флотационный способ обеднения допускает значительные колебания по химическому составу исходного шлака, обеспечивая стабильно низкое содержание металлов в отвальном продукте.

---

23



**Колмачихин Валерий Николаевич  
(06.05.1959 – 16.06.2013)**

Родился в 1959 в г. Свердловске.

После окончания школы (8 классов) поступил в горно-металлургический техникум им. Ползунова. Специальность – металлургия. Закончил техникум в 1978 г. с отличием и поступил в УПИ им. С. М. Кирова на металлургический факультет, кафедру металлургии тяжёлых цветных металлов. Его научным руководителем был С. С. Набойченко, под руководством которого В. Н. занимался автоклавными технологиями. В 1981 во время учебы на практике работал на комбинате «Южуралникель» конвертерщиком плавильного цеха по 3 разряду. В 1983 г., после окончания учебы, был принят на работу в лабораторию пирометаллургических процессов института «Унипромедь» на должность инженера.

Через год, в октябре 1984, был призван на службу в ряды СА. Служил в Чехословакии в танковых войсках в звании старшего лейтенанта. После увольнения из рядов СА, в 1986 г. вернулся на работу в институт, в лабораторию пылеулавливания и очистки технологических газов, на должность старшего инженера.

Владимир Николаевич<sup>24</sup> считал, что дополнительным плюсом флотационного обеднения является возможность получения железного концентраты как товарного продукта для чёрной металлургии, предотвращающая образование отвалов печного шлака. Немагнитная фракция шлаков после извлечения железа могла бы быть использована в цементной промышленности и производстве стройматериалов как инертная добавка.

<sup>24</sup> **Колмачихин В. Н. (продолжение).** Через 2 года была создана лаборатория автогенных процессов и комплексных проблем защиты атмосферы (нач. отдела – Г. П. Харитиди, зав. лаб. – Г. И. Сколов) и Валерий Николаевич перешел на неё. В этой лаборатории работал старшим научным сотрудником до 03.03.1994 года, когда перешел на ММСК главным инженером, где участвовал в пуске и наладке плавильного агрегата «Победа». 22.01.1996 – 28.03.1997 – работал в УПИ, на кафедре МТЦМ старшим научным сотрудником. За это время подготовил кандидатскую диссертацию, которую защитил в 1997, уже работая главным инженером на Карабашском металлургическом комбинате с 01.04.1997. Тема диссертации – «Разработка технологии шахтной плавки золото-мышьяковистых концентратов». В это время КМК уже несколько лет как был остановлен. Перевода на переработку вторичного сырья, как планировалось в конце 1980-х, не произошло, и комбинат просто стоял, оборудование продавалось. Привлечение инвесторов и поддержка руководства Челябинской области позволили летом 1997 запустить первое металлургическое оборудование. Всё техническое руководство проектом восстановления Карабашского МК осуществлял В. Н. Колмачихин уже в должности технического директора.

После запуска завода в июне 1998 В. Н. перешёл на работу в СУМЗ на должность главного инженера. Помимо непосредственного руководства производственным коллективом и осуществления технической политики предприятия, главными задачами, стоящими перед Колмачихиным, были: недопущение остановки завода по экологическим основаниям; обеспечение работоспособности оборудования во времена отключений электроэнергии на промплощадке из-за проблем финансирования производства. После решения поставленных задач, с 20.12.2002 по 05.09.2003 Колмачихин работал директором Кировградского медеплавильного завода, где занимался реконструкцией и модернизацией производства.

С 08.09.2003 по 16.06.2013 он работал техническим директором, а в последующем вице-президентом «Русской медной компании». Занимался организацией производства действующих и строительством новых горно-обогатительных и металлургических предприятий АО «РМК». Именно в этот период были созданы металлургические мощности компании, позволившие ей занять третье место среди компаний цветной металлургии России, выйти на первое место по добыче и переработке руды.

Валерий Николаевич являлся признанным авторитетом в области технологий цветной металлургии, на его счету шесть изобретений, подтверждённых патентами, а также более 30 научных статей на темы особенностей производства цветных металлов.

Валерий Николаевич был профессионалом своего дела, обладал незаурядным умом и интуицией, а также превосходным чувством юмора, всегда трепетно и с уважением относился к своим коллегам.

Для переработки шлака на обогатительной фабрике его охлаждали в прудках, откуда автотранспортом подавали на первичные бункеры обогатительной фабрики, разгружали на решётки с размером ячейки 330 x 400 мм. Надрешётный продукт (негабариты) разбивали гидромолотом, подрешётный продукт из бункеров питателем подавали в дробилку среднего дробления с предварительным грохочением на колосниковом грохоте. Размер щели между колосниками 35 мм. После стадии среднего дробления шлак конвейером передавали для контрольного грохочения на вибрационные грохота. Подрешётный продукт крупностью 0–12 мм системой транспортёров загружали в бункеры главного корпуса обогатительной фабрики, а надрешётный продукт транспортировали на вторую стадию дробления в дробилку мелкого дробления.

Продукт после мелкого дробления возвращали на грохочение. Конечным продуктом дробильного отделения являлся материал крупностью 0–12 мм.

В. Н. Колмачихин предложил обогащать шлак по схеме прямой медной флотации с получением медного концентратата пенным продуктом и песков камерным продуктом. В этом случае измельчение производят в три стадии: первая стадия – в открытом цикле, вторая и третья стадии – в замкнутом цикле с классифицирующим оборудованием. Флотацию проводят в 5–6 стадий в зависимости от исходного содержания меди: межцикловая, основная, контрольная, 1–2 перечистных операции.

Дроблённый шлак из бункеров главного корпуса питателями и ленточными транспортерами в заданном количестве подаётся в шаровые мельницы, где в водной среде производится первая стадия измельчения. Измельчённый материал (пульпа) песковыми насосами перекачивается в шаровые мельницы второй стадии измельчения, выход которых насосами подаётся в гидроциклоны первой стадии классификации для разделения на грубую (пески) и тонкую (слив) фракции. Пески возвращаются на доизмельчение в мельницы второй стадии. Слив с содержанием твёрдого 40–45 % и класса менее 0,074 мм 60–70 % самотёком вместе с ксантогенатом и флотомаслом поступает на межцикловую флотацию в пневмомеханические флотомашины. Пенный продукт межцикловой флотации является готовым медным концентратом. Хвосты флотации насосами перекачиваются на вторую стадию классификации в гидроциклонах. Пески классификации поступают на

третью стадию измельчения в шаровые мельницы. Слив классификации с содержанием твёрдого 30–33 % и класса –0,074 мм не менее 80 %, является конечным продуктом отделения измельчения.

Измельчённый материал (пульпа) поступает на стадию основной флотации в пневмомеханические флотомашины. Концентрат, в зависимости от содержания в нём меди, может подаваться на первую перечистную операцию и, частично, в готовый медный концентрат. Хвосты основной флотации поступают на контрольную операцию. Концентрат первой перечистной операции, при необходимости, направляется на вторую перечистку. Концентрат второй перечистки является готовым медным концентратом. Хвосты первой перечистки и концентрат контрольной операции насосами возвращаются в голову основной флотации. Хвосты контрольной флотации являются отвальным по содержанию меди продуктом и поступают на стадию магнитной сепарации. Магнитная фракция представляет собой железорудный концентрат, немагнитная фракция – отвальные пески.

Сгущение продуктов обогащения осуществляется в сгустителях. Сгущённый медный концентрат с содержанием твёрдого 60–70 % песковыми насосами транспортируется на фильтрацию. Для фильтрации медного концентрата используются два фильтр-пресса. Фильтрат перекачивается в соответствующий сгуститель. Кек медного концентрата с фильтров сбрасывается на конвейер и подаётся на склад для отправки в медеплавильный цех.

Железорудный концентрат без предварительного сгущения поступает на фильтрацию на дисковый вакуум-фильтр. Фильтрат возвращается в песковый сгуститель, кек сбрасывается на конвейер и далее поступает на склад для отгрузки потребителю.

Сгущённые пески флотации шлака с содержанием твёрдого 65–75 % песковыми насосами транспортируются для дальнейшего обезвоживания в отделение фильтрации. Для фильтрации песков используются дисковые вакуум-фильтры. Фильтрат с вакуум-фильтров насосами перекачивается в соответствующий сгуститель. Кек песков с вакуум-фильтров сбрасывается на конвейер, далее – на террикон для погрузки в автомобили и транспортировки на склад для отгрузки потребителям.

По концепции ОАО «Унипромедь» отходящие газы медеплавильного производства перед переработкой их на серную кислоту очищались от пыли и примесей, таких как мышьяк, свинец, фтор, хлор. Промывка газа предусматривалась по технологии фирмы «Болиден».

Механические примеси, мышьяк, свинец, фтор и хлор удаляли в скруббере Вентури, абсорбционных башнях, совмещённых с каплеуловителями, и двух ступенях мокрых электрофильтров. Отходящий газ поступал в скруббер Вентури, орошаемый циркуляционным раствором, подаваемым из сборника, общий поток раствора составлял  $395 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $215 \text{ м}^3/\text{ч}$  на конус Вентури и  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  на квенчер Вентури). Во избежание накопления пыли и других примесей, содержащихся в газе, в цикле орошения скруббера был предусмотрен вывод части циркуляционного раствора из цикла орошения в отделение очистки промстоков от мышьяка. Технологический газ из скруббера Вентури нагнетался в два параллельно установленных каплеуловителя, из которых циркуляционный раствор и уловленная пыль, отдельно от газового потока, поступали в канальный сгуститель. Для обеспечения эффективного улавливания фтора (*HF*) каплеуловители были совмещены с абсорбционными башнями, заполненными полизтиленовой насадкой в виде решёток кольцеобразной формы и орошающимися циркуляционным раствором, общий поток раствора составлял  $626 \text{ м}^3/\text{ч}$  (по  $313 \text{ м}^3/\text{ч}$  на каждую башню).

Для транспортировки технологического газа в промывном отделении были последовательно установлены два дымососа. Дымососы оборудовались водяными форсунками для очистки лопастей импеллера, в которые подавался фильтрат из отделения очистки промстоков от мышьяка. Далее газ поступал в три электрофильтра «Эдитьюб» первой ступени, а из них – в три электрофильтра второй ступени, где происходила его очистка от тумана серной кислоты и мышьяка. Две ступени мокрых электрофильтров предусматривались в связи с высоким содержанием *SO<sub>3</sub>*, свинца и мышьяка в технологическом газе и высокими требованиями по содержанию мышьяка в газах, направляемых на очистку по технологии WSA.

В газоходе перед первой ступенью электрофильтров была установлена форсунка для впрыска воды с целью улучшения поглощения *SO<sub>3</sub>* и разбавления конденсата, который мог иметь высокие концентрации хлора и фтора, опасные для материалов аппаратов.

Для отвода тепла конденсации мокрые электрофильтры охлаждали оборотной водой, подаваемой в кожух электрофильтров по  $60 \text{ м}^3/\text{час}$  на каждый электрофильтр. Дополнительное охлаждение способствовало повышению степени очистки газа. Периодически, один в раз в смену, каждый электрофильтр промывали водой. В процессе мокрой очистки газов в циркуляционном растворе происходило

растворение (выщелачивание) пыли отходящих газов медеплавильного производства, в раствор переходили возгоны цинка и мышьяка. Во избежание накопления примесей в растворе часть его выводили на очистку в отделение очистки промстоков, количество выводимого раствора составляло 15–26 м<sup>3</sup>/ч.

Утилизация серы из газов производилась на установке WSA. Влажный газ после промывного отделения ступенчато нагревался в регенеративных теплообменниках до 673 К и поступал к контактный аппарат, в котором на катализаторе Topsoe осуществлялось окисление  $SO_2$  в  $SO_3$ . При высоких температурах и в присутствии влаги происходило образование серной кислоты. Затем парогазовая смесь поступала в конденсатор, в котором при определённых режимах происходила конденсация серной кислоты, а вода и азот выбрасывались через санитарную трубу.

### **3.1.3. Вариант печи и оборудования, 2004 г.**

Параллельно с проработкой различных вариантов технологических решений для переработки медных концентратов уральских заводов на ЗАО «Карабашмедь» компания «Аусмэлт» продолжила работу по детальной проработке конструкции печи и оборудования, необходимого для обеспечения её работы.

Со стороны предприятия руководство строительством, взаимодействие с подрядными организациями осуществляли А. В. Севрюк и Е. Г. Орлов.

В 2004 г. были завершены рабочие чертежи для следующих объектов: стальные конструкции печи: цилиндр, свод, конус, участок перехода; фундамент печи; медные охлаждающие элементы для корпуса печи, лётки и перемычки в сифоне; трубопроводы охлаждающей воды вокруг печи; система пробоотбора материалов плавки; запасная горелка; устройство подачи шихты в печь; фурма и механизмы её перемещения и управления; станции замены фурм; гибкие шланги и соединители фурмы; блок управления потоком воздуха, кислородом и топливом в фурме; система управления технологическим процессом, КИПиА; устройство определения положения фурмы; система контроля температуры охлаждающих элементов, потока охлаждающей воды, её температуры и давления, температуры печи; управление за-

### **3.1.4. Вариант печи и оборудования, 2005–2006 гг.**

В январе 2005 г. на техническом совещании во главе с генеральным директором ООО «Уралмедьфонда» Ю. А. Филлиповым был утвержден окончательный вариант рабочего проекта «Установка плавильных печей фирмы «Аусмелт» взамен шахтных печей на ЗАО «Карабашмедь» [Приложение 4].

18.03.2005 г. предприятием было получено разрешение на проектирование и строительство печи «Аусмелт» в комплексе со всем вспомогательным оборудованием за подписью главы города Карабаш В. М. Улановского (Постановление за № 38).

Проект «Установка плавильных печей на ЗАО «Карабашмедь» на базе варианта печи «Аусмелт» 2004 г. прошел экспертизу и на него было выдано положительное санитарно-эпидемиологическое заключение за № 74.50.02.000.Т.002141.04.05 от 11.04.2005 г. [Приложение 5].

В августе 2005 г. на проект реконструкции ЗАО «Карабашмедь» было получено положительное заключение Управления по технологическому и экологическому надзору по Челябинской области за № 358 от 03.08.2005 г. [Приложение 6].

Разрешение на использование оборудования – печи «Аусмелт» на территории РФ было получено от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 18.08.2005 г. [Приложение 7].

21 ноября 2005 г. ЗАО «Карабашмедь» заключило договор с ТОО «Казгипроцветмет» на выполнение функций генерального проектировщика и выполнение рабочей документации в рамках утвержденного проекта.

Активная фаза работы по возведению комплекса «Аусмелт» была начата в 2005 г. Для выполнения строительных и монтажных работ привлекались подрядные организации Челябинской области. Со стороны компании «Аусмелт» проводился надзор за выполнением работ в рамках шефмонтажа. Все работы проводились под непосредственным контролем руководства ЗАО «Карабашмедь», принимавшего окончательные решения по спорным моментам, касающимся отдельных узлов конструкции комплекса, технологическим особенностям ведения процесса, оснащенности основным и вспомогательным оборудованием. Необходимо отметить положительный опыт в организации строительства, привнесенный специалистами компании

«Аусмелт», составляющими ежедневные детальные отчёты о выполнении объема работ, организации работ, обсуждении спорных решений, мотивов и сути принимаемых решений за рамками базового проекта, дальнейшим задачам, проблемам с комплексностью и качеством поставляемого оборудования, материалов и проектной документации.

Архив этих отчётов является бесценным опытом реализации подобных проектов в коллективах и в условиях, отличающихся от общепринятых в мировой практике.

На ряде фотографий ниже показаны отдельные этапы выполнения строительно-монтажных работ в 2005–2006 гг.



Фото 3.1.4.1. Кладка подины печи



Фото 3.1.4.2. Медные кессоны



Фото 3.1.4.3. Начало выкладки внутреннего горна печи поверх медных кессонов со стороны сифона



Фото 3.1.4.4. Подина с герметизирующими лентами температурных стыков



Фото 3.1.4.5. Монтаж миксера



Фото 3.1.4.6. Монтаж корпуса цеха

Фото 3.1.4.7. Монтаж корпуса печи



Фото 3.1.4.7. Монтаж  
галереи подачи шихты

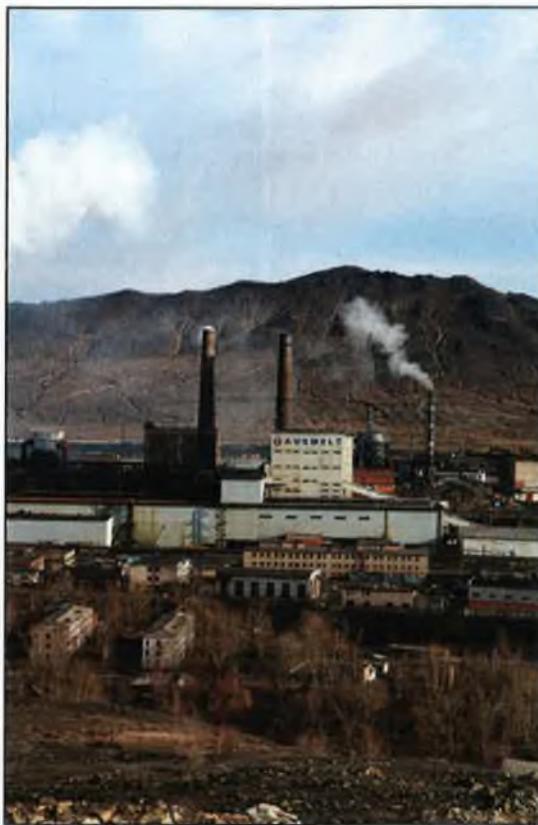


Фото 3.1.4.7. Пусковой комплекс «Аусмelt», 2007 г.

В состав комплекса плавильной печи «Аусмelt» на ЗАО «Карабашмедь» вошли следующие объекты: шихтарник с помещением пересыпки; галерея подачи шихты; ж/д пути к шихтарнику; кислородная станция; водоподготовка; здание главного корпуса плавильной печи; плавильная печь «Аусмelt»; котёл-утилизатор с утилизационной котельной; газоходы печи; печь-миксер; насосная первого контура; насосная второго контура; внешнее электроснабжение (включая ТП и РУ); газоплотные напыльники конверторов № 2 и № 3; инженерные коммуникации.



В ходе строительства комплекса «Аусмельт» компания-разработчик оборудования постоянно высказывала замечания, которые не были устранены до завершения строительства и остались в качестве объектов, существенно отличающих построенную печь от подобных комплексов на других мировых площадках, а именно:

- отсутствие смесителя либо системы агломерации (перемешивания) шихты, расположенной в системе шихтоподготовки и шихтоподачи перед загрузкой в печь, позволяющей окомковывать концентрат и оборотную пыль, поддерживая заданную влажность шихты;
- сравнительно небольшой вертикальный газоход на входе в котел-утилизатор из печи Ausmelt, что полностью противоречило проектным решениям и сложившейся практике эксплуатации этих печей;
- дистанционное ручное управление тягой в газоходной системе печи, что делало непостоянной и нестабильной концентрацию диоксида серы в металлургическом газе, способствовало появлению холодных подсосов через верхние отверстия печи, приводящих к намораживаю расплава на своде и газовых перетоках;
- при останове печи отсутствовала возможность скачивания всей массы в ковши или шлаковозы с механизацией их удаления из-под печи, недопущением разлива расплава по нулевой отметке печи, что приводило к замораживанию массы в печи и последующему длительному её запуску с перерасходом энергоресурсов и огнеупорной футеровки, что резко снижало кампанию печи.

По предположению разработчиков проекта «Аусмельт», указанные особенности будут способствовать созданию трудностей в эксплуатации печи, повышенному пылевыносу, нарушению работы газоохладительного оборудования (котла-утилизатора) и всей газоходной системы, перегрузке её пылью, забиванию бункеров, снижению эффективности очистки газа перед его переработкой в сернокислотном цехе.

Кроме того, отсутствие автоматической регулировки разряжения в подсводовом пространстве печи создаст условия для зарастания настылями не только свода печи, но и аптечка, и первой секции котла-утилизатора.

Все свои замечания руководители шефмонтажа регулярно передавали представителю заказчика с просьбой об их обязательном устраниении.

### **3.1.5. Пуск печи в эксплуатацию**

*26 сентября 2006 г. – команда компании «Аусмельт» совместно с работниками ЗАО «Карабашмедь» приступила к холодному пуску печи с целью проверки работоспособности основного и вспомогательного оборудования.*

*24 октября 2006 г. – была начата сушка и разогрев печи, одновременно проводилась регулировка приборов по управлению фирмой и фиксацией температуры в печи, в период разогрева наблюдались скачки давления природного газа в системе его подачи и разряжения в газоходах печи, что сказывалось на эффективности работы резервной горелки.*

*26 октября – продолжен нагрев печи без остановов и ограничений из-за котла-utiлизатора, по системе транспортёров была осуществлена первая опытная подача шихты в бункеры печи.*

*28 октября – была сделана 12-часовая выдержка при температуре 800 °С, представитель «Аусмельт» рекомендовал заменить литой оgneупор на перетоке на хромомагнезитовый кирпич толщиной 100 мм, что соответствовало проекту, кроме того, было предложено засыпать нулевую отметку шлаком толщиной 200–300 мм и полностью устраниТЬ влагу на этой отметке.*

*29 октября – печь нагрели до 1000 °С, были выявлены и устранены причины несоответствия показаний термопар из-за нарушения определения типа термопар (R или K) в системе управления.*

*30 октября – температура в печи 1100–1180 °С, наличие и новое попадание воды на нулевую отметку не устранено.*

*31 октября – температура в печи была доведена до 1200 °С и был про-ведён первый пробный запуск фирмы, завершено устранение проблем с работой дозаторов и просыпями шихты, выявлены конструктивные недостатки, связанные с креплением формы № 3 к тележке, намечены пути их решения, было отмечено, что нулевая отметка так и не засыпана шлаком, на ней имеются увлажнённые места, указано на ограниченность площадки аварийного выпуска расплава, что может создать трудности с организацией выпуска расплава, выявлено частичное отсутствие ограждений площадок (отметок) и аварийных выходов с них, отсутствие страховочных цепей для подвесного оборудования, включая формы.*

*3 ноября – началась загрузка шлака и его плавка с использованием горелки, шлак по мере накопления сливался через аварийную лётку.*

*5 ноября* – осуществлена третья загрузка и плавка шлака, при этом отмечено, что при переполнении печи шлаком, выше уровня установленного заданием, при его сливе происходит переполнение желоба и попадание расплава на нулевую отметку, мокрые поверхности которой приводят к небольшим взрывам шлака вокруг площадки аварийного выпуска.

*8 ноября* – была сделана первая пробная загрузка концентрата в печь, при этом выявлены проблемы с работой системы шихтоподачи, при сливе шлака плавильщики не смогли приткнуть лётку при высоте уровня расплава 400 мм, притом что в процессе работы уровень расплава для слива через аварийную летку будет 800 мм и лётку будет необходимо перекрывать для смены чащ.

*9 ноября* – начата регулярная плавка концентрата, отладка систем шихтоподачи и работы форсунки, продолжались работы по совершенствованию приёмов притыкания и прожигания аварийной лётки с целью недопущения проливов шлака на нулевую отметку, была заменена сгоревшая графитовая вставка в лётке на хромомагнезитовую, изготовленную на КМ.

*14 ноября* – была предпринята неудачная попытка открыть прожигом кислородной трубкой переток из печи в сифон на остановленной печи, отверстие перетока было замотано шлаковой настылью, представители «Аусмелт» рекомендовали осуществить эту операцию без использования кислорода при последующем запуске печи и разогреве ванны, кроме того, они предложили запустить горелки в сифоне для его разогрева.

*15 ноября* пришлось слить печь и вскрыть переток в сифоне с использованием пневмомолотков и ломов, повторный набор ванны был осуществлён на шлаке, в ночь на 16 ноября возобновили плавку концентрата.

**В 6 ч 55 мин 16 ноября 2006 г.** был выдан расплав из печи через сифон в поворачивающуюся печь-миксер, что считается датой пуска печи «Аусмелт» на ЗАО «Карабашмедь» (фото 3.1.5.1). После начала работы перетока разовую скорость загрузки концентрата увеличили с 35 до 50 т/ч. После получения и выдачи шлака началась загрузка концентрата со скоростью 35 т/ч. Параметры работы печи и формы в период первых суток плавки с выпуском расплава через сифон представлены в таблице 3.1.1. Производительность печи по плавке шихты в этот период составляла 41,19 т/ч или 34,2 т/ч по концентрату.

- неэффективное разделение штейна и шлака в миксере, что приводило к росту содержания меди в шлаке до 3 %, опытным путём было установлено, что снижение содержания меди в шлаке ниже 1 % – недостижимо, при этом отмечено регулярное снижение содержания  $SiO_2$  в шлаке до 20 %;
- перебои в доставке шихты и её загрузке в печь;
- отказ КМ от использования смесителя и роторного питателя шихты перед загрузкой её в печь, что было связано с их конструктивными недостатками, затрудняющими загрузку влажного материала;
- отсутствие точной и равномерной дозировки шихты в печь;
- на своде печи были отмечены проблемы с герметизацией отверстий, что приводило к высокой загазованности рабочих мест;
- повышенный пылевынос расплавленной шихты в сочетании с холодными подсосами воздуха через места загрузки шихты и подачи фурмы, что приводило к формированию сводовых настылей и нестабильной работе котла-utiлизатора из-за образования металлизированных настылей в первой трети котла, срыву их с охлаждающих поверхностей, и как результат, в декабре 2006 г. из-за образования настылей произошло аварийное обрушение свода печи;
- загрузка оборотной пыли в печь без её предварительного окомкования, приводящая к большому её пылевыносу и связыванию выносящими каплями расплава в вязкие, тугоплавкие настыли на газоходных системах;
- отсутствие механизма опорожнения транспортерной ленты в период длительногоостояния печи с целью предотвращения смерзания шихты и/или необходимости изменения состава шихты послеостоя;
- из-за нарушений технологического процесса, удаления настылей и частых перезапусков получен низкий срок службы фурмы «Аусмелт», не превышающий трёх дней, притом, что на родственных заводах срок службы фурмы достигает 10–14 суток;
- выход из строя практически всех приборов КИПиА на системах подачи воды в охлаждающие элементы, что привело к необходимости установить контроллеры в режим калибровки;
- низкий уровень обученности операторов и слабый контроль за соблюдением технологии со стороны инженерно-технических служб предприятия.



В ходе первых месяцев работы на КМ увеличили высоту переливного порога на 10 см, что привело к поднятию уровня расплава в печи на 300 мм, достигшего 1800 мм. Фурма

была поднята на уровень 1700–1750 мм. Данное мероприятие, по мнению технических руководителей ЗАО «Карабашмедь», было вызвано «борьбой» с постоянным настылеобразованием на своде печи и попыткой повышения срока эксплуатации фурмы. Инженеры КМ предположили, что поднятие уровня расплава позволит большему числу брызг смывать настыли в верхней зоне печи. В то же время представители «Аусмелт» корректно высказали конкретную обеспокоенность в связи с повышенным механический износом свода от сильных забрызгиваний, наряду с возросшим уносом брызг расплава в котл-утилизатор. Разрушение футеровки свода печи, его прожиг и формирование на нём настылей стало постоянным явлением на установке в Карабаше после поднятия порога в сифоне печи. Высота подъёма брызг расплава в печи является одним из её проектных критериев и определяется принятым уровнем расплава 1500 мм. Проектные решения «Аусмелт» были проверены многолетней практикой эксплуатации печей с низким по высоте профилем и присущими этому характерными и подобными повреждениями свода. Компания рекомендовала КМ безусловно вернуться к проектным решениям по уровню расплава в печи.

Наблюдения за работой печи показали, что настыли на подине печи образовывались из-за работы на штейны с содержанием меди на уровне 32–34 %, что приводило к нарушению теплового баланса из-за вывoda сульфидов железа из реакционной зоны печи. Кроме того, повышенная влажность концентрата и значительные колебания содержания кремнезёма во флюсах (от 40 до 92 %) влияли на формирование избыточного тепла в процессе плавки.

Нарушения технологического процесса приводили к изгибу и короблению фурменных труб, выходу их из строя. Изготовление новых конструкций фурм<sup>27</sup> на предприятиях в Челябинской области и нарабатывание опыта их эксплуатации позволили увеличить кампанию наконечников до 8 суток.

---

<sup>27</sup> Осмотр фурм, изготовленных на предприятиях в РФ, показал, что все новые фурмы имели противоположный внутренний завихритель в сравнении с исходными фурмами поставки из Австралии, что приводило к обратному вращению потока воздуха на охлаждении. Это было сделано в соответствии с ошибочно составленными чертежами поставщика. К удивлению представителей компании «Аусмелт», это явно и видимо не повлияло на ухудшение показателей работы фурмы.

С учётом реального состава природного газа, поступающего на плавку, и для более полного его сгорания, после первого года эксплуатации был увеличен расход воздуха на сжигание природного газа с 9,644 нм<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup> до 9,708 нм<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup>.

 Представители поставщика оборудования негативно оценили практику КМ по отказу от слива массы из печи при длительном простое. Это обстоятельство было вызвано тем, что компоновочные решения размещения печи не позволяли эффективно удалять массу, выпускаемую через аварийную лётку. В итоге на повторный разогрев печи с расплавом КМ затрачивало свыше 12 часов рабочего времени вместо 3–3,5 часов, необходимых для получения шлаковой ванны в предварительно слитой печи. Компания «Аусмелт» настоятельно рекомендовала решить проблему слива массы из печи с использованием шлаковозов или большеобъёмных ковшей.

Первый год работы комплекса из печи и котла-утилизатора показал нестабильную работу последнего, в том числе и из-за трудностей очистки его поверхностей от пыли и настылей, что было связано с ограниченными возможностями по контролю, очистке и обслуживанию внутренних панелей котла. Об этой возможной проблеме представители компании «Аусмелт» неоднократно упоминали в своих отчётах и протоколах, совместных с заказчиком совещаний, но только в 2007 г. КМ учла эти недостатки и врезала дополнительные люки в котле-утилизаторе для обеспечения его очистки.

Большое количество подсосов через отверстия загрузки и резервной горелки продолжало приводить к охлаждению части свода и образованию настылей, периодически «ссыхающихся» в печь и в опускающуюся радиационную часть котла.

В 2007 г. были внесены определённые изменения в конструкцию котла-утилизатора: увеличен объём бункеров радиационной части и модернизирован цепной транспортёр конвективной части.

Анализ показателей первого года работы печи представлен в табл. 3.1.3, где указаны проектные данные, достигнутые показатели в 2007 г. и возможные расчётные показатели для рассматриваемого вида сырья для конкретной конструкции печи на КМ, ожидаемые компанией «Аусмелт». Расчётные данные компании-поставщика оборудования и технологии позволили начать проработку вопросов о возможности увеличения закупа медесодержащего сырья, путей модерниза-

Возможное увеличение переработки концентратов потребовало уточнить концепцию развития обогатительной фабрики, её мощности и эффективности. Кроме того, возникла необходимость проверки возможности переработки возросшего количества штейна на существующем конвертерном участке при одновременной полной утилизации всех конвертерных газов.

Предполагаемое удвоение мощности предприятия потребовало коренного пересмотра подхода к развитию объектов инфраструктуры, начиная с обеспечения электроэнергией, природным газом, технической водой, техническим кислородом, воздухом низкого и высокого давления, паром, химочищенной водой и заканчивая развитием систем транспорта на промплощадке и внешних коммуникациях, строительством очистных сооружений, размещением складов сырья и отвальных продуктов, расширением санитарно-защитной зоны и переселением людей в новое благоустроенное жильё.

Для своевременного устранения замечаний разработчиков проекта, ускорения освоения процесса автогенной плавки в печи «Аусмельт», улучшения взаимодействия между подрядчиками, проектировщиками, монтажниками и поставщиками оборудования, усиления вопросов по обучению обслуживающего персонала, повышения квалификации инженерно-технических работников и для оперативного рассмотрения дальнейших путей вариантов реализации проекта, с 2007 г. на ЗАО «Карабашмедь» организовали еженедельные совещания с участием и под руководством первых руководителей АО «Русская медная компания».

 Данное мероприятие позволило качественно улучшить организацию процесса освоения технологии «Аусмельт», ликвидировать большинство замечаний, недочётов и упущений в первоначальном периоде строительства и эксплуатации печи, оперативно решать вопросы финансирования работ, поставки сырья и реализации готовой продукции.

С этого года рассматривались и решались вопросы не только текущего периода, но и кардинальные стратегические направления развития ЗАО «Карабашмедь» в рамках структуры Группы «Русская медная компания». Именно тогда была сформулирована конечная цель в развитии ЗАО «Карабашмедь» по увеличению её мощности до 300 тыс. тонн анодной меди в год при одновременном снижении выбросов в окружающую среду со 112 тыс. тонн до уровня не выше 5 тыс. тонн.

### 3.2. Модернизация печи, 2007 г.

17 июля 2007 г. руководитель ЗАО «Карабашмедь» уведомил надзорные органы о завершении программы строительства металлургического комплекса «Аусмельт» [Приложение 8].

Анализ рынка сырья, работы печного комплекса за первые полгода 2007 г. с учётом возможных путей его развития позволил ЗАО «Карабашмедь» предложить компании «Аусмельт» выполнить уточнение характеристик печи и вспомогательного оборудования с целью увеличения переработки концентратов до одного миллиона тонн в год. Новый предварительный состав шихты для расчётов в 2007 г. представлен в таблице 3.2.1.

Табл. 3.2.1. Предварительный вариант шихты для комплекса «Аусмельт», 2007 г.

Сырьё	Смт/год
Концентрат № 1 – 14,94 % Cu	640 000
Концентрат № 2 – 21,91 % Cu	422 206
Концентрат обогатительной фабрики	84 976
Конвертерный шлак	36 451
<b>Итого меди содержащего сырья</b>	<b>1 183 633</b>



При новом расчёте загрузки инженеры компании «Аусмельт» продолжали настаивать на необходимости переработки конвертерного шлака в автогенной печи, понимая особенности его переработки на обогатительной фабрике, связанные с высоким содержанием магнетита и, соответственно, низким извлечением меди из него.

По решению руководителей ЗАО «Карабашмедь» в расчёт шихты и соответствующего теплового баланса не были взяты выломки ковшей, желобов, проливы и просыпи материалов, а также были полностью исключены все пыли, улавливаемые по газоходному тракту.

Время работы печи было принято с учётом её использования на 86 %, что эквивалентно 7500 часам работы в год. Результаты расчётов показали, что:

- диаметр печи можно оставить без изменений, 5000 мм;
- высота цилиндрической части не изменяется и составит 10 000 мм;

- для пропуска большего количества воздуха, кислорода и природного газа требуется увеличение диаметра фурмы до 500 мм (или её новое изготовление) и увеличение отверстия под фурму в своде печи;
- расчётные потери тепла будут равны 18,45 ГДж/ч (5,1 МВт), что не потребует увеличения расхода воды на охлаждение кессонов при сохранении уровня её кессонирования;
- подина печи остаётся на воздушном охлаждении естественной конвекцией воздуха, а её стенки с использованием кессонов и высота кессонированной цилиндрической стенки нижней части печи оставлена прежней – 4000 мм;
- конструкция водоохлаждаемого свода и конусной части печи также остаются без изменения;
- обогащение воздуха кислородом доведено до 60 %.
- с целью уменьшения пылевыноса шихты и облегчения работы котла-utiлизатора предложено выполнить первоначальное проектное решение и установить окомкователь и новый роторный питатель перед загрузкой шихты в печь, окомкование шихты позволило бы добиться её усреднения и более стабильной и равномерной подачи в печь;
- содержание меди в штейне оставлено на уровне 50 %, данный параметр является принципиальным, так как определяет количество воздуха, кислорода и природного газа, подаваемых через фурму;
- для поддержания уровня магнетита в шлаке в диапазоне 5–8 % расход кварцевого флюса оставлен прежним –  $Fe/SiO_2$  – 1,4, при содержании  $CaO$  – 5 %;
- с учётом увеличивающегося количества расплава необходимо будет увеличить уровень порога (перетока) сифона на 125 мм, что потребует изменения конструкции охлаждающего блока;
- для подачи дополнительного количества кислорода была необходима установка ещё одного регулирующего клапанного блока,ключающего трубопроводы, запорную арматуру, приборы КИПиА;
- для увеличения подачи шихты в печь отверстие в своде увеличивается до 600 x 600 мм, без изменения конструкции последнего.

Основные технологические параметры процесса на переработку 1147,6 тыс. смт концентратов в год показаны в табл. 3.2.2. По выполненному расчёту теплового баланса теплосодержание отходящего газа – 188,39 ГДж/ч, потери тепла с пылью – 3,93 ГДж/ч, тепловыделение от окисления шихты – 6,33 ГДж/ч. В соответствии с решениями «Аусмелт» фурма имеет ограничение по количеству пропускаемого  $O_2$  в количестве не более 40 тыс.  $nm^3/ч$ , при давлении до 140 кПа.

В период плавки минимальное проектное давление воздуха на фурму 55 кПа при максимальном общем расходе воздуха (горение + охлаждение) 30,250 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Проектная конструкция фурмы предполагает минимальный расход воздуха на её охлаждение 11,3 тыс. нм<sup>3</sup>/ч<sup>28</sup>. Минимальный кратковременный расход воздуха на охлаждение – 3,4 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. После пуска печи это соотношение было увеличено в разы за счёт перераспределения воздуха между охлаждением и технологией. Система подачи воздуха на фурму и резервную горелку должна была быть обеспечена конденсатоотводчиками. Типовой (нормальный) расход воздуха на газовую резервную горелку составлял 14,55 тыс. нм<sup>3</sup>/ч при давлении до 50 кПа.

Для рассмотрения возможности переработки нового количества концентрата в рамках всего металлургического комплекса ЗАО «Карабашмедь» привлекла к техническому аудиту предприятия компанию Bateman Minerals & Metals (PTY) Limited (Bateman). Одновременно с этим АО «РМК» приобрела в Финляндии три конвертора Кумера ( $3,96 \text{ м} \times 10,973 \text{ м}$ )<sup>29</sup> для последующей установки на ЗАО «Карабашмедь».

Итоги технического аудита, ставшие основой для дальнейшей модернизации предприятия, были рассмотрены и утверждены заказчиком 19.07.2007 г.<sup>30</sup> Основные решения в соответствии с аудитом Bateman заключались в следующем:

- в качестве основного плавильного агрегата взята существующая печь, модернируемая в соответствии с рекомендациями компании «Аусмелт»;
- изменяется вся система шихтоподготовки со строительством нового шихтарника и расширением действующего;
- установка двух 100-тонных дополнительных конверторов, при сохранении при необходимости<sup>31</sup> (или возможности) действующих трёх;

<sup>28</sup> Эта информация была существенно уточнена на основании опыта эксплуатации, о чём будет указано позднее.

<sup>29</sup> По классификации, принятой в России, это 100-тонные конверторы.

<sup>30</sup> Протокол совещания от 18–19.07.2007 г. с участием: от АО «РМК» в лице: В. В. Левина, В. Н. Колмачихина, А. В. Бакина, Ю. А. Король, Ю. В. Филиппова; от ЗАО «Карабашмедь» в лице: Ю. Г. Серебренникова, А. В. Севрюка, И. Кариаухова, В. В. Тарасова, А. В. Дмитрина, А. С. Глининова, К. М. Галимзянова, М. Д. Кучербаева, Д. В. Григорьева; от Bateman в составе: Richard Klue, A. Dawnizs, A. L. Лавренникова, Ю. П. Гаврилова.

<sup>31</sup> При условии сохранения уровня переработки (30 тыс. тонн/год) вторичных отходов в конверторах и возможного сохранения поставки ломов в будущем.

- строительство электропечи для обеднения печных шлаков;
- установка для дробления конвертерного шлака и возврата его на плавку в печь «Аусмельт»;
- установка двух анодных печей по 260 тонн и двух карусельных машин по 24 изложницы;
- строительство нового (второго) электрофильтра;
- модернизация существующего сернокислотного цеха для переработки 170 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  печного газа и строительство второго сернокислотного цеха для переработки 260 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  конвертерного газа, с общей нагрузкой – 430 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- строительство тепляка на 66 вагонов с развитием ж/д путей и складского хозяйства;
- установка вагоноопрокидывателя;
- строительство нового пролёта в металлургическом цехе под анодный передел;
- строительство склада серной кислоты объёмом 67 200  $\text{м}^3$ ;
- строительство кислородной станции на 30 000  $\text{м}^3/\text{ч}$  кислорода;
- реконструкция, модернизация и расширение систем энергообеспечения промплощадки с установленной мощностью 80 МВт;
- строительство новых систем водообеспечения, канализации и очистки сточных вод;
- расширение воздуходувного хозяйства с целью обеспечения подачи по 62 500  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха для каждого конвертора;
- реконструкция котла-утилизатора «Аусмельт».

По предварительной оценке специалистов компании Bateman, для обеспечения выполнения всех работ<sup>32</sup> потребуется привлечь 607 млн долл. США инвестиций, в том числе: шихтарник \$28,8 млн; конвертерный участок \$154,9 млн; печь обеднения \$19,4 млн<sup>33</sup>; второй сернокислотный цех \$285,4 млн; электроснабжение \$26,3 млн; кислородная станция \$60,2 млн.

Модернизация существующего сернокислотного цеха по технологии мокрого катализа или строительство нового для богатых печных газов не оценивались.

---

<sup>32</sup> Без учёта демонтажа старых зданий и сооружений, затрат на проектирование и экспертизу.

<sup>33</sup> По предложению АО «РМК», компания Bateman должна была выполнить дополнительный сравнительный анализ схем обеднения шлаков в электропечах и на обогатительной фабрике стоимостью \$20 млн.

### 3.3. Модернизация печи, 2008–2020 гг.

К середине 2008 г. на печном комплексе были отработаны устойчивые режимы плавки при следующих параметрах дутья:

- расход природного газа на фурму 1500 нм<sup>3</sup>/ч;
- расход воздуха 46 400 нм<sup>3</sup>/ч;
- расход кислорода 9600 нм<sup>3</sup>/ч;
- температура отходящего газа 1180 °C;
- пылевынос от веса шихты 3–4 %.

В этом году работниками ЗАО «Карабашмедь» было предложено компании «Аусмельт» установить на печи третий ряд медных водоохлаждаемых панелей. После рассмотрения этого вопроса и проработки конструкторской документации был сделан вывод о возможности реализации этого предложения. Для минимизации потерь времени на монтаж третьего ряда было предусмотрено в рамках старого корпуса использовать специальный вкладыш для уменьшения диаметра печи вдоль третьего ряда, что позволяет использовать существующую модель медных кессонов и уменьшить затраты на переделку используемого корпуса печи. В кожухе необходимо было выполнить дополнительные отверстия для установки новой системы обвязки печи, систем подвода и отвода охлаждающей воды.



Специалисты «Аусмельт» отметили возможные негативные последствия от увеличения площади охлаждения и отвода тепла из зоны плавления, связанные с необходимостью дополнительного подвода кислорода в зону реакции, предпочтительно за счёт обогащения воздушного дутья и увеличения его количества, а это, в свою очередь, при прочих равных условиях, приведёт к дополнительному расходу природного газа и большему образованию металлургических газов, осложнению в работе котла-utiлизатора и сернокислотного производства.

На базе концепции Bateman 31 января 2008 г. компания Outotec предложила уточнённый<sup>14</sup> вариант развития комплекса «Аусмельт», который включал в себя:

- строительство нового тепляка для размораживания концентратов, поступающих железной дорогой в вагонах;

<sup>14</sup> Автор не оценивает целесообразность многоэтапных последовательных аудитов, оценок, расчётов комплекса «Аусмельт» разными компаниями на основании коммерческих договоров, основанных на одной концепции Bateman 2008 г.

- установку роторного вагоноопрокидывателя;
- реконструкцию и расширение шихтарника;
- замену миксера «Ормето-ЮУМЗ» на поворотную печь-отстойник большей ёмкости фирмы Kumera;
- строительство второго сухого электрофильтра для печных газов;
- необходимость медленного охлаждения шлака из миксера и конверторов в ковшах для последующей переработки на обогатительной фабрике;
- замену существующих конверторов четырьмя новыми 150-тонными конверторами с новыми напыльниками для технологического и аспирационного газов, обеспечивающими продувку расплава по 600 нм<sup>3</sup>/мин или 36 тыс. нм<sup>3</sup>/ч воздуха на один конвертор;
- приобретение и установку двух новых конвертерных воздуходувок по 900 нм<sup>3</sup>/мин воздуха давлением 150 кПа;
- для размещения новых конверторов понижение уровня отметки в главном пролёте на 3,6 м;
- новую систему газоочистки после напыльников: она должна была включать горизонтальные адиабатические охладители, два новых сухих электрофильтра, башню охлаждения, градирню, башню отдувки *SO<sub>2</sub>* и мокрые электрофильтры, аналогичные имеющимся в системе очистки газов от печи Ausmelt;
- установку для разлива анодов с двумя анодными печами и двумя разливочными каруселями;
- монтаж рукавного фильтра для очистки аспирационных газов, анодных печей и миксера;
- строительство второго сернокислотного цеха по схеме ДК-ДА, склада серной кислоты и станции промывки цистерн;
- дополнительные мощности для выработки 30 тыс. м<sup>3</sup>/ч кислорода;
- строительство станции оборотного водоснабжения;
- реконструкцию систем энергоснабжения с целью увеличения мощности и повышения надёжности электро- и теплоснабжения;
- приобретение дополнительного количества остывочных ковшей, трёх мостовых кранов (75-тонных), шлаковозов, вагоноопрокидывателя и прочего оборудования.

В соответствии с предложениями Outotec непосредственно на печи «Аусмелт» были предусмотрены: аварийный шпур, оснащаемый гидравлической пушкой для его закрытия; установка новой печи-мик-

серы большего размера; аварийный слив ёмкостью около 31 м<sup>3</sup> заменялся на систему откатки расплава ковшами (13 м<sup>3</sup>), перемещаемыми на ж/д тележках.

По рассматриваемой концепции в печи «Аусмелт» образовалось 85 тыс. нм<sup>3</sup>/ч металлургического газа с температурой 1190 °С и содержанием пыли 50 г/нм<sup>3</sup>. Газ направлялся в котёл-utiлизатор, где температура снижалась до 350 °С и далее он доочищался в сухих электрофильтрах до 200 мг/нм<sup>3</sup> по содержанию пыли и только после этого происходило резкое охлаждение газа в квенчере (полой башне без насадки, орошаемой водой). Дальнейшая переработка охлаждённого и очищенного от мышьяка, хлора, фтора и триоксида серы печного газа совместно с газом конверторов осуществлялась по классической схеме ДК-ДА в сернокислотном цехе в промывном, сушильно-абсорбционном и контактном отделениях.

Образование конвертерного газа предполагалось на уровне 90 тыс. нм<sup>3</sup>/ч при температуре 550–650 °С с каждого работающего конвертора.

После объединения печного и конвертерного газа содержание SO<sub>2</sub> перед контактным аппаратом должно было быть на уровне 15 %, что приводило к необходимости использования процесса Lurec разработки Outotec, позволяющего перерабатывать высококонцентрированный газ за счёт циркуляции части отходящего газа после третьего слоя контактного аппарата. Общее количество газа для переработки в сернокислотном цехе должно было быть на уровне 300 тыс. нм<sup>3</sup>/ч.

В октябре 2008 г. по инициативе руководства ЗАО «Карабашмедь» был заключён с компанией Vector Engineering и оплачен договор на разработку технологического регламента на производство 170 тыс. тонн анодной меди. В основу этого документа легли выполненные и оплаченные заказчиком расчёты компаний Bateman, Outotec и «Аусмелт» на этот же объём выпуска меди.

В 2009 г. по инициативе руководства ЗАО «Карабашмедь», ООО «Институт Гипроникель» было выполнено ТЭО развития предприятия в сравнении вариантов производительности на 69 тыс. тонн черновой меди и 120 тыс. тонн анодной меди с использованием концептуальных решений компании Bateman, но на меньшую производительность, с использованием уловных цен на оборудование, сырьё и продукцию. Оплаченные заказчиком расчёты подтвердили, что при наличии сырья и при одинаковых условных ценах производство с выпуском 120 тыс. тонн более эффективно, чем получение 69 тыс. тонн

меди. 15.11.2010 г. Председатель Совета директоров ЗАО «Русская медная компания» И. А. Алтушкин утвердил решение о развитии мощностей предприятия ЗАО «Карабашмедь» до 120 тыс. тонн по меди и 640 тыс. тонн серной кислоты в год. Реализация проекта должна была быть завершена в 2016 г. Планируемые расходы на данном этапе развития ЗАО «Карабашмедь» ожидались на уровне 8,6 млрд руб. (табл. 3.3.1), расчётная потребность в ресурсах показана в табл. 3.3.2.

**Табл. 3.3.1. Планируемый объём инвестиций на развитие до 120 тыс. тонн**

<b>Наименование</b>	<b>Млн руб.</b>
Проектно-изыскательские работы	88
Реконструкция шихтарника	129
Конверторы с напыльниками (3 шт.)	1037
Медеплавильный цех с галереей	465
Площадка охлаждения шлаков	226
Реконструкция кислородной станции	888
Строительство подстанции «Южная»	143
Тепляк № 2	237
Внутриплощадочное энергоснабжение	64
Сернокислотный цех № 2	5125
Газораспределительный пункт	3
АСУТП	20
Реконструкция энергоцеха	109
Прочие затраты	412
<b>Итого</b>	<b>8576</b>

**Табл. 3.3.2. Потребность в ресурсах на развитие до 120 тыс. тонн**

<b>Наименование</b>	<b>Ед. изм</b>	
Медный концентрат	тыс. тонн	614
Золотосодержащий концентрат	тыс. тонн	23
Клинкер	тыс. тонн	27
Кварцит (золотосодержащая кварцевая руда)	тыс. тонн	23
Известняк	тыс. тонн	25
Отходы вторцветмета	тыс. тонн	32
Электроэнергия	МВт	50
Вода техническая	м <sup>3</sup> /час	400
Газ природный	м <sup>3</sup> /час	1500
Кислород	нм <sup>3</sup> /час	20 000
Численность	чел.	1200

Завершение освоения и стабилизация технологического процесса к концу 2011 г. и внесение изменений в конструкцию печи увеличили межремонтный цикл агрегата в 1,3 раза с 5976 часов в 2007 г. до 8040 часов в 2011 г. (рис. 3.3.1).

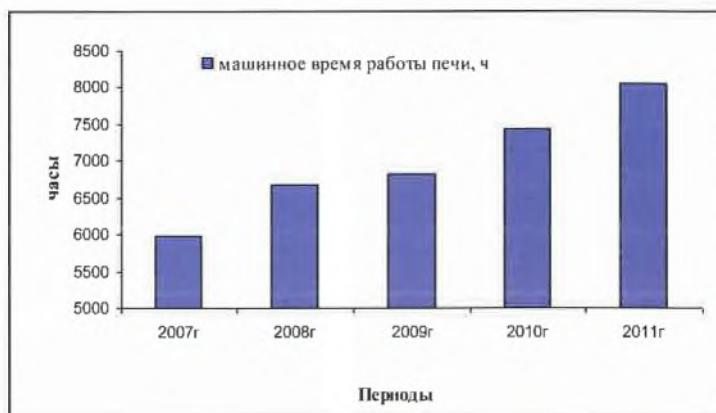


Рис. 3.3.1. Межремонтный период работы печи

Сопоставляя достигнутые показатели процесса Ausmelt на ЗАО «Карабашмедь» с аналогичными производствами в мире и их полными аналогами – процессами Isasmelt (табл. 3.3.3), можно сделать вывод о возможности существенной дополнительной интенсификации процесса плавки за счёт обогащения дутья кислородом. Возможность увеличения обогащения дутья была рассмотрена в компании при одновременном развитии сырьевой базы и расширении поставок сырья. По расчётом, выполненным проектными организациями и разработчиками технологии Ausmelt, увеличение концентрации кислорода в дутье до 60 % позволяет на базе сырья 2011 г. довести производительность всего плавильного комплекса ЗАО «Карабашмедь» до 120–140 тыс. тонн меди черновой в год.

Для осуществления этой программы на предприятии потребуется выполнение следующих мероприятий: строительство второй кислородной станции; строительство второго сернокислотного цеха; расширение шихтарника; модернизация систем энергоснабжения и водобез обеспечения.

Табл. 3.3.3. Сопоставление результатов работы аналогов

Показатели	KM, 2011 г.	Maunt Isa Mines	Anhui Tongdu Copper Stock Co
Процесс	Ausmelt	Isasmelt	Ausmelt
Проплав шихты, т/ч	80–94	212	90–100
Количество дутья, нм <sup>3</sup> /ч	60,0	55,4	75–78
<i>SO<sub>2</sub></i> в газах, % об.	15–19	27–30	12–13
Содержание <i>O<sub>2</sub></i> в дутье, %	34	66,7	33
Температура газа, °C	1250–1300	1175–1185	1150–1200

Сравнивая достигнутые показатели работы печи Ausmelt с аналогичными данными печи ПВ на ОАО «СУМЗ» (табл. 3.3.4) того периода, можно отметить следующее: сопоставимая производительность печей по шихте на уровне 90–100 т/ч; в три раза большее обогащение дутья кислородом на ПВ; более высокая концентрация диоксида серы в газах ПВ; значительно меньшие габариты комплекса Ausmelt; простота в управлении процессом Ausmelt в период вынужденных простоев или ограничений по дутью или сырью путём регулирования уровня погружения фурмы; существенно более низкие капитальные затраты в основной плавильный агрегат Ausmelt и вспомогательный комплекс.

Табл. 3.3.4. Сопоставление «Ausmelt» и ПВ

Показатели	«Ausmelt»	ПВ
Проплав шихты, т/ч	80–94	104–110
Количество дутья, нм <sup>3</sup> /ч	60	23–25
Содержание <i>SO<sub>2</sub></i> в газах, %	15–19	35–38
Содержание кислорода в дутье, %	34	90–92
Температура отходящих газов, °C	1200–1300	1280–1320

Применение принципиально нового инновационного плавильного комплекса на КМ позволило не только увеличить переработку меди в сырье за счёт получения дополнительных конкурентных преимуществ в условиях мирового финансово-экономического кризиса, но и существенно снизить удельные выбросы загрязняющих веществ (рис. 3.3.2).

На рисунке 3.3.3 показана динамика увеличения переработки меди в сырьё на предприятии и улучшение качественных показателей по извлечению меди в готовую продукцию.

Для осуществления финансирования капитальных вложений были использованы инновационные технологии в организации поставок сырья и реализации готовой продукции предприятия, базирующиеся на высокой эффективности реконструируемого металлургического передела. В результате образовалась своего рода взаимная зависимость: чем больше внедрялось и внедряется инновационных технологий в медеплавильном комплексе, тем более низкими становились производственные затраты на единицу продукции и тем более широким был рынок медьсодержащего сырья в условиях жёсткой конкуренции за природные ресурсы в странах СНГ.



Фото 3.3.1. ЗАО «Карабашмедь» 2011 г.



Использование инновационных процессов в реконструкции металлургического предприятия позволило решать не только вопросы охраны окружающей среды и экономической эффективности передела, но и вопросы по расширению рынка сырья и устойчивости развития компании в условиях конкурентной борьбы за минеральное сырьё. Сохранение градообразующего предприятия на Урале в результате инновационной деятельности «Русской медной компании» позволило снять острые социальные противоречия, решить множество вопросов самофинансирования муниципальных образований и трудоустройства населения.

Внедрение процесса «Аусмelt» и сопутствующего металлургического комплекса создало условия для формирования высококвалифицированных специалистов как в области металлургии и защиты

окружающей среды, так и в вопросах организации производства и финансировании объектов капитального строительства.

По просьбе ЗАО «Карабашмедь» в 2011 г. компания «Аусмелт» выполнила очередной аудит работы печи с целью выявления положительных моментов, «узких» мест и возможных перспектив её дальнейшего совершенствования.

 Во время визита представитель компании выразил опасения по поводу состояния верхней части цилиндра печи (футерованных и водоохлаждаемых стенок), так как персоналом предприятия было удалено большое количество секций оригинального цилиндрического металлического кожуха с целью доступа снаружи для замены футеровки. Хотя были произведены попытки укрепления печи без верхних секций, оригинальная конструкция печи не предполагает её эксплуатацию таким образом. В период аудита выявлено, что удалено значительное количество секций оригинального кожуха с правой стороны и напротив аптеяка газоохладителя. Добавлено несколько дополнительных опор в верхней конической части, однако для утверждения этого решения требуется проверка расчёта прочности для текущих условий. Обращено внимание заказчика на то, что необходимо соблюдать структурную целостность печи.

Компания «Аусмелт» рекомендовала ЗАО «Карабашмедь» предпринять шаги по проверке и подтверждению устойчивости конструкции печи в её настоящем виде и предпочтительно восстановить первоначальную конструкцию как можно скорее. В результате обследования было акцентировано внимание заказчика на следующих моментах:

- ЗАО «Карабашмедь» полностью перешла на использование медных водоохлаждаемых панелей производства «СУМЗ» вместо поставляемых ранее компанией «Аусмелт», при этом срок службы этих элементов остался прежним;
- в конструкцию печи были внесены изменения, заключающиеся в установке дополнительных<sup>35</sup> двух рядов медных панелей;
- внесены изменения в расположения сифона для выпуска расплава без соответствующего усиления элементов конструкции и поверочного расчёта жёсткости корпуса печи;

---

<sup>35</sup> Предварительно компания «Аусмелт» согласовывала установку только третьего ряда медных панелей с монтажом прокладки между корпусом и новыми дополнительными кессонами.

- по мнению специалистов «Аусмельт», дополнительное кессонирование печи по факту не привело к увеличению её кампании, но отразилось на росте энергозатрат при ведении процесса (увеличился расход кислорода и природного газа) на единицу шихты;
- выявлен практически полный износ прокладки между третьим рядом кессонов и корпусом печи;
- в шлаковом сифоне нарашён порог, что привело к увеличению уровня расплава в печи сверх проектного решения;
- в связи с планируемой установкой нового миксера с увеличенными габаритами существующее расположение сифона печи требовало установки шлакового жёлоба длиной 13 м с уклоном не менее 8°, что существенно осложняло бы эксплуатацию печи;
- опыт эксплуатации печей «Аусмельт» на других аналогичных заводах показывает, что на них практически не существует проблемы с разрушением футеровки в области медных панелей, более того, в ходе однодвухлетней эксплуатации в печах за рубежом сохраняется и защитный слой из оgneупорных кирпичей на кессонах, соответственно, при эксплуатации печи в соответствии с технологической инструкцией полностью отсутствует необходимость установки третьего и выше рядов кессонов.

Компания «Аусмельт» провела проверку ранее выполненного расчёта на переработку 1147,6 тыс. тонн концентрата с получением до 240<sup>36</sup> тыс. тонн анодной меди с уменьшением, по просьбе заказчика, выпуска меди до 120 тыс. тонн за счёт меньшей переработки медного концентрата. При этом все печные пыли котла-utiлизатора возвращались на плавку в печи. Кроме корректировки количества сырья все остальные исходные данные для расчётов оставались прежними. Результаты расчётов представлены в таблице 3.3.3. При данном составе сырья ни форма, ни системы подачи воздуха и кислорода, ни система управления печью не требовали внесения изменений. Для обеспечения подачи дополнительного количества кислорода требовалось увеличение его производства и монтаж дополнительных линий трубопроводов для подвода к печи. Специалисты компании «Аусмельт» не рекомендовали и не поддержали инициативу заказчика устанавливать на

<sup>36</sup> Количество меди в готовой продукции определялось на уровне от 200 до 240 тыс. тонн в зависимости от её содержания в концентратах и количества перерабатываемых отходов в конверторах.

печи шпуровые отверстия для периодического выпуска расплава с целью уменьшения длины переливного жёлоба, так как это внесло бы осложнения в управление процессом плавки в связи с колебаниями уровня расплава в печи и миксере.

Табл. 3.3.3. Сопоставление результатов расчётов компании «Аусмельт», 2011 г.

Показатель, смт или тыс. влажных нм <sup>3</sup>	Расчёт, 2011 г.		Проект, 2004 г.	Вариант 2007 г.
	в час	в год		
<b>Переработка</b>				
Концентрат, 16,9 % Cu	82 189	616 417		1 062 150
Конвертерный шлак	1882	14 112	381 000	36 450
Клинкер, 3,5 % Cu	4836	36 270		
Концентрат ОФ, 19 % Cu	9840	73 800	42 349	94 975
Золотые концентраты	3481	26 109		
Кварц золотой	3863	28 975		
Пыль котла	3667	27 500		
Кварц	8348	62 608	69 000	192 600
Известняк	3894	29 204	12 750	18 525
Вода на окомкование	79	595		
Природный газ	1,994	14 955	11 200	7 500
Воздух	27,974	209 802	348 000	206 377
Кислород	19,648	147 361	72 000	271 732
Подсосы воздуха	2,753	20 646		
<b>Получено</b>				
Шлак печной, 0,6 % Cu	66 533	498 996	297 000	707 903
Штейн, 50 % Cu	32 000	239 997	122 000	394 125
Металлургический газ	63,079	473 089	497 000	635 775
SO <sub>2</sub> в газе, %	24,51	24,51	15,34	34,09
Пыль, 2,3 % Cu	3 667	27 500	23 000	32 250
Производство меди, т		120 000	60 000	240 000

В то же время они посчитали разумным перемещение выпускного отверстия для расплава печи и, соответственно, сифона с максимальным разворотом в сторону главного пролёта. Учитывая то, что в конструкцию печи были внесены изменения, связанные с установкой третьего ряда кессонов, изготавливаемых на АО «СУМЗ», компания «Аусмельт» отказалась от выполнения рабочей документации и предоставления технологических гарантий по переносу сифона без предварительного проверочного расчёта всех конструкций печи, и кожуха в частности. Опираясь на расчёты компании «Аусмельт» по контракту,

заключённому с ЗАО «Карабашмедь», компания Outotec<sup>37</sup> выполнила технологическое обследование комплекса на промплощадке с целью оценки возможности переработки концентрата с получением 120 тыс. тонн меди, при этом также оценивалась целесообразность внесения изменений в конструкцию формы и конфигурацию размещения перетоков на печи в связи с приобретением новой более объёмной печи Кумера. Данная работа была выполнена в начале 2012 г. и полностью подтвердила ранее сделанные расчёты специалистов компании «Ausmelt». По конструкции печи представителем Outotec при обследовании было отмечено отсутствие шпуровой плиты на аварийном выпуске расплава, что объяснено тем, что данный выпуск используется раз в год при плановом останове печи на ремонт.

Компания Outotec дала согласие внести изменения в проект печи по расположению сифона с разворотом в сторону пролёта только на основании конструктивного выполнения печи до момента её модернизации на ЗАО «Карабашмедь» и только с учётом перестройки нижней части печи в соответствии с проектом с одновременной полной заменой верхней части кожуха печи, нарушенной в связи с площадными вырезами металла для частичной замены или ремонта футеровки в цилиндрической части печи в ходе её эксплуатации.

Анализ причин, приводящих к повышенному износу огнеупорной защиты и кессонированных элементов показал, что:

- основное нарушение футеровки происходит на границе расплава и газовой фазы в зоне максимального движения расплава;
- работа на штейны с содержанием меди ниже проектного 50 % (по факту – 30–40 %) приводит к получению шлака с невысоким (до 5 % вместо 8–10 %) содержанием магнетита, что, с одной стороны, способствует снижению вязкости расплава и уменьшению потерь меди со шлаком, но, с другой стороны, не позволяет образовываться защитному слою на футеровке печи из, преимущественно, магнетита;
- отсутствие гарнисажа на внутренних стенках печи, высокая жидкотекучесть и агрессивность расплава приводят к разрушению огнеупора как в результате химического, так и механического воздействия;
- высокое содержание *FeS* в бедном по меди расплаве делает его агрессивным по отношению к медным кессонированным элементам,

<sup>37</sup> В 2010 г. компания Outotec приобрела контрольный пакет акций компании Ausmelt, став её правопреемником и единственным владельцем.

- растворяя (сульфидизируя) медь, при любом местном или общем перегреве<sup>38</sup> в отсутствие магнетитового гарнисажа на стенке печи;
- для увеличения производительности печи в ходе плавки поддерживается температура 1200 °С, что выше установленного проектом предела 1180 °С для расчётного обеспечения теплосъёма с внутренних конструкций печи;
  - установка третьего и, позднее, четвёртого рядов медных панелей без изменения конструкции и схемы футеровки верхней части печи приводят к её проседанию и обрушению в связи с различным коэффициентом теплового расширения металлических элементов и огнеупоров при остановах и последующих пусках печи.

В 2012 г. в качестве генерального проектировщика была привлечена компания ОАО «Уралгипромез», которая взяла на себя выполнение всех проектных и конструкторских работ на основе разработанных базовых решений поставщиками оборудования и технологий или на основании выработанной позиции руководства ЗАО «Карабашмедь» по тем или иным вопросам. С этого периода и до настоящего времени эта компания и её правопреемники осуществляют все работы по рабочему проектированию на предприятии, сопровождая работу по модернизации, реконструкции и расширению производства.

В 2012 г. институту «Гипроникель» было предложено выполнить аудит решений генпроектировщика, в результате чего были выданы следующие замечания:

- принятое решение по увеличению подачи шихты за счёт увеличения скорости движения конвейерных лент до 2 м/с является ненадёжным решением для рассматриваемого материала и установленных типов конвейеров, даже с учётом модернизации их приводов;
- необходимо предусмотреть вторую линию подачи шихты со строительством второй наклонной галереи;
- решения о модернизации не предусматривают герметизацию печи с целью уменьшения подсосов в газоходный тракт с многократного до 10–15 % уровня;
- предложено возвращать уловленную пыль в плавку после предварительного смешения её с шихтой в смесителе;

---

<sup>38</sup> Местный перегрев кессона возникает по причинам несоответствующего качества питающей воды, недостаточного её количества, высокой температуры теплоносителя, механических примесей и местных отложений солей на внутренних стенах охлаждающих элементов.

- заглубление отметки установки конверторов до минус 3,850 может привести к нарушению устойчивости каркаса здания и требует его обязательного усиления по оси «Г»;
- по опыту эксплуатации конверторов с передней поворотной крышкой в ЗФ ОАО «Норильский никель», предложенная конструкция для напыльников конверторов в г. Карабаш является неработоспособной;
- для обеспечения стабильной работы конвертерного передела требуется полная замена всех мостовых кранов с увеличением их грузоподъёмности до 75–90 т, что, в свою очередь, позволит перейти на ковши большей ёмкости;
- по опыту завода на ЗАО «Медногорский медно-серный комбинат», выполнившего замену металлургического корпуса без останова производства в 1994 г., и завода в г. Рёншер (Швеция), также выполнившего без останова производства в 2000 г. реконструкцию корпуса плавильного цеха, целесообразно осуществить минимальное заглубление нулевых отметок (не более 0,5–1,0 м) и нарастить цех по высоте на требуемую величину;
- в рассмотренных проектных решениях отсутствуют предложения по обеспечению трехкратного воздухообмена приточно-вытяжной вентиляции в главном пролёте;
- для ремонта кранов необходимо предусмотреть установку 4-х лебёдок грузоподъёмностью не менее 20 т на переподъёме для равномерного подъёма крана;
- для переработки всего образующегося штейна необходимо предусмотреть одновременную работу не менее 2-х конверторов;
- для исключения движения автошлаковозов внутри цеха необходимо построить откаточные железнодорожные пути для транспортировки горячего шлака в отвал, предложения по использованию 180 ковшей и организацию медленного охлаждения шлака считать нецелесообразной для условий ЗАО «Карабашмедь» из-за трудности выделения и дальнейшей переработки слитков донной части.

В 2013 г. была заменена первоначальная печь-миксер «Ормето-ЮУМЗ» на поворотную печь Кумера с одновременной модернизацией узла выпуска расплава из печи и вывоза шлака из главного пролёта в шлаковозах.

В этот же период было завершено полное кессонирование кожуха печи медными охлаждающими элементами с последовательным снятием всего наружного охлаждения цилиндрической части накладными элементами. Печь «Аусмелт» в варианте после 2013 г. имела

увеличенную на 5 м по высоте площадь, охлаждаемую медными панелями (с 4 м до 9 м). Стальной кожух над медными панелями, свод печи и переходный участок охлаждались снаружи водой с использованием наваренных кессонированных элементов, которые позднее также были заменены на медные панели, устанавливаемые внутри печи. Параллельно с этим была реконструирована система загрузки печи с демонтажом проектного роторного питателя и с заменой его на трубочку, с перемещением её в центральную часть свода.

В 2015 г. компания Outotec выполнила очередное технологическое обследование по возможности модернизации печного комплекса с целью получения 115 тыс. тонн черновой меди. В результате выполненной работы было сделано заключение, что модернизация узлов подачи энергоносителей на фурму не требуется, все работы по увеличению подачи кислорода и природного газа были выполнены ранее. Достигнутые на 2015 г. показатели позволяют подавать на фурму до 3000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  природного газа, до 46 400  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха под давлением 140 кПа, до 20 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  кислорода при давлении 140 кПа, с получением 70 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  металлургического газа.

В связи с началом массовой переработки на ЗАО «Карабаш-медь» концентратов Михеевского ГОКа с высоким содержанием меди представителями компании Outotec была выдана рекомендация по необходимости увеличения подачи кислорода на фурму на 2500  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и по обязательному введению в шихту колчеданной руды, угля, железосодержащих флюсов<sup>39</sup>. По результатам анализа было отмечено, что на предприятии продолжают работать штейны ниже 50 % по меди, что приводит к повышенному износу футеровки, прогоранию панелей, кессонов и кожуха печи. Основной причиной недостижения заданного качества штейна является «перегрузка» печи шихтой и недостаточное время для окисления расчётного количества сульфидного железа в перерабатываемых концентратах. Для решения этой проблемы необходимо или снизить производительность печи, или повысить содержание меди в концентрате до уровня не ниже 22 % и/или

<sup>39</sup> По мнению автора, это крайне сомнительная рекомендация, полностью нивелирующая работу по увеличению содержания меди в концентратах за счёт снижения извлечения в готовую продукцию меди и, особенно, золота и серебра на обогатительных фабриках. Введение в шихту дополнительного железа увеличивает выход печного шлака, в результате чего возрастают потери металлов на плавильном переделе, а сера из колчедана осложняет работу химико-металлургического комплекса как в вопросах её утилизации, так и последующей реализации кислоты.

увеличить степень обогащения дутья кислородом. Включение в шихту угля и клинкера усугубляет ситуацию с обогащением штейна и требует обязательного дополнительного увеличения подачи воздуха или кислорода. Кроме того, образование **CO** приводит к необходимости его дожига в верхней зоне печи или аптайке, что требует обеспечения подачи избыточного количества воздуха низкого давления в подсводовое пространство через отверстие резервной горелки или за счёт организованного подсоса.

Рост количества медных панелей требует, как минимум, удвоения расхода природного газа для поддержания заданной температуры плавки, в связи с этим необходимо реконструировать систему его подачи для увеличения до 3000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ .

Увеличение площади охлаждения медными панелями делает бесполезным использование резервной горелки для поддержания теплового баланса при вынужденныхостоях печи в связи с её недостаточной тепловой мощностью, поэтому необходима замена горелки на более производительную.

Вместо этого для устранения обозначенной проблемы на ЗАО «Карабашмедь» решили в 2012 г. полностью отказаться от использования резервной горелки с демонтажом всех элементов её конструкции.

В 2017 г. ЗАО «Карабашмедь» заключило договор с Центром технических экспертиз «ИнфорМА» на разработку проектной документации по техническому перевооружению предприятия с выпуском 140 тыс. тонн черновой меди. По результатам расчётов была выполнена проектная документация, дублирующая все ранее принятые решения на базе проекта компании Bateman.

В период 2018–2020 гг. были выполнены проектные работы и смонтированы коммуникации и оборудование для увеличения подачи на печь природного газа и кислорода. С этой целью проложили новый газопровод с заменой трубы диаметром 108 x 4 мм на газовую трубу 159 x 4,5 мм, что позволило увеличить расход газа до 3500  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Одновременно была заменена вся запорная, контрольно-измерительная и регулирующая аппаратура.

Пропускную способность кислородопровода и систему подачи его на печь увеличили до 35 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

### **3.4. Модернизация комплекса «Ausmelt» после 2021 г.**

В 2021 г. АО «Русская медная компания» с учётом складывающейся ситуации на рынке медного сырья, успешного запуска ГОКов по переработке медно-порфировых руд и получения богатых по меди концентратов с низким содержанием серы, по сравнению с концентратами из колчеданных руд, вернулась к техническим решениям 2007 г., разработанным компанией Bateman на базе расчётов Ausmelt. С целью актуализации проекта, с учётом достигнутых технологических показателей комплекса «Ausmelt», проведённых работ по модернизации и реконструкции основного и вспомогательного металлургического оборудования по состоянию на 2021 г., а также с учётом нового строительства объектов энерго-, водо- и газоснабжения, был заключён договор с компанией ООО «НОРД Инжиниринг» на разработку технологического регламента и проектной документации на увеличение выпуска меди до 240 тыс. тонн из сырья нового состава с использованием проектных решений компании Bateman, конструктивных подходов по печи и её инфраструктуре компаний Ausmelt и Outotec.

В соответствии с выполненным проектом по расширению производства осуществляются следующие работы: строительство второго шихтарника для приёмки сырья, флюсов и оборотных материалов; завершена установка четвёртого конвертора Кумера; завершено строительство анодного отделения с двумя анодными печами и сдвоенной разливочной карусельной машиной; выполнен монтаж второго сухого электрофильтра для очистки газов печи и осуществлён закуп нового электрофильтра для замены ранее установленного; завершено строительство второго сернокислотного цеха; выполнена реконструкция котла-утилизатора и адиабатической башни охлаждения газа плавильной печи; выполнена реконструкция обогатительной фабрики с заменой оборудования с целью удвоения её мощности по переработке металлургических шлаков и улучшения качественных показателей по обогащению; выполнен монтаж дополнительных кислородных блоков (до 7 шт.) для доведения производства технического кислорода до 35 тыс. м<sup>3</sup>/ч; завершена реконструкция воздуходувной станции с установкой нового более производительного оборудования; расширены системы водоподготовки, водоснабжения и очистных сооружений предприятия, осуществлена модернизация объектов инфраструктуры предприятия.

## ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

Завершение работ по освоению процесса плавки и модернизация печи позволили достичь основных проектных показателей.

Табл. 3.4.1. Параметры печи «Аусмельт», 2022 г.

Наименование	Показатель
Диаметр наружный в верхней части печи	6000
Диаметр внутренний плавильной зоны по футеровке	4130
Наружный диаметр опорной плиты внизу, мм	6050
Высота печи от основания до верха аптеяка, мм	17 690
Высота внутренняя по цилиндрической части футеровки, мм	10 000
Высота печи от стального основания до фланца технологического отверстия для фурмы, мм	15 975
Диаметр технологического отверстия для фурмы	750
Диаметр технологического отверстия для горелки	нет
Размер загрузочного отверстия	630 x 900
Диаметр отверстия для пробоотбора	нет
Отверстие сифона	385 x 296
Высота расплава, мм	1800–1900
Погружение фурмы в расплав, мм	300–350
Расход воды на охлаждение, т/ч	1280
Обогащение дутья по кислороду, %	40–80
Производительность по шихте, т/ч	60–200
Пылеунос, %	3,5–5,0
Температура процесса, °С	1180
Расход природного газа, нм <sup>3</sup> /ч	200–3200
Расход внешнего воздуха, нм <sup>3</sup> /ч	9000–11 500
Расход внутреннего воздуха, нм <sup>3</sup> /ч	2500–20 000
Расход кислорода, нм <sup>3</sup> /ч	7000–35 000

В настоящее время на заводе сложилась технологическая схема, представленная на рисунке 3.4.1, направленная на максимальное комплексное использование сырья и снижение выбросов в окружающую среду. Учитывая то, что комплекс оснащён не только основным и вспомогательным оборудованием, но не может существовать без сопутствующих участков по обогащению дутья, переработке металлургических газов, печных и конвертерных шлаков, при дальнейшем изложении материала будет дано краткое описание и этих переделов.

## ГЛАВА 4. КОМПЛЕКС «АУСМЕЛТ»

### 4.1. Печь

Печь «Аусмелт» предназначена для обработки медных концентратов вместе с флюсом и оборотными материалами, чтобы в результате получать медный штейн, содержащий 50 % меди, оборотный шлак и metallurgical газ. Расплав штейна и шлака непрерывно перетекают в поворачивающуюся печь-миксер для формирования фаз и раздельного выпуска.

Печь<sup>40</sup> цилиндрическая по форме (рис. 4.1.1 и 4.1.2). Наклонная крыша-свод занимает более чем половину площади печи, а секция переходного участка занимает другую половину и далее идёт к вертикальному газоходу котла-utiлизатора. Кожух печи, крыша-свод и отвод изготовлены из конструкционной низкоуглеродистой стали, подлежащей сварке (Ст3сп или 09Г2С) в соответствии с российскими стандартами ГОСТ 380 и ГОСТ 19282. Под печи, стены, крыша-свод и переходный участок футерованы огнеупорными материалами. Нижние стены изолированы и охлаждаются водяными кессонами. Средние стены печи охлаждаются с использованием медных охлаждаемых панелей. Верхняя цилиндрическая часть печи, свод печи и технологические отверстия были кессонированы в проектах печи после 2011 г. Переходный участок печи в котёл-utiлизатор тепла отходящих газов охлаждается с использованием кессонов.

Печь «Аусмелт» проекта 2005 г. имеет технические характеристики, детализированные ниже:

- внутренний диаметр равен 5,0 м, высота от основания стальной конструкции до верхней точки цилиндрической части – 11,215 м;
- четыре метра высоты составляют медные охлаждающие панели, устанавливаемые в средней части печи;
- стальная конструкция печи, не касающаяся медных панелей, охлаждается естественной конвекцией окружающего воздуха по внешним поверхностям;
- медные панели простираются приблизительно на 2,9 м выше рабочей высоты ванны расплава;
- стены лещади нижней части печи футерованы огнеупорными материалами и охлаждаются примыкающими кессонами;

<sup>40</sup> Проект печи 2005 г.

- стены верхней части печи состоят из огнеупорной футеровки, находящейся в стальном кожухе, охлаждаемом примыкающими кессонами;
- свод печи и технологические отверстия футерованы огнеупорными материалами и охлаждаются кессонами;
- переходный участок между печью и котлом-utiлизатором расположен наверху цилиндрической части печи и охлаждается кессонами;
- суммарная толщина футеровки стен у средней части печи перед медными панелями составляет 280 мм, толщина футеровки стен у верхней части печи – 500 мм;
- под печи имеет толщину 1215 мм по осевой линии печи;
- под имеет форму перевёрнутой арки и выполнен с уклоном в 2 % в сторону аварийного выпускного отверстия;
- рабочий уровень расплава в печи в первоначальном проекте был 1500 мм по осевой линии печи, позднее, после пуска печи, был увеличен до 1800–1900 мм;
- проектная рабочая температура в печи – 1180 °C.

В течение всего периода работы печи, вплоть до настоящего времени, она постоянно модернизируется и совершенствуется путём внесения изменений как в технологические параметры, так и в её конструкцию. Это касается энергоресурсов, толщины огнеупорной футеровки, площади кессонирования, изменения систем загрузки и работы основного и вспомогательного оборудования. Основные размеры и технологические параметры первоначальной (проектной) печи и после её модернизации по состоянию на 2010 г., до кардинального внесения изменений в систему её охлаждения, с полным кессонированием после 2013 г., представлены в табл. 4.1.1.

Печь имеет четыре отверстия в наклонной секции свода (кроме выхода отходящего газа): технологическое отверстие для фурмы, технологическое отверстие для резервной горелки, загрузочное отверстие и технологическое отверстие для осмотра/пробоотбора. Технологическое отверстие для фурмы расположено в геометрическом центре цилиндрической части печи (рис. 4.1.3). Фурма проходит сквозь это технологическое отверстие и поэтому располагается в центре печи. Верхняя часть этого технологического отверстия для фурмы (видна на уровне эксплуатационной площадки) расширяется, что помогает при уборке шлака от фурмы, при направлении фурмы и сброса шлака назад в печь.

При диаметре роторного питателя 400 мм его производительность по подаче шихты составляла 40 м<sup>3</sup>/ч со степенью заполнения полостей ротора на 30–35 %. Проектный питатель рассчитан на однородную, сухую и мелкую (не более 4 мм) шихту. В случае шихты переменной влажности и крупности, что характерно для ЗАО «Карабашмедь», лопасти должны были быть оборудованы тяжёлыми цепями такой длины, чтобы не препятствовать вращению ротора.

Для обеспечения возможности работы с кусковым материалом, таким как кварц, шлак, уголь, известняк и оборотные материалы, необходимо было увеличивать диаметр корпуса барабанного питателя, чтобы куски не забивали ротор. Для выпуска накапливающихся кусков в корпусе делалась пробка с помощью плавающей колодки,

располагаемой у входа в питатель, которую можно было поднимать для прохождения негабаритов.

Смотровое отверстие диаметром 200 мм для пробоотбора и контроля за состоянием печи было расположено между технологическим отверстием для резервной горелки и загрузочным отверстием (рис. 4.1.6). Это технологическое отверстие закрывалось во время нормального режима ведения работ и открывалось только тогда, когда отбирались пробы и/или измерялась глубина ванны.

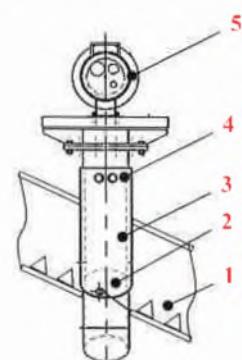


Рис. 4.1.6. Система пробоотбора и визуального контроля за состоянием печи, проект 2005 г., где: 1 – свод печи; 2 – подвод воды для охлаждения трубы (кессона); 3 – трубчатый кессон; 4 – отвод воды; 5 – крышка пробника в положении «открыто»

Соединение печи ко входу в котёл-utiлизатор находится в верхней части переходного участка печи.

В ходе эксплуатации печи был выявлен ряд моментов, затрудняющих её обслуживание. Так, роторный питатель показал свою неустойчивую работу при колебаниях влажности шихты в зимних условиях, масса смерзлась на лопастях и внутреннем корпусе питателя при любых незначительных простоях, что приводило к полному прекращению загрузки. В 2014 г. сотрудниками предприятия совместно с

проектировщиками ООО «Уралтэкпроект» были внесены существенные изменения в загрузку печи: изменены размеры загрузочного отверстия на своде с 500 x 500 мм до 630 x 900 мм; роторный питатель убрали и заменили его течкой длиной 3000 мм от бункера транспортёра до непосредственно свода печи (фото 4.1.1, 4.1.2 и рис. 4.1.7).



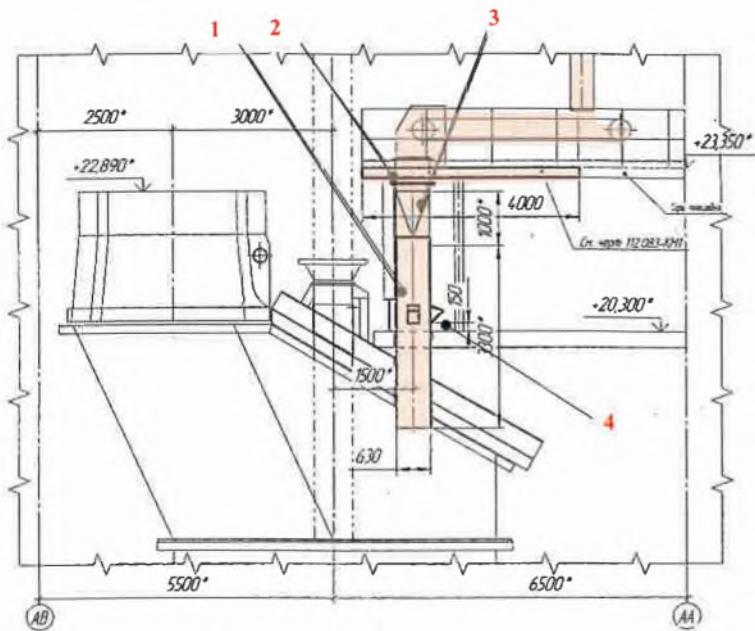
Фото 4.1.1. Загрузка печи через течку, проект 2013–2014 гг.

Кроме того, за счёт ликвидации отверстия для пробника и визуального контроля за ванной печи отверстие для загрузки шихты переместили на центр свода, симметрично относительно боковых стен наклонной части печи.

Смотровой карман в течке на уровне обслуживающей площадки позволил, при необходимости, визуально контролировать процесс загрузки, обрабатывать настыль и отказаться от отверстия для отбора проб в своде печи.



Фото 4.1.2. Смотровой карман на течке для загрузки шихты



**Рис. 4.1.7.** Реконструкция системы загрузки печи, 2014 г., где:

- 1 – течка;
- 2 – усиленная рама для бункера;
- 3 – бункер под загрузочным транспортёром;
- 4 – смотровой карман

 По мнению автора, проведённая модернизация системы загрузки имеет не совсем однозначное значение. Перенос загрузочной течки на центральную ось крышки печи с расположением её соосно с формой и рядом с ней усложняет обслуживание оборудования загрузки и, главное, снижает путь пылевых частиц загружаемой шихты до аптечка печи при вращении газовой атмосферы справа налево, а это, в свою очередь, приводит к дополнительному пылевыносу в котл-утилизатор.

Зафиксировать на практике это ухудшение в условиях ЗАО «Карабашмедь» было невозможно из-за постоянно меняющегося состава сырья и, особенно, его влажности и крупности, и отсутствия контроля за запылённостью газа на выходе из печи.

#### 4.1.1. Система дутья и отопления печи

Печь «Аусмелт» работает с одной фурмой. Воздух, кислород и природный газ подаются в неё через шланги на цепных подвесах и быстроразъёмные муфты. Фурма разработана и предназначена для работы в условиях, когда наконечник погружен в жидкую шлаковую ванну и через неё топливо вместе с технологическим воздухом, воздухом для горения и кислородом подаётся непосредственно к поверхности ванны и под поверхность.

Фурма «Аусмелт» состоит из трех концентрических труб, включающих (от внутренней трубы до внешней) топливную, внутреннего воздуха, кислорода и наружного воздуха. Материал для всех труб фурмы – комбинация мягкой и нержавеющей стали. Используются спиральные центробежные форсунки для того, чтобы создать для воздуха фурмы завихряющийся поток в кольцевом зазоре. Завихрение передаётся потоку воздуха, что увеличивает скорость движения газов у стенки фурмы, и таким образом увеличивается теплопередача между стенкой фурмы и воздухом. Это позволяет удерживаться на внешней поверхности фурмы шлаковому гарнисажу. Циркулирующий поток способствует смешению топлива и воздуха на выходе из фурмы, увеличивая эффективность горения, и представляет собой средство контроля распределения газа в штейно-шлаковой ванне. Для сокращения простоя печи она оснащается четырьмя фурмами (одна в работе, две в резерве, одна в ремонте и обслуживании). Фурма в работе поддерживается и удерживается в рабочем положении тележкой, которая движется по двум вертикальным направляющим рельсам. Фурма поднимается и опускается механизмом подъёма через соединение тележки с кран-балкой.

 Печь имела резервную горелку для сушки и разогрева перед пуском и поддержания температуры в печи в период вынужденногоостояния. В последующие годы эксплуатации руководство предприятия приняло решение об отказе от использования горелки, обосновывая свои действия высокими трудозатратами по её обслуживанию. По мнению автора, это действие не только противоречит здравому смыслу, технологической необходимости, но и впрямую противоречит правилам безопасной эксплуатации печей, оборудованных котлами-utiлизаторами. Отсутствие горелки для поддержания температуры в печи в период еёостояния переводит работу системы испарительного охлаждения в аварийный режим.

#### **4.1.2. Загрузка шихты и выпуск расплава**

Для загрузки печи шихтой она оснащена системой расходных бункеров, конвейеров, смесителей, весов и дозаторов, позволяющих шихтовать различные компоненты и дозировать их в соответствии с заданной программой или командой Оператора.

Для непрерывного выпуска расплавленного шлака и штейна печь оборудована сифоном, примыкающим к ней. В него поступает расплав из ванны печи через отверстие нижнего слива. Порог в сифоне поддерживает заданный уровень ванны в печи. Перетекающий через порог расплав поступает через лоток в передаточный жёлоб, по которому непрерывно перемещается смесь шлака и штейна в поворачивающуюся печь-миксер.

Зонт над сифоном предназначен для того, чтобы закрыть или герметизировать порог и понизить теплоотдачу при непрерывном выпуске расплавленного содержимого печи. Чтобы избежать затвердевания, горелка, расположенная в верхней части зонта, поставлена так, чтобы нагревать сифон, и эта горелка находится непрерывно в работе. Для измерения температуры потока расплава используется пирометр.

В качестве второго выпуска расплава предусмотрена аварийная лётка, через которую расплав поступает в аварийный жёлоб и – далее – в ковши. Это выпуск используется и при дренаже расплава перед остановом печи на длительное время (авария, ремонт и т. д.).

Аварийная лётка расположена вровень с лещадью и в стороне от отверстия порога. Лётка имеет отверстие 50 мм в диаметре, которое просверлено сквозь всю футеровку печи. На внешней поверхности аварийная летка располагается в центре графитового вкладыша, который устанавливается в водоохлаждаемый медный блок.

Графитовые вкладыши изготовлены из механически обработанного графита с внешним диаметром, равным приблизительно 200 мм, сужающиеся до наружного диаметра 186 мм, чтобы служить в качестве пробки. Отверстие размером 50 мм для выпуска плавки расположено в центре вкладыша. Вкладыш удерживается на месте при болчиваемой стопорной пластиной. На период работы отверстие забивается огнеупорной глиной, предотвращающей выход расплава. При необходимости выпуска массы предварительно «разделанная» глиняная пробка прожигается кислородной лёгочной трубкой или шестигранником (буровой сталью).

#### **4.1.3. Охлаждение элементов печи**

Водоохлаждаемые медные блоки используются для того, чтобы защитить футеровку вокруг порога и аварийной летки. Вода от главной системы охлаждения печи подаётся по трубопроводу через блоки, чтобы забрать тепло и обеспечить заданную температуру охлаждаемых блоков. Низкая температура футеровки вокруг блоков помогает продлить срок службы огнеупорных материалов.

Система подачи охлаждающей воды распределяет её к различным областям печи и охлаждаемым деталям и, в общем, подразделяется на шесть основных областей, которыми являются: медные панели; кольцевое охлаждение; охлаждение нижней части печи; верхний цилиндр; свод печи и отверстия; переход печи и жёлоба (рис. 4.1.3.1).

Чтобы продлить срок службы огнеупорной футеровки и защищить стальную оболочку в печах Ausmelt используются следующие типы охлаждения:

- верхние боковые стены печи – водяные рубашки из равностороннего уголка в проекте 2005 г. и медные кессоны после модернизации;
- нижние боковые стены печи – охлаждаемые водой медные панели;
- боковые стены пода печи – медные кессоны;
- пороги, летки и перемычка – охлаждаемые водой медные блоки;
- свод печи и отверстия – кессоны;
- переходной участок печи – кессоны.

Опора печи охлаждается воздухом посредством естественной конвекции с помощью использования опорной конструкции в виде распределительной решётки. Рассчитано, что базовые температуры поверхности для данных областей должны быть в диапазоне от 100 °C до 250 °C.

Основные принципы, принятые для регулирования потока и распределения охлаждающей воды для печи, следующие:

- проходные запорные вентили используются для регулирования потока воды к каждой охлаждающей детали при условии, что номинальный размер линии составляет не менее 50 мм;
- шаровые клапаны используются для изоляции воды к каждой охлаждающей детали, когда номинальный размер линии составляет не менее 50 мм;

– дроссельные клапаны используются как для регулирования потока, так и для его перекрытия по каждой охлаждающей детали при номинальных размерах линии, равных или превышающих 50 мм.

Для подвода воды к печи существует главный коллектор, снабжаемый водой непосредственно из насосной системы. Коллектор имеет отдельное выпускное отверстие для каждой из областей, описанных выше. Каждое выпускное отверстие имеет свой собственный стопорный клапан с ручным управлением, находящийся рядом или непосредственно под главным коллектором.

Чтобы продлить срок службы огнеупора в печи используются охлаждаемые водой медные панели в нижних боковых стенах печи, которые способствуют намерзанию гарнисажа на огнеупоре при её работе (рис. 4.1.3.2). В первоначальном проекте 2005 г. общая высота, покрываемая медными панелями, составляла 4000 мм, и они поддерживались стальной конструкцией печи. Имелось 32 медные панели, которые были размещены в два ряда, и шестнадцать колонок. Панели в нижнем ряду опирались на стальную конструкцию печи, а панели во втором ряду опирались непосредственно на верх нижних панелей. Панели устанавливались изнутри печи, трубные и крепёжные соединения выводились наружу через вырезки в корпусе печи. Панели представляли собой альтернативное расположение и соединялись простым пошаговым расположением. Поэтому существовало два основных типа панелей (рис. 4.1.3.3): «мама» (внутренние, обхватываемые) и «папа» (наружные, обхватывающие). Нижний ряд панелей состоял из панелей типа А – «папа» и типа В – «мама». Верхний ряд панелей состоял из панелей типа J – «папа» и типа H – «мама» (рис. 4.1.3.2).

К панелям перелива прилегают другие панели специальной конструкции типа F, G, K, соответствующие специальным требованиям панелей вокруг выходного перелива. Главными их отличиями являются конструкция соединительных трубок воды и габаритные размеры. На входе в переливное устройство находилась медная панель, монтируемая спинкой к плоскости панели типа D (рис. 4.1.3.2).

В печи имеется охлаждаемая перемычка из стального листа, являющаяся несущей конструкцией футеровки стенки шахты печи, расположенная непосредственно над верхним рядом медных панелей и загибающаяся над фронтальной стороной верхнего ряда кессонов, образуя уплотнитель.

С целью компенсации теплового расширения при разогреве печи при монтаже медных панелей поддерживается зазор между ними в размере до 3 мм, закрываемый полосками из картона или полиэтилена в период монтажа кессонов. Воздушный зазор между панелями и корпусом печи позволяет компенсировать радиальное расширение печи.

Линия подачи воды для медных панелей от главного коллектора соединяется с кольцевым коллектором, размещенным вокруг печи. Отдельные линии подачи равномерно распределяют охлаждающую воду от кольцевого коллектора к каждой колонке медных панелей. Каждая линия подачи к колонке панелей разделяется на две отдельные охлаждающие ветви на каждую медную панель (рис. 4.1.3.4).

Поток к каждой линии подачи панели может быть изолирован дроссельным клапаном с ручным управлением. После того, как линия разделилась на две, в каждой линии имеется дроссельный клапан с ручным управлением для изоляции и регулирования потока к каждой охлаждающей ветви панели. Линии подачи охлаждения печи оснащены вибрационной/изоляционной муфтой или гибким шлангом, находящимся как можно ближе к печи между кольцевым главным дозатором и расходомером.

Электромагнитный расходомер, установленный на главном коллекторе над линией подачи охлаждения для печи, измеряет и показывает общий охлаждающий поток медных панелей от главного коллектора. Расходомеры измеряют охлаждающий поток медных панелей на верхнем месте сброса каждого охлаждающего водотока (два на панель) от каждой колонки охлаждающих панелей. Датчики температуры также установлены на месте сброса каждого охлаждающего водотока для измерения температуры выпускного отверстия охлаждающей панели печи. На четырех участках вокруг печи установлено по одному датчику температуры между каждой охлаждающей панелью для измерения индивидуальной температуры выпускного отверстия охлаждающей панели печи.

Аналогичным и подобным образом подключены к системе охлаждения все остальные элементы печи.

Нижняя перемычка – это водоохлаждаемая перемычка, смонтированная внутри кожуха печи. Ряд охлаждающих блоков перемычки – это сборка из сегментов. Перемычки применяются на боковых стенах печи и в секциях верхних боковых стен, изолированных

огнеупорными материалами. Охлаждающая вода перемычки распределяется по четырём связанным колоннам. Вода для нижней части печи подаётся в кессоны с перемычками на нижних боковых стенах, а также на блоки на выпуске плавки и блоки лотка и порога.

В варианте проекта 2005 г. кессоны на верхних боковых стенах включают в себя ряд параллельных проходов, сформированных равнобоким уголком, который приварен к внешней стороне кожуха печи. Преимущество этой системы в том, что это позволяет плавильщикам визуально контролировать состояние стальной конструкции.

Свод печи проекта 2005 г. изнутри был футерован огнеупорами, с внешней ограничен стальной оболочкой. Стальная конструкция свода печи охлаждалась кессонами. Каждый кожух включал в себя ряда параллельных проходов, сформированных равнобоким уголком, который был приварен к внешней стороне свода печи.

Технологические отверстия свода печи охлаждаются водяными рубашками с перемычками.

Охлаждение переходного блока состояло из ряда параллельных проходов, сформированных равнобоким уголком, который был сварен с внешней поверхностью кожуха печи.

Жёлоб между печью «Аусмелт» и миксером футерован огнеупорными материалами, является стальной конструкцией, оснащённой кессонами.

Из-за высоких температур в печи футеровка и охлаждающие панели подвергаются тепловому расширению или сжатию, которое контролируется главным образом за счёт внутренних резервов расширения футеровки и расширительных (компенсирующих) вставок медных панелей. В нормальных условиях эксплуатации у медных панелей есть горизонтальный допуск по расширению – 3 мм зазоры в пределах лабиринтовых затворов. Вертикальная вставка, компенсирующая расширение под нижней перемычкой, достаточна для вертикального теплового расширения, даже в экстремальных условиях после случайного выхода из строя системы охлаждения. Использование плиты вакуумной формовки или огнеупорной засыпки при футеровке печи между медными панелями и корпусом печи позволяет компенсировать тепловые расширения.

К воде, питающей кессонированные элементы печи «Аусмелт», предъявляются следующие требования: максимальная температура на входе – 35 °C; общее содержание растворённых твёрдых веществ – 120 ppm; количество взвешенных твёрдых веществ –

5 мг/л; концентрация  $\text{Cl}^-$  – 99,5 мг/л; общая жёсткость – 20 мкг-экв/л; железо – 0,2 мг/л; кислотность – 7,5–8,5 рН; электропроводность – 200 мкСм/см.

Система обратного водоснабжения печи является двухконтурной. Внутренний или первый контур выполнен с разрывом струи на охлаждении теплообменников печи, объёмом до 1278 м<sup>3</sup>/ч, при температуре на входе 30–35 °C и на выходе до 40 °C. Давление воды на входе в кессоны 0,6 МПа.

Наружный контур охлаждения на градирнях, объёмом 1593 м<sup>3</sup>/ч, обеспечивает снижение температуры с 35 до 25 °C.

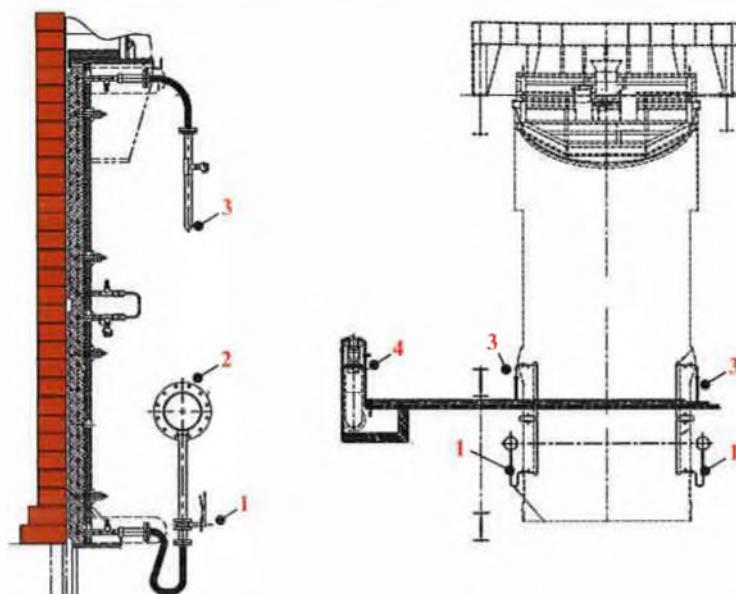


Рис. 4.1.3.4. Схема обвязки системы охлаждения медных панелей, 2005 г., где:

- 1 – дроссельный клапан с ручным управлением;
- 2 – напорный водопровод – подача воды из системы обратного водоснабжения;
- 3 – отвод воды в линии сброса;
- 4 – стакан сбора воды с разрывом струи

Температура в контурах охлаждения контролируется с использованием термопар (табл. 4.1.3.1), общее количество которых составляет 83 шт., расход воды – 36 расходомерами и датчиками потока.

В период с 2010 по 2013 гг. с целью, по мнению руководителей ЗАО «Карабашмедь», увеличения кампаний футеровки, на печи было установлено ещё два ряда «больших» медных кессонов во внутреннем пространстве печи, путём закрепления их на кожухе цилиндрической части.

Табл. 4.1.3.1. Термопары и расходомеры на контурах охлаждения, 2005 г.

Место размещения	Кол-во кессонов на коллекторе	Кол-во датчиков	Расход воды общий, м <sup>3</sup> /ч
Низ печи	20	20 термопар 2 расходомера	98–118
Медные панели «Аусмельт»	32	32 термопары 32 расходомера	385–462
Перемычки	4	4 термопары 4 расходомера	48–58
Верхний цилиндр	16	16 термопар	139–167
Свод печи и отверстия	12	7 термопар	132–164
Охлаждение перехода	4	4 термопары	112–149
Жёлоб	4		56–87
Кессоны сифона	4		48–61
Аварийный шпур	1		8–12
<b>Итого</b>			<b>1026–1278</b>

Опыт эксплуатации печи с дополнительным кессонированием показал, что цилиндрическая часть продолжала прогорать из-за разрушения защитного слоя, а большие габариты и вес медных кессонов затрудняли возможность проводить «горячий» ремонт по их замене. В связи с этим в 2013 г. было принято решение<sup>41</sup> об охлаждении всего корпуса печи, включая аптеек, с использованием небольших медных кессонов весом 492 кг и площадью 0,765 м<sup>2</sup>.

На рисунке 4.1.3.5 показана схема подводки воды к охлаждающим элементам печи по проекту 2013 г. Для облегчения монтажа элементов медные панели были уменьшены по размерам и весу с 1800 до 492 кг (рис. 4.1.3.6, 4.1.3.7 и 4.1.3.8).

<sup>41</sup> По аналогии кессонирования печи ПВ на СУМЗе.

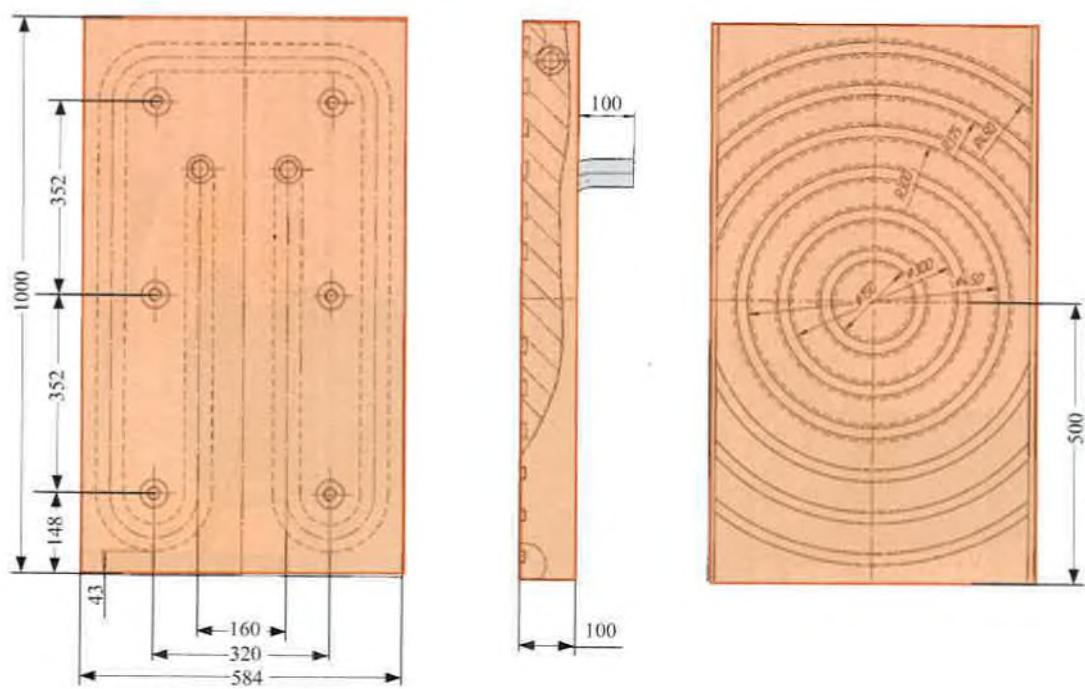


Рис. 4.1.3.6. Чертёж медной панели, вариант 2013 г.

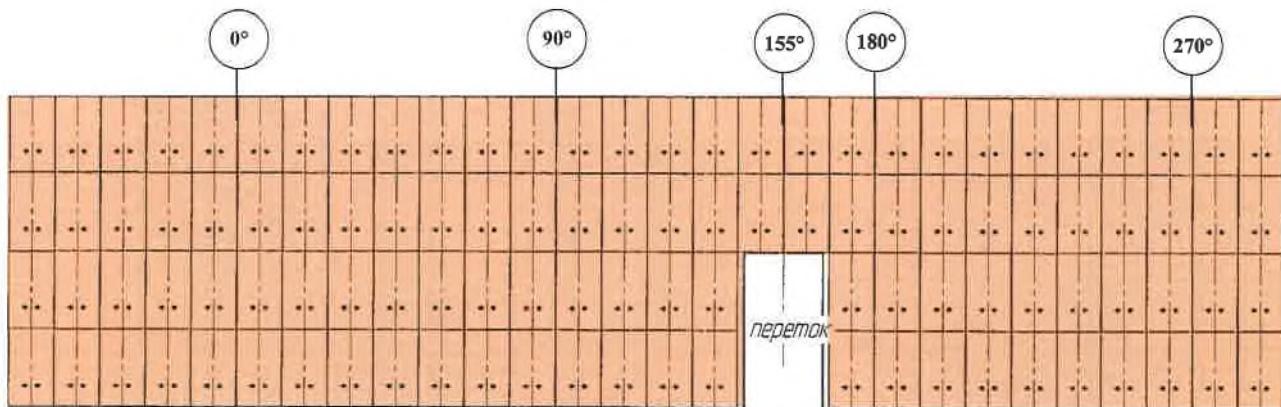


Рис. 4.1.3.7. Развёртка по установке медных кессонов в нижней части печи, изготавливаемых по проекту ЗАО «Карабашмедь» на предприятиях СНГ взамен кессонов поставки компании «Аусмелт», проект 2012–2013 гг.

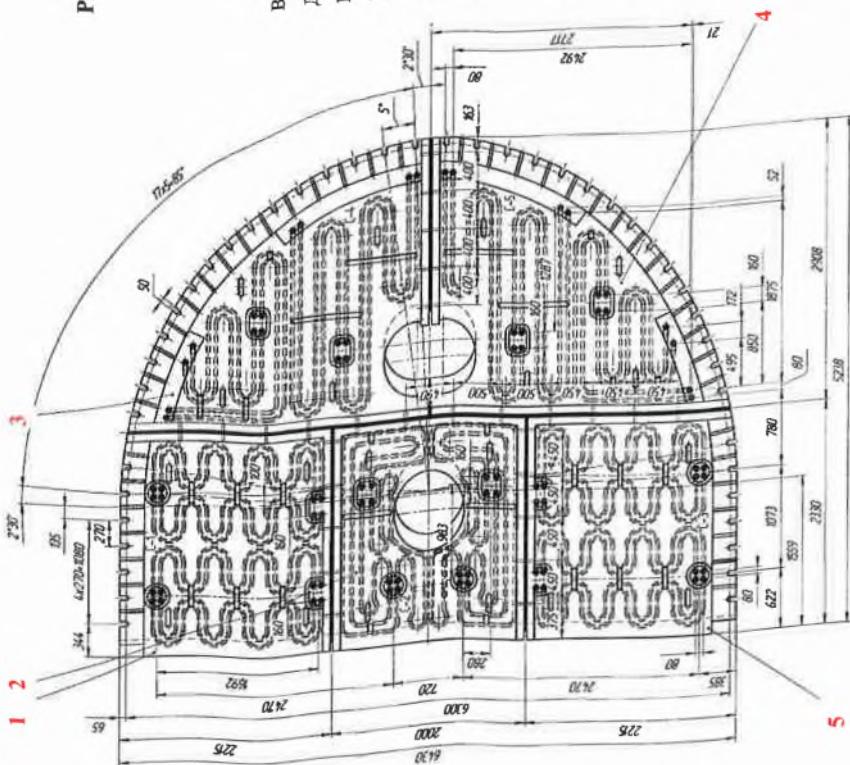
Рис. 4.1.3.10. Чертёж элементов свода в сбое.

вариант 2019 г., где:

- 1 – кессон С-1; 2 – кессон С-2;
- 3 – кессон С-4; 4 – кессон С-5;
- 5 – кессон С-3

Кроме того, было смонтировано дополнительное оборудование для фильтрации воды, поступающей из второго контура охлаждения для удаления продуктов окисления, осаждения солей и посторонних предметов. Свод печи выполнен из отдельных секций, что упрощает его монтаж и ремонт.

Секции свода – литые, футерованные и водоохлаждаемые. При этом периклазохромитовые кирпичи и змеевики из стали 12Х18Н10Т расположены в литом чугунном корпусе (рис. 4.1.3.9). Змеевик выполнен из трубы 50 × 10 М1 по ГОСТ 617-2006.



На фото 4.1.3.1 представлена схема установки медных панелей в конусной части печи (рис. 4.1.3.1, поз. 4), изготовленных в СНГ.

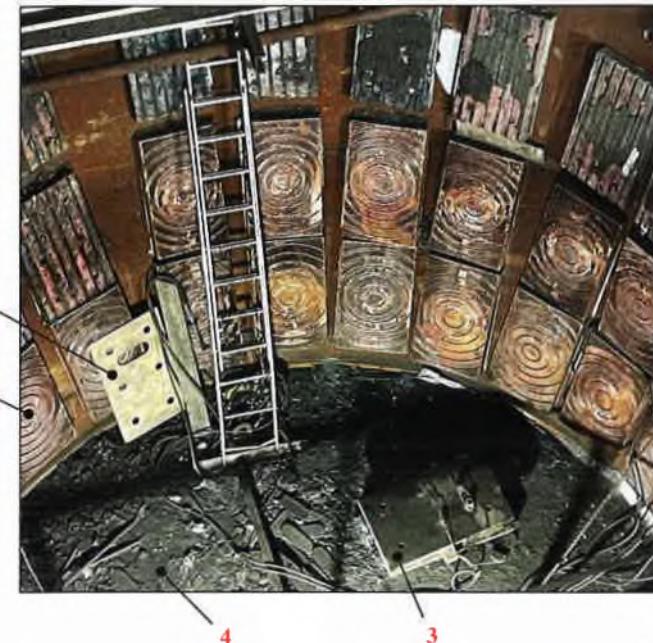


Фото 4.1.3.1. Монтаж медных панелей на конусную часть печи (рис. 4.1.3.1, поз. 4), где:

- 1 – медная панель;
- 2 – шаблон для установки панели на кожух;
- 3 – панель, подготовленная к установке;
- 4 – монтажный полок, перекрывающий цилиндрическую часть печи

Фронтальная часть перехода между печью и котлом-utiлизатором выполнена разборной из футерованных водоохлаждаемых панелей. Футеровка изготовлена из жаропрочного бетона. Элементы охлаждения образованы уголками, приваренными к наружному листу панели. В соответствии с расчётомами ООО «Уралтэкпроект», гидравлическое сопротивление печи находится в пределах 0,1–0,3 МПа, что является допустимым для установленных насосов, обеспечивающих давление 0,6 МПа при максимальной подаче воды до 1500 м<sup>3</sup>/ч в первом контуре охлаждения.

Второй контур охлаждения обеспечивает охлаждение воды первого контура через пластинчатые теплообменники. Максимальная производительность второго контура по прокачке воды 1700 м<sup>3</sup>/ч. В состав второго (наружного) контура входят: насосы 1Д 1600-90а, 4 шт. (два в работе, два в резерве), мощностью по 132 кВт и напором 33 м; теплообменники НН 145 ТС-10, 3 шт. (один в работе, два в резерве), с тепловой нагрузкой на каждый теплообменник 21 744 896 ккал/ч; восемь вентиляторных градирен с теплопроизводительностью 19,83 МВт с установленной мощностью по 22 кВт; два резервуара охлаждённой воды по 300 м<sup>3</sup>. Температура воды второго контура на выходе из теплообменника и входе в градирню равна 35–40 °С. После охлаждения она снижается на 10–15 °С, до 25–30 °С.

Характеристики теплообменника во втором контуре представлены в таблице 4.1.3.2.

Табл. 4.1.3.2. Водный теплообменник второго контура охлаждения

Показатель	Вход	Выход
Расход, т/ч	1263,9	1583,5
Температура на входе, °С	40	25
Температура на выходе, °С	30	33
Потери давления, мм вод. ст.	3,2	4,8
Скорость в каналах, м/с	1,01	1,26
Тепловая нагрузка, ккал/ч	21 744 896	
Запас площади поверхности, %		10
Коэф. теплопередачи, ккал/м <sup>2</sup> ·ч·К		5858
Эффективная площадь, м <sup>2</sup>		371,2
Число пластин и компоновка		258–ТКТМ75
Компоновка каналов	1 x 128 + 0 x 0	1 x 129 + 0 x 0
Внутренний объём, л	856,32	863,01
Толщина материала пластин, мм		0,5 AISI316
Расчётное давление, МПа		1,0
Масса, кг		6128
Длина, мм		2350
Высота, мм		2410

Напор установленных насосов позволяет обеспечить необходимый уровень напора для подъёма воды от теплообменника до градирен, с учётом сопротивления трассы равный 26,5 м.

#### 4.1.4. Нагрев и охлаждение футеровки печи

Продолжительность кампании печи определяется прежде всего сроком службы огнеупоров, который напрямую зависит от количества теплосмен и агрессивности расплава. Нагревание и охлаждение футеровки, пуск, остановка и простой печи при рабочем температурном режиме – это критичные параметры для срока службы печи и огнеупоров.

При нагревании печи от температуры окружающей среды или при запуске новой кампании, или при повторном запуске со старой футеровкой, последующем после полной остановки завода, требуется медленно нагревать футеровку до рабочего температурного режима.

Общепринято, что график разогрева предоставляет поставщик огнеупорных материалов. Этот график будет состоять из серии периодов медленного нагрева до различных температур с последующими выдержками при каждой заданной температуре и далее снова медленный подъём температуры. График прогрева новой кладки обычно требует до трёх-четырёх дней; принимая во внимание, что старая кладка может быть нагрета с более высокой скоростью.

Если футеровка нагревается слишком быстро, тогда произойдёт повреждение кирпичей и возрастёт скорость износа футеровки, вследствие ослабления микроструктуры огнеупоров или вследствие раскалывания.

Как только разогрев начался, он должен быть доведён до конца, или, по крайней мере, необходимо выдерживать определённое время на простое при заданной температуре. Такая практика необходима для того, чтобы гарантировать, что водяной пар повторно не сконденсируется на футеровке и не вызовет повреждений вследствие гидратации огнеупора, что может произойти, если разогрев прерван, а печь охлаждается. Для правильного разогрева необходимо, чтобы выполнение всех работ по холодной пусконаладке было закончено должным образом и все системы должны быть в наличии и установлены до начала разогрева.

Для разогрева используется резервная горелка. Далее, для подвода тепла на последующих стадиях нагревания обычно используется фурма. До запуска фурмы температура в печи должна быть выше 800 °C.

Как только огнеупоры будут нагреты, важно поддерживать постоянную температуру в печи, для того чтобы материалы отслужили

свой полный срок. Основная причина растрескивания огнеупоров – внезапное расширение или сжатие вследствие цикличного изменения температуры. В связи с этим необходимо, чтобы температура печи не повышалась или не падала с большой скоростью.

Наиболее частая причина выполнения запланированных остановок состоит в том, чтобы провести осмотр наконечника фурмы. Важно, чтобы на период простоя печи оператор устанавливал резервную горелку и запускал её в работу до удаления фурмы из печи.

Перед остановом печи на капитальный или длительный текущий ремонт проводится размотка печи и удаление внутренних настылей путём постепенного уменьшения загрузки печи, по возможности, её разогрева и – далее – выпуска расплава через сифон с последующим скачиванием остатков расплавленной массы через аварийную лётку.



Максимально возможное удаление массы из печи позволяет не только более эффективно проводить демонтаж старой и восстановление новой футеровки, но и в случае длительного простоя более быстро и с минимальными затратами пускать пустую печь в эксплуатацию.

При длительном останове печи на ремонт внешних элементов и конструкций печи для предотвращения её быстрого и резкого охлаждения необходимо использовать резервную газовую горелку, при этом все технологические отверстия должны быть плотно закрыты, а дымосос разгружен, что ограничит скорость охлаждения огнеупора подсасываемым воздухом.

Отказ предприятия от использования газовой горелки привёл к тому, что футеровка печи испытывает значительное количество перепадов температуры (теплосмен) при регулярных заменах фурмы, компания которой находится на уровне 2–3 суток. Хромомагнезитовый кирпич, используемый для внутренней футеровки печи имеет 10–12 теплосмен, соответственно, через 6–7 суток он начинает разрушаться, даже если остальные влияющие факторы (температура, расширение огнеупора, гарнисаж, циркуляция расплава) будут выдерживаться в соответствии с проектными параметрами, что на самом деле не так.

Более того, отсутствие газовой горелки на печи приводит к необходимости организации её разогрева после ремонта за счёт использования технологической фурмы, что целесообразно проводить только при температурах выше 800 °C, а не с температуры окружающей среды.

#### **4.1.5. Кратковременный простой (останов)**

Кратковременный простой печи определяется как этап, в течение которого температура в печи и температура ванны поддерживается резервной горелкой или фирмой в течение короткого периода времени до возобновления процесса эксплуатации.

Если форма или резервная горелка используется для поддержания температуры печи, то в печи может оставаться минимум шлака (~350 мм), чтобы позднее облегчить запуск. Не рекомендуется оставлять большие количества материала в печи на срок длительных простоев, то есть необходимо пытаться избежать состояния, при котором большее 500 мм расплава осталось в печи на срок более 8 часов. Необходимый остаток шлака регулируется использованием аварийной лётки.

Остановка печи может происходить из-за: частичной замены футеровки; окончания срока кампании футеровки; неисправности критически важного оборудования завода, которое не позволяет вести процесс в соответствии со всеми принципами эксплуатации.

О конце срока службы огнеупорной футеровки может сигнализировать любое из следующих событий: горячие точки на кожухе печи; прорыв расплава через футеровку печи; крупное разрушение огнеупоров в любой части печи; высокая температура медных панелей; высокая температура охлаждающей воды. Если что-то из этого происходит, печь должна быть остановлена для ремонта. Этот ремонт может включать полную или частичную замену футеровки.

К кратковременному останову печи без слива массы расплава можно отнести технологическую операцию по осмотру, замене и ремонту формы, нередко связанную с длительным простоем из-за технических и организационных мероприятий.

Данная операция производится с регулярностью один раз каждые один-два дня и для сокращения потерь по переработке сырья должна тщательно подготавливаться, если это не аварийная ситуация, и выполняться оперативно с привлечением достаточного количества персонала под руководством сменного мастера или другого технического руководителя.

#### 4.1.6. Слив расплава из печи

Полный слив печи (удаление всего расплавленного материала, остающегося в печи) производится с использованием аварийной лётки. При плановом останове печи процесс загрузки шихты предварительно прекращается. Аварийная лётка используется для полного опорожнения печи от расплава (рис. 4.1.6.1). Когда выпуск плавки завершён, фурма может быть извлечена из печи, но только после предварительного розжига резервной горелки для поддержания температуры футеровки.

В аварийной ситуации, такой как прорыв футеровки, повреждение порога или всей фурмы и неисправность горелки, может понадобиться аварийный слив расплава из печи. Он будет подобен контролируемому сливу, однако в таких обстоятельствах у оператора не будет времени, чтобы подготовить печь к останову. При аварийной остановке и сливе управляемое охлаждение футеровки печи невозможно.

Расплав сливается в ковши или шлаковозы, устанавливаемые под сливной жёлоб, с последующей его транспортировкой на отвал для охлаждения, дробления и возврата в цикл переработки.

При сливе расплава через аварийную лётку обслуживающий персонал принимает все меры по недопущению попадания влаги или влажных предметов в зону слива и тем более в расплав.

При наличии снега или влаги в ковшах или шлаковозах они должны быть предварительно высушены любым приемлемым способом.

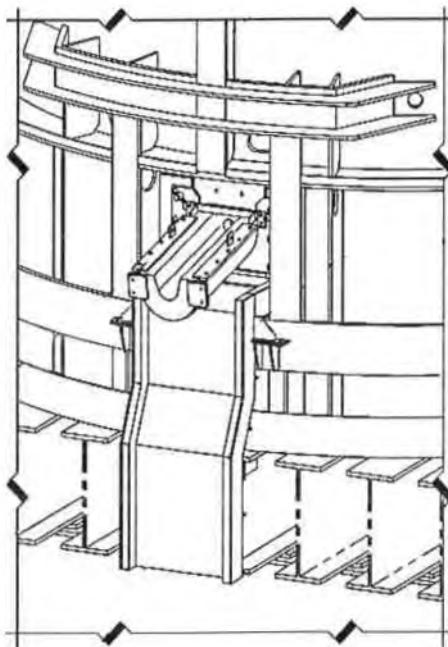


Рис. 4.1.6.1. Аварийная лётка для выпуска расплава из печи

#### **4.1.7. Порядок пуска печи после замены футеровки**

Пуск печи после капитального ремонта или замены огнеупорной футеровки осуществляется в соответствующей последовательности выполняемых действий на основании письменного решения технического руководителя предприятия.

Предварительно обеспечивается двухсуточный запас шихтовых материалов. Далее: выполняется осмотр всех систем печи «Аусмельт», транспортировки шихты, утилизации газа выпуска расплава, при этом проверяется состояние футеровки, отсутствие посторонних предметов на оборудовании и обслуживающих площадках, осматривается газоход и котёл-утилизатор, газоочистное и газотранспортное оборудование, состояние клапанов, задвижек и дросселей на газоходах, проверяется наличие и работоспособность приборов КИ-ПиА, проверяется работоспособность всех систем охлаждения водоохлаждаемых элементов печи, состояние отверстий для загрузки материалов, фурмы и выпуска продуктов плавки, работоспособность резервной горелки и основной фурмы, обеспеченность рабочих мест средствами защиты и механизации.

Пуск печи состоит из двух этапов: разогрев футеровки; формирование шлаковой ванны.

Разогрев с помощью резервной горелки начинается после предварительного запуска системы охлаждения элементов печи и обеспечения разряжения ( $-15\dots-20$  Па) в газоходе с использованием дымососов или тяги санитарной трубы.

Запуск горелки и расход природного газа в смеси с воздухом поддерживается на уровне, обеспечивающем оптимальную температуру сушки и разогрева огнеупорных материалов в соответствии с графиком, предоставляемым поставщиком огнеупора. Процедура начинается при температуре окружающей среды. До  $400$  °С разогрев ведётся со скоростью приблизительно  $50$  °С в час. При достижении температуры в печи  $400$  °С скорость нагрева снижается до  $15$  °С/ч и остаётся постоянной до достижения уровня  $800$  °С. Как правило, длительность разогрева с  $400$  до  $800$  °С рассматриваемой печи «Аусмельт» составляет 27 часов. На следующем этапе осуществляется выдержка 12 ч при температуре  $800$  °С. Далее разогрев осуществляется со скоростью  $15$  °С/час до достижения пусковой температуры  $1200\dots1240$  °С. Полный цикл разогрева печи составляет 80 часов.

Разогрев печи до 1200 °С возможен как с использованием резервной горелки, так и с помощью фурмы при достижении температуры в печи выше 800 °С и установке её в печь с предварительным или последующим удалением горелки. Параллельно с разогревом печи «Аусмельт» сушится и разогревается поворотная печь-миксер с использованием установленных на ней газовых горелок. Общее время подготовки печи к плавке составляет 3–5 суток.

Предварительный нагрев (прогрев) и сушка требуют особой осторожности при проведении этих работ. Если футеровка нагревается слишком быстро, может произойти повреждение кирпичей и возрастёт скорость износа футеровки вследствие ослабления микроструктуры оgneупоров или вследствие раскалывания. Приостановка нагрева и выдержка печи в течение не менее 12 часов необходимы для выравнивания температур по всему корпусу печи, массе оgneупорной футеровки и стабилизации водных потоков в кессонированных элементах.

Загрузка шлаковых и флюсовых материалов для формирования ванны печи после достижения установленной температуры (не ниже 1000 °С) производится в соответствии с производственным заданием технолога цеха. При плавке шлака плавильщик контролирует посредством физического наблюдения жидкотекучесть расплава. В случае недостаточной жидкотекучести ванны следует поднять температуру в печи, медленным прращением увеличивать расход топлива до получения заданной консистенции расплава. Загрузка шлака производится со скоростью до 15 т/ч до достижения уровня выше 350–400 мм. Далее скорость подачи шлака может быть увеличена.

В период формирования ванны количество подаваемого кислорода для горения природного газа должно быть не выше 90 % от стехиометрии, что позволяет снижать образование магнетита в шлаковой ванне за счёт переокисления железа шлака кислородом воздуха. Шлак при этом сохраняет свою жидкотекучесть и равномерно пропитывает и покрывает футеровку, создавая защитный гарнисаж. При наборе шлаковой ванны до 300 мм от уровня лещади шлак сливают до остаточной глубины не менее 100 мм. Далее процесс повторяют 2–3 раза, с целью более полной защиты футеровки печи, проверки работоспособности узлов перелива и пропитки шлаком футеровки миксера-отстойника.

При глубине ванны 600–1000 мм необходимо прекратить подачу шлака и поместить фурму в режим «Ожидания», в течение которого осмотреть печь, системы загрузки шихты (наличие не менее

400 т концентрата в бункерах), выпуска и приёмки расплава, газоудаления, проверить готовность шихтарника к подаче материала и убедится в эффективной работе охлаждающих элементов.

Далее выставляется система управления для загрузки концентратов при 50 % от проектной скорости загрузки и флюсов и начинается подача шихты в печь. Для поддержания требуемого погружения фурмы требуется обеспечить периодический подъём фурмы при плавке концентрата. В ходе плавления концентрата необходимо поддерживать температуру ванны 1180–1250 °C, температуру отходящего газа 1200–1300 °C, давление в печи от –10 до –20 Па, противодавление фурмы от 120 до 180 кПа, контролировать отсутствие в отходящем газе *CO*, содержание меди в штейне 50±2 %, соотношение *Fe/SiO<sub>2</sub>* в шлаке 1,4±0,2.

При глубине ванны приблизительно 0,8–1,0 м её содержимое должно постоянно сливаться через выпускное отверстие в сифоне в поворотную печь-миксер.

При получении стабильных и устойчивых показателей загрузку шихты увеличивают до 50 % и, далее, до 70 % проектной мощности. После этого увеличивается подача кислорода до количества, обеспечивающего заданное обогащение дутыя. Стабильное ведение технологического процесса, устойчивый выход расплава, постоянство газовой фазы и температуры в печи позволяют увеличивать загрузку печи до проектных значений. Обычно это происходит на 15–20 день с даты начала процедуры запуска печи.

Соблюдение всех условий процесса запуска и последующей эксплуатации печи позволяет обеспечить получение штейна, содержащего 50–52 % меди (или выше в соответствии с перерабатываемым сырьём и принятыми показателями плавки) и шлаки, содержащие не выше 8 % магнетита, 3 % меди при температуре 1200 °C.

В течение всего периода пуска печи она находится под особым контролем технических руководителей подразделения с персональной проверкой работы всех основных и вспомогательных механизмов, систем загрузки шихты, отвода газов и уборки пыли из газоходных систем. При этом проверка работы систем оборотного водоснабжения первого и второго контуров, кессонированных элементов печи, миксера-отстойника, котла-utiлизатора проводится более часто, чем установлено технологической инструкцией в период стабильной работы комплекса «Аусмельт».

#### 4.1.7.1. Огнеупорная футеровка

Для защиты металлических конструкций печи «Аусмельт» от воздействия расплава и высокотемпературных металлургических газов он изнутри защищается огнеупорными материалами (футеровкой), выполняемой как из отдельных формованных элементов (в основном), так и из огнеупорного бетона на поверхностях сложной формы. Для предохранения разрушения футеровки при её расширении в период разогрева или сжатии в период простоя между кирпичами или огнеупорными элементами печи вставляются закладки, компенсирующие эти колебания за счёт своего выгорания и образования организованных пустот или обладания демпферными свойствами.

Одним из основных показателей, влияющих на срок службы огнеупора в печи, являются условия его хранения и транспортировки от поставщика до места выполнения работ по футеровке печи. Хромомагнезитовые материалы должны размещаться в сухом месте, защищённом от осадков, конденсации влаги из воздуха и почвы. Запрещено их охлаждение ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  и ежедневные колебания температуры в местах хранения. Необходимо обеспечивать хорошие условия проветривания с хорошей циркуляцией воздуха между поддонами.



В случае пропитывания влагой кирпичей укладка их в печь **не допускается**. Магнезитовые продукты следует всегда хранить в сухих, хорошо проветриваемых помещениях. Поглощения воды, даже от земли, следует избегать настолько, насколько это возможно. Чтобы достичь этого, следует оставлять достаточно пространства между полом и кирпичами. Поддоны должны помещаться на подходящем изолированном основании. Следует избегать повреждений при транспортировке и погрузо-разгрузочных работах.

Из-за поглощения влаги периклаз ( $\text{MgO}$ ) может трансформироваться в брусит ( $\text{Mg(OH)}_2$ ). Эта трансформация сопровождается ростом объёма (на 10 %) и ведёт к структурному повреждению и, в чрезвычайных случаях, к образованию типичных трещин, как следствие, гидратации, которые могут сопровождаться изменением цвета. Образование брусита маловероятно при температурах до  $40^{\circ}\text{C}$ , а при температуре выше  $120^{\circ}\text{C}$  он разрушается, поэтому нагрев футеровки до  $400^{\circ}\text{C}$  проводится с большей скоростью с целью избежания гидратации за счёт влаги воздуха и продуктов сжигания топлива.

Ответственные производители магнезиальных огнеупоров проводят защиту от гидратации, используя упаковку из картона и сжимающей фольги (пластика). По согласованию с потребителем возможно опускание каждого кирпича в раствор сульфата магния ( $MgSO_4$ ) при его производстве. Во время последующей сушки кристаллизующаяся поверхность в форме сульфата магния, меняющаяся в цвете, может появляться на поверхности кирпичей, что не указывает на гидратацию и не имеет никакого отрицательного воздействия на сроки службы футеровки. Данные действия не являются заменой правильного хранения, а служат дополнительной гарантией ограничения образования бруссита. Это защита, блокирующая контакт влаги с периклазом, работает при температуре вплоть до 500 °С и теряет свой эффект при температурах выше.

При надлежащем хранении магнезитовые, хромомагнезитовые и магнезитохромитовые кирпичи сохраняют свои потребительские свойства в течение нескольких лет. Визуально гидратацию магнезиального кирпича можно определить по глухому (вместо звонкого) звуку при его простукивании молотком, искривлению поверхности огнеупора, наличию на ней трещин и крошения (сколов) при незначительном механическом воздействии.

Первоначальная футеровка печи «Аусмельт» на КМ была выполнена из материалов, поставленных австрийской компанией Radex, в последующие ремонты огнеупоры приобретались у российской компании «Магнезит».

Для выполнения футеровочных работ используется кран или балка (тельфер) грузоподъёмностью до 10 тонн. Грузозахватные приспособления должны обеспечивать перемещение материалов, упакованных на поддонах либо в деревянных ящиках. Дополнительно могут быть установлены ленточные конвейеры для перемещения материалов в печь, к примеру, через отверстия в корпусе печи. Для работы внутри печи применяется многоразовая или одноразовая опалубки, строительно-монтажные леса, ограждающие конструкции зоны для выполнения работ, барабанные смесители и другие средства механизации с целью облегчения условий труда и организации безопасного выполнения работ.

Перед началом футеровки осматривается корпус печи на целостность и завершение монтажа всех внутренних элементов печи в соответствии с её проектом. Осматриваются внутренние и внешние кессоны, плиты, панели и другие элементы, связанные с охлаждением

печи. Проводится опрессовка рабочим давлением всех водо- и пароохлаждаемых элементов печи с целью выявления возможных утечек, проверяется правильность их монтажа и запитки. По результатам осмотра и проверки составляется акт, подписываемый уполномоченными лицами. Наличие утверждённого акта является основанием для начала работы по футеровке печи.

Работа по футеровке начинается с горна, продолжается на боковой стенке и заканчивается на своде (рис. 4.1.7.1.1).

Монтаж футеровки цилиндра выполняется от основания (лещади горна) и завершается наверху конуса. Свод и переход монтируются после окончания футеровки цилиндра печи. Порядок кирпичной кладки может быть разделён на пять стадий: первая стадия – внутренний горн; вторая стадия – нижняя стенка; третья стадия – верхняя стенка; четвертая стадия – конус; пятая стадия – перелив, свод и переходная секция.

#### **Первая стадия футеровки – внутренний горн.**

Первый слой футеровки горна представляет собой слой алюмосиликатного (огнеупорного) бетона толщиной 87 мм сразу над нижней, стальной плитой. Рекомендуется выполнять работу по заливке бетона по секциям вследствие достаточно большой площади донной части. Залитая поверхность тщательно выравнивается. После окончания времени сушки естественным проветриванием (6–8 часов), работа по футеровке продолжается кладкой нескольких слоёв шамотных кирпичей (рис. 4.1.7.1.1, поз. 15). Форма кирпичей – стандартный прямой кирпич размерами 230 × 114 × 76 мм. Первые шесть слоёв являются «полными» слоями, следующие пять слоёв выкладываются ступенчато по направлению к окружности горна для того, чтобы создать кривизну вышележащего рабочего слоя. Каждый слой поворачивается со сдвигом 45° с учётом предшествующего слоя для того, чтобы расположить стыки в шахматном порядке.

Шамотные кирпичи выкладываются «на сухую», без использования мокрого мертеля, что позволяет исключить нахождение влаги в выносном горне. Для компенсирования любых неровностей между слоями из одиночных кирпичей используется сухой шамотный порошок (огнеупорный мертель) для размазывания его на поверхности каждого, уже выложенного, слоя перед укладкой следующего.

При укладке колец на подине горна оставляется зазор шириной 80 мм между кожухом и огнеупором для последующего его заполнения сухим шамотным порошком.

Для гарантии надлежащего заполнения зернового материала в этом зазоре рекомендуется выполнять работу в две стадии. Первое заполнение осуществляется после окончания первых шести кирпичных слоёв, второе – после завершения укладки всех остальных. Зерновой материал должен заполняться свободно, что подразумевает неплотную утрамбовку, для сохранения его в слегка сжатом состоянии (рис. 4.1.7.1.2, поз. 4).

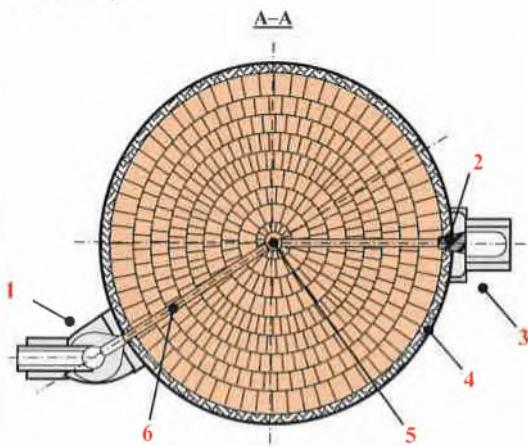


Рис. 4.1.7.1.2. Футеровка горна печи, проект 2007 г., где:

- 1 – сифон для выпуска расплава;
- 2 – графитовый вкладыш шипура;
- 3 – аварийная лётка печи;
- 4 – засыпка порошком;
- 5 – центральный блок;
- 6 – желобок для расплава

Следующим шагом является набивка порошковой огнеупорной смеси поверх шамотных слоёв для окончательного формирования слоя (постели) для защитной формы перевёрнутой арки и внутреннего горна, следующего выше. Для проверки заданных размеров основы для перевёрнутой арки внутреннего горна используется деревянное лекало.

На следующем этапе выкладывается выравнивающий слой внутреннего горна толщиной 114 мм. Для кладки используются прямые и клиновые кирпичи, позволяющие при совместной укладке более точно формировать обратную арку горна. Кирпичи укладываются со сдвижкой для перекрытия швов (рис. 4.1.7.1.2). Кладка кирпичей начинается с формирования креста в центре горна и продолжается с заполнением восходящих четырёх квадратов в направлении наружной

окружности. Перед завершением защитного слоя укладывается кольцо пяты (рис. 4.1.7.1.1, поз. 16). После этого концевые кирпичи рядов, состоящих из одинарных кирпичей, садятся в кольцо пяты путём надлежащей обрезки кирпичей на месте. Небольшие остающиеся пустоты закрываются набивочной смесью толщиной до 10 мм по всей площади арки.

Поверх уже выложенного защитного слоя кирпичей выкладывают рабочую футеровку (рис. 4.1.7.1.1, поз. 14) внутреннего горна из кирпичей высотой 425 мм. Кирпичная кладка начинается с так называемого центрального блока (рис. 4.1.7.1.2, поз. 5). Этот предварительно собранный блок должен быть размещён точно по центру горна. Вокруг этого центрального блока дополнительные кольца следуют одно за другим в направлении от кольца пяты к наружной окружности горна.

Форма горна выполняется из кирпичей, представляющих собой двойные клинья четырёх типоразмеров. Для некоторых колец существуют две формы кирпичей, связанных вместе для соблюдения варьирующегося сферического радиуса. В случае, если ближайший кирпич однорядного кольца не точно садится в ряд, его шлифуют или подрезают на распиловочном станке на площадке непосредственно в зоне монтажа. После окончания самого дальнего от центра кирпичного кольца горна выкладывается верхняя часть кольца пяты.

При кладке внутреннего горна между кольцом пяты и стальным корпусом боковой стенки оставляют зазор величиной 50 мм, заполняемый смесью на графитовой основе после завершения монтажа кольца пяты. Слегка наклонённый жёлоб в горне (рис. 4.1.7.1.2, поз. 6), ведущий к сливному отверстию печи, должен быть футерован с использованием специальных торцевых арочных кирпичей. Концевые кирпичи рабочего горна, примыкающие к этому жёлобу по обеим сторонам, подгоняются по месту установки.

Блоки лётки (рис. 4.1.7.1.2, поз. 3) (три штуки, снабжённые носком и канавкой, прямоугольной формы) и прямые кирпичи по обеим их сторонам помещаются между кирпичами пяты (рис. 4.1.7.1.1, поз. 16) нижней части. Прямые кирпичи подгоняются соответствующим образом для соблюдения радиуса примыкающего кольца пяты. На дне выхода перелива в сифоне (ширина 300 мм) предварительно собранный блок (рис. 4.1.7.1.1, поз. 17), состоящий из трех кирпичей, каждый толщиной 100 мм, выкладывают вместо кольцевого кирпича верхней

пяты. Вся защитная и рабочая футеровки горна скрепляются раствором с использованием жидкого муртеля<sup>42</sup>.

### **Вторая стадия футеровки – нижняя стенка.**

Кирпичная кладка нижней стенки (рис. 4.1.7.1.1, поз. 12) начинается после окончания футеровки внутреннего горна. Перед началом кирпичной кладки внутренняя сторона стального корпуса вплоть до самой дальней от центра медной панели должна покрываться слоем плиты из керамического волокна или листовым асбестом. Пластины покрытия отрезаются на более мелкие полоски для наилучшего прилегания к корпусу. Для фиксации материала на стенках применяется тонкий слой муртеля.

После этой стадии работы устанавливаются водоохлаждаемые панели, закладываемые в футеровку по всей окружности стены. Для предотвращения попадания воды на футерованную поверхность внутреннего горна в момент установки и последующей опрессовки внутренних кессонов целесообразно устанавливать их до начала выполнения огнеупорных работ. В этом случае кессоны необходимо прочно закреплять к корпусу печи и устанавливать защитные леса для предохранения от травм ниже работающих рабочих в случаях обрыва и падения водоохлаждаемых элементов.

Первые три слоя кирпичей сооружаются из стандартных замковых кирпичей, формы 45/20 и 45/40, длиной 450 мм и высотой 100 мм, которые укладывают вместе. Последующие кольцевые слои вплоть до самой верхней (от центра) медной панели выстраиваются из специальных замковых кирпичей длиной 228,6 мм, снабжённых носком и канавкой для увеличения устойчивости футеровки. Высота каждого кольцевого слоя составляет 114,3 мм. Размер проточки этого специального замкового кирпича рассчитывается таким образом, чтобы точно соответствовать внутреннему диаметру футеровки. В случае, если последний кирпич на кольцо (ближайший кирпич) точно не садится, его следует отрезать на площадке соответствующим образом.

Зазор величиной 25 мм между огнеупорной футеровкой и водоохлаждаемыми панелями должен заполняться графитовой смесью, улучшающей теплопередачу от кирпича к кессону. Эта работа всегда выполняется после завершения каждого отдельного кольцевого слоя.

<sup>42</sup> Жидкий муртель не используется в стыках тепловых расширений футеровки, в местах установок выгорающих прокладок.

В области выхода перелива опорные арки окружают отверстие для увеличения устойчивости этой части кирпичной кладки. Каждая опорная арка сооружается слева и справа от отверстия. Одиночные кирпичи отрезаются по месту. Наверху отверстия устанавливаются две опорные арки.

Два последних кирпичных кольца нижней стенки и слой набивочной смеси (рис. 4.1.7.1.1, поз. 18) поверх них нельзя монтировать до завершения, по меньшей мере, первых шести кирпичных колец верхней стенки (рис. 4.1.7.1.1, поз. 5).

При выполнении работ с нижней части печи и выше используются инвентарные леса или гидравлические подъёмники с применением грузоподъёмных механизмов для подачи материала в печь и в зону кладки.

### Третья стадия – верхняя стенка.

Кирпичная кладка верхней стенки (рис. 4.1.7.1.1, поз. 5) начинается сверху самой удалённой от центра медной панели и заканчивается наверху цилиндра печи. Формы кирпича этой части стенки являются такими же стандартными замковыми кирпичами, форма 45/20 и 45/40, 450 мм в длину и 100 мм в высоту, как для первых трех слоёв нижней стенки. Кирпичи укладываются вместе таким образом, чтобы соответствовать наилучшим образом внутреннему диаметру футеровки. Для надлежащего закрытия каждого кольца обычно последний кирпич либо два последних кирпича в каждом кольце следует отрезать соответствующим образом на площадке. Зазор шириной 50 мм между огнеупорной футеровкой и наружным водоохлаждаемым корпусом заполняется графитовой смесью, как и в случае с футеровкой нижней стенки. Работа по заполнению зазора всегда выполняется после завершения каждого отдельного кирпичного слоя.

Последний кирпичный слой цилиндра прямо ниже стальной перемычки делается из клиновых кирпичей (рис. 4.1.7.1.1, поз. 19), которые укладываются со смещением для предотвращения образования сдвоенных швов. Высота этого слоя составляет 150 мм. Между этим слоем и стальной перемычкой следует вставлять 50 мм прессуемую вставку, которая должна заполняться полосой толщиной 50 мм из защитного покрова, выполненного из керамического волокна или асбеста. Этот сжимающийся материал должен компенсировать вертикальное смещение огнеупорной футеровки верхней стенки во время прогревания печи.

После установки керамического покрова выкладывают кирпич сразу над перемычкой и после этого кольцо перед перемычкой. Оба кольца высотой 300 мм. Кирпичи, используемые для сооружения обоих колец, представляют собой прямые кирпичи и специальные концевые арочные кирпичи. Перед началом кладки последнего кирпичного кольца наверху цилиндра укладывается дополнительный 50 мм слой огнеупорного порошка поверх кирпичного кольца. Последнее кирпичное кольцо наверху цилиндра выполняется из клинового кирпича.

#### **Четвёртая стадия – конусная секция.**

Перед началом футеровки конуса (рис. 4.1.7.1.1, поз. 11) выполняется монтаж керамических изоляционных слоёв толщиной 25 мм. Изоляция укладывается на стальной корпус, предварительно покрытый слоем мергеля. Далее укладывается легковесный огнеупорный кирпич толщиной 76 мм. Изоляционные кирпичи полностью заливаются с использованием огнеупорного муртеля. Для наилучшей фиксации кирпичей на слое керамической плиты их обратная сторона смазывается муртелем перед укладкой.

Монтаж рабочей футеровки конуса начинается с кирпичного слоя прямо наверху последнего слоя верхней стенки. Толщина футеровки составляет 350 мм, кирпичи 100 мм в высоту. Слои из одинарных кирпичей выкладываются как плоские слои. Эта часть цилиндра сооружается, главным образом, стандартными замковыми кирпичами 35/40 и 35/8.

Между монтажом футеровки и рабочим слоем помещают набивочную смесь. В области круглых стенок прямо под сводом набивочное соединение составляет 30 мм в толщину. В области наклонной стенки против свода толщина набивочного соединения зависит от ширины кирпичных шагов. Набивочная смесь всегда помещается сразу после закрытого каждого отдельного кольца.

Подвесные кирпичи на примыкании к своду монтируются парами с использованием заранее установленных и приваренных анкеров. Зазор между крышкой и огнеупором заполняется порошком.

#### **Пятая стадия – свод, переходная секция и перелив.**

Огнеупорная футеровка свода является монолитной (рис. 4.1.7.1.1, поз. 6). Материал, используемый для отливки свода, представляет собой хромомагнезитовый на клинкерной основе бетон с тиксотропными свойствами заливки. Рекомендуется приступать к работе на своде в самом начале общей работы по футеровке для того,

чтобы позднее сохранить достаточно времени для надлежащего высыпания бетонной заливки (сушка естественным проветриванием). Поскольку свод полностью съёмный, необходимо выполнять работы по его заливке до установки на печь. Для этой цели свод должен быть сначала помешён вверх дном на рабочую площадку с уже установленными стальными трубами. Для повышения прочности конструкции в форму до заливки бетона устанавливаются стальные анкеры.

Из-за сравнительно большой площади для заливки работы по заливке бетона должны выполняться по секциям. Рекомендуется, чтобы размер отдельных секций для заливки составлял примерно 1–1,5 м<sup>2</sup>.

Перед началом работ по заливке следует помечать форму отдельных секций путём установки 10 мм деревянной опалубки. Секции заливаются по очереди, их толщина составляет 207 мм. Перед началом заливки очередной секции убирается разделительная опалубка и замещается 6 мм слоем набивочного покрытия, служащим расширительной вставкой в период разогрева печи. С целью предотвращения попадания влаги в покрытие оно заклеивается полоской тонкой алюминиевой фольги.

Огнеупорная футеровка переходной секции (рис. 4.1.7.1.1, поз. 10) печи тоже монолитная. Как правило, эта часть также выполняется в съёмном виде, отдельно от печи. Толщина бетона до 200 мм. Вследствие сравнительно большого размера всей секции работу выполняют по частям в горизонтальном и вертикальном направлении. При заливке готовый к использованию подготовленный огнеупорный бетон заливается сверху в помеченные секции. Начинать заливку необходимо с нижних секций. Во время всего процесса заливки внутри либо снаружи должны использоваться глубинные вибраторы для оптимизации уплотнённости и компактности смеси.

Футеровка переднего сифона (рис. 4.1.7.1.3) с переливом начинается после завершения монтажа кирпичной футеровкой внутреннего горна печи и летки. После приkleивания 25 мм слоя керамической плиты или листового асбеста на изогнутой выходной стенке выкладываются слои из шамотных кирпичей. Кирпичная кладка состоит из трёх слоёв высотой по 76 мм. Шамотные кирпичи в круглой области перелива представляют собой специально проточенные кирпичи.

После набивки огнеупорной смеси наверху шамотных кирпичей укладываются кирпичи из хромомагнезита. Кирпичи в нижней окружности должны быть отрезаны на площадке соответствующим

Кирпичи для футеровки боковой стенки монтируют сверху днища. Формы кирпичей – концевые арки для кривой части и прямые кирпичи для ровной части стенки. После завершения боковой стенки и арок свода переходят к монтажу перелива.

Съёмный свод сифона (рис. 4.1.7.1.4) также выполняется из огнеупорного бетона. Вследствие более тонких слоёв огнеупорного бетона толщиной 95 и 150 мм используются укороченные анкеры для усиления огнеупорного бетона.

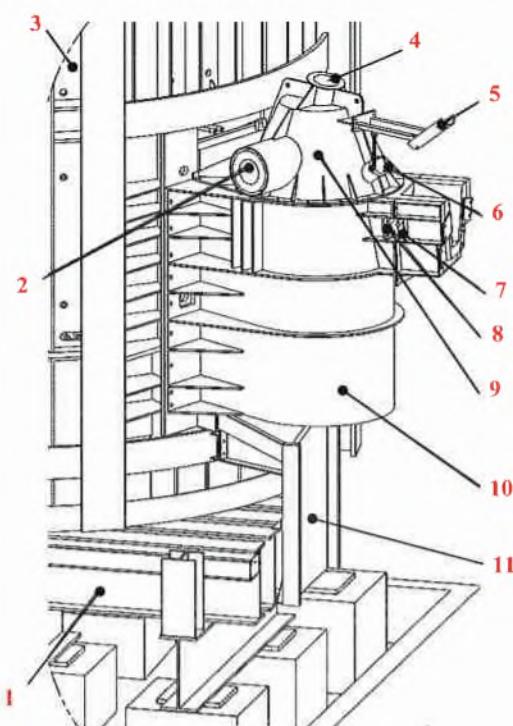


Рис. 4.1.7.1.4.

Сифон (изометрия), где:  
1 – опорный каркас печи;  
2 – канал аспирации газа;  
3 – кожух печи; 4 – отверстие под горелку;  
5 – держатель трубки; 6 – отверстие под кислородную трубку (копьё);  
7 – наружный охлаждаемый блок жёлоба;  
8 – внутренний охлаждаемый блок сифона;  
9 – крышка сифона;  
10 – корпус сифона (перетока); 11 – защитный козырёк

Для компенсации теплового расширения главным образом материалов основных огнеупоров во время прогрева футеровки печи в кирпичную кладку вставляют расширительные полоски. Расположение и распределение вставок в кирпичной кладке различных секций печи основано на расчётах теплопередачи. Рабочие температуры, используемые при этих расчётах, находятся строго в соответствии с инструкцией по разогреву печи. Используемый расширительный материал – 2 мм полоски на основе битума или картона. Для предотвращения нарушения установленных прокладок они закрываются полосками клейкой ленты на основе алюминиевой фольги.

#### 4.1.8. Жёлоб печи

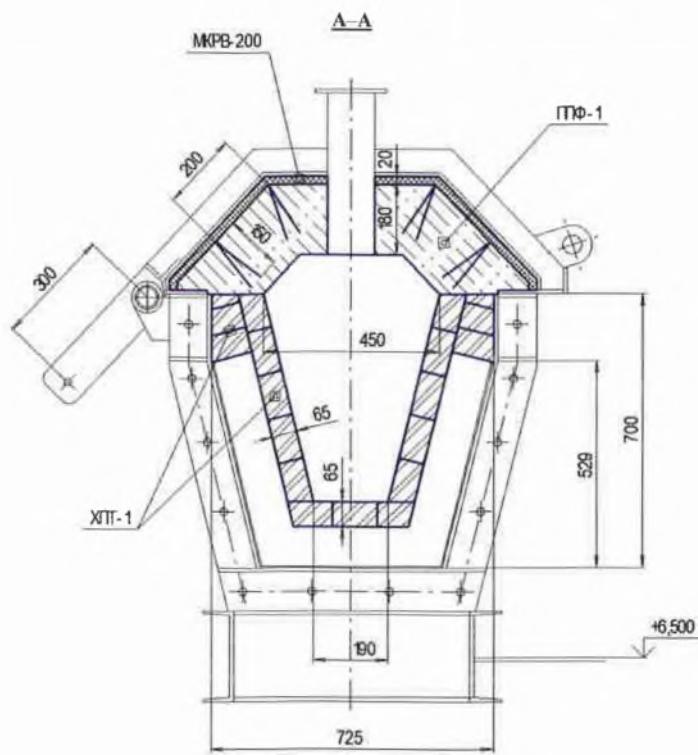
Жёлоб печи предназначен для передачи расплава из сифона печи «Аусмельт» в печь-миксер, где происходит его разделение на шлаковую и штейновую фазы. Жёлоб сверху закрыт огнеупорной крышкой, имеющей отверстия для установки газовых горелок с целью поддержания в нём заданной температуры расплава. На рисунках 4.1.8.1 и 4.1.8.2 представлен один из многочисленных вариантов исполнения рассматриваемой конструкции проекта 2005 г.

Рабочая футеровка жёлоба и крышки выполняется согласно чертежам на указанных рисунках. При футеровке рабочего желоба и его откидных крышек предусмотрены следующие материалы: огнеупорный бетон на основе высокоглиноземистого и карбид-кремниевого материала с добавкой металлического волокна; низкоцементный бетон на основе плавленого периклазохромита; теплоизоляционные маты.

Толщина футеровки 70 мм, в примыкании стенок к крышке – 170 мм. Наливка всего жёлоба осуществляется низкоцементным бетоном непрерывно в форму, задаваемую опалубкой, с одновременной вибрацией заполняемого материала. После наливки жёлоба он оставляется на сутки в естественных условиях (при этом опалубка не вынимается) для того, чтобы масса набрала первоначальную прочность. После выдержки в течении 24 часов шаблон вынимается (без механических повреждений) и сформованный жёлоб оставляется ещё не менее чем на 12 часов в естественных условиях (при этом происходит некоторое подсушивание жёлоба с выходом избыточной влаги), после чего происходит сушка и разогрев жёлоба по графику.

Откидные крышки выполняются огнеупорным бетоном толщиной 200 мм. На обечайке навариваются крестообразные анкеры (150 x 150 мм). Анкеры обмазываются пёком или оборачиваются бумагой (для термокомпенсации). После этого металлическая поверхность укрывается огнеупорным матом и заливается бетонной тиксотропной смесью. После наливки крышек они оставляются на сутки в естественных условиях для того, чтобы масса набрала первоначальную прочность. Сформованные крышки оставляются ещё не менее чем на 12 часов в естественных условиях, после чего происходит сушка и разогрев жёлоба по установленному графику:

– подъём температуры с 20 °C до 120 °C со скоростью 20 °C/ч;



**Рис. 4.1.8.2.** Сечение жёлоба печи с крышкой с отверстиями под горелки, 2005 г.

- выдержка при 120 °C в течение 6 часов;
- подъём температуры со 120 °C до 350 °C со скоростью 30 °C/ч;
- выдержка при 350 °C в течение 6 часов;
- подъём температуры с 350 °C до 750 °C со скоростью 40 °C/ч;
- выдержка при 750 °C в течение 6 часов.

Сифон печи и жёлоб оборудованы тремя горелками номинальной мощностью 594 кВт. Топливом является природный газ тепло-творной способностью 8500 ккал. Теплота сгорания газа 36,0 МДж/м<sup>3</sup>. Расход топлива 60 м<sup>3</sup>/ч при давлении газа перед горелкой 54,4 кПа. Давление воздуха перед горелкой 34 кПа. Избыток воздуха 0,41.

## **4.2. Основное оборудование**

### **4.2.1. Тележка фурмы со стрелой**

Тележка фурмы со стрелой используется как устойчивая платформа оборудования для того, чтобы поднимать или опускать фурму при регулируемых скоростях. Тележка фурмы не может использоваться в качестве подъёмника для перемещения персонала. Данное оборудование является основным оборудованием, обеспечивающим установку фурмы в печь и передачу энергоресурсов через соответствующие соединения от неподвижных коммуникаций воздуха, кислорода и природного газа к подвижной и перемещаемой фурме TSL.

Тележка фурмы со стрелой обеспечивает управление положением фурмы в печи, её выемкой и установкой.

Для замены фурмы на тележке используются крепёжные детали «кэмлок». Устойчивая конструкция тележки предназначена для выдерживания и амортизации эффекта при загрузке и вибрации, наряду с регулированием вертикальных, горизонтальных и боковых расстояний для расположения фурмы по центру печи. Вращающийся датчик абсолютного положения на лебёдке фурмы точно измеряет её высоту относительно печи, после чего сигнал принимается системой автоматического управления.

Тележка фурмы (фото 4.2.1.1) со стрелой поддерживает и направляет трубу и контактный гибкий шланг, не соприкасающийся с тележкой, обеспечивая их свободное движение. При смене фурмы тележка блокируется пневматическим фиксатором.

Тележка фурмы со стрелой представляет жёсткую стальную конструкцию, состоящую из параллельных верхних и нижних площадок, которыедерживаются раздельно с помощью вертикальных элементов-кронштейнов (рис. 4.2.1.1).

В случае неисправности лебёдки подъёма тележка поднимается за счёт рамы аварийного подъёма при помощи мостового крана с использованием крюка. Два диагональных раскоса прикрепляются к верхнему горизонтальному элементу передней части тележки со стрелой и прикрепляют фурму к тележке во время обычного производственного процесса. Каждый диагональный раскос состоит из стального цилиндра, который содержит поршень, прикреплённый к единой предварительно натянутой пружине. Другой конец поршневого штока содержит шток с проушиной, который фиксируется на подъёмной

раме фурмы с помощью штырей. Пружина обеспечивает поглощение энергии в двух направлениях, что позволяет ограничить движение фурмы во время работы.

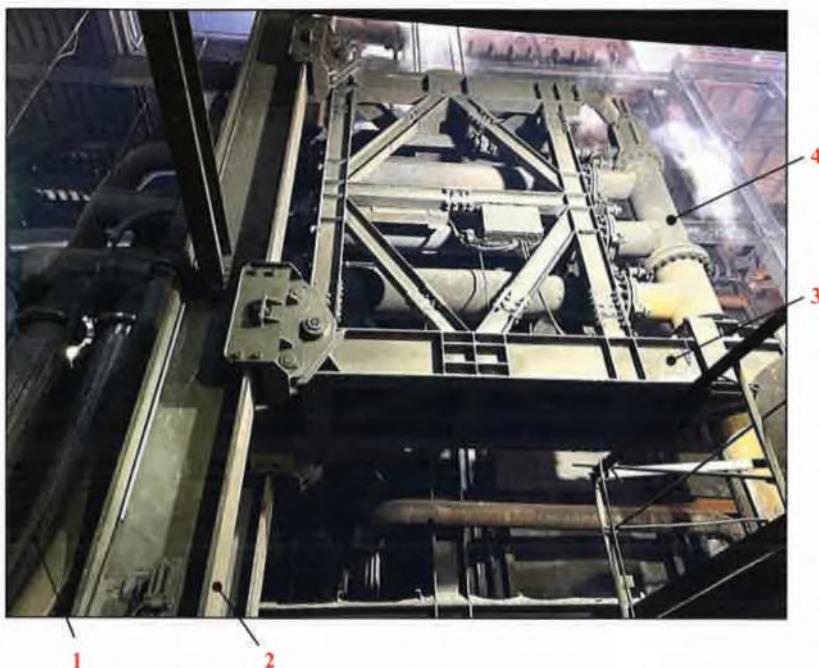


Фото 4.2.1.1 Тележка фурмы со стрелой, где:

- 1 – катенарные шланги; 2 – направляющие рельсы;
- 3 – тележка фурмы; 4 – фурма

Четыре комплекта колёс прикреплено к задней части тележки фурмы со стрелой, которые направляют её по двум вертикальным направляющим рельсам во время подъёма и спуска. Каждый комплект колёс состоит из кронштейна колеса, который катится по направляющим рельсам на кулачковых роликах, и оси колеса, которая держит консольный стержень, выходящий из тележки. Кронштейн колеса и ось колеса соединены вместе двумя удерживающими штырями, закреплёнными с помощью эластичных подшипников.

Общая масса устройства 14 163 кг.

#### 4.2.2. Направляющие рельсы тележки фурмы со стрелой

Тележка фурмы со стрелой направляется в своём вертикальном ходе двумя направляющими рельсами (фото 4.2.1.1, поз. 2 и фото 4.2.2.1). Ими являются два стержневых участка, проходящие по вертикальной длине хода фурмы, которые прикрепляются к конструкции. Консольный участок наверху направляющих рельсов обеспечивает структурную опору для лебёдки фурмы.

Направляющие рельсы предназначены для противостояния статическим и динамическим нагрузочным действиям фурмы и тележки фурмы со стрелой. Их конструкция не предназначена ни для каких других нагрузок. Стопорный и парковочный штифт тележки со стрелой расположен и закреплён около верхней части направляющих рельсов. Система парковки состоит из пневматически запускаемого штыря, что позволяет тележке фурмы со стрелой прикрепляться к направляющим рельсам в **Положение 1**. Фиксирующая система тележки управляет через панель замены фурмы.

Резиновые буферы наверху и внизу направляющих рельсов обеспечивают физические пределы ходу тележки фурмы со стрелой. Нижний буфер препятствует движению новой фурмы ближе, чем 250 мм от пода печи. Верхний буфер не позволяет тележке фурмы со стрелой подняться более чем на 200 мм выше уровня **Положения 1**.

Верхние и нижние предельные выключатели на направляющих рельсах тележки фурмы со стрелой останавливают лебёдку фурмы до резиновых буферов. Система управления процессом Ausmelt регулирует положение тележки фурмы со стрелой в диапазоне, который находится внутри верхних и нижних предельных выключателей.



Фото 4.2.2.1. Направляющие рельсы и тележка фурмы со стрелой, ремонт печи, октябрь 2022 г.

#### 4.2.3. Челнок фурмы

Челнок фурмы (люлька) держится стопорными планками на конце фурмы тележки со стрелой (рис. 4.2.1.1, поз. 7). Его функция заключается в том, чтобы поддерживать фурму и передвигать её от «кэмлок» фланцев и диагонального раскоса тележки во время её установки и снятия. Челнок фурмы обычно блокируется в своём перемещённом назад положении после того, как фурма установлена так, чтобы скользящие планки и винт мощности не подвергались ненужному воздействию пыли и газа плавильной печи и для центрального положения фурмы в отверстии фурмы.

Челнок состоит из полуцилиндра (рис. 4.2.3.1), воротника из мягкой низкоуглеродистой стали, приваренного к верхней секции коробки и нижней опорной стальной платформе. Воротник установлен между опорными звенями рамы нижней палубы на головке тележки фурмы со стрелой. Внутренние края на передней стороне членка склонены вовнутрь для облегчения движения фурмы.

Усиливающие пластины на задней стороне членка обеспечивают соединение к цилиндуру винта мощности, а также направляют движение членка между нижними консолями тележки. Скользящие пластины из алюминиевой бронзы, скреплённые с помощью утопленных винтов, облицовывают горизонтальные и вертикальные контактные поверхности членка и тележки. Два удерживающих отверстия для фиксатора членка расположены на верхней опорной платформе на задней части членка.

Электрический цилиндр винта мощности прикреплён к центру тележки со стрелой и толкает или тянет членок фурмы в соответствующее положение. Данный цилиндр приводится в действие вручную оператором. Предельные выключатели на винте мощности контролируют ход цилиндра от полностью перемещённого назад до полностью выдвинутого положения (полный ход составляет 250 мм). Стопорные планки на тележке фурмы со стрелой предохраняют членок от избыточного хода.

Для того чтобы обеспечить движение членка скользящие пластины из алюминиевой бронзы прикрепляются болтами к горизонтальной контактной поверхности верхнего участка коробки членка и к вертикальным поверхностям опорных звеньев рамы тележки. Данные скользящие пластины подвержены износу и требуют периодической замены.

Четыре L-образных стопорных планки, произведённые из высокопрочной стали, прикрепляются к внешней стороне тележки формы, чтобы удерживать форму и челнок в рабочем или отведённом назад положении.

Челнок формы выдвигает форму в нормальное эксплуатационное положение и от него, как часть операции по смене формы.

Блокирующее устройство от системы управления предотвращает движение челнока от перемещения, если только тележка лебёдки формы не находится в **Положении 1** и не является заблокированной. Интерфейс оператора и управление возвратно-поступательным движением формы осуществляется с панели парковки тележки.

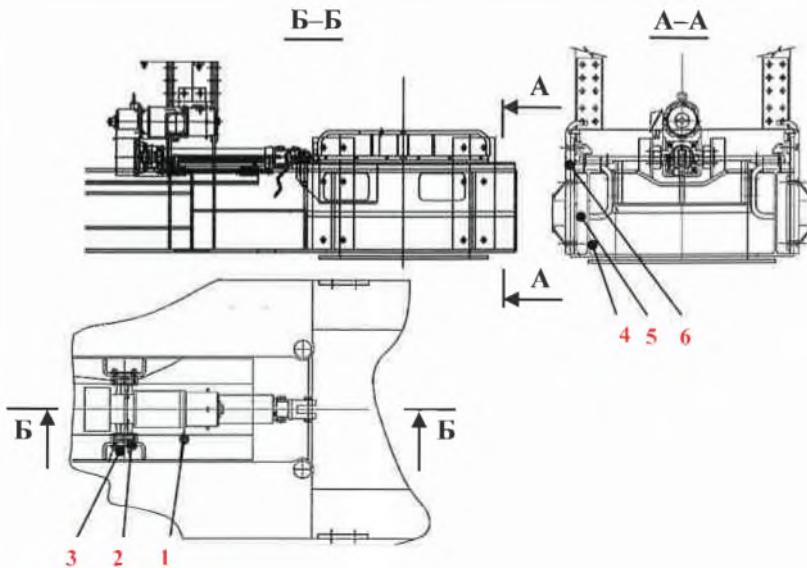


Рис. 4.2.3.1. Челнок тележки формы, где:

- 1 – ходовой цилиндр винта мощности; 2 – подшипник;
- 3 – зажимная планка, ходовой винт; 4 – стопорная планка;
- 5 – раздвижная планка; 6 – стопорная планка

#### **4.2.4. Соединения, шланги, трубы**

Трубопровод, шланги и их компоненты обеспечивают прохождение сжатых газов (внутреннего и внешнего воздуха, кислорода и природного газа) от их источника подачи через тележку фурмы со стрелой и сквозь фурму в печь Ausmelt. Соединения, шланги и трубы играют важную роль в экономичной эксплуатации печи, так как они обеспечивают свободный подъём, спуск и быструю смену фурмы.

Трубопровод внутреннего воздуха и кислорода, трубопровод внешнего воздуха фурмы соединяются на тележке со стрелой с помощью кольцевых фиксаторов. Фиксаторы прикреплены к соединительным балкам, поддерживаемым пружиной, которые устанавливаются под разными углами к раме. Диагональные раскосы не дают жёсткого ограничения фурме. Некоторое движение может быть вызвано самим производственным процессом. Гибкие соединения предусматривают движение фурмы и движение трубы в любой конец тележки. «Кэмлоки», которые прикреплены к гибким соединениям на конце фурмы, устанавливаются на регулируемых гибких опорных рычагах, для того чтобы спозиционировать их по отношению к фланцам фурмы. Скреплённые болтами фланцы соединяют трубопровод с контактными шлангами в хвостовой части тележки. В качестве меры предосторожности трубы, подающие кислород, сделаны из нержавеющей стали. Весь трубопровод и стальные конструкции очищены абразивом и покрыты краской для ограничения коррозии.

В соответствии с первоначальным проектом, катенарный шланг (фото 4.2.4.1) для природного газа имел, при диаметре до 150 мм, проектную пропускную способность 1650  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , обеспечивая максимальное проектное давление 140 кПа при максимальной температуре газа до 80 °C. При ходе фурмы 15 585 мм длина шланга составляла 16 000 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 2042 мм, максимальный динамический радиус изгиба 1500 мм. Гофрированный шланг изготавливается из нержавеющей стали и был выполнен в виде кольцевой однослоевой оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 700 кПа. Вес погонного метра шланга диаметром 150 мм был равен 7,35 кг, при внешнем диаметре 184 мм. Количество шлангов для природного газа – 1 шт.

Количество шлангов для технологического воздуха в сборе – 2 шт. Катенарный шланг для внутреннего воздуха (технология) при диаметре 350 мм имел проектную пропускную способность до

12 000 нм<sup>3</sup>/ч, обеспечивая максимальное проектное давление 140 кПа при максимальной температуре воздуха до 80 °С. При ходе фурмы 15 585 мм длина шланга составляла 18 100 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 2995 мм, максимальный динамический радиус изгиба 2400 мм. Гофрированный шланг был изготовлен из нержавеющей стали и выполнен в виде кольцевой однослойной оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 450 кПа. Вес погонного метра шланга диаметром 350 мм был равен 28,6 кг при внешнем диаметре 415 мм.

Катенарный шланг для подачи кислорода при диаметре 350 мм имел пропускную способность до 12 000 нм<sup>3</sup>/ч, обеспечивая максимальное проектное давление 140 кПа при максимальной температуре воздуха до 80 °С. При ходе фурмы 15 585 мм длина шланга составляет 18 100 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 2995 мм, максимальный динамический радиус изгиба 2400 мм. Гофрированный шланг изготовлен из нержавеющей стали и выполнен в виде кольцевой однослойной оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 450 кПа. Вес погонного метра шланга диаметром 350 мм был равен 28,6 кг при внешнем диаметре 415 мм.

Два катенарных шланга для наружного воздуха имели, при диаметре до 350 мм каждый, пропускную способность по 12 200 нм<sup>3</sup>/ч, обеспечивая максимальное проектное давление 140 кПа

при максимальной температуре воздуха до 80 °С. При ходе фурмы 15 585 мм длина каждого шланга составляла 18 100 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 2500 мм, максимальный динамический радиус изгиба 2400 мм. Гофрированные шланги были изготовлены из нержавеющей стали и выполнены в виде кольцевой однослойной оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 450 кПа. Вес погонного метра шланга диаметром 350 мм был равен 28,6 кг при внешнем диаметре 415 мм.

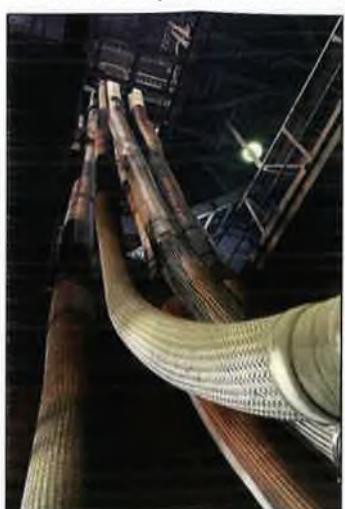


Фото 4.2.4.1. Сборка катенарных шлангов для газа, кислорода и воздуха

Количество шлангов для наружного воздуха – 2 шт.

В ходе последующей модернизации печи катенарные шланги поставщика оборудования из Австралии были заменены на шланги большего диаметра из России.

#### 4.2.5. Фурма TSL

Фурма состоит из трех вложенных концентрических труб. Технологический поток проходит через кольцевые зазоры между трубами. Фурму можно поделить на функциональные зоны выше и ниже опорного кронштейна фурмы.

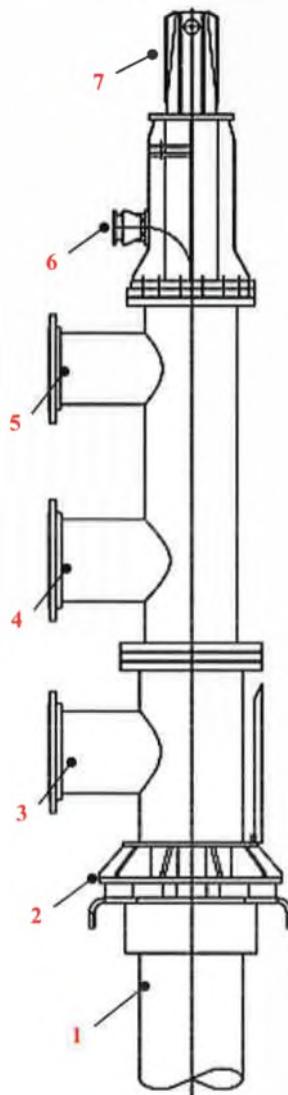
Головка фурмы (рис. 4.2.5.1) расположена выше опорного кронштейна фурмы, что обеспечивает согласованность технологического процесса и механическую поддержку фурмы. Операторы имеют прямой доступ к данной части фурмы при проведении замены фурмы.

Часть ниже опорного кронштейна фурмы размещена в печи. Смесительная камера-наконечник находится на конце трубы фурмы и составляет 350 мм в длину.

Ряд пластин, закреплённых выше опорного кронштейна фурмы и расположенных рядом с входным отверстием для внешнего воздуха фурмы, характерен для каждой фурмы. Общая масса стальной конструкции новой фурмы составляет приблизительно 4000 кг.

Рис. 4.2.5.1. Головка фурмы, проект 2005 г., где:

- 1 – фурма;
- 2 – опорный кронштейн фурмы;
- 3 – подача наружного воздуха;
- 4 – подача внутреннего воздуха;
- 5 – подача кислорода;
- 6 – подвод газа;
- 7 – ролик для зацепа и перемещения фурмы лебёдкой



Головка фурмы состоит из трех частей, которые снабжены фланцами и скреплены болтами. Четыре впускных патрубка в верхней части головки: первый для природного газа; второй – для внутреннего воздуха; третий для кислорода и четвёртый для подачи внешнего воздуха.

По рекомендации разработчика компании «Аусмелт» все трубы головки фурмы изготавливаются из мягкой низкоуглеродистой стали ANSI B36.10 или Ст3сп. Трубы фурмы – из нержавеющей стали ANSI B36.19. Фланцы – сталь ANSI B16.5. Все остальные комплектующие из мягкой стали сорта ASTM A516 –70 в AS1548 с минимальным значением испытания на удар 31 Дж/см<sup>2</sup> при –40 °С.

Все сварные швы труб должны быть полностью проплавленными стыковыми сварными соединениями. Труба должна быть подготовлена с прилежащим углом в 60° и 2 мм зазором между свариваемыми кромками и одномиллиметровой величиной взаимного перекрытия свариваемых элементов. Все кромки лицевой поверхности сварного шва должны быть с плавным переходом. Все сварные швы установки, за исключением стыков труб, должны быть подвергнуты 100 % ультразвуковой дефектоскопии.

Склад фурм выполняет общую функцию хранения запасных фурм. На складе помещается до четырёх фурм. Во время обычной эксплуатации технической линии на складе фурм находятся три запасных фурмы и одно пустое место для эксплуатируемой фурмы. Фурмы перемещаются на склад и со склада при помощи мостового крана. По всему периметру площадки склада фурм проходят перила (рис. 4.2.5.1). Доступ к локальной панели управления процессом замены фурм находится на площадке замены фурм. Ступень платформы, находящаяся на уровне выше, позволяет иметь доступ до головок фурмы для соединения и снятия крюка мостового крана. Фурмы должны быть вычищены и не должны содержать шлак перед перемещением на склад фурм, чтобы исключить возможность падения шлака на операторов и оборудование.

Опорный кронштейн фурмы состоит из кольцевой пластины диаметром 670 мм и кольцевой пластины диаметром 900 мм, приваренных на расстоянии 150 мм друг от друга, на десяти скошенных пластинах углового соединения, отходящих от трубы внешнего воздуха фурмы.

Фурма своим весом опирается на подъёмную раму фурмы при перемещении фурмы и на опорную плиту фурмы (соединительную

планку тележки со стрелой) при хранении на складе фурм или на тележку фурмы со стрелой.

Опорная плита фурмы состоит из прямоугольной стальной опорной плиты, которая отогнута вниз на 150 мм с двух сторон чтобы соответствовать членоку фурмы. Цилиндр (диаметр 630 мм x высота 300 мм) приварен к укреплённому отверстию в центре опорной плиты.

Десять гибких виброизолирующих опор обеспечивают демпфирование вибраций между фурмой и тележкой фурмы во время производственных процессов.

Виброизолирующие опоры сконструированы из полужёсткого высококачественного натурального каучука и прикреплены к стальным верхней и нижней пластинам. Виброизолирующие опоры прикреплены к опорной плате фурмы при помощи винтов и при помощи болтов к опорным кронштейнам фурмы.

Возможные повреждения фурм могут быть вызваны в следующих случаях: недостаточное покрытие фурмы из заплесков (гарнисажа); плохая установка положения и эксплуатация фурмы или использование фурмы в течение увеличенного периода времени над и в ванне без достаточного объёма охлаждающего воздуха фурмы.

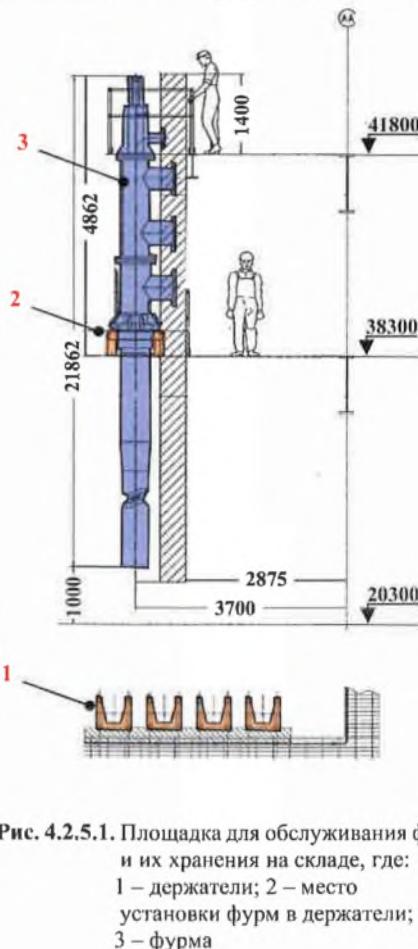


Рис. 4.2.5.1. Площадка для обслуживания фурм и их хранения на складе, где:  
1 – держатели; 2 – место установки фурм в держатели;  
3 – фурма

По паспорту фурмы минимальный расход воздуха на охлаждение фурмы должен быть не ниже  $7500 \text{ нм}^3/\text{ч}$ <sup>43</sup>.

Покрытие фурмы из заплёсков шлака необходимо для того, чтобы создать застывший шлаковый слой на наконечнике фурмы перед погружением в жидкую ванну. Покрытие гарнисажем создаётся удержанием фурмы на расстоянии от 10 до 200 мм над жидкой шлаковой ванной в течение, как минимум, 60 секунд. Регулировка положения фурмы над ванной может быть выполнена измерением глубины ванны (визуально) или по опыту на основе шума фурмы. Фурма будет издавать изменённый звук, когда достигнет ванны (как правило, в данный момент оператор наблюдает выбрасывание небольших частиц шлака из отверстия, если оно осталось открытым). Данные частицы вызваны встречей газов горения фурмы с поверхностью жидкого шлака. Частицы расплава набрызгиваются на охлаждаемую воздухом фурму и создают застывший слой, который затем изолирует сталь от жидкой шлаковой ванны. Создание шлакового слоя через процедуру покрытия фурмы из заплёсков шлака позволяет создать достаточный защитный слой фурмы перед погружением в жидкую ванну.



Обязательным условием эксплуатации фурмы является покрытие её гарнисажем перед каждым погружением фурмы в расплав.

Фурма, как правило, работает при наконечнике, погруженном на 100–300 мм ниже статистического уровня шлака в ванне. Перемешивание шлаковой ванны сконцентрировано в области на уровне наконечника фурмы, и степень движения ванны под фурмой относительно мала. Благодаря опусканию фурмы происходит эффективное перемешивание нижних областей ванны. При необходимости возможно расплавление застывшей корки расплава дутьевым факелом фурмы. Эту операцию выполняют с особой осторожностью, чтобы исключить работу фурмы рядом с подом печи, что может привести к быстрому разъеданию огнеупоров и/или повредить саму фурму при соприкосновении с настылью (коркой).

Нижние буферы тележки фурмы со стрелой физически предохраняют наконечник фурмы от спуска к точке ближе, чем 250 мм от пода печи. Препятствующий нижний предельный выключатель также не даёт опустить фурму на нижние буфера.

<sup>43</sup> Это оказалось неверным проектным решением и было изменено в первые дни после пуска печи, о чём будет рассказано ниже.

Работа фурмы в глубоком положении приводит к большему разбрызгиванию и выбросу шлака, и поэтому глубокие погружения фурмы должны производится только на короткие периоды времени (1–2 минуты). При чрезмерном накоплении настыли на основании печи данная процедура может быть повторена через малые интервалы в течение десяти-пятнадцати минут.

Шлаковое покрытие на фурме может достичь размеров, которые больше внутреннего диаметра отверстия на своде для ввода фурмы. В этом случае фурму невозможно изъять из печи. Если шлаковое покрытие фурмы соприкасается со сводом печи и нагрузка превышает заданный предел, при большом весе фурмы, датчик подъёма будет препятствовать движению фурмы. В этом случае настыль должна удаляться механическим способом. Может быть использован пневматический бурильный молоток с удлинителем. Должны быть предприняты меры предосторожности, чтобы не повредить фурму данным действием. Персоналу для данной задачи рекомендуется использовать всю обязательную защитную одежду и снаряжение, а также респираторы. После того как большая часть настыли удаляется, может быть завершено возобновление нормального отключения и подъём фурмы до **Положения 3<sup>44</sup>** или выше. После подъёма фурмы необходимо выяснить причину образования настыли на ней и внести соответствующие корректировки в режим плавки.

Образование настыли в виде «футбольного мяча» на конце фурмы может появляться тогда, когда печь работает слишком близко к шлаковой температуре плавления (работа на «холодный» шлак). При определённых условиях участок наконечника фурмы может охлаждать шлак, образуя слой застывшего шлака на наконечнике фурмы. Водный конденсат в линии подачи воздуха фурмы способствует образованию настыли в виде «футбольного мяча». При этих условиях настыли будут формироваться на наконечнике фурмы, как правило, в виде овала. Настыль растёт, пока либо не достигнет максимального размера, регулируемого плавкой внешней поверхности окружающей ванны, либо пока вес настыли не будет достаточно большим, чтобы сорваться с наконечника фурмы. Как правило, эти настыли отделяются достаточно легко от наконечника фурмы при изменении режима плавки. В крайнем случае оператору может потребоваться поднять

---

<sup>44</sup> Описание шести положений фурмы будет дано в разделе, описывающем управление фурмой.

или опустить фурму в ванне, чтобы помочь отделить настыль или поднять фурму до **Положения 3** или **4** и физически удалить образования в виде «футбольного мяча» способом, подобным удалению настыли с фурмы.

Основные признаки образований в виде «футбольного мяча» – это продолжительное увеличение обратного давления природного газа и в меньшей степени обратного давления воздуха фурмы и приглушенный шум фурмы. В крайнем случае блокирование фурмы будет увеличиваться, пока потоки природного газа и воздуха фурмы не будут ограничены, и станет необходимым физическое удаление.

Возможно, и это является вероятным для печи Ausmelt, у работающей фурмы появится «изгиб». Это может иметь место, если покрытие фурмы из заплёсков неровное или поток воздуха фурмы не отвечает требованиям для охлаждения. Данная неисправность может иметь следующие два последствия:

- наконечник фурмы не будет расположен в центре ванны;
- при необходимости фурму будет трудно удалить из печи.

Эта проблема не является серьёзной до тех пор, пока изгиб фурмы не приводит к неровному распределению производственных газов в ванне, приводящему к неровному перемешиванию и повышенному брызгоносу из печи.

Износ фурмы определяется нарушением наконечника в результате шлакового износа и/или прогара стали. Износ, как правило, ограничен до 200 мм наконечника или области размешивания/горения (ниже выхода трубы природного газа).

При износе наблюдаются следующие признаки: ровный износ трубы фурмы в зоне горения; волнообразный износ секции трубы в зоне горения; наличие отверстий, сформированных в трубе фурмы, выше наконечника.

Износ наконечника фурмы, составляющий больше 150 мм, или наличие больших отверстий в трубе фурмы потребует её замены для ремонта.

Износ наконечника фурмы может быть снижен следующим технологическим режимом:

- тщательное покрытие фурмы из заплёсков;
- поддерживание установленных минимальных расходов потока воздуха в фурме;
- поддерживание температурного режима при работе, указанного в технических условиях;

- обеспечение того, чтобы форма не эксплуатировалась в течение долгого периода времени без защитного шлакового покрытия;
- поддержание высококачественной технологии ремонта и процедур проверки.

Могут возникнуть другие виды повреждений, помимо износа наконечника формы, которые потребуют ремонта. Они включают повреждения муфт или глубокую деформацию или коррозию труб формы. В любом случае, при котором повреждение формы будет подвергать опасности цельность формы или производственный процесс, форма должна быть заменена и отремонтирована.

При простое печи и, если форма используется для поддержки температуры в ней, необходимо каждый час её опускать для нанесения на неё гарнисажа и, по возможности, погружать на время до 10 минут в расплав для поддерживания режима «Ожидания».

Для ремонта и замены формы она должна быть отключена, форма и тележка должны быть подняты до **Положения 1**. Оператор должен заменить форму с платформы замены формы, используя мостовой кран, имеющий основную и вспомогательную лебёдки. Допустимая нагрузка основной лебёдки, используемой для транспортировки формы, составляет 32 тонны. Если челнок тележки со стрелой находится не в выдвинутом положении, или труба формы, или диагональный раскос остаётся соединённым с тележкой со стрелой, то попытка поднять форму приведёт к повреждениям и может привести к травмам персонала. Основная лебёдка используется только для подъёма тележки со стрелой вместе с формой в аварийной ситуации, и должны быть предприняты меры предосторожности для подъёма только тележки со стрелой, используя аварийную подъёмную раму. Критически важным является то, чтобы не использовать основную лебёдку для производственных процессов формы.

После того как тележка со стрелой заблокирована в **Положении 1** при помощи фиксатора, оператор может привести мостовой кран и соединить его с подъёмной рамой формы. Затем соединения формы необходимо отсоединить в местах «кэмлок»-соединений вместе с диагональными раскосами. После выполнения всех данных действий должен быть выдвинут челнок. Затем, при помощи мостового крана, форма может быть слегка поднята, чтобы освободить от опоры тележки со стрелой, и перемещена. После освобождения формы от опоры её можно медленно переместить на территорию парка форм. Необходимо проявлять осторожность при движении мостового крана,

так как длинные фурмы могут раскачиваться, что может стать причиной нанесения повреждений предметам, об которые они могут удариться по пути перемещения. В парке фурма должна быть осторожно размещена и опущена в ячейку и освобождена от лебёдки, и взята другая новая или отремонтированная фурма. Чтобы соединить фурму выполняются шаги в обратном порядке. Далее может быть осуществлено возобновление производственного процесса.

Длина наконечника фурмы не превышает 500 мм (в печах «Айзасмелт» до 2 м), как правило, используется длиной 350 мм. При уменьшении длины более чем на 150 мм от заданной в результате работы в ванне расплава наконечник подлежит замене или ремонту.

Ремонт повреждённого наконечника и наваривание заменяющей части – это то, что, как правило, требуется для замены фурмы. Данные операции могут быть выполнены с фурмами в вертикальном положении, пока они висят в парке фурм. Капитальный ремонт фурмы потребует расположение фурмы в горизонтальном положении.

Перед навариванием нового наконечника весь шлак или материал ванны, который может находиться внутри ванны, должен быть вычищен. Любое повреждение внутренних труб фурмы и центробежных форсунок должно быть отремонтировано до наваривания нового наконечника.

Новый наконечник не должен содержать шлаковые включения, пористость, ослабления или плохую соосность. Фурма и новый наконечник должны быть защищены или обрезаны для V-образной подготовки кромок с целью более полного провара и хорошего качества сварки. Рекомендуется использовать зажимное приспособление для того, чтобы помочь сварщику правильно разместить наконечник на фурме.

Особенностью конструкции фурмы «Аусмелт» является установка завихрителей на потоках внутреннего и внешнего воздуха. Вращение газовой среды позволяет разрушать ламинарный слой у поверхности трубы и увеличивать теплопередачу от кожуха внешней трубы к воздуху, циркулирующему внутри её, тем самым защищая кожух от перегрева в период нахождения в высокотемпературной зоне расплава. Кроме того, вращение расплава способствует коагуляции капель штейна и облегчает последующее разделение фаз в миксере-остойнике. Вращение расплава улучшает массообмен между компонентами расплава, шихтой и кислородом дутья.

На рисунках выше представлены варианты конструкции фурмы «Аусмелт» как на момент её поставки в 2005 г. (фото 4.2.5.1), так и после уточнения конструкции разработчиками в части направлений вращения воздушных потоков в 2007 г. (фото 4.2.5.2) и диаметров труб под российские стандарты.

С 2008 г., по согласованию с разработчиком – компанией «Аусмелт», фурма изготавливается на российском предприятии в г. Озёрске.

В настоящее время на заводе проводятся подготовительные мероприятия по испытанию новой конструкции фурмы компании Outotec (рис. 4.2.5.10), принципиально отличающейся от фурмы конструкции «Аусмелт», использующей в качестве топлива только природный газ. На новой фурме отсутствует наружная труба для введения воздуха на охлаждение трубы, подающей КВС и природный газ по всей её длине. Эта труба заменена на укороченную вставку, не достигающую до уровня ванны в печи, общей длиной около 13 м. Ниже, на глубину 5,294 м опускается воздушная труба с завихрителями, внутри которой расположена труба для подачи природного газа. Диаметр трубы воздушной фурмы 416 мм при толщине стенки 8 мм.

Стопорное кольцо на стыке труб различных диаметров не позволит, по мнению разработчиков, внешнему воздуху попадать в рас-

плав, и оно будет способствовать дожиганию серы и монооксида углерода в газовой фазе (фото 4.2.5.3 и 4.2.5.4), охлаждая верхнюю часть фурмы.

Представленная фурма имеет ряд особенностей, заключающихся в следующем: минимальный расход воздуха на дожиг серы, монооксида углерода и защиту кожуха – 6000  $\text{nm}^3/\text{ч}$ ; минимальный расход воздуха на технологию для поддержания температуры – 10 000  $\text{nm}^3/\text{ч}$ ; максимальный расход воздуха на технологию в режиме плавления – 20 000  $\text{nm}^3/\text{ч}$ .



**Фото 4.2.5.3.** Укороченная наружная труба фурмы для подачи воздуха на её охлаждение и стопорное кольцо



**Фото 4.2.5.4.** Сопло фурмы для подачи КВС с внутренней трубой для подачи природного газа. Завихрители воздуха установлены на газовой трубе

По расчётом Outotec при переработке проектного количества шихты в объёме 151 т/ч (в т. ч. концентраты, т/ч: Ормет – 9,4; АГК – 6,5; Томинский – 65,4; КМ – 8,9; Михеевский 48,4; прочие 0,8; клинкер – 2,8) проектным расчётом требуется подача через фурму,  $\text{нм}^3/\text{ч}$ : природного газа – 1953; воздуха на технологию – 3082; кислорода – 28 402 и воздух на охлаждение и дожиг – 6000. При

этом будет получено 74,5 т/ч шлака и 54,8 т/ч штейна, содержащего 50–55 % меди.

Как можно видеть из обоснования специалистов Outotec, возникает противоречие между конструктивными особенностями фурмы, не допускающими снижение расхода технологического воздуха ниже 10 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  и требованиями технологии, не допускающими увеличение подачи технологического воздуха выше 3082  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Более того, опыт освоения процесса в условиях ЗАО «Карабашмедь» показал, что минимальный расход воздуха на охлаждение фурмы в объёме 6000 или 7500  $\text{нм}^3/\text{ч}$  не обеспечивает защиту фурмы – она прогорает. После получения понимания по этому и ряду других технологических и организационных вопросов на ЗАО «Карабашмедь» будут организованы испытания новой конструкции фурмы в условиях предприятия.

На сырье 2022–2023 гг. на ЗАО «Карабашмедь» при плавке через фурму подаётся до 3000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  природного газа, до 35 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  кислорода, не более 6000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха на технологию и до 25 000  $\text{м}^3/\text{ч}$  воздуха на охлаждение. Соответственно, для указанных условий параметры конструкции новой фурмы не позволяют работать на уровне достигнутых показателей и эксперимент с фурмой будет являться чисто исследовательской работой, связанной с изучением процессов сжигания природного газа в горелке с завихрителями в условиях шлаково-штейновой ванны.

#### 4.2.6. Лебёдка фурмы

Лебёдка контролирует положение фурмы в печи (рис. 4.2.6.1), прикрепляется болтами к стальной платформе примерно на 20 м выше печи. Она используется для того, чтобы поднимать и опускать фурму в печи с помощью изменения высоты тележки фурмы со стрелой. Два комплекта проволочных кабелей обматываются вокруг каждой стороны барабана лебёдки и пропускаются через шкив, установленный на тележке фурмы со стрелой с тем, чтобы заканчиваться на балансире лебёдки. Лебёдка фурмы имеет грузоподъёмность, равную 25 тоннам, скорость до 8 м/мин и оснащена системой управления аварийным торможением барабана и системой управления безопасностью.

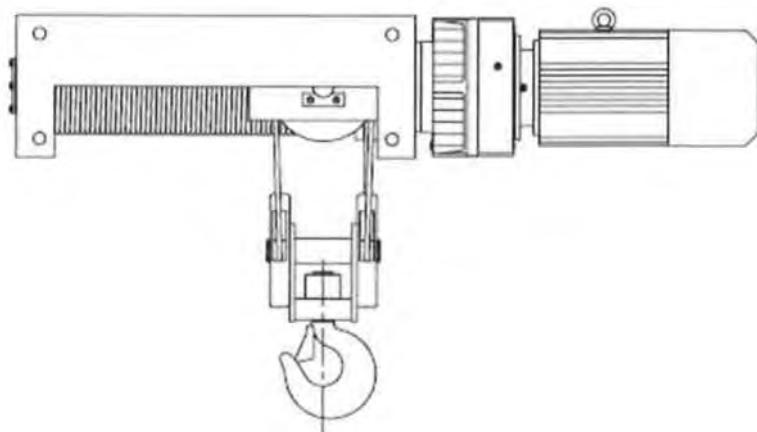


Рис. 4.2.2.1. Лебёдка фурмы

Лебёдка фурмы имеет следующие устройства:

- предельные выключатели для обнаружения состояния провисания троса;
- балансирную балку для распределения нагрузки тележки;
- штырь нагрузки для измерения массы фурмы;
- двойной шкивный блок, установленный на тележке фурмы со стрелой;
- неразъёмный дисковый тормоз на моторе;

– аварийный колодочный тормоз, который активируется при обнаружении превышения скорости датчиком на барабане лебёдки.

Точное расположение фурмы внутри печи является существенным для работы печи. Для достижения требуемой точности двигатель лебёдки управляет через привод с регулируемой скоростью через систему управления процессом Ausmelt. Управление основано на абсолютном цифровом сигнале, подаваемом комплектом вращающихся датчиков, которые устанавливаются на барабанном валу лебёдки фурмы.

Во время опускания фурмы замедление регулируется через функцию контроля крутящего момента. Как только фурма останавливается, включается тормоз двигателя лебёдки. Тормоз держит нагрузку до следующего подъёма или спуска. Во время подъёма или спуска фурмы тормоз отключается. Лебёдка оснащена предохранителем, который обеспечивает токовую нагрузку в размере от 4 до 20 мА для нагрузки в любой период времени.

При условии правильного технического обслуживания и ухода поломка лебёдки чрезвычайно редка. При остановке, вызванной заклиниванием троса или неисправностью, подъём обеспечивается с использованием мостового крана через аварийную подъёмную раму на верхней части тележки фурмы со стрелой.

Параметры лебёдки:

Модель (как пример)	АН 10125-16-4,2 L80E
Запасовка	4 x 2 независимых троса
Грузоподъёмность	25,0 тонн
Точность положения	±10 мм
Доступная высота движения	17 950 мм
Эксплуатационная высота	15 595 мм
Рабочее время	1 ч/сут
Нагрузка под тормозом	23 ч/сут
Скорость лебёдки	0,8–8 м/мин
Рабочий тормоз – диск быстродействующего типа, приводимый в действие для вывода из зацепления эл. током.	
Напряжение обмотки	380 В переменного тока
Температура окружающей среды	от -40 до 35 °C
Пульты управления	Главный и подвесной
Диаметр троса лебёдки	26 мм
Длина каждого троса	45 500 мм

#### **4.2.7. Шкив лебёдки**

Лебёдка фурмы оснащена 4/2 запасовкой и поэтому для неё необходим шкив. Масса фурмы и тележки со стрелой поддерживается четырьмя стальными тросами. Конструкция шкива лебёдки крепится болтами к двум L-балочным опорам в верхней центральной части тележки со стрелой. Она представляет собой комплектующий узел и состоит из двух шкивов из высокопрочной стали, установленных на расстоянии 500 мм друг от друга на стальной плите.

Шкивы лебёдки врачаются вокруг единой оси из углеродистой стали на роликовых подшипниках в центре шкива. Ось удерживается на месте с помощью торцевых пластин, прикреплённых к каждому концу оси. Подшипники шкива являются бессрочными герметизированными и могут быть лишь повторно смазаны при демонтаже конструкции шкива. Блок шкивов состоит из четырёх треугольных пластинчатых стальных секций, приваренных к базовой платформе. Стальные секции прикреплены к базовой платформе с помощью двух дополнительных стальных секций на каждом конце. Базовая платформа имеет восемь M24 высокопрочных болта, чтобы удерживать её на раме тележки со стрелой. Любое развинчивание болтов требует их замены. Функция блока шкивов – поддерживать ось шкива, разделять шкивы и направлять подъёмные кабели. Поверхность окрашена краской для обеспечения защиты от условий производства.

#### **4.2.8. Датчики управления системой**

Для обеспечения стабильной работы печи она снабжена минимально необходимым объёмом датчиков контроля, а именно: измерителями магнитного потока; трёхпроводным дистанционным датчиком температуры RTD Pt100s; термопарами типа K; термопарами типа R; системами аварийного отключения и ручным переключателем аварийного отключения; кодовыми датчиками положения фурмы; пирометром печи; измерителями вихревого потока; диафрагменными расходомерами; датчиком потока в усреднительной трубке Пито; датчиками давления; датчиками перепада давления; клапанами регулирования давления; регулировочными клапанами на дроссельной заслонке и проходном запорном вентиле; приборами аварийного отключения сирены; позиционными переключателями; стопорными клапанами.

#### **4.2.9. Котёл-утилизатор**

##### **4.2.9.1. Химводоподготовка (ХВП)**

Для предотвращения образования накипи на внутренних поверхностях охлаждающих элементов печи, газоходных систем и котла-утилизатора используется химически подготовленная и очищенная вода. Назначение ХВП – осветление и умягчение исходной воды до норм, обеспечивающих требования качества, предусмотренные для питания кессонированных элементов и паровых котлов с давлением до 40 кг/см<sup>2</sup>. Производительность ХВП по технической (умягчённой или питательной) воде – 100 м<sup>3</sup>/час, по деаэрированной воде для системы испарительного охлаждения котла – 40 м<sup>3</sup>/ч.

Источник водоснабжения установки: основной рабочий водопровод – техническая вода от внутризаводских сетей (Богородский пруд); резервный водопровод – от внутризаводских сетей питьевого водопровода (Киалимское водохранилище).

Гидрологическая характеристика пруда:

– нормальный подпорный уровень (НПУ)	– 309,0 м БС
– уровень мёртвого объёма (УМО)	– 306,0 м БС
– полный объём	– 2,0 млн м <sup>3</sup>
– полезный объём	– 1,7 млн м <sup>3</sup>
– площадь водосбора	– 72,6 км <sup>2</sup>
– максимальная глубина	– 6,0 м
– среднемноголетний сток	– 13,6 млн м <sup>3</sup> /год
– сток (Р = 95 %)	– 4,75 млн м <sup>3</sup> /год
– полезная водоотдача (Р = 95 %)	– 6,31 млн м <sup>3</sup> /год

Для приготовления питательной воды она осветляется на механических фильтрах, проходит через Na-катионитовые фильтры, загруженные катионитом КУ-2-8.

Для регенерации катионита используется раствор поваренной соли. Раствор приготавливается и хранится на складе мокрого хранения соли, состоящий из двух подземных ж/б резервуаров по 40 м<sup>3</sup> и насосов подачи раствора соли на химводоочистку. Доставка соли на склад осуществляется автотранспортом. Характеристика химического состава воды Богородского пруда представлена ниже:

– жёсткость общая	2,4 мг-экв/л
– щёлочность общая	0,6 мг-экв/л
– содержание хлоридов	8,1 мг/л

– содержание взвешенных в-в	до 2000 мг/кг
– сухой остаток	до 670 мг/кг
– содержание железа (в пересчёте на <i>Fe</i> )	0,39 мг/л
– содержание нефтепродуктов	0,15 мг/л

Технологический процесс очистки заключается в следующем: осветление воды; умягчение воды методом натрий-катионирования; восстановление фильтрующей поверхности фильтров.

### **Осветление воды**

Исходная техническая вода по трубопроводам подаётся в здание химводоочистки на фильтры осветления, предназначенные для очистки воды от механических примесей путём пропуска её через слой зернистого материала (кварцевого песка). Взвешенные в воде вещества задерживаются на поверхности и в порах зёрен загрузки. В результате фильтрования происходит осветление воды. Фильтрование воды осуществляется за счёт разности давлений над слоем кварцевого песка и под ним. Конструктивно осветительные фильтры представляют собой вертикальные однокамерные аппараты. Фильтры загружаются кварцевым песком с размером частиц 0,5–1,5 мм. В качестве подстилочного слоя используется кварцевый песок размером частиц 2,5–5,0 мм. Для восстановления фильтрующей способности периодически проводят взрыхление слоя песка водовоздушным потоком с последующей отмывкой фильтров от накопившихся механических примесей.

### **Умягчение воды**

Осветлённая вода после фильтров подогревается в пароводяном подогревателе (теплоноситель – пар давлением 4–13 кгс/см<sup>2</sup>). После подогрева вода направляется на умягчение в натрий-катионитовые фильтры I-ой ступени, затем для более полной очистки от солей жёсткости – на фильтры II-ой ступени. Натрий-катионитовые фильтры представляют собой вертикальные однокамерные аппараты. Фильтры загружаются катионитом КУ-2, в качестве подстилочного слоя используется кварцевый песок с размером частиц 2,5–5,0 мм. После умягчения вода поступает в бак химочищенной воды, откуда по мере необходимости подаётся в деаэраторы существующей котельной и деаэраторы котла-утилизатора печи «Аусмелт».

### **Восстановление фильтрующей способности фильтров**

Для приготовления регенерационного раствора соли предусмотрены две ячейки мокрого хранения соли объёмом 40 м<sup>3</sup>. Соль загружается в ячейки, растворяется осветлённой водой и насосами через фильтр крепкого раствора соли подаётся на химводоочистку. После

пропуска раствора соли через фильтр для удаления из катионита избытка соли  $NaCl$  и продуктов регенерации (солей жёсткости) производится отмывка катионита осветлённой водой. Технологические параметры процесса ХВП представлены в таблице 4.2.9.1. Параметры основного оборудования показаны в таблице 4.2.9.2. В таблице 4.2.9.3 отражены технико-экономические показатели работы установки производительностью  $100\text{ m}^3/\text{ч}$ .

Типовой состав химочищенной воды:

– pH	7,8
– жёсткость общая	2,4 мг-экв/л
– щёлочность общая	0,6 мг-экв/л
– содержание хлоридов	7,6 мг/л
– сухой остаток	до 330 мг/л
– содержание сульфатов	до 123 мг/л
– содержание железа (в пересчёте на $Fe$ )	0,39 мг/л
– взвешенные вещества	1,74 мг/л
– состав взвешенных веществ, %: $61,57Fe_2O_3$ ; $22,38SiO_2$ ; $10,14SO_3$ ; $1,92ZnO$ ; $1,45CuO$ ; $1,3PbO$ .	

#### Деаэрирование воды

Часть химочищенной воды направляется в установку деаэрирования типа ДА-100/50, где при продувке паром происходит удаление из воды кислорода и диоксида углерода. Воду предварительно нагревают в теплообменнике до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Используется двухступенчатая схема работы: первая – струйная в колонке; вторая – барботажная в баке-аккумуляторе. Содержание кислорода в этой воде не должно превышать 20 мг/кг, а диоксида углерода 10 мг/кг.

Распределение питательной и деаэрированной воды на подпитку агрегатов представлено ниже,  $\text{m}^3/\text{сут}$ :

– котёл-утилизатор	деаэрированная вода	700
– кессоны печи	химочищенная вода	300
– напыльники конверторов	химочищенная вода	30
– анодный передел	химочищенная вода	90

Кроме того, большой объём воды для подпитки оборотной системы используется без предварительной химической очистки во втором контуре охлаждения комплекса «Аусмелт» ( $317\text{ m}^3/\text{сут}$ ); в БАО ( $350\text{ m}^3/\text{сут}$ ); на анодном переделе ( $346\text{ m}^3/\text{сут}$ ); в сернокислотном производстве ( $5700\text{ m}^3/\text{сут}$ ); на очистке промстоков ( $1300\text{ m}^3/\text{сут}$ ); участке нейтрализации кислоты ( $2400\text{ m}^3/\text{сут}$ ); обогатительной фабрике ( $600\text{ m}^3/\text{сут}$ ) и прочих объектах до  $400\text{ m}^3/\text{сут}$ .

#### 4.2.9.2. Котёл-утилизатор, 2005 г.

Отходящие газы из печи Ausmelt направлялись на утилизацию тепла в котле-утилизаторе и охлаждались в нём с 1180 до 400 °С с получением сырого пара. В основе работы котла лежит передача тепла отходящих газов к воде через поверхности нагрева конструкции. Вода нагревалась и вскипала с образованием пароводяной смеси, которая поступала по подъёмным трубам в барабан-сепаратор, расположенный в верхней точке системы трубопроводов над поверхностями нагрева. В барабане происходило разделение смеси на пар и воду, которая поступала обратно по спускным трубопроводам к поверхностям нагрева, а пар – передавался потребителям. Система обеспечивалась автоматической подпиткой химочищенной деаэрированной водой таким образом, что в барабане поддерживалось заданное постоянное рабочее давление пароводяной смеси. Для предотвращения низкотемпературной сернокислотной коррозии поверхностей нагрева в рассматриваемой конструкции котла поддерживалось давление 3,9 МПа, что соответствовало температуре насыщенного пара 249 °С, превышающей точку росы охлаждаемых металлургических газов.

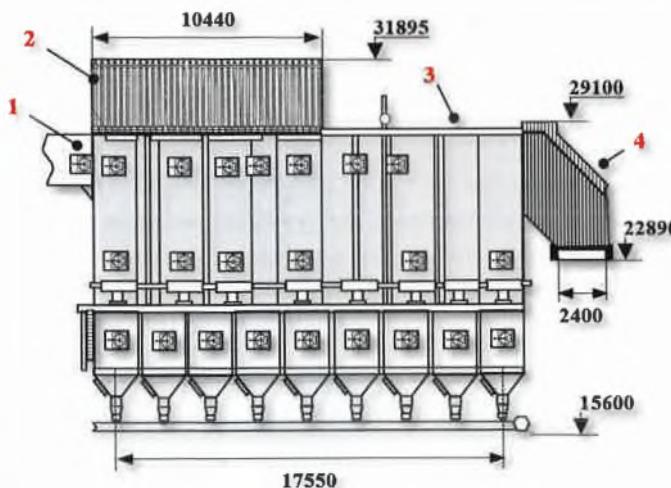
Кроме функции охлаждения газа и утилизации тепла, котёл производил грубую очистку газа от пыли, поступающую с отходящими газами и формирующуюся в газовом потоке при охлаждении газа за счёт конденсации возгонов.

Котёл был изготовлен и смонтирован компанией ООО «Уралэнергоцветмет» в 2006 г. Основные проектные технические параметры котла:

– тип котла	РКЦМ 32/40-70
– объём газа на входе, тыс. $\text{nm}^3/\text{ч}$	70
– температура газа на входе в радиационную часть, °С	1200
– температура газа на входе в конвективную часть, °С	774
– температура газа на выходе из котла, °С	411
– давление пара (избыточное), МПа	4,0
– температура насыщенного пара, °С	250
– паропроизводительность, т/час	32
– температура питательной воды, °С	100
– циркуляция котловой воды	естественная
– поверхность нагрева радиационной части, $\text{м}^2$	320
– поверхность нагрева конвективной части, $\text{м}^2$	1197
– аэродинамическое сопротивление котла, Па	100

Котёл имел длину 22 м, ширину (включая коллекторы панелей) – 7,4 м, верхняя отметка газохода по термосифонам +31 895. Боковые стены и потолочная часть котла состояли из гладкостенных цельносваренных панелей, представляющих собой стальной лист толщиной 10 мм из стали 09Г2С с приваренными к нему снаружи трубами Ø 42 x 5 мм с шагом 80 и 85 мм.

На расстоянии 7 м от начала котла устанавливалась верхняя перегородка из термосифонов для отклонения потока газа в нижнюю часть котла. На расстоянии 2,7 м от перегородки из термосифонов в нижней части котла устанавливалась перегородка из огнеупорного кирпича для отклонения потока в верхнюю конвективную часть, где монтировалось 37 блоков термосифонов, включая вторую верхнюю перегородку из термосифонов (рис. 4.2.9.2.1).



**Рис. 4.2.9.2.1.** Котл-utiлизатор (схематичное изображение)  
проекта «Уралэнергоцветмет», 2005 г., где:  
1 – выход газа; 2 – термосифоны; 3 – конвективная  
часть котла; 4 – аптейк

Вдоль всего котла была установлена бункерная охлаждаемая часть котла, состоящая из отдельных панелей. В нижней части к бункерам присоединялась система уборки пыли. Для очистки термосифонов от пыли в панелях котла были предусмотрены лючки для присо-

единения камер импульсной очистки. Для предотвращения возможности замерзания термосифонов зимой, в периоды останова печи, на котле была предусмотрена система подогрева сифонов деаэраторной водой через шесть нижних панелей термосифонов.

Котёл устанавливался на каркасе через опорные конструкции. Блоки термосифонов через нижние коллекторы холодильников опирались на боковые панели котла. Коллекторы плотно прилегали друг к другу, образовывая потолочную часть котла. Ряды термосифонов устанавливались в шахматном порядке. Шаг между трубами термосифонов составлял 580 мм.

Котёл-utiлизатор состоял из: 40 панелей (включающих в себя коллекторы, трубы, лазы, лючки для присоединения камер импульсной очистки); 22 блоков термосифонов; перегородки из термосифонов; взрывных клапанов; установки барабана-сепаратора; трубопроводов в пределах котла и узла питания.

Перед котлом, над печью «Аусмелт», устанавливалась камера испарительного охлаждения, соединяющая котёл с печью.

Барабан-сепаратор располагался в помещении для барабана на отм. 33 700. Барабан изготавливается согласно ОСТ.108.030.39-80. К барабану были подключены все циркуляционные потоки. Циркуляция котловой воды – естественная. Для увеличения надёжности циркуляции было выполнено несколько контуров циркуляции. Барабан диаметром 1500 мм, толщиной стенки 36 мм изготавливается из стали марки 20к. Для обеспечения требуемого качества пара была выбрана двухступенчатая схема сепарации. В качестве сепарационных устройств чистого отсека устанавливались погруженные дырчатые щиты и пароприёмный потолок. В «солёном» отсеке было установлено два внутрибарабанных циклона. Нормальный уровень в баке находился на 100 мм ниже геометрической оси барабана.

На паропроводе от барабана-сепаратора был предусмотрен сбросной трубопровод (свеча) с запорным электрофицированным клапаном для сброса пара в атмосферу при пусковых режимах или при ограничении потребления пара.

В период пусконаладочных работ и в первый год эксплуатации печного комплекса metallurgические газы не соответствовали заданным параметрам котла-utiлизатора ни по количеству газа, ни по его температуре и, главное, по количеству выносимой пыли, включая расплавленные частицы массы.

Кроме того, в ходе эксплуатации нарушались требования по качеству питающей кессоны воды как по химическому составу, так и по содержанию взвешенных веществ. Это приводило к неудовлетворительной работе котла, нестабильным параметрам по температуре выходящего газа, паропроизводительности, величине подсосов воздуха и частым авариям, связанным с прогором кессонов, утечкам воды и забиванию систем выгрузки пылью и корками.

Неудачным было и решение по аптечку – отсутствие вертикального газохода не создавало условий для охлаждения частиц выносимого с газами расплава и приводило к образованию настылей в конвективной части котла. Фактически уже в 2008 г. котёл требовал кардинальной модернизации или замены в соответствии со складывающимися условиями эксплуатации печи.

#### 4.2.9.3. Котёл-utiлизатор Alstom

Первоначальный вариант котла-utiлизатора не соответствовал требованиям плавки в печи «Аусмелт» с точки зрения величины времени предварительного охлаждения газа между печью и котлом в высоких вертикальных газоходах, как на всех построенных и эксплуатируемых компанией «Аусмелт» заводах мира. В связи с этим в котёл попадали брызги расплава и вязкая масса из шихты, пыли и шлака, образующая настыли, затрудняющие обслуживание котла, удаление пыли и приводящая к дополнительной нагрузке на металлоконструкции цеха.

После поднятия уровня расплава в печи выше проектного вынос в газоход расплавленной массы существенно увеличился. Ситуацию усугубляло и отсутствие предварительной подготовки шихты, особенно пыли, путём её окускования и смачивания до 10 % влажности, что приводило к повышенному пылевыносу.

В конце 2007 г. ЗАО «Карабашмедь» по рекомендации компании Bateman и согласованию с фирмой «Аусмелт», закупила за 12,7 млн евро (проект – 1,7 млн, основные конструкции и узлы нового котла-utiлизатора – 4,5 млн, насосы и приборы КИПиА – 6,5 млн) у компании Kamwest-Alstom (рис. 4.2.9.3.1) со сроком завершения поставки в январе 2009 г. Данный вариант котла позволял изменить вход газа в котёл таким образом, что он поступал в него в верхней части, а не сбоку, как это осуществлялось в действующем кotle (рис. 4.2.9.2.2). Котёл предполагалось удлинить на 2300 мм с тем, чтобы

стало возможным использование дополнительных теплообменников для снижения температуры газа на выходе до проектных значений.

Газоохладитель оборудовался собственной установкой химвадоподготовки, насосами циркуляции, средствами дозирования химикатов и выгрузки пыли из сборников. Испарительная система котла функционировала в условиях сочетания принудительной и естественной циркуляции.

Котёл должен был пропускать 84 776  $\text{нм}^3/\text{ч}$  газа из печи с запылённостью 60  $\text{г}/\text{нм}^3$  и 10 155  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха подсосов, итого 94 931  $\text{нм}^3/\text{ч}$  металлургического газа.

В результате окисления  $S$  в газе, поступающей от диссоциации пирита и халькопирита, в ходе реакции выделялось 9390 кВт тепла. Для сжигания серы было необходимо дополнительно подать в котёл 9990  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха. Котёл был предназначен для сжигания 3000 кг серы в час, а также для утилизации дополнительного образующегося тепла в количестве 9390 кВт.

При температуре металлургического газа 1191–1376 °С котёл-utiлизатор позволял гарантированно снижать её на выходе до 320–380 °С.

Максимальная общая тепловая нагрузка на котёл-utiлизатор составляла 52 770 кВт, в том числе:

- газы: охлаждение с 1191 °С до 350 °С – 8570 кВт;
- оксиды: охлаждение с 1191 °С до 350 °С – 870 кВт;
- окисление частиц пыли: 3940 кВт;
- сжигание серы – 9390 кВт.

Состав перерабатываемого газа:

– содержание в газе $SO_2$ , %	15,3–34,1
– содержание в газе $CO_2$ , %	2,5–4,9
– содержание в газе $O_2$ , %	1,9–2,3
– содержание в газе $H_2O$ , %	18,9–32,7
– содержание элементарной серы, кг/ч	0–3000

Давление газа на входе в котёл, Па:

– оптимальное	–20
– изменение давления	±100
– максимальное проектное	300

Пар образовывался при давлении 4 МПа. Максимальное давление пара в котле не превышало 5 МПа. Количество образуемого в котле пара варьировалось в зависимости от режима плавки. Летом пар конденсировался в теплообменниках.

пара было меньше. Вода конденсации поступала в бак подачи воды, в который было предусмотрено дозирование химических веществ.

Температура подаваемой воды в котёл-utiлизатор 105 °C, что соответствовало выработке 75,8 т/ч пара. Рабочая температура насыщенного пара 250,3 °C.

Помимо снижения температуры газа в котле происходило осаждение пыли. Концентрация пыли в потоке metallurgического газа, поступающего в котёл, составляла 52–60 г/нм<sup>3</sup>. Пылевая нагрузка внутри котла увеличивалась до 85 г/нм<sup>3</sup> за счёт конденсации цинка, свинца и других компонентов возгонов. Треть этой пыли улавливалась в котле и выводилась в его нижней части. Остальная часть пыли в количестве до 50 г/нм<sup>3</sup> попадала в башню охлаждения и, далее, в сухие электрофильтры.

Котёл-utiлизатор (рис. 4.2.9.3.1) состоял из излучающей (радиационной) части (т. е. аптечка и нисходящего вертикального канала), соединённой с корпусом горизонтального котла, где были расположены конвективные поверхности нагрева. Корпус конструктивно был полностью выполнен в виде мембранных стен типа труба-перемычка-труба.

Водоохлаждаемый газоход печи, устроенный с целью компенсации возможных перемещений плавильной печи, находился над аптечкой. Излучающая секция состояла из вертикального отводящего канала (4) и нисходящего канала (2); оба они опирались на нижний торец и были включены в общую стальную конструкцию. Главное преимущество такой конструкции заключалось в минимизации перехода тепла между верхней частью печи и входом в аптечку.

Главные вертикальные части излучающего канала работали при естественной циркуляции, а U-образная секция – при принудительной циркуляции.

Преимущество комбинированной системы принудительной и естественной циркуляции состояло в максимальной эксплуатационной безопасности, притом, что размеры циркуляционных насосов были минимизированы.

Конвективная поверхность нагрева состояла из двух трубчатых теплообменников, соединённых шестью вертикальными пучками труб, подвешенными в горизонтальный корпус мембранный стенки сверху. Для предотвращения снижения отвода тепла с поверхностей нагрева, вследствие аккумуляции пыли в передней зоне, шаги труб, пересекающих поток газа, были увеличены во входной зоне.

Все наклонные секции корпуса, например, U-образная секция и бункер конвекционной секции оборудовались ударниками с пневмо-приводом. Система очистки котла-утилизатора работала в автоматическом режиме. Продолжительность циклов удара и встряхивания, так же, как и операционные интервалы, изменялась, следовательно, была возможна адаптация под индивидуальные операционные условия эксплуатации. Вращающиеся консоли и преобразователь удара с дисковой пружиной устанавливались непосредственно на корпус котла для устранения эффекта теплового расширения. Сила и частота ударного импульса регулировались в соответствии с местом установки, а также жёсткостью на изгиб и поведением при вибрации той части стены, на которую был направлен удар. Это регулирование достигалось изменениями веса удара и коэффициента жёсткости пружин.

Пыль и отложения, которые собирались в бункере конвекционной части, постоянно удалялись цепным конвейером, который был соединён посредством фланца с выпускным отверстием бункера. Конвейер разгружался в жёлоб на торце.

Данные по конструкции котла-утилизатора Alstom:

- площадь поверхности нагрева радиационной части  $551,5\text{ м}^2$ ;
- площадь поверхности нагрева конвективной части  $2496,8\text{ м}^2$ ;
- производство насыщенного пара  $75\ 800\text{ кг/ч}$ ;
- рабочее давление  $4,0\text{ МПа}$ ;
- расчётное давление  $5,0\text{ МПа}$ ;
- расчётная температура, ненагретая / нагретая  $250/320\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура питательной воды  $102\text{--}105\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- потери тепла 1 %;
- потери тепла при продувке 2 %;
- внутренний диаметр барабана-сепаратора 2 м;
- цилиндрическая длина барабана 10,3 м;
- давление на входе в котёл до 300 Па;
- разряжение на выходе из котла –150 Па.

Рассматриваемая конструкция котла-утилизатора фирмы Kamwest-Alstom предполагала, в соответствии с техническим заданием ЗАО «Карабашмедь» и утверждённым проектным решением компании Bateman, стабильную работу печи «Аусмелт» по переработке медных концентратов с выпуском 240 тыс. тонн меди в штейне.

Ссылаясь на неэффективность установки котла такой высокой производительности в текущем периоде работы



предприятия, при том, что заказ уже был выполнен в «металле» в марте 2009 г. и по большей части оплачен, руководство ЗАО «Карабашмедь»<sup>45</sup> в мае 2009 г. отказалось от доставки и монтажа этого оборудования, разместив заказ на изготовление и монтаж нового котла-utiлизатора у российского производителя ООО «УрТЭК».

Доставленный позднее котёл Alstom, после длительного хранения на открытом воздухе, был списан и сдан в металломолом.

Ранее, в феврале 2009 г. компания ООО «УрТЭК», по соглашению с руководством ЗАО «Карабашмедь», провела предварительное обследование действующего котла и в марте 2009 г. выдала свои предложения по его модернизации, изготовлению и монтажу.

Основные замечания по работе действующего котла-utiлизатора сводились к следующему:

- по проекту «Уралэнергоцветмет» давление пара в баке-сепараторе должно быть 4,0 МПа при температуре 250 °C, фактически – давление не превышало 3,0 МПа, что не позволяло поддерживать температуру внутренних металлических поверхностей на уровне выше 230 °C, а это было ниже точки росы и приводило к конденсации кислоты на поверхностях котла и его коррозии;
- при эксплуатации кессонов печи и котла-utiлизатора использовалась вода, не прошедшая химводоочистку и деаэрирование, что приводило к росту содержания железа в воде выше установленных норм в 15 раз, а кислород и диоксид углерода вообще не удалялись, в итоге кессоны забивались осадками и корроризировали изнутри, толщина металла охлаждающих элементов уменьшилась с 5–8 мм до 1,0–1,5 мм;
- активная наружная и внутренняя коррозия металла приводила к прорывам и прогарам элементов котла через 4–6 месяцев эксплуатации вместо гарантированных производителем котла-utiлизатора 15 лет;
- предусмотренная проектом и смонтированная установка по дожигу элементарной серы не эксплуатировалась, хотя по температурным графикам наблюдалась непрогнозируемая резкие скачки температуры газа в отдельных секциях котла, что «говорило» о проскоке серы в систему газоочистки;
- в ходе эксплуатации печи было выявлено, что фактические параметры по температуре и количеству газа, его влажности и химическому составу не соответствуют конструктивным проектным данным

<sup>45</sup> В выработке этого решения принимали участие А. Н. Голов, А. Р. Топчесев, М. Ю. Щибрик.

изготовленного и смонтированного котла проекта Уралэнергоцветмет, рассчитанным на основании технических заданий руководства ЗАО «Карабашмедь».

Выполненное обследование подтвердило, что имеющийся котл-утилизатор находился в аварийном состоянии и требовал немедленной замены.

#### 4.2.9.4. Котл-утилизатор разработки УрТЭК, 2010 г.

С целью перспективы развития предприятия и с учётом решения ЗАО «Карабашмедь» по отказу от монтажа изготовленного котла-утилизатора Kamwest-Alstom, предприятием было предложено подрядчику изготовить и смонтировать новый газоохладитель для переработки 100 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  отходящего газа печи «Аусмелт» со снижением его температуры до 230 °C на выходе<sup>46</sup>. В состав предлагаемого комплекса входил непосредственно котл-утилизатор и башня охлаждения, устанавливаемая за ним для снижения температуры газа с 330 до 230 °C путём впрыска воды.

В октябре 2010 г. котл новой конструкции был изготовлен и смонтирован в составе комплекса «Аусмелт».

Заявленные разработчиком параметры нового котла-утилизатора были следующие:

– давление пара в барабане-сепараторе, МПа	3,9
– максимальная паропроизводительность, т/ч	45
– количество газа, тыс. $\text{nm}^3/\text{ч}$	70
– количество воздуха на дожиг серы, тыс. $\text{nm}^3/\text{ч}$	14
– температура газа на входе в аптеик, °C	1200
– температура газа на входе в котл, °C	1150
– температура газа на выходе из радиационной камеры, °C	700
– температура газа на выходе из конвективной части, °C	312
– содержание пыли в газе из печи, г/ $\text{nm}^3$	до 26
– содержание в газе $\text{SO}_2$ , %	15,1
– содержание в газе $\text{CO}_2$ , %	5,9
– содержание в газе $\text{O}_2$ , %	1,9
– содержание в газе $\text{H}_2\text{O}$ , %	18,4
– поверхность охлаждения аптеика, $\text{m}^2$	156
– поверхность охлаждения радиационной части, $\text{m}^2$	364

<sup>46</sup> Протокол технического совета от 28.05.2009 г.

– поверхность охлаждения конвективной части, м <sup>2</sup>	2713
– давление питательной воды при т-ре 95–104 °С, МПа	4,5
– циркуляция воды на подовые кессоны, м <sup>3</sup> /ч	11–12
– циркуляция воды на термосифоны, м <sup>3</sup> /ч	35–37
– циркуляция воды на конвективную часть, м <sup>3</sup> /ч	65–65
– качество питательной воды:	
прозрачность по шрифту, см	более 45
общая жёсткость, мкг-экв/л	менее 10
содержание растворённого кислорода, мкг-экв/л	менее 50
содержание масел, мкг/л	менее 1
содержание соединений железа, мкг/л	менее 100
значение pH	8,5

В систему котла-utiлизатора входили:

- радиационная часть из аптеяка, газохода и перегородки;
- конвективная часть котла-utiлизатора;
- бункеры для сбора пыли;
- системы выгрузки пыли из бункеров;
- индивидуальный барабан-сепаратор с сепарационным устройством и необходимыми для его работы устройствами безопасности, контроля параметров работы и автоматики;
- подъёмные и опускные трубопроводы системы циркуляции;
- установка циркуляционных насосов;
- устройство подачи питательной воды в барабан-сепаратор.

Котёл представлял собой радиационную камеру, расположенную над горловиной печи на отм. 22 300 и поднимающуюся до отм. 34 750, и горизонтальную камеру с конвективными поверхностями нагрева. Размеры в сечении радиационной части (аптеяка) 2400 x 4000 мм. Подъёмная часть аптеяка была отделена опускной перегородкой из водоохлаждаемых медных брусьев.

Радиационная часть газоохладителя состояла из 56 кессонов и двух блоков перегородки из труб термосифонов. Циркуляция в основных поверхностях была естественной, а перегородка, ширмы и подовые кессоны с использованием принудительной циркуляции воды от насоса НКУ-90М. Стенка аптеяка над горловиной печи высотой 3,25 м, смежная с радиационной камерой, была выполнена из медных брусьев длиной 5,5 м и 4,225 м. Для выкладывания этой стенки использовано 77 длинных и 20 коротких брусьев. По оси бруса был выполнен сквозной канал диаметром 25 мм для охлаждающей воды. Стенка изготавливалась из брусьев двумя вертикальными рядами,

снизу 37 рядов длинных брусьев, а сверху 10 полных рядов коротких брусьев, и 3 длинных бруса укладывались один над другим в ряд, ближний к оси печи. Стенка в вертикальном положении удерживалась двумя бандажами, подвешенными резьбовыми тягами к нижней полке несущей балки каркаса аптечка. Медные брусья и несущая балка охлаждались проточной водой системы охлаждения печи.

Для безопасной работы системы дожига серы в аптечке была предусмотрена подача воздуха в количестве 14 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  через восемь сопел, размещенных в боковых кессонах аптечка на отм. 23 606 над горловиной печи.

Кессоны состояли из сваренных труб диаметром 57 мм, толщиной 8 мм и стальных полос 8 x 40 мм, приваренных заподлицо с трубами. Кессоны были соединены между собой плоскими фланцами с болтами и гайками. Уплотнительным материалом являлся асbestos-ый шнур. Под всеми бункерными кессонами были установлены неохлаждаемые бункера для сбора пыли. Под бункерными кессонами радиационной камеры были установлены три одинаковых неохлаждаемых бункера с толщиной стенки 6 мм. Пыль из этих бункеров высыпалась через затворы-мигалки в общий приёмный бункер с решёткой на отм. 15 000. Пыль из бункеров конвективной части сыпалась через течки на скребковый транспортер.

Конвективная часть, начинающаяся за перегородкой, состояла из 22-х рядов подвесных ширм из труб диаметром 38 мм и толщиной 4,5 мм, работающих на принудительной циркуляции и пяти последовательно расположенных конвективных блоков, состоящих из 5-рядных ширм из труб Ø 42 x 5 мм на естественной циркуляции. Между конвективными блоками были расположены промежуточные кессоны для установки на них по два крепления газоимпульсных камер в два яруса для очистки конвективных поверхностей нагрева от оседающей пыли. В основе работы этих камер лежало направленное воздействие формируемых волн сжатия и скоростного потока продуктов сгорания природного газа, выходящего из импульсных камер. Боковые кессоны в районе подвесных ширм и промежуточные кессоны были выполнены из труб Ø 57 x 6 мм с проставками 6 x 45 мм.

Барабан-сепаратор диаметром 1600 мм из стали 09Г2С толщиной 30 мм был расположен на отм. 38 300. К нему подключались четыре опускные трубы Ø 219 x 7: две трубы подавали воду к кессонам аптечка и две трубы – к кессонам радиационной камеры, пятая опускная труба Ø 159 x 6 подводила воду к циркуляционному насосу НКУ-

90М, обеспечивающему принудительную циркуляцию воды в перегородке из термосифонов, в 2-х подовых кессонах и 2-х кессонах, расположенных под подовыми кессонами. Пароводяная смесь от кессонов поступала в барабан-сепаратор по пяти подъёмным трубам: четыре из них Ø 273 x 7 и одна труба Ø 159 x 6 мм.

Для обеспечения необходимого качества пара была применена двухступенчатая схема сепарации пара. Первой ступенью сепарации пара, вырабатываемого аптеиком и радиационной камерой, являлись внутрибарабанные циклоны для сепарации пара, поступающего в барабан-сепаратор из пароотводящих труб контура с принудительной циркуляцией и от труб конвективной части газоохладителя – сепарацией инерционно-щелевой. Пар, отсепарированный и в циклонах, и в щелевых сепараторах, поступал в общее паровое пространство для естественной сепарации влаги.

Вторая ступень сепарации была выполнена из потолочных жалюзийных решёток и дырчатых потолочных листов. Нормальный уровень воды в барабане-сепараторе совпадал с геометрической осью барабана. В потолочной части радиационной камеры устанавливались два взрывных предохранительных клапана. Трубопроводы циркуляционных систем крепились к металлоконструкциям посредством пружинных подвесок, трубопроводы диаметром меньше 76 мм прокладывались и крепились по месту с уклоном.

 Первые два месяца эксплуатации котла проекта УрТЭК показали его крайне неудовлетворительное качество: из-за нарушения целостности швов в месте приварки труб к коллекторам вышли из строя три из пяти ширм; на кессонах аптеика прогорели все трубы, примыкающие к люкам; регулярно происходило разрушение труб в местах входа смеси в систему импульсной очистки поверхностей котла; газоохладитель вырабатывал до 25 т/ч пара вместо требуемых по техническому заданию 45 т/ч, снижая температуру газа за котлом всего до 450–478 °С вместо требуемых 320–350 °С.

Выявленные недостатки потребовали внесения неоднократных изменений в конструкцию газоохладителя УрТЭК с модернизацией и полной заменой отдельных узлов и механизмов как в ходе эксплуатации, так и в период последующих капитальных ремонтов печи.

Все работы по улучшению котла выполнялись на деньги заказчика. Последний реализованный вариант котла с низкой радиационной шахтой разработки УрТЭК 2018 г. представлен на рис. 4.2.9.4.1.

В данном варианте увеличена высота водоохлаждаемой перегородки из медных брусьев на 980 мм, в радиационной части установлены термосифоны, на задней стенке радиационной части была предусмотрена механическая очистка поверхности через добавочные люки. В верхней части радиационной части была смонтирована газоимпульсная очистка, была убрана цепная завеса, установлены сопла для подачи водовоздушной смеси на потолочные панели радиационной части, предусмотрено газоплотное укрытие термосифонов, увеличена радиационная часть на один ряд кессонов в сторону конвективной части до термосифонов.

Обратим внимание на то, что в период 2018–2021 гг. на выходе из котла-utiлизатора, с целью изучения оптимального режима его работы, предусматривались два вывода газа в один газоход.

#### **4.2.9.5. Комбинированный котёл-utiлизатор, 2019 г.**

Неудовлетворительная работа котла-utiлизатора по гарантированному снижению температуры отходящего газа, высокий пылевынос из печи шихты с расплавленными частицами, оседающей на поверхностях охлаждения в виде настылей, потребовали продолжения модернизации этого оборудования.

В 2019 г. компания ООО «Уралтэпроект» разработала новую конструкцию котла, заключающуюся в комбинировании радиационной части котла, поставленной компанией Kamwest-Alstom (подъёмный и опускной газоход из шести частей), с конвективной частью газоохладителя предыдущей разработки ООО «УрТЭК» 2018 г. Кроме того, должны были быть использованы следующие системы Alstom: система циркуляционных и питательных насосов; система непрерывной продувки котла-utiлизатора; барабан-сепаратор с внутренним сепарационным устройством. Для установки новой радиационной части требовалось увеличить высоту опорных металлоконструкций печи на 12 м для размещения газохода и на 15 м для установки нового барабана-сепаратора (рис. 4.2.9.5.1).

Более того, в конструкции радиационной части была предусмотрена установка блоков термосифонов и механическая очистка поверхности задней стенки радиационной части. Увеличивалась и высота водоохлаждаемой перегородки из медных брусьев на 980 мм.

При организации работ по реализации комбинированного варианта котла-утилизатора ООО «Карабашмедь» столкнулась с проблемами по паспортизации оборудования<sup>47</sup>, поставленного из Китая, не позволяющими использовать закупленные конструкции котла Alstom. В связи с этим на предприятии отказались даже от частичного использования котла Alstom и совместно с проектировщиком было принято решение о разработке проекта на базе котла УрТЭК 2019 г. с увеличенной высотой радиационной части (рис. 4.2.9.5.2).

Увеличение высоты котла на величину меньшую, чем в комбинированном варианте, было вызвано сложностью, длительностью и капиталоёмкостью работы по усилению конструкций цеха с целью увеличения его высоты на 20 м. Существующее строение позволяло увеличить радиационную часть по сравнению с проектом 2005 г. на 8,8 м, что и было реализовано в окончательном варианте 2019 г.

В этом варианте котла была увеличена высота водоохлаждаемой перегородки из медных брусьев на 980 мм, в радиационной части устанавливались термосифоны, на задней стенке радиационной части была предусмотрена механическая очистка поверхности через добавочные люки, вверху радиационной части монтировалась газоимпульсная очистка, была убрана цепная завеса, выполнены сопла для подачи водовоздушной смеси на потолочные панели радиационной части, было предусмотрено газоплотное укрытие термосифонов, увеличена ширина радиационной части на один ряд кессонов в сторону конвективной части до термосифонов, поднята высота радиационной части на один ряд кессонов высотой 2 м (по сравнению с вариантом 2018 г.), для поддержания конструкции радиационной части установлен дополнительный опорный пояс на отм. 32 100.

Заявленные разработчиком параметры данного котла-утилизатора стали следующие:

– давление пара в барабане-сепараторе, МПа	3,9
– максимальная паропроизводительность, т/ч	42,5
– количество газа на входе, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	80
– температура газа на входе в аптеик, °С	1300
– температура газа на входе в котёл, °С	1250
– температура газа на выходе из конвективной части, °С	500
– содержание пыли в газе из печи, г/нм <sup>3</sup>	до 60

<sup>47</sup> Якобы были потеряны паспорта на оборудование, которые позже «нашли» в архиве.

– содержание в газе $SO_2$ , %	до 26
– содержание в газе $CO_2$ , %	до 5,0
– содержание в газе $O_2$ , %	2–8
– содержание в газе $H_2O$ , %	до 30
– давление питательной воды при т-ре 95–104 °C, МПа	4,5
– аэродинамическое сопротивление, Па	600

Разработанная конструкция котла-утилизатора с увеличенной радиационной частью легла в основу котла проекта 2022 г., выполненного и смонтированного в октябре 2022 г. на печи «Аусмельт» (рис. 4.2.9.5.3).

Проект, по сравнению с вариантом 2019 г., учёл и реализовал весь имеющийся у предприятия опыт по эксплуатации газоохладителей, в том числе:

- изменена конструкция бункера под радиационной частью котла;
- оставлен нижний вывод газа из конвективной части, выполненный с наклоном в сторону котла для предотвращения накопления пыли в газоходе;
- отказались от использования термосифонов на радиационной части котла из-за угрозы обрушения настылей на его внутренние поверхности, но при этом увеличили их количество в конвективной части;
- увеличена высота водоохлаждаемой перегородки из медных брусьев на 2 м;
- увеличена высота радиационной части на 2 м;
- расширена радиационная камера в сторону конвективной части до блока термосифонов;
- в верхней части радиационной камеры установлена группа из двух камер газоимпульсной очистки и устройства магнитно-импульсной очистки;
- на торцевой стенке радиационной камеры со стороны конвективной части установлена магнитно-импульсная очистка;
- на бункере радиационной части установлено устройство магнитно-импульсной очистки;
- для снижения подсосов через бункер радиационной части газоохладителя и улучшения его очистки изменена конструкция уплотняющего затвора со стороны конвективной части;
- для замораживания капель расплава, уносимых из печи отходящими газами, предусмотрена установка четырёх форсунок для впрыска воды в потолочные кессоны радиационной камеры;

– для снижения выбивания газов через неплотность в районе установки термосифонов предусмотрен охлаждаемый защитный потолочный экран с газоплотным уплотнением.

Стенка аптеека, смежная с радиационной камерой, была выполнена из медных литьих водоохлаждаемых кессонов длиной 5,5 м. Для выкладывания этой стенки использовано 27 кессонов. Сечение кессона представляет собой прямоугольник 100 x 365 с четырьмя отверстиями диаметром 35 мм, по которым подаётся охлаждающая вода из контура охлаждения печи «Аусмелт». Между перегородкой из медных брусьев и переходом печи расположена неохлаждаемая футерованная изнутри сварная балка из нержавеющей стали. С целью увеличения времени пребывания дымовых газов в радиационной части высота медной перегородки увеличена на 2 м. Шесть верхних блоков выполнены сдвоенными, т. к. они обогреваются с обеих сторон.

Водоснабжение медной перегородки осуществляется из системы охлаждения элементов печи «Аусмелт», где от распределительного коллектора охлаждения вода подаётся по двум вертикальным коллекторам на правую и левую стороны газоохладителя. От этих коллекторов через патрубки с гибкими рукавами вода поступает на элементы медной перегородки, которые соединены между собой таким образом, чтобы вода проходила последовательно по всем полостям медных блоков. Затем вода сливаются в корыто и оттуда направляется в контур охлаждения. Слив воды в корыто выполнен с разрывом струи для обеспечения возможности визуального контроля охлаждающей воды. Парение воды свидетельствует о перегреве охлаждающей воды в медной перегородке и о необходимости принятия мер по его устранению.

Поверхности нагрева котла выполнены из труб с толщиной стенки не менее 5 мм. Ограждающие поверхности радиационной части сделаны в виде газоплотных кессонов, состоящих из труб Ø 42 x 5 с верхними и нижними коллекторами Ø 159 x 10. Со стороны металлургического газа кессоны защищены огневым листом толщиной 10 мм. Шаг установки труб в кессонах принят в размере 8–82 мм. Трубы кессонов изготавливаются по ГОСТ 8732-78; коллекторы – по ТУ 14-3-190-2004. Огневой лист выполняется из стали 09Г2С ГОСТ 5520-2017. Рабочая температура огневого листа должна быть не менее 250 °С для предотвращения сернокислотной коррозии, что обеспечивается приваркой листа к поверхности труб сплошным швом.

Для компенсации вертикальных температурных удлинений в месте стыковки печи и газоохладителя установлен узел компенсации – песочный затвор. Для сброса избыточного давления, при возможных хлопках внутри печи, предусмотрены взрывные клапаны с откидными крышками, расположенные в потолочных частях кессонов радиационной камеры. Для контроля и обслуживания внутренних поверхностей оборудования предусмотрены лазы.

Характеристика котла-утилизатора, проект УрТЭК, 2022 г.:

– вес котла, тонн	519
– давление пара в барабане-сепараторе, МПа	3,9
– паропроизводительность, т/ч	35–43
– количество газа на входе, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	70
– количество газа на входе в пиковом режиме, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	80
– количество газа на выходе, тыс. нм <sup>3</sup> /ч	90
– температура газа на входе в аптеек, °С	1300
– температура газа на входе в котёл, °С	1250
– температура газа на выходе из конвективной части, °С	до 400
– разряжение на входе, Па	–100
– содержание пыли в газе из печи, г/нм <sup>3</sup>	до 50
– содержание в газе <i>SO<sub>2</sub></i> , %	до 32
– содержание в газе <i>CO<sub>2</sub></i> , %	до 10
– содержание в газе <i>O<sub>2</sub></i> , %	до 10
– содержание в газе <i>H<sub>2</sub>O</i> , %	до 15
– давление питательной воды при т-ре 95–104 °С, МПа	4,5
– аэродинамическое сопротивление, Па	766
– температура насыщенного пара, °С	249
– запылённость газа на выходе из котла зависит от содержания цинка в шихте и изменяется, г/нм <sup>3</sup>	от 4 до 40
– ёмкость барабана-сепаратора, м <sup>3</sup>	16,4
– поверхность аптеека, м <sup>2</sup>	160
– поверхность радиационной камеры, м <sup>2</sup>	430
– поверхность термосифонов, м <sup>2</sup>	403
– поверхность ширм, м <sup>2</sup>	1568
– поверхность ограждающих конструкций конвективной части, м <sup>2</sup>	458
– общая расчётная поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	3019
– масса барабана-сепаратора, т	13,6
– масса радиационной части, т	201
– масса конвективной части, т	340

Для компенсации вертикальных нагрузок радиационной части котла предусмотрены неподвижные и пружинные опоры, входящие в конструкцию кессонов. Монтаж пружинных блоков выполняется в предварительно напряженном состоянии. При запуске газоохладителя затяжка пружин должна быть ослаблена.

Сборка ограждающих поверхностей котла осуществляется на месте монтажа из отдельных сборочных единиц путём сварки и сборки болтовых фланцевых соединений. Для уплотнения соединений используют асбестовый шнур и тонколистовой металл.

На входе в конвективную часть газоохладителя установлены конвективные поверхности нагрева в виде блоков термосифонов. Блоки термосифонов устанавливаются вдоль оси с поперечным шагом 326 мм. Всего установлено 19 блоков термосифонов. Блоки термосифонов состоят из верхнего Ø 219 x 8 и нижнего Ø 325 x 10 коллекторов, из 11 холодильников-рубашек Ø 133 x 6 и 11 термосифонов Ø 89 x 6. Коллекторы между собой соединены холодильниками. Термосифоны в блоке установлены с шагом 180 мм. Опорные лапы каждого блока термосифонов, приваренные к холодильникам, передают рабочую нагрузку на каркас. К каждому блоку термосифонов подводятся опускные Ø 57 мм и подъёмные Ø 76 мм трубопроводы. Также в нижнем коллекторе каждого блока термосифонов выполнен штуцер для продувки, к которому присоединяется трубопровод Ø 25 мм.

Остальные конвективные поверхности газоохладителя представляют собой четырнадцать последовательно по ходу газов расположенных блоков из двух пятирядных ширм из труб Ø 42 x 5.

Между конвективными блоками расположены промежуточные кессоны, в которых выполнены лазы для осмотра и очистки конвективных поверхностей нагрева. Кроме того, в промежуточных кессонах выполнены отверстия для ввода импульсных камер системы газоимпульсной очистки. Подвод деаэрированной водой осуществляется по двум независимым трубопроводам Ø 89 x 4 от питательных насосов в помещении насосной.

Циркуляционные трубопроводы газоохладителя второй категории второй группы по ТР ТС 032/2013 (подъёмные и опускные) приняты из стальной бесшовной термообработанной трубы из стали 20 по ТУ 14-3-190-2004. Элементы и детали трубопроводов приняты из стали 20 по ГОСТ 17380-2001. Диаметр трубопроводов выбран исходя из максимальных часовых расчётных расходов теплоносителя и до-

пускаемых потерь давления, скоростей потока, экономичной и надёжной эксплуатации. Трубопроводы оборудованы устройствами для спуска воды и отвода воздуха из систем. На линиях дренажа устанавливаются два последовательно расположенных клапана: запорный и регулирующий. Клапаны предусмотрены под приварку с уплотнениями, соответствующими температуре эксплуатации. Горизонтальные участки трубопроводов прокладываются с уклоном 0,004 в сторону движения среды. Трубопроводы монтируются на подвесках, подвижных и неподвижных опорах в соответствии с требованиями СТО ЦКТИ 100-2010 «Опорно-подвесная система трубопроводов тепловых станций. Требования к конструкции, расчёту на прочность, изготовлению, монтажу и эксплуатации». Компенсация тепловых удлинений трубопроводов обеспечивается за счёт конфигурации трассы. Расчётный срок эксплуатации трубопроводов – 10 лет. Для защиты трубопроводов и их креплений от коррозии предусматривается антикоррозионное покрытие: для трубопроводов – эмаль КО-814 ГОСТ 11066-74; для элементов крепления – краска БТ-177 ГОСТ 5631-79 в два слоя по слою грунтovки ГФ-021 ГОСТ 25129-2020.

С целью соблюдения требований по безопасности для обслуживающего персонала по температуре, все горячие поверхности оборудования и трубопроводов котла-utiлизатора изолируются теплоизоляционными матами и цилиндрами так, чтобы температура на поверхности изоляции не превышала 55 °C. Покровный слой – листы алюминиевые ГОСТ 21631-76. Опознавательная окраска трубопроводов выполняется согласно ГОСТ 14202-69.

Насыщенный пар от барабана-сепаратора давлением 3,9 МПа направляется в общезаводскую сеть через редуцирующий клапан, который снижает давление до 0,6 МПа.

Паропроводы давлением 0,6 МПа относятся к первой категории второй группы согласно ТР ТС 032/2013. Паропроводы для давления 3,9 МПа рассчитываются по второй категории второй группы согласно ТР ТС 032/2013.

Для контроля параметров пара и питательной воды установлены контрольно-измерительные приборы.

При непрерывной продувке барабана-сепаратора горячая вода отводится в сепаратор непрерывной продувки, установленный в плавильном отделении на отм. 10 600 в помещении, и далее в барботёр, установленный в насосной на отм. 5500. Величина непрерывной продувки составляет 10 % от паропроизводительности котла.

Периодическая продувка осуществляется 1–2 раза в смену от нижних точек – коллекторов кессонов газоохладителя – с отводом среды в барботёр. Стоки из барботёра отводятся в систему канализации.

Регулирование расхода питательной воды и поддержание уровня воды в барабане-сепараторе производится в автоматическом режиме узлом регулирования и подачи питательной воды.

На паропроводе от барабана-сепаратора предусмотрен сбросной трубопровод (свеча) с запорно-регулирующим клапаном для сброса пара в атмосферу при пусковых режимах и при отсутствии потребления пара. Сбросной трубопровод с глушителем выведен в безопасное место.

При охлаждении отходящих газов происходит уменьшение их объёма и, как следствие, снижение скоростей газов в газоохладителе и частичное охлаждение и осаждение пыли.

Оседающая пыль опускается в нижнюю часть газоохладителя, состоящую из бункеров, и накапливается в них. Бункер для пыли из радиационной части имеет опорный пояс и установлен на опорной конструкции котла-utiлизатора. Бункер соединён с охлаждаемой радиационной частью через песочный затвор для компенсации температурных колебаний. В составе бункера предусмотрены люки для очистки бункера и гляделка для контроля за его заполнением. В нижней части бункера установлены мигалки, которые снабжены контргрузами. При пустом бункере мигалки плотно прижаты к прилегающей поверхности бункера. При заполнении бункера пылью под действием веса пыли мигалки открываются и происходит опорожнение бункера в установленную на рельсовой платформе ёмкость для сбора пыли, находящуюся на отм. 0000, которая периодически вывозится и опорожняется.

Под конвективной частью котла выполнена система металлических неохлаждаемых бункеров, жёстко соединённых с поверхностями нагрева конвективной части. В нижней части каждого бункера конвективной части установлен шибер. По мере накопления пыли шибер вручную открывается. Пыль при этом попадает на установленный под бункерами ленточный конвейер УКЛС-650 с укрытием и с его помощью выгружается в ёмкость для последующей перевозки на переработку.

В здании расположено грузоподъёмное оборудование:  
– кран грузоподъёмностью 32 т – в пролёте АА-АВ;

– кран-балка грузоподъёмностью 10 т – в пролёте А1-А4.

При возникновении пиковых тепловых нагрузок в газоохладителе (при повышении количества или температуры газов, выходящих из печи «Аусмельт») и в случае недостаточной чистоты поверхностей нагрева алтейка радиационной части происходит рост температуры газов на входе в конвективную часть. При этом частицы шихты и расплава, уносимые с отходящими газами, не успевают перейти в твёрдое состояние до конвективной части, что приводит к засорению конвективных поверхностей нагрева и закозлению первых по ходу газа бункеров.

Для снижения температуры газов на входе в конвективную часть и замораживания жидкого уноса расплава с дымовыми газами предусматривается система впрыска воды через отверстия в потолочных кессонах радиационной камеры с помощью устанавливаемых форсунок.

Для более эффективного замораживания жидких частиц в дымовых газах предусмотрены форсунки с воздушным распылением воды. В состав системы впрыска воды входят: форсунки для впрыска воды (4 шт.); система подготовки и подачи воды; система подготовки и подачи воздуха; датчики контроля давления и расхода; система автоматики безопасности, отключающая подачу воды на форсунки при падении давления в системе подачи воздуха. Расход воды на впрыск составляет 4 т/ч. Воздух для распыления подаётся к форсункам от цехового трубопровода компрессорного воздуха.

Газоимпульсная очистка предназначена для снятия отложений на поверхностях нагрева радиационной и конвективной части (ширмах и термосифонах) путём направленного воздействия волн сжатия, образующихся в импульсных камерах, и скоростного потока продуктов сгорания природного газа, выходящего из импульсных камер. Узел регулирования и подготовки смеси располагается на отм. 28 200. В конвективной части установлены шестнадцать импульсных камер. Устройство работает в режиме периодического включения с автоматическим управлением. Расход природного газа, давление 0,27 МПа – 24–30 нм<sup>3</sup>/ч, расход компрессорного воздуха, давление 0,5 МПа – 240–300 нм<sup>3</sup>/ч, количество импульсных камер в группе – 4 шт., количество групп – 8, общее количество импульсных групп – 32.

Система магнитно-импульсной очистки предназначена для снятия отложений на поверхностях нагрева радиационной части котла

и на стенках бункера радиационной части, путём создания упругих деформаций стенок технологического оборудования за счёт воздействия импульса механической силы, передаваемого с помощью якоря от индуктора к очищаемой поверхности. В радиационной части устанавливается восемь устройств очистки. На стенках бункера радиационной части также установлено восемь устройств магнитно-импульсной очистки.

Автоматизированная система контроля и управления (АСКУ) газоохладителя (ГО) и его составных частей (барабана-сепаратора (БС); газового тракта; газоимпульсной очистки (ГИО); магнитно-импульсной очистки (МИО); питательных насосов; деаэраторов состоит из трёх, связанных между собой систем, выводящих своё состояние на автоматизированные рабочие места операторов (АРМ). Основное предназначение АСКУ – это выполнение функций автоматики безопасности, непрерывного контроля и регулирования технологических параметров объекта автоматизации. Нижний уровень системы включает в себя полевое оборудование: приборы и датчики КИПиА для измерения температуры, давления, расхода и т. д.; оборудование для непосредственного управления технологическим процессом, такое как запорно-регулирующая арматура (ЗРА), исполнительные механизмы (ИМ), электромагнитные клапаны и т. д. На этом уровне происходит измерение технологических параметров с помощью первичных аналоговых датчиков КИПиА, формирование дискретных сигналов о состоянии процесса и оборудования посредством дискретных датчиков, непосредственное регулирование и управление технологическим процессом с помощью исполнительных устройств (ИУ).

Второй уровень системы построен на базе программируемых контроллеров SIMATIC S7-300 и SIMATIC S7-1200, к модулям ввода/вывода которых подключается полевое оборудование. На данном уровне производится масштабирование значений технологических параметров, полученных от первичных датчиков, вычисление необходимых величин, отслеживание предельно допустимых значений параметров, управление по заданным в программах алгоритмам, выполнение функций автоматики безопасности, управление звуковой сигнализацией и т. д.

Верхний уровень системы – построен на базе двух персональных компьютеров и установленных на них SCADA системы Siemens WinCC. На этом уровне осуществляется вывод информации о состоя-

нии технологического процесса на экраны операторов, ввод параметров управления работой системы и возможно непосредственное управление отдельными узлами технологического процесса в дистанционном режиме.

Системой управления предусмотрено автоматическое регулирование и управление следующих параметров:

- на барабане-сепараторе (БС): поддержание давления на уровне 3,9 МПа с помощью управления регулирующим клапаном на выходе; регулирование уровня воды с помощью клапана на трубопроводе подачи питательной воды; регулирование расхода воды на непрерывную продувку, управление в дистанционном режиме клапаном непрерывной продувки; регулирование давления пара после редукционного узла, в дистанционном и автоматическом режиме; при повышении давления пара в БС более 4,09 МПа предусмотрено открывание задвижки на сбросной свече коллектора БС;
- на деаэраторе (ДА): регулирование давления пара с помощью ПИД-регулятора и ручного управления с АРМ, управление клапаном подачи пара на ДА; регулирование уровня воды с помощью ПИД-регуляторов и ручного управления с АРМ, управление клапанами подачи воды в ДА; регулирование давления в ДА с помощью ПИД-регуляторов и ручного управления с АРМ, управление клапанами подачи пара в ДА; регулирование давления пара на барботаж с помощью ПИД-регуляторов и ручного управления с АРМ, управления клапанами подачи пара на барботаж; регулирование температуры в ДА с помощью ПИД-регуляторов и ручного управления с АРМ, управления клапанами подачи пара продувки в ДА;
- на газо-импульсной очистке: контролирование разрежения в газоходе печи «Аусмельт», давление газа и воздуха на ГИО, отсечение подачи газа на ГИО, управление клапаном на газовом тракте ГИО; в автоматическом режиме или с АРМ ГИО осуществление поочерёдного включения в работу восьми групп импульсных камер управлением шаровыми клапанами на смесепроводах; при неработающей ГИО обеспечивается постоянная автоматическая продувка всех восьми групп импульсных камер воздухом;

- местное управление питательными насосами (с электрощитовой, отм. 5500) и дистанционное (с АРМ операторов, отм. 10600 и 20 300);
- управление системой впрыска воды местное с помощью регулирующих устройств перед форсунками по показаниям приборов измерения давления газа и воздуха перед форсунками;
- для контроля за степенью очистки внутренних поверхностей ГО предусмотрено по 11 точек измерения температуры и разрежения в газовом тракте.

В области предупредительной и аварийной сигнализации система обеспечивает световую и звуковую сигнализацию для оповещения персонала о работе систем ГО, выходе технологических параметров за установленные границы и срабатывании автоматики безопасности.

Качество питательной воды для рассматриваемого газоохладителя должно удовлетворять следующим нормам:

– прозрачность по шрифту (не менее), см	40
– общая жёсткость (не более), мкг-экв/кг	10
– содержание растворённого кислорода (не более), мкг/кг	50
– содержание соединений железа, мкг/кг	100
– содержание масел (не более), мг/кг	1
– значение pH воды при 25 °C (не менее)	8,5

Солесодержание котловой воды не более 3000 мг/кг, солесодержание насыщенного пара не более 1 мг/кг.

Перед началом эксплуатации котла-utiлизатора он подвергается обязательным гидравлическим испытаниям, заключающимся в следующем:

- подготовка к проверке, включающая очистку барабана, коллекторов от грязи и посторонних предметов; закрытие всех лазов, лючков; монтаж трубопроводов для наполнения и спуска воды из ГО; установка манометров (рабочего и контрольного); установка фланцевых заглушек на присоединительных фланцах барабана для монтажа предохранительных клапанов; перекрытие всех водоуказательных стёкол и приборов КИПиА;
- гидравлическое испытание ГО производится химочищенной водой с температурой не ниже +5 °C и не выше +40 °C. Заполнение водой ведётся при открытых воздушниках. Закрытие воздушников производится с нижних участков к верхним последовательно при появлении воды из воздушников. Испытания выполняются давлением 4,9 МПа

(49 кгс/см<sup>2</sup>) в соответствии с «Правилами промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением». Во время испытания давление в котле-утилизаторе должно измеряться двумя манометрами, один из которых должен иметь класс точности не ниже 1,5. Подъём давления путём закачивания воды до пробного должен быть медленным и плавным по 1 МПа в час. При достижении пробного давления подача воды в систему прекращается; при этом в течение 10 минут не должно быть видимого снижения давления. По истечении 10 минут давление снижается до рабочего и производится осмотр системы;

в) гидравлические испытания считаются пройдёнными, если при осмотре не обнаружено трещин и признаков разрыва, отсутствует течь, капёж, запотевание в местах сварных соединений и на поверхности металла, отсутствуют видимые деформации корпуса, нет падения давления по манометру, отсутствует течь в разъёмных соединениях. После гидравлических испытаний проводится комплексное опробование, состоящее из следующих операций.

Щелочение поверхностей нагрева и промывка трубопроводов для удаления с внутренних поверхностей маслянистых, кремнистых и других загрязнений, рыхлой ржавчины и окалины. До начала щелочения ГО должна быть произведена промывка водой питательных и вспомогательных трубопроводов, а также очистка деаэраторных и иных баков во избежание заноса ржавчины и иных загрязнений питательного тракта. Заполнение котла и подпитку во время щелочения производят химически очищенной водой. Промывка всех трубопроводов должна производиться перед предпусковыми операциями любой прозрачной водой, не дающей осадка в течение 5–10 минут. Промывка осуществляется путём повышения интенсивности продувки. Конец промывки определяется осветлением промывочной воды. Трубопроводы должны промываться в такой последовательности, чтобы не вносить загрязнений в промытые участки.

После окончания промывки вся спускная арматура, а также водоуказательные колонки вскрываются и очищаются от загрязнения. Тупики трубопроводов разбираются и очищаются отдельно. До проведения щелочения производят заливку термосифонов водой. До приварки пробок в верхней части каждый термосифон заливается 15,5 литрами горячей деаэрированной воды.

При заливке необходимо тщательно следить за исполнением: пробку приваривать после выхода водяного пара из термосифона, исключить двойной залив в один термосифон или пропуск залива воды.

Опробование на паровую плотность газоохладителя осуществляется после щелочения и совпадает с окончанием процесса щелочения. Опробование на паровую плотность производится с целью: проверки плотности оборудования и систем при рабочем давлении и температуре; регулировки предохранительных клапанов; проверки плотности питательной, дренажной и запорной арматуры. Предохранительные клапаны должны начинать открываться при следующих давлениях: контрольный предохранительный клапан –  $1,03 P_{раб}$ ; рабочий предохранительный клапан –  $1,05 P_{раб}$ ; давление полного открытия не должно превышать 4,4 МПа.

После регулировки предохранительных клапанов производится продувка паропровода. До продувки паропровод должен быть прогрет и поставлен под давление 0,6–1,0 МПа для отпаривания загрязнений на 3–4 часа. При давлении 0,3 МПа должна производиться обтажка всех фланцевых соединений паропровода.

Процесс продувки ведётся следующим образом: поднимают давление в ГО до 1,0 МПа и частично (на очень малый пропуск) приоткрывают паровые задвижки. При давлении в газоохладителе около 3,0 МПа начинают продувку паропровода, постепенно открывая концевую задвижку до полного её открытия. Длительность продувки должна составлять 15–20 минут. В случае, если при продувке давление упадёт на 50 %, то продувку следует прекратить. При подъёме давления до 3,0 МПа продувочную операцию повторяют снова. Скорость пара во время продувки должна превышать рабочую скорость пара в 1,5 раза. Во время продувки тщательно следят за уровнем воды в барабане-сепараторе, т. к. при резком снижении давления воды её уровень повышается и возможен заброс воды в паропровод. Поэтому открытие концевой задвижки следует производить, ориентируясь на уровень воды в барабане-сепараторе. Для предупреждения загрязнения все дренажи паропровода при продувке должны быть закрыты. По окончанию продувки паропровода все дренажные вентили, тупиковые участки паропровода разбирают и прочищают. По окончании проверки паровой плотности и продувки паропроводов производят вскрытие и очистку барабана и коллекторов опускных трубопроводов. Вскрытие коллекторов опускных трубопроводов радиационной и кон-

вективной частей котла производят путём вырезки части трубопроводов. Вырезку труб необходимо производить в противоположных концах коллекторов. Для осмотра коллекторов рекомендуется использовать зеркала и осветительные приборы, которые вводятся внутрь коллекторов. Длина остающихся штуцеров должна быть не менее 100 мм. После проведения осмотра и очистки коллекторов производится подготовка кромок под сварку швом С17 по ГОСТ 16037-80. После установки восстановленного участка трубопровода и выполнения сварки швом С17 производится его контроль просвечиванием в объёме 100 %.

Первый пуск котла-utiлизатора допускается производить по разрешению пусковой комиссии после окончания комплексного опробования и испытания смонтированного оборудования, проведения щелочения и промывки трубопроводов, обкатки всех вспомогательных механизмов, проведённых монтажными организациями.

Пуск ГО производится по письменному распоряжению лица, ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования, после его проверки и организации обслуживания. В распоряжении должны быть указаны продолжительность заполнения водой и её температура, как правило это 1,5 часа при температуре до 40 °C. В зимний период времени температура закачиваемой воды должна быть на уровне 60 °C.

Комплексное испытание под нагрузкой смонтированного оборудования должно проводиться на проектных параметрах при безопасной работе оборудования в течение 72 часов с одновременной или поочерёдной работой всех вспомогательных механизмов. При положительных результатах комплексного опробования котёл-utiлизатор по акту передаётся в эксплуатацию. Пуск оборудования, разогрев и подъём давления пара осуществляется совместно с разогревом печи, учитывая, что подъём давления пара в барабане-сепараторе до рабочего производится не менее чем за 2,5 часа. Повышение давления пара должно идти со скоростью: до 1,5 МПа – не быстрее, чем 0,1 МПа за 4 минуты (общее время подъёма давления до 1,5 МПа – не менее 1,0–1,1 часа; с 1,5 до 4,0 МПа не быстрее, чем 0,1 МПа за 0,5 минуты (в течение не менее 0,3 часа).

Все операции по подготовке и проведению комплексного опробования и, далее, первому пуску производятся под руководством специализированной пусконаладочной организации в присутствии технического руководителя производством на предприятии.

#### **4.2.10. Башня охлаждения (БАО)**

Адиабатическая башня охлаждения (рис. 4.2.10.1) предназначена для охлаждения металлургического газа после котла-утилизатора перед его входом в сухие электрофильтры. Оборудование было спроектировано и изготовлено компанией CIMM Group Co., Ltd (Китай) в 2015 г.

Эффект охлаждения обеспечивается путём распыления воды в газе при помощи специальных форсунок. Эти форсунки создают мелкие капли воды (диаметром до 160 мкм), которые быстро испаряются, что позволяет контролировать температуру на выходе в диапазоне 300–350 °С. Количество впрыскиваемой воды регулируется системой управления, что обеспечивает постоянную сухость внутри башни, независимо от изменений расхода газа и его температуры.

Для подачи воды используются два насоса, один рабочий, один резервный. Управляющий клапан открывается или закрывается для регулировки объёма охлаждающей воды. Объём подаваемой воды зависит от температуры входящего газа и регулируется в автоматическом режиме.

На крышке башни расположены шестнадцать блоков форсунок и люков для их обслуживания.

В охлаждающей башне оседает часть пыли. Она выносится из башни под действием силы тяжести. В нижней части башни имеется герметичный механизм выгрузки пыли.

Отверстие для выхода газа находится в нижней части башни, и отсюда газ необходимой температуры подаётся на горячие электрофильтры для тонкой очистки.

Проектный объём перерабатываемого газа 90 000–130 000  $\text{м}^3/\text{ч}$  с температурой 350–500 °С и запылённостью от 4,0 до 40 г/ $\text{м}^3$ . Температура входящего в башню газа выше 350 °С возможна при нарушении работы котла-утилизатора и/или технологии плавки, и/или догоранияmonoоксида углерода и элементарной серы в газовой фазе газоходов котла. После башни образуется 93 000–135 400  $\text{м}^3/\text{ч}$  газа с температурой на уровне  $350 \pm 20$  °С и запылённостью до 20 г/ $\text{м}^3$ .

На рисунке ниже представлены два варианта БАО, разработанные для ЗАО «Карабашмедь»: а) проект 2010 г. компании «Болиден»; б) проект 2015 г., выполненный компанией CIMM на большую производительность по газу, более высокую его запылённость и температуру на входе.

Давление воздуха на форсунках разбрызгивания 0,4–0,6 МПа, расход воздуха 800–1600  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Давление орошающей воды 0,3–0,6 МПа при расходе 8–15  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Содержание в воде взвешенных частиц не должно превышать 10 ррм, сумма сухих частиц не более 150 ррм, общая жёсткость воды – 45 ррм, общая щёлочность – 100 ррм, при pH более 7. Вода на орошение подаётся насосом производительностью до 20  $\text{м}^3/\text{ч}$  при напоре 118 м.

Общий вес башни CIMM 70 тонн. Работа башни в условиях отрицательных температур представлена на фото 4.2.10.1.

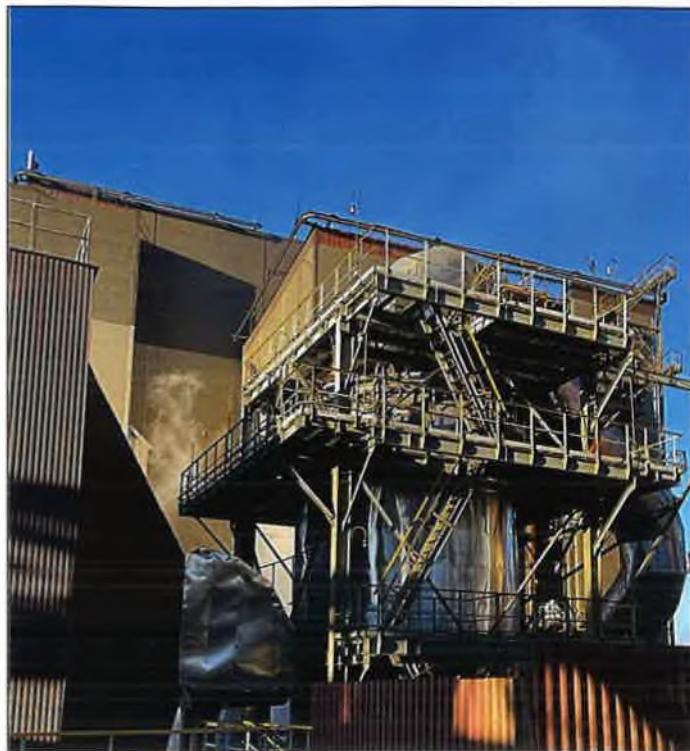


Фото 4.2.10.1. БАО компании CIMM Group Co., Ltd, 21.12.2022 г.

На рисунке 4.2.10.2 представлено компоновочное решение для совместной установки башни адиабатического охлаждения и сухого электрофильтра.

#### 4.2.11. Сухие электрофильтры

Металлургический газ после его охлаждения в котле-утилизаторе и адиабатической башне направляется на тонкую очистку в сухом электрофильтре LD100м<sup>2</sup>-4-7 и строящемся ЭГТ8-60-ЗП.

Фильтр LD100м<sup>2</sup>-4-7 имеет следующие проектные характеристики:

- выходящий газ из печи 55 000 нм<sup>3</sup>/час;
- количество подсасываемого воздуха в котле-утилизаторе 20 %;
- температура выхода с БАО 300–400 °С, максимальная 500 °С;
- содержание пыли на входе в фильтры до 40 г/нм<sup>3</sup>;
- проектный состав газа на выходе из печи «Аусмелт», %: 24,0 SO<sub>2</sub>; 9,0 CO<sub>2</sub>; 35,0 H<sub>2</sub>O; 31,0 N<sub>2</sub>; 1,0 O<sub>2</sub>;
- активное сечение фильтров 100 м<sup>2</sup>;
- скорость движения газа в электрическом поле 0,5 м/сек;
- время пребывания газа в электрическом поле 28 сек;
- расстояние между полями 400 мм;
- количество электрических полей 4 шт.;
- содержание пыли на выходе из электрофильтров 0,5 г/нм<sup>3</sup>;
- разница между температурой на входе и выходе 35 °С;
- подсосы воздуха до 20 %;
- сопротивление фильтра 300 Па.

В состав объектов входят:

- помещение щитовой сухого электрофильтра;
- помещение преобразователей частоты в здании подстанции;
- опорные конструкции и площадки для газоходов и корпуса фильтра;
- опорные конструкции кабельной эстакады;
- корпус электрофильтра;
- механизмы и оборудование для сбора и транспортировки пыли к местам выгрузки.

В соответствии с материальными балансами выход газа из печи ожидается на уровне 80 000–120 000 нм<sup>3</sup>/час. В связи с этим на первом этапе ЗАО «Карабашмедь» использовала для пылеочистки газа систему «Болиден», на последующем этапе, частично уже реализованном, строятся ещё два комплекса электрофильтров с целью полной очистки газов печи и конверторов.

При увеличении мощности по переработке концентратата для очистки технологического газа был смонтирован второй электрофильтр ЭГТ8-60-ЗП (фото 4.2.11.1). После его запуска и выведения на

полную мощность будет запущен проектируемый и монтируемый третий фильтр аналогичной конструкции, но почти вдвое большей производительности взамен первого фильтра LD100м<sup>2</sup>- 4-7.



Фото 4.2.11.1. Монтаж электрофильтра ЭГТ8-60-3, 2022 г.

Характеристики фильтра ЭГТ8-60-3 следующие:

- выходящий газ из печи 85 000 нм<sup>3</sup>/час;
- температура газа на входе 400 °C;
- содержание пыли на входе в фильтры до 6,0 г/нм<sup>3</sup>;
- проектный состав газа на выходе из печи «Аусмелт», %: до 32,0 SO<sub>2</sub>; 3,0 CO<sub>2</sub>; 24,9,0 H<sub>2</sub>O; 40,0 N<sub>2</sub>; 1,0–3,5 O<sub>2</sub>;
- активное сечение фильтров 60 м<sup>2</sup>;
- площадь осаждения 4098 м<sup>2</sup>;
- межэлектродное расстояние 300 мм;
- время пребывания газа в электрическом поле 7,5 сек;
- количество электрических полей 3 шт.;

- содержание пыли на выходе из электрофильтров  $0,5 \text{ г/нм}^3$ ;
- подсосы воздуха до 15 %;
- разряжение на входе 3 кПа;
- разряжение в фильтре не более 5 кПа;
- давление в фильтре не более 0,5 кПа;
- гидравлическое сопротивление 500 Па;
- активная высота электродов 8 м;
- активная длина поля 2,51 м;
- количество элементов осадительного электрода 7 шт.;
- тип элемента осадительного электрода ЭФ-350;
- ширина осадительного электрода 350 мм;
- тип коронирующего электрода – ленточно-зубчатый;
- тип встrijивания электродов – падающие молотки;
- количество агрегатов питания 3 шт.;
- тип агрегатов питания NWL PowerPlus 85кВт/665mA;
- тип системы пылеудаления – скребковая;
- степень улавливания пыли 91,66 %.

С учётом того, что монтируемый электрофильтр имеет жёсткое ограничение по содержанию пыли на входе в него не выше  $6 \text{ г/нм}^3$ ,

а на выходе из БАО содержание пыли до  $20 \text{ г/нм}^3$ , на предприятии принято решение о проектировании и строительстве эл. фильтра на большую производительность при запылённости до  $40 \text{ г/нм}^3$ . Проектируемый электрофильтр (рис. 4.2.11.1) предполагает переработку  $115\,000 \text{ нм}^3/\text{ч}$  металлургического газа с температурой до  $400^\circ\text{C}$ . После тонкой очистки газ не должен содержать пыли более  $0,5 \text{ г/нм}^3$ .



Рис. 4.2.11.1. Проектируемый электрофильтр ЭГТ8

#### 4.2.12. Миксер печи

В поворотном миксере (печи-отстойнике) производится отставивание расплава печи Ausmelt, состоящего из шлака и штейна. Шлак по плотности легче штейна и поэтому он накапливается сверху, штейн концентрируется в нижней части ёмкости.

Шлак периодически, по мере накопления, сливается через порог шлакового окна в шлаковозы ёмкостью 11 или 16 м<sup>3</sup> и транспортируется для слива в прудки для остывания и последующей отгрузки на переработку. Штейн из миксера выпускается в ковш ёмкостью 4 или 8 м<sup>3</sup> через шпуровое отверстие. После наполнения ковш со штейном мостовым краном грузоподъёмностью 75<sup>48</sup>/12,5 т транспортируется на заливку в конвертер.

Отходящие газы из миксера отводятся через аптеек в торце печи в систему аспирационной очистки. Для сбора газовыделений при выпуске шлака и штейна печь оборудована местными вытяжными зонтами. Жёлоб перетока расплава из печи «Аусмелт» в миксер закрыт съёмной крышкой, что позволяет собирать и направлять газы от жёлоба в аспирационную систему.

Для поддержания теплового баланса и обеспечения жидкотечности расплавов, способствующей улучшению разделения фаз, миксер обогревается газовыми горелками, работающими на природном газе.

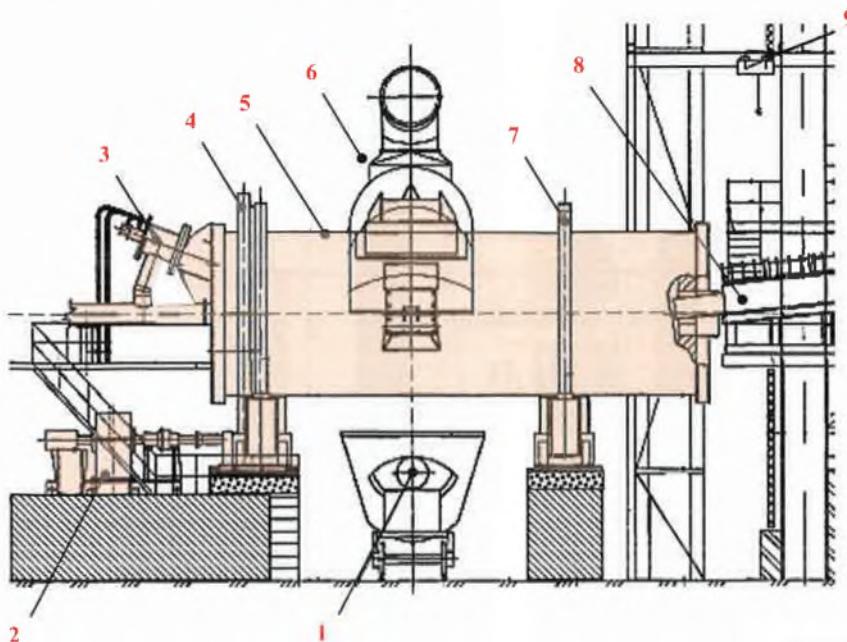
Характеристики первого варианта печи-отстойника показаны ниже:

- тип, АПМ1-140, производства ОАО «Ормето-ЮУМЗ»;
- ёмкость печи по расплаву 31,1 м<sup>3</sup> или 140 т при его удельном весе 4,5 т/м<sup>3</sup>;
- диаметр корпуса 3,95 м;
- длина корпуса 11,5 м;
- внутренний объём корпуса 109,8 м<sup>3</sup>;
- скорость поворота 0,4 об/мин;
- свободное сечение горловины 1,7 × 1,7 м;
- топливо на горелку – природный газ, мазут;
- теплотворная способность газа 8500 ккал/м<sup>3</sup>;
- расход топлива (газа) 200–1000 нм<sup>3</sup>/ч;

<sup>48</sup> Первоначально краны были грузоподъёмностью 50/12,5, в последующем они были заменены на краны большей грузоподъёмности.

- расход мазута 200–1000 кг/ч;
- расход воздуха на сжигание газа 2000–12 000  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
- расход компрессорного воздуха для мазута 1 кг/кг мазута;
- давление газа перед горелкой 40 кПа;
- давление воздуха для горелки 0,8 кПа;
- температура отходящего газа из печи 1300 °С;
- масса печи 189 т, футеровка – хромомагнезит.

Пример компоновки печи-миксера «Ормето-ЮУМЗ» с печью «Аусмелт» представлен на рис. 4.2.12.1.



**Рис. 4.2.12.1.** Компоновка миксера «Ормето-ЮУМЗ», 2006 г., где:  
1 – шлаковозная чаша 11  $\text{м}^3$ ; 2 – привод поворота миксера; 3 – газовая горелка; 4 – зубчатая шестерня; 5 – корпус миксера; 6 – аспирационное укрытие для отходящих газов; 7 – опорный бандаж; 8 – жёлоб для передачи расплава из печи в миксер; 9 – тельфер для обслуживания жёлоба

На рисунках ниже показана конструкция футеровки печи-миксера в исполнении 2006 г.

Увеличение переработки концентратата в 2008–2009 гг. привело к сокращению времени пребывания шлака в печи и увеличению содержания меди в шлаке выше 1,8–2,4 %, что существенно снизило прямое извлечение меди в ходе плавки. В связи с этим на предприятии было принято решение об увеличении зоны отстоя шлака путём замены печи на оборудование большей ёмкости.

В 2012 г. ЗАО «Карабашмедь» приобрела анодную печь Кумера<sup>49</sup>. В 2013 г. печь была переоборудована под миксер и установлена (фото 4.2.12.1 и 4.2.12.2) в комплексе с печью «Аусмельт» со следующими характеристиками:

- диаметр корпуса 4,65 м;
- длина корпуса 15,5 м;
- вес корпуса печи с торцами без противовесов и бандажей 197,6 т;
- печь в полном комплекте и с приводом весит 306,432 т;
- максимальная загрузка печи расплавом, включая настыль, 525 т;
- максимальная заливка смесью штейна и шлака, при удельном весе расплава 4,5 т/м<sup>3</sup>, не превышает 344 т;
- скорость поворота 0,05–0,5 об/мин;
- топливо на горелки – природный газ;
- расход топлива 350 нм<sup>3</sup>/ч;
- торцевая газовая горелка ГСС-250ИС с тепловой мощностью 2,5 МВт;
- две сводовые горелки ГСС-100 ИС с тепловой мощностью по 1,0 МВт;
- количество приводов 2 шт. (электродвигатель – основной, пневмодвигатель – резервный);
- максимальная температура на кожухе барабана при новой кирпичной футеровке 300–350 °C;
- отверстие для установки шпуровой плиты для выпуска штейна с водяным охлаждением, 1 шт. (1200 x 800 мм);
- шлаковое окно с водяным охлаждением, 1 шт. (900 x 900 мм);
- отверстие в своде для установки горелок, 2 шт. (500 x 800 мм);

<sup>49</sup> При выполнении анализа путей совершенствования технологии обеднения печного шлака детально рассматривалась возможность установки электропечи вместо печи-миксера с учётом сложившейся мировой практики по решению этого вопроса. По результатам сопоставительного анализа и уже сложившейся практики эксплуатации комплекса «Аусмельт» на ЗАО «Карабашмедь» было принято решение о совершенствовании способов разделения расплава на шлак и штейн в поворачивающейся печи-миксере – Кумера.

- отверстия для пробоотбора, 2 шт., диаметром 150 мм;
- отверстие для торкретирования футеровки, 4 шт. (250 x 250 мм);
- ремонтный люк (600 x 300 мм);
- торцевая крышка шлакового конца печи имеет отверстие для горелки и ремонтный люк.

Печь-отстойник состояла из:

- барабана с кожухом, бандажей, торцевых крышек;
- поддерживающих конструкций;
- системы противовеса;
- системы приводов;
- системы управления приводами;
- системы труб и гибких шлангов для охлаждения водой;

Цилиндр печи сделан из котельной стали Р355GH EN-10028 с использованием сварки. Манжеты отверстия для выпуска штейна и слива шлака выполнены из котельной стали и приварены к кожуху с усилением рёбрами. Водоохлаждаемые плиты для штейна и шлака прикреплены к манжете болтами. Бандажные кольца сварной конструкции диаметром 5700 мм и шириной 530 мм, внешние фланцы бандажных колец сделаны из высокопрочной стали, диски и внутренние фланцы – из углеродистой стали, присоединяются к кожуху клиньями и фиксируются опорами по осевому и радиальному направлениям. Опорная конструкция состоит из четырёх опорных тележек, положение которых регулируется винтами, и двух опорных лотков. Геометрический редуктор электропривода установлен на лапах, со смазкой разбрзгиванием, оснащён первичным валом, установленным на двух опорах, конический редуктор скорости для резервного привода, со смазкой разбрзгиванием, установлен на ведущем валу главного редуктора.

Главный привод печи управляет асинхронным двигателем. Между двигателем главного привода и редуктором находится тормоз, который блокируется с помощью пружин. Тормоз открывается пневматическим толкателем. Тормоз оснащен концевым переключателем, который передает статус тормоза на вход контроллера. Конечный выключатель блокирует двигатели.

Когда работает главный двигатель, магнитная муфта между главным и резервным редукторами открывается путем подачи напряжения на её катушку соленоида. Во время работы резервного пневмо-двигателя магнитная муфта между главным редуктором и резервным редуктором соединяется (отсутствует подача напряжения на катушку

соленоида, муфта закрывается при помощи пружин), а магнитная муфта между пневмодвигателем и резервным редуктором открывается (с помощью пружин; отсутствует подача напряжения на катушку соленоида).

Двигатель главного привода оснащён частотным преобразователем, расположенным в пусковом шкафу. Воздух в пневмодвигатель подаётся из резервного воздушного резервуара через систему регуляции давления. При сбоях в подаче электроэнергии происходит автоматическая аварийная остановка процесса с использованием пневмодвигателя. Печь переводится в безопасное верхнее положение со скоростью 0,25 об/мин.

Продолжительность отстаивания расплава достигает двух часов, что позволяет более эффективно провести разделение шлака и штейна.

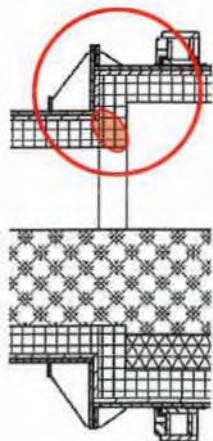
Конструкция печи-отстойника Кумера варианта 2013 г. представлена на рис. 4.2.12.6 и 4.2.12.7. На рисунках 4.2.12.8 и 4.2.12.9 показан вариант установки печи-отстойника Кумера, выполненный институтом «Казгипроцветмет» в 2009 г. при проработке способов передачи штейна в главный пролёт и вывоза печного шлака из цеха на отвал в жидким виде – в шлаковозах. При монтаже печи специалистами было принято решение об отказе от откатки штейна на тележках и замене этого способа на установку ковшей под штейн в огороженном и аспирируемом приямке, с последующей транспортировкой ковшей мостовым краном.

Продолжающийся рост производительности комплекса «Аусмелт» по переработке концентрата и, соответственно, увеличивающийся выход расплава из печи, потребовали принятия мер по дальнейшему увеличению зоны отстоя шлака на базе установленной конструкции печи Кумера. С этой целью корпус печи был удлинён цилиндром диаметром 3,5 м и длиной 6 м со стороны выпуска шлака и цилиндром диаметром 4,65 м и длиной 1,5 м со стороны заливного жёлоба из печи «Аусмелт».

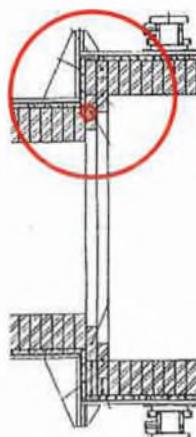
Работу по проработке новой конструкции и внесению изменений в опорные конструкции печи, размещению и весу противовесов выполнила фирма Kumege в 2018 г. Модернизация печи позволила увеличить её объём с 263 м<sup>3</sup> на 83,2 м<sup>3</sup>, доведя до 346,3 м<sup>3</sup> (рис. 4.2.12.10 и 4.2.12.11).

- особенно большие напряжения в огнеупорном кирпиче возникали на стыке футеровок различного диаметра при накоплении расплава, внутренняя кольцевая часть огнеупорной защиты меньшего диаметра как рычаг давила на внешнюю в большом цилиндре, не подверженную изгибу в связи с расположением этой части бочки на двух сбалансированных опорах;
- при поворотах миксера давление внутреннего кольца ослабевало, что приводило к расширению кирпича;
- совокупность сжатия и расширения хромомагнезитового огнеупора способствовала его растрескиванию, скальванию и выпадению из сводового замка, оголяя корпус миксера, что приводило к его прогару;
- ситуация усугублялась нахождением в удлинённой части печи двух горелок, создающих высокие температуры и газовый напор по своду миксера, «слизывающего» огнеупор при малейшем его механическом повреждении;
- повышенный износ и разрушение футеровки на стыке цилиндров разного диаметра в удлинённой печи был вызван и отклонением от рекомендаций фирмы Kumera при защите огнеупором данного узла (рис. 4.2.12.12).

Вариант Kumera



Вариант ЗАО «Карабашмедь»



**Рис. 4.2.12.12.** Варианты исполнения огнеупорной кладки на стыке цилиндров разного диаметра удлинённой печи Кумера с указанием площади зон контакта с максимальным механическим напряжением в сводовом замке

При прочих равных условиях в варианте предпринятia разрушение футеровки происходило значительно быстрее из-за в разы меньшей толщины слоя огнеупора в зоне примыкания.

Кроме проблем с футеровкой, инженеры на практике убедились в том, что при увеличении внутреннего рабочего объёма печи по расплаву на 42,9 м<sup>3</sup> объём образующейся магнетитовой настыли (рис. 4.2.12.10) из-за невозможности полного скачивания шлака, в связи с образованием порога, составлял от 14 до 20 м<sup>3</sup>, что почти наполовину уменьшало выигрыш в дополнительном объёме после удлинения печи. Накопление в печи расплава с высоким содержанием магнетита приводило к образованию прослойки между слоем богатого медного штейна и шлаком, затрудняющим разделение фаз, затягиваемым в штейновый шпур и заматывающим его отверстие.

В 2020 г. на предприятии вернулись к варианту защиты корпуса, предложенному разработчиком печи (рис. 4.2.12.13), но даже и в этом случае кампания примыкания увеличилась незначительно.

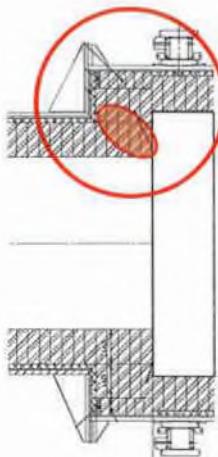
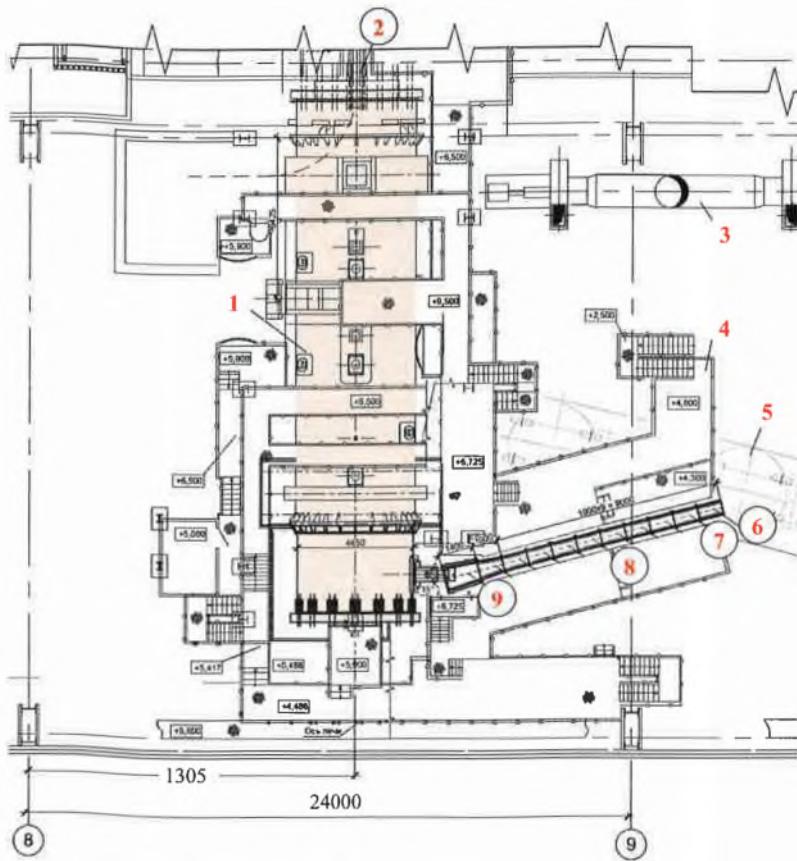


Рис. 4.2.12.13. Вариант футеровки примыкания цилиндров разного диаметра на удлинённой печи, 2020 г.

В 2022 г. с целью устранения проблем со стойкостью футеровки на контакте двух царг при удлинении бочки миксера было принято решение о выполнении обоих частей одинаковым диаметром 4650 мм (рис. 4.2.12.14). Проект на корректировку конструкции печи был выполнен ООО «ИЦ Гипромез». С целью повышения механической прочности конструкции, уменьшения габаритов установки и повышения удобства обслуживания торцевых горелок, наращивание печи-миксера со стороны шлакового торца провели всего на 3550 мм вместо 6000 мм, как на предыдущей конструкции. Кроме того, ликвидация порога позволила минимизировать образование магнетитовой настыли на подине печи и обеспечить максимальный слив расплава при её опорожнении. Изменение конструкции потребовало смещения расположения одной опоры печи и переукладки ж/д путей для откатки печного шлака, при этом была предусмотрена заливка двух шлаковых чащ за один заезд вертушки в цех.

На рисунках 4.2.12.15–4.2.12.16 представлены виды новой конструкции печи-миксера по проекту ООО «ИЦ Гипромез».



**Рис. 4.2.12.16.** Размещение печи-миксера проекта 2022 г. в главном пролёте, где: 1 – корпус печи; 2 – жёлоб из печи «Аусмелт»; 3 – система аспирации для удаления газов из печи; 4 – обслуживающие площадки; 5 – место установки двух шлаковых чащ; 6–9 – укрытия шлакового жёлоба

Новые параметры печи-миксера представлены в табл. 4.2.12.1.

**Табл. 4.2.12.1. Печь-миксер, проект 2022 г.**

Наименование	Параметры	Наименование	Параметры
Диаметр, мм	4650	Макс масса расплава, т	410
Длина корпуса, мм	20 550	Расход топлива, нм <sup>3</sup> /ч	350
Внутренний объём, м <sup>3</sup>	186	Торцевая горелка, МВт	2,5
Вес корпуса печи, т	226	Сводовая горелка, МВт	2 шт. по 1,0

## **4.3. Вспомогательное оборудование и сооружения**

### **4.3.1. Резервная горелка**

Резервная горелка необходима для разогрева печи и поднятия температуры в ней с низких значений при начале работы или после смены огнеупорной футеровки или другого аналогичного технического обслуживания, а также для поддержания температуры печи на уровне 1200 °С в период, когда основная фурма не находится в эксплуатации.

Резервная горелка устанавливается на каркасе над головкой горелки на своде печи (рис. 4.3.1.1 и 4.3.1.2). Горелка опускается и поднимается с помощью электрической цепной лебёдки, грузоподъёмностью 3,2 тонны, со скоростью 4 м/мин. Топливо и воздух подаются к горелке посредством клапанного механизма. Конечные соединения к горелке обеспечиваются через гофрированные гибкие шланги из нержавеющей стали, которые позволяют поднимать и опускать её по потребности. Отдельные шланги используются для передачи головке горелки следующих коммуникаций: природный газ; запальный газ; воздух для управления горением; воздух для горения.

Катенарный шланг для воздуха на горение при диаметре 500 мм имеет пропускную способность до 16 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , обеспечивая максимальное проектное давление 50 кПа при максимальной температуре воздуха до 100 °С. При ходе фурмы 2450 мм длина шланга составляет 15 720 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 3000 мм, максимальный динамический радиус изгиба 2000 мм. Гофрированный шланг изготовлен из нержавеющей стали и выполнен в виде кольцевой однослойной оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 450 кПа.

Катенарный шланг для подачи природного газа при диаметре 150 мм имеет пропускную способность до 1600  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , обеспечивая максимальное проектное давление 140 кПа при максимальной температуре газа до 80 °С. При ходе фурмы 2450 мм длина шланга составляет 14 200 мм. Необходимый проектный радиус изгиба 2450 мм, максимальный динамический радиус изгиба 2000 мм. Гофрированный шланг изготовлен из нержавеющей стали и выполнен в виде кольцевой однослойной оплётки проволокой, допускающей максимальное рабочее давление 450 кПа.

Управление положением резервной горелки осуществляется на панели управления горелкой на рабочей площадке с помощью нажатия кнопок подъёма или спуска горелки. Ограничительные выключатели используются для установки верхних и нижних пределов перемещения. Температура печи и отдача тепла горелки также управляются с помощью панели управления.

Резервная горелка способна обеспечить стабильную подачу тепла на уровне 18 ГДж/ч, создавая длинный и узкий факел, не «удаляющий» по стенам печи. Максимальная длина пламени при максимальной мощности составляет 9 м при максимальной ширине 2 м при данной длине. Минимальная длина факела в третьем режиме – 2 м.

Горелка имеет возможность работать в трёх режимах:

– первый – максимальная мощность:

- соотношение воздух/топливо 9,64 кг/кг;
- производительность 38,5 МДж/кг;
- расход природного газа 1450  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление газа на горелке 30 кПа;
- расход воздуха 16 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление воздуха на горелке 10 кПа;
- суммарная тепловая мощность горелки 56 ГДж/ч.

– второй – нормальный режим:

- соотношение воздух/топливо 9,64 кг/кг;
- производительность 38,5 МДж/кг;
- расход природного газа 1220  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление на горелке 20 кПа;
- расход воздуха 13 430  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление воздуха на горелке 10 кПа;
- суммарная тепловая мощность горелки 47 ГДж/ч.

– третий – минимальный режим:

- соотношение воздух/топливо 9,64 кг/кг;
- производительность 38,5 МДж/кг;
- расход природного газа 145  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление на горелке 0,3 кПа;
- расход воздуха до 1500  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;
- давление воздуха на горелке 0,4 кПа;
- суммарная тепловая мощность горелки 5,6 ГДж/ч.

При продувке горелки требуется технологический воздух с расходом 14 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . В период работы резервной горелки на выходе из печи должно обеспечиваться разряжение от –50 до –250 Па.

Горелка используется при простое печи более 15 минут. Если ожидается, что период времени простоя составит больше восьми часов, то необходимо выпускать расплав из печи, поддерживая температуру расплава резервной горелкой.

Давление подводимых ресурсов:

– природный газ, кПа	до 140
– воздух для горения, кПа	50
– приборный воздух, кПа	500
– сжатый воздух, кПа	700

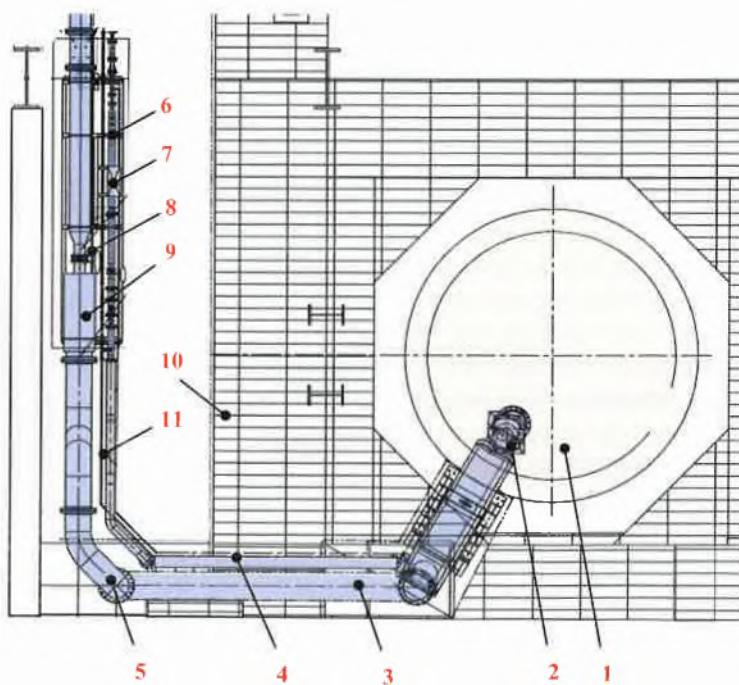


Рис. 4.3.1.1. Схема установки резервной горелки на печи, 2005 г., где:

- 1 – печь «Аусмельт»;
- 2 – горелка;
- 3 – катенарный шланг для подачи воздуха на горелку диаметром 500 мм;
- 4 – катенарный шланг для подачи газа на горелку диаметром 150 мм;
- 5 – воздушный трубопровод;
- 6 – газопровод;
- 7 – система регулировки подачи газа;
- 8 – система дозировки подачи воздуха;
- 9 – приборы КИПиА на воздушном трубопроводе;
- 10 – обслуживающая площадка на печи на отм. 15 600;
- 11 – пробный воздух, труба Ø 15 мм

Длина блока горелки 6000 мм при её наружном диаметре 500 мм. По результатам эксплуатации горелки, в 2010 г. на предприятии было принято решение отказаться от её использования.

Это было вызвано следующими причинами: длительный период установки горелки в печь при её предыдущем простое; необходимость её обслуживания и содержания как особо опасного оборудования, по аналогии с формой; постоянное накопление<sup>50</sup> конденсата в свисающих частях шлангов и подводящих трубах, что приводило к хлопкам в период начала её работы по поддержанию температуры в печи. Всё это обусловливало высокие трудозатраты и сложности в обслуживании и эксплуатации комплекса.

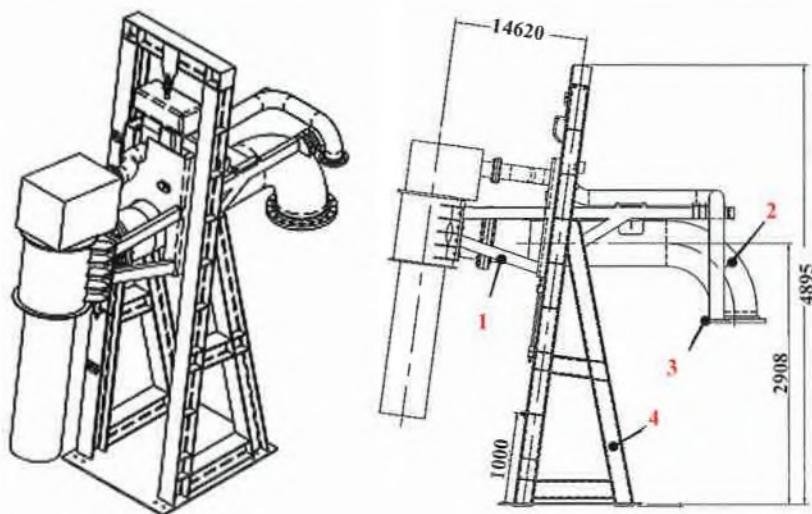


Рис.4.3.1.2. Схема компоновки резервной горелки на стойке, где:

- 1 – держатель горелки;
- 2 – воздухопровод;
- 3 – газопровод;
- 4 – стойка

<sup>50</sup> Накопление влаги внутри катенарных шлангов было связано с отсутствием системы осушки газа и воздуха на ЗАО «Карабашмедь» как в компрессорных станциях, так и в транспортных магистралях. Системы сброса конденсата из коммуникаций непосредственно на печи «Аусметл» не использовались.

Предложения поставщиков оборудования по осушке воздуха или организованному сбросу конденсата из системы горелки перед пуском, а также по полной автоматизации её установки в соответствии с утверждённым проектом, были не приняты руководителями ЗАО «Карабашмедь», и горелка была демонтирована.

Для разогрева и поддержания температуры в печи используется основная фурма, что не соответствует её предназначению – длительной работе наконечника в газовой среде.

Как уже было указано выше, отсутствие возможности поддержания температуры в печи в периоды её простоя из-за замены фурмы или по иным причинам, препятствующим зажиганию основной фурмы, приводит к разрушению огнеупорного кирпича, имеющего низкое количество теплосмен.

Кроме того, данное решение негативно повлияло на стабильную работу системы испарительного охлаждения котла-utiлизатора из-за колебаний температурного режима котла, как правило, не отключаемого от системы газоочистки и подвергаемого температурному расширению и сжатию всех металлоконструкций котлового оборудования. Это приводит, в свою очередь, к нарушению герметичности трубопроводов и повышенной коррозии внутренних поверхностей котла-utiлизатора из-за конденсации серосодержащих соединений.

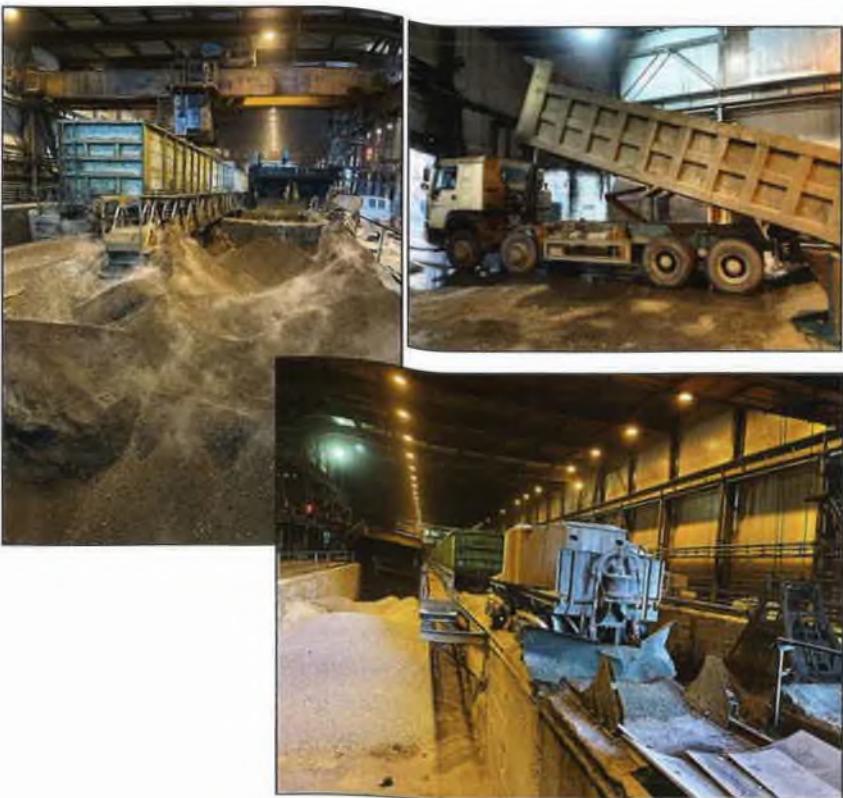
#### **4.3.2. Система подготовки и подачи шихты на печь**

Отделение шихтоподготовки предназначено для приёма сырьевых материалов, набора шихты и транспортировки её к печи Ausmelt для плавки. Оно состоит из двух шихтарников; в первый сырьё завозится автомобильным и железнодорожным транспортом, во второй – только автомобильным (фото 4.3.2.1).

Материалы разгружаются в бункера, откуда после шихтовки грейферными кранами перегружаются в ёмкости для транспортировки шихты конвейерным транспортом по галереям на загрузочную площадку печи. В первом шихтарнике установлено 4 грейферных крана, во втором – два.

Все конвейеры оборудованы весовыми дозаторами для контроля и управления количеством перемещаемого сырья, флюсов, оборотных материалов и топлива.

Производительность каждого из двух подающих транспортёров по шихте – 120–125 т/ч при ширине лент 650 и 800 мм.



**Фото 4.3.2.1.** Шихтарник для приёма концентратов, флюсов и сыпучих медесодержащих материалов, поставляемых железнодорожным и автомобильным транспортом с работающими грейферными кранами для разгрузки вагонов и думпкаров, загрузки шихты в дозирующие устройства подачи шихты на печь

Для предотвращения зависания материала в бункерах используются электромеханические вибраторы, находящиеся на корпусах бункеров. Все места пересыпки снабжены системой аспирации. Запылённый воздух направляется на очистку в циклоне СИОТ, после чего выбрасывается в атмосферу через трубы вентсистем.

Приготовление шихты производится по оперативному графику, в зависимости от наличия и качества медесодержащих концентратов, флюсов и оборотных материалов.

## **4.4. Управление процессом «Ausmelt»**

### **4.4.1. Система управления**

Система управления процессом основана на технологии (CS3000) Yokogawa Centum и состоит из следующих основных компонентов:

- ПК для станции с пользовательским интерфейсом (HIS) и инженерно-технический комплекс для рабочего места оператора (EWS);
- резервная цеховая станция управления (FCS) установкой Ausmelt;
- фиксированные модули ввода/вывода (I/O) для соединения специализированных участков установки Ausmelt и всех технологических подразделений и участков предприятия;
- ПК для анализа экзеквантовых данных (EXAQ) для подробного анализа условий работы установки в период её эксплуатации;
- система получения данных тренда, которая позволяет операторам наблюдать онлайн одноминутные и односекундные образцы данных.

Система управления процессом Ausmelt имеет четыре станции с пользовательским интерфейсом (HIS) и ПК с экзеквантовыми данными (EXAQ PC). Каждая станция с пользовательским интерфейсом контролирует и управляет всеми данными и является функционально программируемой системой управления процессом.

Каждый адрес размещён в предназначеннй и резервной сети, называемой VNET, основанной на протоколе TCP/IP. VNET обеспечивает передачу данных между цеховой станцией управления (FCS) и станцией с пользовательским интерфейсом и ПК экзеквантовых данных. Отдельная защита от доступа к ключевым параметрам процесса также существует на каждой станции с пользовательским интерфейсом (HIS). Пароли уровня безопасности устанавливаются во время холдного запуска в эксплуатацию после того, как будет активирована система управления процессом (PCS). Экраны системы управления процессом дают доступ к ключевым параметрам процесса. Их уровни безопасности обозначаются цветом, закодированным в ячейках.

Инженерно-технический ПК используется для того, чтобы внести изменения в конфигурацию программного обеспечения системы управления процессом. Конфигурация включает: экранную графику; систему тренда и другие ключевые аспекты, такие, как размещение, ввод/вывод (I/O) адреса. Комплекс обладает способностью функционировать как ПК оператора, однако он имеет эксклюзивный

допуск к конфигурации программного обеспечения системы управления процессом в течение всего периода эксплуатации.

ПК для анализа экзеквантовых данных является сервером данных Microsoft, который используется инженерами-металлургами для запроса и анализа данных по установке и процессу. ПК для анализа экзеквантовых данных отличается от станции с пользовательским интерфейсом (HIS), так как он не может контролировать установку и у него отсутствует экранная графика в отличие от станции с пользовательским интерфейсом (HIS).

ПК для анализа экзеквантовых данных обладает программным обеспечением анализа данных Yokogawa, загруженным в него, что даёт возможность обеспечивать конфигурацию отчётов, моделей процесса, графиков, и расчётов. Программное обеспечение также имеет способность запрашивать вводимые в память долговременные данные установки по любому временному периоду.

ПК для анализа экзеквантовых данных автоматически выполняет ежедневное резервирование базы данных на цифровую аудиоленту. Резервирование осуществляется ежедневно для того, чтобы предотвратить потерю любых данных по установке вследствие потенциальной неисправности жёсткого диска.

Для возможности анализа данных за продолжительный период работы установки автоматически формируется архив баз экзеквантовых данных. Процесс архивирования выполняется каждые шесть месяцев. Процесс архивирования также предназначен для сжатия баз, чтобы освободить пространство жёсткого диска для дальнейшего заполнения. Система позволяет сгружать данные по шестимесячным архивам на внешний жёсткий диск для анализа процесса за более длительные периоды (один, два и более лет). Все станции с пользовательским интерфейсом системы управления процессом оснащены программным обеспечением Norton Ghost. Norton Ghost является приложением, которое создаёт возобновляемое резервирование содержания жёсткого диска с помощью создания образа содержания жёсткого диска. Файл Ghost Image содержит все файлы, программы, настройки, которые существуют на отдельном жёстком диске или в разделе жёсткого диска, и могут впоследствии быть перезагружены в случае неисправности жёсткого диска.

Каждый жёсткий диск станции с пользовательским интерфейсом системы управления процессом конфигурирован отдельным разделом жёсткого диска. Раздел на каждой станции с пользовательским интерфейсом содержит копии четырёх образов.

Система позволяет автоматически формировать следующие отчёты в формате, читаемом MS Excel:

- 10-минутный отчёт сводных данных с одноминутным интервалом;
- ежедневный отчёт, суммирующий данные по потокам (количество воздуха, газа и кислорода) и положению фурмы (фурма поднята, фурма опущена, фурма в режиме ожидания, режим плавки);
- отчёт по работе фурмы за весь межремонтный период эксплуатации установки.

На экранах ПК станции с пользовательским интерфейсом системы управления процессом Ausmelt размещены следующие цвета и условные обозначения:

- цвета кнопки выбора оператора (тёмно-красный – заблокирован – выбор не разрешён; серый – выбор разрешён; голубой – текущее положение или режим процесса; мигающий – целевое положение);
- все величины данных, указанные в таблицах на экранах системы управления, соответствуют следующим обозначениям: зелёный – нормальное состояние; жёлтый – отклонение или состояние сигнала тревоги; красный – состояние режима тревоги; светло-голубой – режим калибровки;
- все величины данных ввода и постоянные величины, которые показаны в таблицах на экранах системы управления процессом имеют свои цвета ячеек, которые соответствуют следующим обозначениям:
  - зелёный – уровень допуска оператора;
  - голубой – уровень допуска инженера;
  - красный – постоянная величина, которая может быть изменена только на уровне специального допуска;
  - коричневый – показываемые переменные данные, которые изменяются только с помощью расчётов в системе управления процессом.

В 2018 и 2023 гг. на предприятии ЗАО «Карабашмедь» были внесены определённые изменения в программное обеспечение системы управления с увеличением производительности печи на базе скорректированного состава исходного сырья и новых возможностей вычислительной техники.

#### 4.4.2. Управление фирмой

Оператор начинает эксплуатацию фурмы спуском фурмы в печь. Предварительно установленные положения используются до, условно, **Положения 6** (таблица 4.4.2.1). Требуемые потоки фурмы устанавливаются на основе текущего положения фурмы (рис. 4.4.2.1). Ниже **Положения 6** фурма находится в зоне эксплуатации, при этом она может быть в режиме ожидания (**Положение 6.1<sup>51</sup>**) или плавки (**Положение 6.2**).

Кнопки выбора режима процесса (**Положения 6.1 и 6.2**) заблокированы и недоступны операторам до тех пор, пока система управления процессом Ausmelt не определит, что система загрузки готова к эксплуатации и фурма находится в ванне: (система загрузки готова к эксплуатации: Feeders-Rdy = 1) и фурма находится ниже **Положения 6**. Как только режим процесса выбран и все перечисленные выше условия соблюdenы, оператор может выбрать другой режим процесса в любое время. Все варианты выбора режима процесса возможны только при подтверждении оператора.

Система управления процессом использует массовый поток для контроля над всеми потоками. Массовый поток учитывает коррекцию квадратного корня для всех датчиков потока dP и рассчитывается на основании следующих параметров: расхода природного газа; расхода кислорода; расхода воздуха внутреннего; расхода воздуха на охлаждение фурмы: расхода воздуха при продувке фурмы.

Положение фурмы определяется измерением положения тележки со стрелой, при помощи абсолютного датчика положений на подъёмном барабане лебёдки.

**Положение 1** – положение «Замены» – фурма находится наверху своего подъёма, в положении замены фурмы (высота фурмы – расстояние по вертикали от пода до головки новой фурмы равно 12 000 мм). При дальнейшем движении фурмы вверх активируется концевой выключатель, который заблокирует подъём фурмы.

**Положение 2** – положение «Наконечник в отверстии» – головка фурмы находится непосредственно в печном отверстии для фурмы на высоте примерно 10 000 мм от пода. Выше данного положе-

<sup>51</sup> В описании процесса управления фурмой нередко используют название **Положение 7** – «Ожидание» и **Положение 7.1** – «Плавка».

ния все потоки являются неактивными. Ниже данного положения увеличивается поток воздуха фурмы для охлаждения фурмы. Другие потоки отсутствуют.

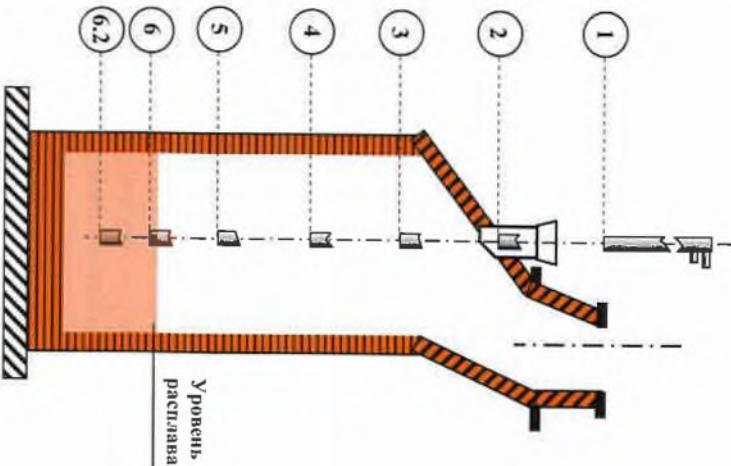


Рис. 4.4.2.1. Заданные положения фурмы в соответствии с табл. 4.4.2.1

Если печь не «горячая», резервная горелка не работает, то при спуске ниже **Положения 2** фурма будет задержана.

**Положение 2** – положение «Продувки» – при спуске фурмы из **Положения 2** в **Положение 3** поток воздуха фурмы для охлаждения увеличится до значения **Положения 3**. Другие потоки фурмы отсутствуют. При подъёме фурмы из **Положение 4** в **Положение 3** природный газ и воздух горения автоматически отключаются системой управления процессом Ausmelt. Как только фурма оставит **Положение 4**, система управления автоматически выключит цикл продувки фурмы (табл. 4.4.2.1).

Табл. 4.4.2.1. Предварительно заданные положения фурмы

Положение	Расходы ниже отметки положения, $\text{нм}^3/\text{ч}$			Расстояние фурмы от подины, мм	Примечания
	Природный газ	Воздух	Кислород		
1	0	0	0	12 000	Замена фурмы
2	0	2500*	0	10 000	Наконечник в отверстии свода
3	0	2500*	0	9 000	Продувка
4	250	2500*	0	8 000	Воспламенение
5	992	9088	0	2 500	Удержание
6	992	9088	0	2 000	Рабочее положение
6.1	992	9088	0	350–1200	Ожидание – заплескивание
6.2	1500	46 400	9600	350–1200	Плавка

\* минимальный расход воздуха на охлаждение с целью обеспечения сохранности фурмы

Продувка осуществляется с использованием воздуха фурмы. Продолжительность продувки определяется практическими наблюдениями. Фурма не может быть поднята выше **Положения 3**, пока не будет успешно завершён цикл продувки. Кислородная продувка запускается, когда скорость потока кислорода установится на нуль (обычно при выходе из режима плавки). Воздух продувки подаётся во внутренний кольцевой канал, если текущий поток внутреннего воздуха является недостаточным. Поток воздуха продувки будет продолжаться, пока поток воздуха фурмы не будет выше нуля, а кислородный поток равен нулю. При запуске фурмы продувочный воздух будет направлен в фурму, как только начнётся поток воздуха фурмы, и будет продолжаться, пока не начнёт поступать кислород. Кислородная продувка является полностью «завершённой», если поток воздуха имел место в течение времени продувки.

В случае аварийной остановки фурма будет автоматически поднята до **Положения 3**, отключая все потоки фурмы. Аварийная остановка будет блокировать спуск фурмы, пока аварийная установка не будет сброшена. Пока активна аварийная остановка и фурма находится в **Положении 3**, фурма будет заблокирована от подъёма при «незавершённой» продувке топливной и кислородной линий.

При активной аварийной остановке и положении фурмы в **Положении 3**, у оператора есть следующие опции продувки:

- выбрать «Продувку» фурмы. В данном случае активируется порядок продувки после аварийной остановки, после которой потоки воздуха остановятся. В данный момент фурму можно убрать из печи, даже при активной «Аварийной остановке»;
- выбрать «Без продувки». В данном случае состояние продувки топлива, воздуха, кислорода заменится на «завершено», позволяя блокировке поднять блокировочные устройства продувки, освобождая фурму для движения. При выборе данной опции фурма может быть поднята при активной аварийной остановке.

Если фурма удалена из печи без продувки, то любое топливо в системе подачи сгорит при следующем входе фурмы в печь.

**Положение 4** – положение «Зажигания» – при спуске фурмы из **Положения 3** до **Положения 4** поток воздуха для горения в фурме увеличится до значения **Положения 4**. После достижения **Положения 4**, при условии, что воздух для горения достиг своего заданного значения, в фурму будет введён природный газ согласно стехиометрическому отношению относительно потока воздуха фурмы. Данное положение предполагает первичное расстояние 8000 мм от пода, но может быть точнее отрегулировано при эксплуатации. Поток природного газа может быть введён, только если температура печи выше 800 °C и тележка фурмы со стрелой активировала концевой выключатель **Положения 3** на направляющих рельсах тележки фурмы со стрелой. Невозможно поднять фурму выше **Положения 4**, если использовался кислород и не завершена последующая его продувка.

**Положение 5** – положение «Удержания» – заложено на расстоянии по вертикали 2500 мм от пода, но может быть более точно отрегулировано при подготовке к запуску в эксплуатацию. В данном положении расход потока топлива и воздуха установлены для удержания печи при рабочей температуре в условиях состояния ожидания. При спуске фурмы из **Положения 4** до **Положения 5** или подъёме фурмы из **Положения 6** до **Положения 5** потоки природного газа и

воздуха фурмы увеличается до значений, установленных для **Положения 5**.

**Положение 6** – положение «Рабочее» – при спуске фурмы из **Положения 5** до **Положения 6.1** или при поднятии фурмы из положения ниже **Положения 6** потоки природного газа и воздуха фурмы увеличиваются до значений, установленных для **Положения 6.1**. Из **Положения 6.1** оператор должен опустить фурму вручную, устанавливая фурму в **Положение 6.2** и наблюдая за разбрызгиванием расплава.

Ниже **Положения 6** фурма находится в рабочей зоне, представляющей собой область, а не фиксированное положение. Область определяется любым положением ниже **Положения 6**. Оператор может контролировать положение фурмы при помощи локального подвесного пульта управления или, используя малый шаг или опцию малой скорости движения, доступную с системы управления процессом. Если фурма опущена ниже **Положения 6**, то потоки **Положения 6** будут иметь место, пока не будет выбран режим процесса («Ожидание» или «Плавка»).

Режим «Ожидания» устанавливает потоки фурмы для поддержки рабочей температуры печи. Данный режим используется для поддержки температуры печи во время коротких перерывов в нормальной работе и для восстановления температуры печи. Выбор другого режима или подъем фурмы выше **Положения 6.1** остановит режим «Ожидания». Этот режим позволяет вручную запускать питатели и конвейеры, что даёт возможность обрабатывать единственный материал, в случае необходимости, и используется для загрузки стартового шлака в начале кампании. Как правило, кокс или уголь будут являться единственными сырьевыми материалами, загружаемыми в печь Ausmelt при работе в режиме «Ожидания». В данном режиме кокс может быть загружен как топливо или как восстановитель, чтобы восстановить окисленную ванну и предотвратить пенообразование.

Режим «Плавки» запускает систему загрузки, потоки фурмы автоматически увеличиваются до значений режима плавки, устанавливаемых оператором. Связь между воздухом плавки и загрузкой поддерживается всё время через систему управления процессом Ausmelt. Выбор другого режима или подъём фурмы выше **Положения 6.2** остановит работу в режиме «Плавки».

Контроллеры потока фурмы представляют собой все контроллеры схемы расположения труб и приборов с заданными значениями и теку-

Перед тем как полностью убрать фурму из печи, рекомендуется включить резервную горелку для обеспечения того, чтобы печь не остывала.

Как только фурма оставит **Положение 4**, поток природного газа остановится. Продувка природного газа фурмы при помощи воздуха фурмы будет проведена после того, как поток природного газа остановится. Фурма будет автоматически остановлена в **Положении 3**. Дальнейший подъём фурмы будет приостановлен, пока продувка не будет завершена. Зажигание резервной горелки может быть выполнено незамедлительно после подъёма фурмы до **Положения 4**.

В случае остановки фурмы для регулярного технического осмотра наконечника фурмы включение резервной горелки не является необходимым, пока оператор не осмотрит наконечник фурмы. Если наконечник фурмы повреждён или изношен, требуется заменить фурму, в данном случае резервная горелка должна быть включена.

При отключении фурмы для технического обслуживания печи, которое затрагивает фурму или продлится в течение долгого периода времени, рекомендуется провести выпуск содержимого печи перед отключением фурмы.

В ситуации аварийного отключения системы управления процессом автоматически отключит все потоки к фурме, поднимет фурму до **Положения 3** и будет ожидать дальнейших указаний оператора. Оператор сможет выбрать между продувкой природного газа, отменой продувки и немедленным подъёмом фурмы из печи или возобновлением работы. Во время ситуации аварийного отключения фурму можно поднимать, но нельзя опускать.

**Продувка фурмы.** Когда поток топлива фурмы остановится, поток топлива клапанного механизма должен быть продут до того, как фурма будет удалена из печи. Когда фурма передвигается выше **Положения 4**, блокирующее устройство для топлива останавливает поток и перекрывает изолирующий клапан, и начинается процесс продувки топлива. Фурма удерживается в **Положении 3** во время продувки при действии блокирующего устройства, препятствующего подъёму в целях безопасности, которое включается системой управления процессом. Система управления процессом показывает, что продувка топлива из топливной трубы фурмы завершается через 10 секунд после того, как полный поток воздуха для продувки прошёл через топливную трубу.

Линии кислорода и внутреннего воздуха фурмы соединяются на выходе регулирующего механизма потока фурмы и проходят через общую трубу подачи к фурме и через неё. Внутренняя продувка фурмы вступает в действие для того, чтобы предотвратить любой обратный поток какого-либо материала или несгоревшего топлива обратно по внутренней трубе фурмы во время условий, когда имеется недостаточный поток воздуха или кислорода. Продувка кислорода также необходима для трубопровода подачи и фурмы, чтобы ликвидировать высокие концентрации кислорода немедленно после отключения кислорода.

Продувка кислорода осуществляется при условии, что поток, проходящий по внутренней трубе фурмы (от потоков внутреннего воздуха и внутренней продувки фурмы) соответствует критерию продувки после отключения кислорода. Система управления процессом показывает, что продувка кислорода завершается через 10 секунд после того, как полный поток воздуха продувки прошёл через внутреннюю трубу фурмы.

Продувка систем топлива и кислорода может быть запущена вручную с экрана управления фурмой, когда фурма находится в **Положении 3** и аварийная остановка не активирована или когда имеет место аварийная остановка «Нет потока» (No Flow), при этом оператору будет предложен вариант начать ручное управление продувкой с высветившегося экрана.

Когда фурма находится в **Положении 2**, устройство, блокирующее подъём, будет препятствовать удалению фурмы, если продувка топлива или кислорода не завершена. Оператор может принять ответственность за невыполнение продувки фурмы, нажав на кнопку на экране блокирующего устройства. Данная кнопка требует подтверждения.

С целью контроля за ходом процесса плавки и состоянием фурмы, вблизи тележки фурмы установлены датчики давления на трубопроводах подачи газа, внутреннего и внешнего воздуха<sup>53</sup>. Показания этих приборов характеризуют сопротивление выходу потоков газа и воздуха из фурмы в ванну расплава. При давлении, близком к параметрам ресурсов в подающих магистралях – можно предположить об обрыве наконечника, его прогаре, разрушении или вывode

---

<sup>53</sup> На сленгеА операторов – «обратное давление».

фурмы из расплава. Резкое увеличение давления может характеризовать упирание наконечника фурмы в настыль или корку, его заминание или загиб. Кроме того, рост сопротивления истечению воздуха в расплав может быть вызван существенным повышением вязкости расплава и его плотности из-за нарушения технологии плавки, снижения температуры в печи и не соответствующего шихте расхода флюсов. Во всех случаях показания этих датчиков требуют оперативного вмешательства оператора в процесс плавки и работу печи.

### **Регулирование положения фурмы**

Положение фурмы в печи регулируется лебёдкой под контролем системы управления процессом Ausmelt. Положение фурмы может быть изменено оператором с помощью применения подвесного пульта управления с ручным управлением и с экранов системы управления процессом.

Позиционирование фурмы основано на двух резервных датчиках положения, установленных на каждом конце барабана лебёдки. Установленные предельные выключатели используются для ограничителей хода и некоторых блокирующих устройств.

Имеются следующие режимы регулирования положения фурмы: подвесной пульт управления; аварийный подъём лебёдки фурмы; подъём и спуск фурмы на медленной скорости; увеличение и уменьшение шага фурмы при управлении мышью на ПК по трём интервалам – 2, 50 и 200 мм; предварительно заданный выбор положения.

Использование кнопок подъёма или спуска подвесного пульта управления будет регулировать положение фурмы с помощью прямого действия на привод с регулируемой скоростью, без участия системы управления процессом Ausmelt. Изменение положения фурмы будет показываться на экране интерфейса оператора, когда нажимаются кнопки подвесного пульта управления. В то время, как кнопки подъёма или спуска на подвесном пульте управления нажаты:

- все вводы оператора положения фурмы с интерфейса оператора игнорируются;
- аварийная остановка лебёдки функционирует со всех положений;
- любые предварительно заданные установки положения (мигающие индикаторы) снимаются;
- заданное значение положения фурмы указывает текущую величину.

Показ заданного значения продолжается в течение 5 секунд после освобождения кнопок. Это необходимо для времени торможения лебёдки фурмы.

Аварийная остановка запускает аварийный подъём фурмы до **Положения 3**. Это происходит так, как будто оператор выбрал движение к предварительно заданному **Положению 3**, единственным исключением является то, что движение не запрошено, если предельный выключатель **Положения 3** фурмы указывает на то, что фурма уже находится над **Положением 3**.

Кнопки медленного подъёма, спуска и остановки на экране графиков позволяют оператору медленно поднимать или опускать фурму.

Экран системы управления процессом Ausmelt имеет дополнительную характеристику, которая позволяет перемещать фурму на малые приращения или малые отрицательные приращения при помощи мыши по стрелкам вверх и вниз. Каждый клик мыши будет активировать изменение положения фурмы между тремя выбираемыми интервалами, первоначально 20, 50 и 200 мм. Каждый раз при использовании кликом мыши приращения все текущие заранее заданные целевые приращения (мигающие показатели) должны быть сняты.

Малый вес фурмы также инициирует подъём фурмы (приращение).

Любой режим регулирования, отличающийся от текущего режима регулирования, имеет предпочтение и отменяет текущий режим. Блокирующее устройство подъёма, спуска и аварийная остановка лебёдки фурмы применяются для всех режимов регулирования, перечисленных выше. Движение автоматически возобновляется непосредственно после снятия состояния блокирования.

Система управления процессом контролирует положение фурмы печи и имеет трёхскоростной принцип управления для привода лебёдки фурмы с регулируемой скоростью на основе текущего положения фурмы от заданного положения (табл. 4.4.2.3). В течение всего времени действие подвесного пульта управления имеет приоритет при контроле положения фурмы.

Остановка двигателя фурмы лебёдки осуществляется в компьютерном оборудовании в случаях: превышения установленной скорости барабана; включения аварийного тормоза; выявления провисания троса; аварийной остановки с рабочего участка; аварийной остановки с пульта смены фурмы; аварийной остановки с пульта лебёдки фурмы;

аварийной остановки с подвесного пульта управления. Экран блокирующих устройств лебёдки фурмы указывает причины аварийной остановки двигателя. Вес лебёдки фурмы измеряется штифтом нагрузки, установленным на ней. Высокий вес фурмы вызывает блокировку подъёма с подачей соответствующего сигнала.

Сигнал тревоги о низком весе фурмы вызывает блокировку спуска и будет иметь место подъём фурмы на 50 мм. Подъём фурмы будет блокирован над **Положением 6**. Как только произошёл подъём фурмы, никакого другого подъёма не будет, пока не истекут 5 минут после отмены сигнала тревоги о низком весе. Низкий вес фурмы, когда фурма находится ниже **Положения 5**, инициирует остановку процесса. Это необходимо, чтобы не позволить фурме опуститься слишком глубоко в ванну.

Табл. 4.4.2.3. Управление приводом лебёдки, за 100 % – 8 м/мин или 133 мм/с

	Подъём	Спуск	Скорость, %
Быстрый подъём	1		100
Умеренный подъём	1		20
Медленный подъём	1		5
Остановка	0		0
Медленный спуск		1	5
Умеренный спуск		1	20
Быстрый спуск		1	100

Для управления потоком газов через фурму оператор выбирает положение фурмы, затем система управления процессом Ausmelt определяет параметры режима работы из предварительно созданных справочных таблиц фурмы.

Данные параметры, вместе с текущими значениями для потока, используются для расчёта потоков фурмы. Параметры таблиц фурмы подразделяются на три категории:

- переменные, где значение устанавливается оператором;
- постоянные – значения могут варьироваться, но рассматриваются как постоянные;
- расчётные, в которых параметры рассчитываются системой управления процессом.

Приведём примеры переменных параметров, задаваемых оператором печи: общая скорость загрузки медного концентрата (т/ч);

скорость загрузки **Cи** концентрата № 1 (процент от общего количества); скорость загрузки **Cи** концентрата № 2 (процент от общего количества); скорость загрузки известняка (т/ч); скорость загрузки кварцита (т/ч); скорость загрузки золотосодержащего концентрата (т/ч); скорость загрузки клинкера (т/ч); скорость загрузки оборотного концентрата (т/ч); скорость загрузки оборотов (т/ч); скорость загрузки угля или кокса (т/ч); скорость загрузки руды (т/ч).

Система управления обеспечивает серию уровней сигналов тревоги для оказания поддержки в безопасной эксплуатации установки. Данные сигналы тревоги определяются как следующие: сообщение оператору (низкий приоритет); предупреждение оператору (высокий приоритет); аварийная сигнализация. Операторы могут в любой момент подтвердить сигналы тревоги, чтобы отключить сигнал низкого тона с системы управления. Тональный сигнал будет вновь запущен в случае возникновения другого (нового) сигнала тревоги. Сигнал тревоги будет оставаться активным, пока состояние процесса не будет восстановлено.

Сигнал тревоги с низким уровнем приоритета подлежит документированию системой управления процессом. Предмет сигнала будет мигать жёлтым на экране управления и будет сопровождаться сигналом низкого тона. Оператор должен выполнить действия, необходимые для устранения причины сигнала. Все высокие и низкие сигналы тревоги управления процессом имеют низкий приоритет.

Сигнал тревоги с высоким уровнем приоритета также документируется системой управления. Предмет сигнала будет мигать красным на экране управления и будет сопровождаться сигналом низкого тона. Сигнал тревоги с высоким уровнем приоритета остановит эксплуатацию оборудования или заставит привести оборудование в безопасное состояние, чтобы не допустить травмы персонала или повреждения оборудования.

Сигнал тревоги уровня аварийной ситуации подобен сигналу тревоги с высоким приоритетом, но может сопровождаться отключением системы горения и загрузки печи.

Сигнал тревоги отклонения обеспечивается настраиваемым временем задержки, которое первоначально приравнено шести секундам. Даная функция позволит контуру управления «успокоиться» и не допустить преждевременную активацию сигнала отклонения в результате изменения заданного значения или во время запуска.

#### **4.4.3. Контроль за температурой процесса «Ausmelt»**

В процессе эксплуатации плавильного комплекса контролируются следующие температурные параметры: внешняя температура подины – нижняя точка подины – термопара в кармане у кожуха; температура в середине подины – термопара в кармане у кожуха; верхняя точка подины – термопара в кармане у кожуха; средняя температура оgneупора стенки печи – термопара за оgneупором и не находится в контакте с ванной печи; максимальная температура оgneупора – термопара за оgneупором и не находится в контакте с ванной печи; температура газа в аптеике печи; температура расплава на выходе из печи в сифоне – определяется пиromетром.

Информация, считанная при измерениях инфракрасным пиromетром, высвечивается на дисплее экрана консоли оператора системы управления процессом, что позволяет наблюдать за динамикой изменения температуры в ванне печи.

Термопары, встроенные в оgneупорную обшивку печи, обеспечивают постоянную информацию оператору, хотя эти данные не являются прямыми измерениями температуры, так как полученные значения не равняются реальной температуре в ванне из-за того, что устройства установлены за пределами нагретой стороны печи.

Оператор на стадии плавки поддерживает температуру ванны на уровне 1180 °C по следующим причинам: высокие температуры вызывают увеличенный износ оgneупорного материала; повышенные температуры увеличивают износ фурмы Ausmelt; низкие температуры повышают вязкость шлаков, что затрудняет выпуск расплава из печи; пониженные температуры приводят к образованию настылей в печи.

Температура ванны регулируется следующим способом: изменением скорости подачи шихты; изменением расхода кислорода, воздуха или их соотношения; изменением расхода природного газа.

При постоянном расходе топлива и воздуха уменьшение уровня обогащения дутья кислородом повышает потери тепла с отходящими газами, что приводит к снижению температуры ванны. Увеличение обогащения воздуха кислородом повышает температуру ванны и уменьшает объём обходящих газов печи с одновременным ростом в них содержания диоксида серы.

#### 4.4.4. Запуск печи

При запуске новой или «пустой» печи или для того, чтобы подготовить дренированную печь к возобновлению плавления, процесс плавления и образования ванны расплава требует по крайней мере 350 мм шлака (40 тонн). Для плавления шлаковой ванны температура в печи должна быть выше 1000 °C. Печь предварительно нагревают резервной горелкой до 800 °C. Далее нагрев ведут с использованием фурмы до 1000 °C.

В начале плавления шлака фурма работает в положении **Положение 5**. Холодный размельчённый или гранулированный отвальный шлак загружается в печь через загрузочное отверстие. Режим работы фурмы устанавливается на стехиометрию 95 %, чтобы содержание кислорода в газах, контактирующих с поверхностью шлака, было на низком уровне. Это приводит к тому, что железо в шлаке с содержанием приблизительно 36 % не окисляется до магнетита, поскольку магнетит увеличивает температуру плавления и вязкость шлака. Поскольку подача материала в печь продолжается, оператор должен видеть, что он плавится, а не нарастает в виде твёрдой массы. Если имеет место увеличение твёрдой фазы расплава, подача материала должна быть приостановлена до расплавления этой настыли. После того, как сформировался небольшой объём жидкого шлака, фурма медленно опускается до тех пор, пока она не окажется на расстоянии приблизительно 1000 мм от подины печи.

При продолжении плавления шлака фурма периодически опускается до её минимального положения (250 мм выше лещади) и остаётся там на несколько минут перед поднятием её в 1000 мм (**Положение 6.1**). Это должно гарантировать, что загружаемый материал плавится и газы фурмы перемешивают материалы ванны, формируя однородную смесь. По мере формирования ванны расплава, расходы воздуха и топлива увеличиваются наряду с постепенным увеличением скорости подачи шлака. По завершению подачи шлака и перед началом подачи шихты наконечник фурмы должен быть проверен на предмет повреждений. Как только будет сформирована достаточная ванна, фурма погружается в расплав с предварительным покрытием её настылью, шихта грузится в печь в соответствии с плановым заданием.

В период запуска оператор осуществляет регулярное наблюдение за ванной в печи, контролируя её жидкотекучесть и глубину.

#### **4.4.5. Оперативный контроль за работой печи**

В ходе эксплуатации печи, помимо контроля за процессом плавки и работой оборудования с использованием автоматической системы управления, оператор самостоятельно проводит визуальные и регулярные проверки работы оборудования и приборов контроля. Система управления процессом Ausmelt используется для предоставления данных о текущей эксплуатации установки (фото 4.4.5). Однако визуальные проверки оборудования установки необходимы для выявления эксплуатационных неисправностей оборудования.

Устанавливается соответствующий график проверок:

Через 15–30 минут проверяются величины следующих переменных процесса на пульте управления:

- потоки и противодавления<sup>54</sup> воздуха, природного газа и кислорода фурмы;
- кривые трендов потоков фурмы;
- положение фурмы;
- скорость подачи шихты;
- температура ванны пиromетром порогов;
- температура охлаждающего блока порогов;
- температура отходящих газов;
- температуры в кotle-utiлизаторе и сухих электрофильтрах;
- давление в печи;

Операторы должны просматривать все экраны системы управления процессом, включая страницы трендов по системам распределения охлаждающей воды, расследовать любой сигнал тревоги, связанный с состоянием охлаждающих деталей, например, скорость потока воды и температуры;

Через каждые 30–60 минут следует проводить визуальную проверку работы ключевых элементов оборудования установки на эксплуатационном участке. Данные проверки должны проводиться обслуживающим персоналом, укомплектованным в соответствии со

<sup>54</sup> Под противодавлением условно понимается давление на срезе фурмы, отличающееся или равное давлению в системе перед фурмой. При свободном истечении газовой среды из фурмы и без погружения её в расплав противодавление равно нулю, при заглублении в расплав оно растёт пропорционально глубине погружения и плотности расплава и становится равным давлению на коллекторе перед фурмой при её запечатывании (закупоривании) массой.

штатным расписанием. Старший оператор должен проводить инспекционный обход установки по крайней мере раз в смену во время эксплуатации печи. В указанный интервал проверяются:

- весовые питатели, смесители и работа конвейерных систем;
- качество шихты и её загрузка в печь;
- состояние соединений и шлангов на выявление протечек воды;
- визуально – движение и вибрация фурмы;
- отсутствие нетипичных шумов или тишина при работе фурмы;
- резервная горелка, отверстия для загрузки и взятия проб в своде печи;
- отсутствие видимых признаков утечки газа или дыма из газоотвода;
- осматривается система охлаждения элементов печи и распределение воды по кессонам;
- наличие воды в горячем баке и стояке водяного охлаждения;
- скорости потоков воды, давление и её температура, соответствие показателей установленным нормам;
- отсутствие видимой утечки воды из газоходов;
- отсутствие видимых участков перегрева в зоне высокой температуры газоотводного канала печи;
- исправность работы пылеулавливания и дымососов;
- отсутствие признаков повреждения измерительных приборов;
- тренды температуры отходящих газов;
- температура свода печи и стальной конструкции переходного участка газоотвода, не допуская её превышения 200 °C;
- текучесть и температура расплава, выпускаемого непрерывно из сифона;
- состояние шпуроров аварийного выпуска расплава из печи;
- работа горелки на своде сифона;
- отсутствие видимых признаков участков перегрева на кожухе печи.

Операторы также должны брать образцы шлака и штейна для контроля над процессом, при стабильном сырье и нормальной работе печи, интервал отбора проб может быть увеличен до одного часа.

Через каждые 60–120 минут проводят: замер температуры ванны; сбор образцов шлака и штейна; проверку скоростей потоков охлаждающей воды и её температуру; замер разницы температур на воде между подачей в кессоны и её отводом.

Не менее одного раза в каждую смену старшим мастером или технологом проверяется соблюдение оператором технологических

карт. Не менее одного раза в неделю проверяется кожух печи на наличие участков перегрева с помощью применения датчика температуры или инфракрасной камеры.



Фото 4.4.5.1. Рабочее место оператора печи «Аусмельт»

Для эффективной и безаварийной работы печи и её вспомогательного оборудования на рабочем месте должно быть не менее двух операторов, один из которых ведёт постоянный контроль за работой печи по приборам КИПиА, второй – дублирует первого оператора и осуществляет визуальный контроль в соответствии с вышеуказанным порядком. Мастер смены плавильщиков обязан организовать бесперебойное обеспечение печи энергоресурсами, воздухом, кислородом, природным газом, сырьём и флюсами, безопасное обслуживание сифона, миксера, систем оборотного водоснабжения и испарительного охлаждения, включая печь, котёл, БАО, электрофильтр и дымосос, а также организовать взаимодействия с конвертерным переделом, шлаковым двором и срнокислотным цехом. Миксер печи, сифон и жёлоб выпуска расплава должны обслуживать не менее двух плавильщиков. На нулевой отметке должно быть предусмотрено рабочее место шлаковщика. Контроль за системой загрузки шихты должен осуществлять загрузчик. Обслуживание системы оборотного водоснабжения печи и испарительного охлаждения котла-utiлизатора должен реализовывать оператор установки испарительного охлаждения и водоподготовки.

#### 4.4.6. Контроль за содержанием меди в штейне и шлаке

Оптимальным содержанием меди в штейне признан уровень в 50–60 %. Это вызвано тем, что необходимо обеспечить стабильную работу горизонтальных конверторов по тепловому балансу при переработке штейна, кроме того, высокое содержание меди в штейне приводит к большим её потерям с печными шлаками как за счёт установления равновесия между шлаковой и штейновой фазой, так и за счёт увеличения при этом содержания магнетита в шлаках и ухудшения физических свойств шлака.

Управление по содержанию меди в штейне осуществляется изменением расхода воздуха для плавки и степенью обогащения дутья кислородом, установкой соответствующего коэффициента по расходу кислорода на тонну перерабатываемого концентрата.

Для получения оптимального состава шлака, заданного технологическим регламентом, оператор по данным химического анализа шлаков контролирует и удерживает изменением расхода флюсов отношение  $Fe$  к  $SiO_2$  равным 1,4 при минимальном содержании  $CaO$  – 5,0 %. Более высокое содержание железа в шлаке приводит к: увеличению магнетита в шлаках и ухудшению условий разделения фаз в отстойнике; получению тугоплавких шлаков; образованию больших магнетитовых настылей на внутренних поверхностях печи и фурме; возникновению рисков вспенивания шлака.

Аналогично и более низкое соотношение железа к кремнезёму приводит к насыщению шлака оксидом кремния, повышению интервала плавления шлака и ухудшению физических свойств шлака, включая жидкотекучесть и вязкость.

Определение химического состава расплавов требует регулярного отбора образцов за счёт опускания ломка в печь и подъёма его с покрытием из твёрдого шлака. Операция пробоотбора «на ломок» может производиться при погружённой фурме. Система отбора образцов состоит из электрической лебёдки и стержня для отбора образцов. Лебёдка имеет опору от тележки со стрелой. Опора лебёдки спроектирована с центровкой над отверстием для отбора образцов или наблюдения, и может быть снята с платформы для ремонта и проверки. Электрическая лебёдка управляется оператором с рабочей площадки при помощи подвесного пульта. Стержень для отбора образцов представляет собой прямой стержень, сделанный из прута из мягкой стали диаметром 50 мм.

Образцы шлака и штейна также могут отбираться из содержимого печи во время операций по выпуску продукции. В этом случае от оператора требуется собрать образцы шлака и штейна из выпускного порога или из открытого выпускного отверстия.

Во время операций при открытом пороге образцы штейна могут быть взяты с порога для контроля состава штейна. Для контроля химии шлака образцы шлака могут быть взяты с порога, однако любое загрязнение штейном может сделать этот анализ ложным. Предпочтительнее, если образцы будут отбираться из точки слива шлака и штейна из печи-миксера.

В настоящее время люк для отбора пробы через свод печи «Аусмелт» на ЗАО «Карабашмедь» ликвидирован, и пробу расплава можно брать только из переливного жёлоба печи или печи-миксера.

Анализ шлака из миксера не отражает истинного значения по содержанию в нём меди и может быть только индикатором для оценки динамики изменения потерь. Наиболее представительная проба шлака по меди может быть получена только после его дробления, измельчения и помола на обогатительной фабрике.

Анализы по флюсующим элементам ( $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ), оксидам железа и магнетиту<sup>55</sup> являются достоверными в любой точке замера в связи с высокой долей их содержания в шлаке и большим количеством движущегося расплава, усредняющего его состав. На точность и объективность анализа проб на медь, взятых из миксера печи, может влиять наличие цинка в шлаке, формирующего промежуточный вязкий слой между штейном и шлаком.

Проба штейна отбирается, как правило, в момент его слива в штейновый ковш: в первоначальный момент начала слива, при заполнении ковша наполовину и при полном заполнении ковша.

На предприятии практикуется отбор пробы штейна при переливе его в конверторы на конвертерном участке.

При необходимости мгновенной оценки содержания кремнезёма и железа в шлаке возможно использовать ломковую пробу, суть этого пробоотбора и методика визуального контроля этих элементов по цвету шлака и его форме описана в работе автора [6].

---

<sup>55</sup> Достоверность анализа по магнетиту может быть снижена из-за наличия порогов в печи-миксере, препятствующих свободному сливу расплава.

#### **4.4.7. Контроль за положением фурмы и уровнем ванны**

Уровень шлаковой ванны поддерживается постоянным, когда слив работает в непрерывном режиме. Чтобы обеспечить хорошее смешивание ванны, массо- и теплообмен, нужно использовать фурму Ausmelt на определённом уровне погружения в шлаковую ванну.

Оператор диспетчерской обязан правильно установить фурму в шлаковой ванне до начала плавления концентратса. В ходе плавки контролируется противодавление в фурме, вибрация фурмы и шум в печи. При изменениях указанных параметров оператор обязан установить причину и выполнить корректировку положения фурмы или других параметров работы печи.

При нормальной работе с открытым сливом максимум ванны будет контролироваться переливом расплава на уровне 1,5–1,9 м. Когда выход из сифона блокируется или затрудняется, становится возможным резкое повышение уровня ванны. Это приведёт к значительным вибрациям печи и фурмы. Глубокая шлаковая ванна приведёт к образованию настыли на подине, это связано с тем, что фурма Ausmelt имеет ограниченную способность по проникновению дутья вглубь расплава.

Измерение глубины ванны является важным рабочим инструментом, служащим для первоначального определения правильного рабочего положения фурмы в печи. Глубина ванны измеряется погружением стального прута (пробника) в статичную ванну и измерением высоты ванны на пруте-эталоне после того, как он будет вынут. В связи с тем, что в операциях должны быть паузы для выполнения данных действий, фурма должна быть поднята и загрузка должна быть остановлена не более чем на 2–3 минуты, чтобы минимизировать производственные потери. Как только установлен стабильный рабочий режим, измерение глубины ванны можно проводить реже, по мере необходимости уточнения данных.

Настыль на подине печи может повлиять на измерение глубины ванны, и замер должен перепроверяться при возникновении сомнений.

Печь спроектирована для работы с максимальной общей глубиной статической ванны 1,5 м. После пуска печи, по инициативе ЗАО «Карабашмедь», ванна расплава была увеличена до 1,8–1,9 м. Если высота ванны превышает проектную высоту более чем на

500 мм, операция плавки сырья должна быть приостановлена. Продолжение операций приведёт к чрезмерным выбросам шлака в верхние зоны участка выхода газов, свода печи и участков загрузки и отверстий фурмы.

Уровень ванны повышается примерно на 200 мм, когда фурма погружается в ванну и включается дутьё. Высокий уровень ванны может явиться результатом большого количества материала внутри печи из-за ограничения пропускной способности сифона или всепенивания ванны. Если высота ванны меньше 450 мм, требуется расплавление дополнительного количества шлака для обеспечения заданного уровня. Эта ситуация может возникнуть при возобновлении операции плавки после слива массы. Недостаточный уровень расплава и, соответственно, погружение фурмы, может привести к неэффективному преобразованию тепла и перемешивания расплава, локализации нагрева, и чрезмерному выплеску частиц шлака через сифон, а также нарушению стойкости подины.

Для управления глубиной ванны важно предотвращать блокировку сливного порога. Для этого плавильщику необходимо каждые 15–20 минут проверять объём потока расплава из сифона.

Измерение глубины статической ванны обычно проводится только тогда, когда оператор заменяет фурму. Уровень настыли проверяется при горячем запуске, замене фурмы или в непредвиденных ситуациях. На ЗАО «Карабашмедь» накопленный опыт эксплуатации печи позволил отказаться от проверки уровня расплава ручным способом с помощью пробника. Показания датчиков положения уровня фурмы и «кровная» работа печи «Аусмелт» дают возможность корректно прогнозировать уровень расплава в печи и управлять его изменениями.

В условиях работы на рассматриваемом предприятии уровень расплава был увеличен на 300–400 мм ещё в 2006 г. при отработке режима плавки и составляет в настоящее время 1800–1900 мм от подины печи. Такое решение было вызвано предположением о возможности смыва со свода печи образующихся на нём настылей. Фактически это привело к увеличению брызгоуноса в газоходную систему печи и разрушению футеровки свода, в последующем конструкцию свода пришлось изменить с полным отказом от его огнеупорной защиты и переводом на кессонированные элементы. Изменённый уровень расплава сохранили исходя из сложившегося опыта работы. Явных и значимых преимуществ увеличенный уровень расплава не дал.

#### **4.4.8. Система управления процессом плавки**

Существует множество вариантов систем управления процессом плавки, различающихся особенностями переработки сырья, целей переработки, компоновкой основного и вспомогательного оборудования, программным обеспечением, уровнем информированности оператора и автоматизации производства, но всем им присущи общие подходы и приёмы, представленные ниже в качестве наглядного примера как одного из первых вариантов автоматизации управления плавкой, разработанного компанией Ausmelt для условий ЗАО «Карабашмедь».

Система используется для управления и контролирования печи, систем фирмь, резервной горелки, охлаждающей воды печи, системы загрузки, системы обработки отходящих газов, роторной печи-отстойника.

Её функциональные возможности опираются на следующие элементы наблюдения, контроля и управления: обзорный экран фирмь, печи и загрузки (рис. 4.4.8.1); экран блокирующих устройств; экран остановки процесса; экран аварийной остановки; экран аварийной остановки «нет потока»; экран коммуникаций охлаждающей воды; экран охлаждения печи; экран охлаждения перехода; экран охлаждения перемычек; экран управления печью (рис. 4.4.8.2); экран коммуникаций фирмь; экран роторной печи-отстойника (рис. 4.4.8.3); экран системы обработки отходящих газов (рис. 4.4.8.4); экран управления фирмь (рис. 4.4.8.5); основной экран фирмь (рис. 4.4.8.6); основной экран загрузки (рис. 4.4.8.7); экран управления загрузкой (рис. 4.4.8.8); экран охлаждения свода и отверстий (рис. 4.4.8.9); экран охлаждения верхнего цилиндра печи (рис. 4.4.8.10); экран охлаждающих медных панелей (рис. 4.4.8.11); экран охлаждения нижней части печи (рис. 4.4.8.12); экран резервной горелки (рис. 4.4.8.13); диагностический экран резервной горелки (рис. 4.4.8.14); экраны статистического учёта трендов; диагностические экраны сигналов тревоги системы управления процессом (автоматически высвечивающиеся табло).

Представленные примеры экранов по желанию заказчика могут быть изменены и уточнены как по содержанию и форме, так и по цветовой гамме. Как правило, они опираются на сложившиеся традиции по предоставлению информации компании-разработчика программного обеспечения.



Рис. 4.4.8.1. Экран монитора фурмы, печи и загрузки\*

\*Данный экран несет информационный характер. На нём кратко изложены все ключевые эксплуатационные параметры, необходимые для контроля работы печи. Данные таблицы указывают: положение фурмы в печи – расстояние, измеренное от пода печи (в мм), и вес фурмы (в т); положение фурмы в печи, относительно установленных положений фурмы, обозначенных от 1 до 6; какой режим процесса используется: «Ожидание» (Standby) или «Плавка» (Smelt). Здесь также указывается состояние функций режима фурмы: «Блокировка подъёма» (Inhibit Raise), «Блокировка спуска» (Inhibit Lower) и «Подвесной пульт управления» (Pendant). Активные кнопки позволяют устанавливать положение фурмы посредством выбора установленного положения фурмы (1–6) или посредством перемещения фурмы с шагом вверх или вниз. Как только фурма будет находиться в рабочем положении (ниже **Положения 6**), может быть выбран необходимый режим процесса.

Потоки фурмы (Lance Flows) показываются в правом верхнем углу экрана. Показываются как установленные, так и текущие значения для потоков природного газа, воздуха фурмы (внешнего, внутреннего и внутренней продувки) и кислорода фурмы. Для каждого потока указывается также противодавление. В таблице указываются и эксплуатационные параметры обогащения дутья кислородом. Температура и её тренд на выходе печи (Furnace exit temperature) показывается в нижнем левом углу экрана. Загрузка печи (Furnace feeds) представлена в центральной части экрана справа. Установленные значения и текущие значения для всех материалов загрузки печи (мединых концентратов, известнякового флюса, кремнезёмистого флюса, концентрата золота, клинкера, оборотов, кокса, угля) сведены в таблицу. Также показано общее значение суммы всех загрузочных материалов.

Обработка отходящих газов (Offgas handling) показана в нижнем правом углу экрана. Данная таблица показывает текущие значения для: давления печи; положения задвижки; нагрузки дымососа печи; содержания в отходящем газе  $O_2$ ,  $CO$  и  $SO_2$ . Пределы потоков фурмы (Lance Flow Limits) показаны в центре экрана, они указывают, соответствует ли минимально требуемый воздух фурмы потокам воздуха и кислорода фурмы, а не потребностям процесса.

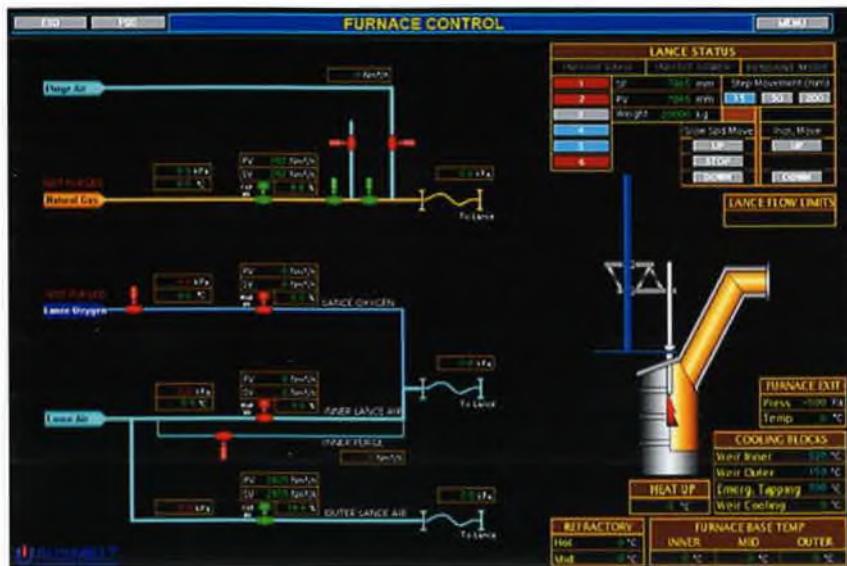


Рис. 4.4.8.2. Экран монитора контроля печи\*

\*Состояние фурмы (Lance status) показывается в правом верхнем углу экрана, в том числе положение фурмы в печи (Положения 1–6 [Positions 1–6]). Здесь также указывается состояние функций режима фурмы «Блокировка подъема» (Inhibit Raise), «Блокировка спуска» (Inhibit Lower), «Подвесной пульт управления» (Pendant) и вес фурмы (Lance weight).

Активные кнопки позволяют устанавливать положение фурмы, используя либо перемещение «вверх и вниз» (up and down), либо перемещение «приращением» (Increment), что передвигает фурму на определенное количество шагов. Как только фурма будет находиться в рабочем положении (ниже **Положения 6**), может быть выбран необходимый режим процесса. Пределы потока фурмы (Lance Flow Limits) указывают, соответствует ли минимально требуемый воздух для охлаждения фурмы потокам воздуха и кислорода фурмы, а не потребностям процесса. Данные о температуре конструкций печи (Furnace temperature) показаны в нижнем правом углу экрана, это: опора печи (Furnace Base); огнеупорная футеровка (Refractory); подогрев – (Heat UP); внутренний и внешний порог – (Weir inner and outer); аварийный блок выпуска расплава – (Emergency tapping block). Дополнительно указываются температура отходящих газов на выходе и давление в газоходе. Потоки фурмы (Lance flow trains) представлены на левой стороне экрана. Так же, как и в сводной таблице, представляемой на мониторе фурмы и печи, показываются как установленные (SV), так и текущие значения (PV) для потоков природного газа (Natural gas), воздуха фурмы (Lance air) и кислорода фурмы (Lance oxygen). Дополнительно к данным параметрам показана схема механизмов клапанов вместе с линейным давлением, информацией о температуре, индикацией открытия клапанов. Inner lance air – внутренний воздух фурмы, Inner purge – внутренняя продувка, Outer lance air – внешний воздух фурмы, Purge air – воздух продувки, Not purged – не продуто.

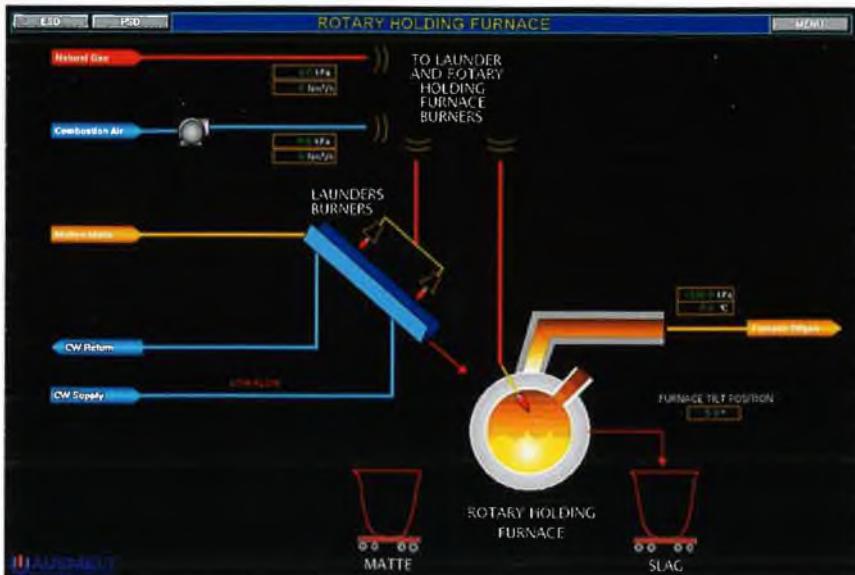


Рис. 4.4.8.3. Экран роторной печи отстойника\*

\*Данный экран предоставляет информацию об основном действии роторной печи отстойника и о жёлобе передачи (Transfer launder). На дисплее представлена информация о потоках к жёлобу и к горелкам роторной печи отстойника (Rotary holding furnace – RHF), а также о положении роторной печи отстойника.

Экран информирует об общем количестве природного газа и воздуха для горения, подаваемых к жёлобу (Launder) и к горелкам роторной печи отстойника (Rhf burners). Также указываются значения давления в линии нагнетания. Температура и тяга отходящих газов роторной печи (RHF Offgas) указываются в правой части экрана.

Наклонное положение печи (Furnace tilt position) указывается в правой части экрана роторной печи отстойника (RHF). Данное значение указывает наклон печи в градусах от вертикали.

Для подачи охлаждающей воды (Cooling water supply – CW supply) к жёлобу показывается сигнал тревоги при расходе ниже минимального, что обозначает недостаточный поток охлаждающей воды.

Клавиши аварийной остановки ESD, остановки процесса PSD и «Меню» представляют «оперативную связь» (Hot Links) с соответствующими экранами и присутствуют на всех экранах, появляясь по обеим сторонам строки заголовка экрана.

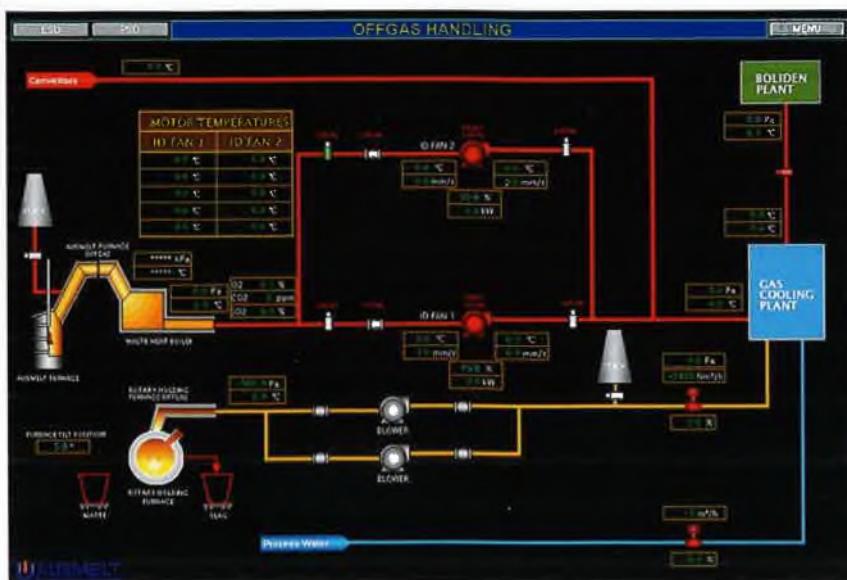


Рис. 4.4.8.4. Экран обработки отходящих газов\*

\*Данный экран носит информационный характер и предназначен для контролирования утилизации отходящих газов. Экран даёт возможность выбора и эксплуатации ID вентилятора (ID fan). Также указаны значения температуры и давления в газоочистном оборудовании отходящих газов.

Схема системы обработки отходящих газов показывает значения температуры и давления для различных точек системы отходящих газов. Показаны изолирующий и регулирующий клапаны. Указываются содержания  $O_2$ ,  $CO$  и  $SO_2$  составы отходящих газов на выходе из котла утилизатора. ID-вентиляторы 1 и 2 (ID FANS (1&2)) расположены в центре схемы. Данный экран даёт возможность выбора и эксплуатации одного из ID-вентиляторов, чтобы обеспечить требуемое разряжение печи. Наклонное положение роторной печи-отстойника (Rotary holding furnace tilt position) указывается в нижней левой части экрана. Значения температуры двигателя для ID-вентиляторов (Motor temperatures for ID fans) указываются в таблице слева.

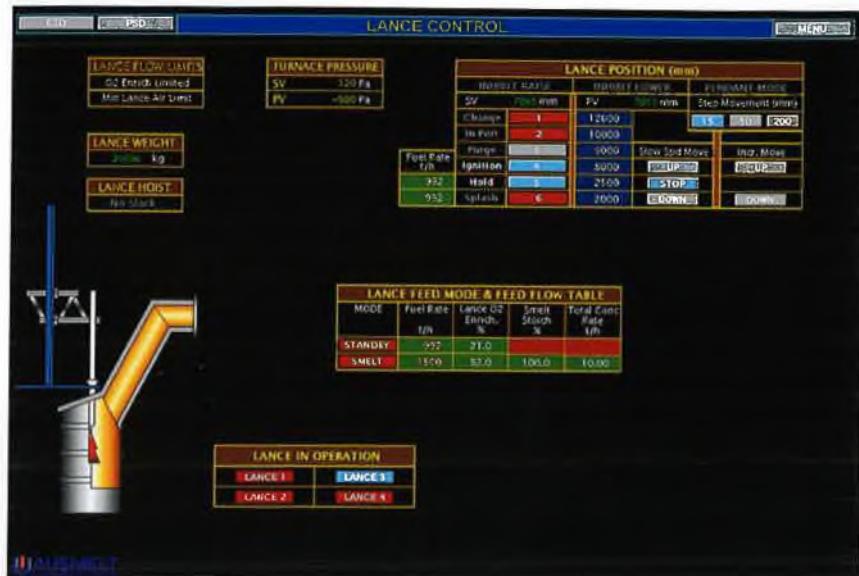


Рис. 4.4.8.5. Экран управления фурмы\*

\*Экран предоставляет информацию о состоянии оборудования, индикации положения фурмы, эксплуатационные параметры фурмы. Активные «кнопки» на данном экране служат для установки положения фурмы, выбора режима процесса, установки параметров потока фурмы при работе ниже **Положений**. Пределы потока фурмы (Lance flow limits) показаны в верхней левой части экрана. Данные пределы указывают, соответствует ли минимально требуемый воздух фурмы потокам воздуха и кислорода фурмы. Вес фурмы (Lance weight) может быть использован для индикации настыли материала на фурме или факт отсутствия поддержки лебёдкой фурмы (которая может подняться, если фурма села на твёрдую настыль). Лебёдка фурмы (Lance hoist) предусматривает индикацию в случае, если она не поддерживает фурму. Давление печи (Furnace pressure) указывается в левой верхней части экрана. Положение фурмы (Lance position) – в верхнем правом углу экрана, а именно: положение фурмы в печи (мм); положение фурмы в печи относительно установленных положений фурмы, обозначенных от 1 до 6. Активные кнопки дают возможность устанавливать положение фурмы внутри печи одним из способов: выбирая установленное положение фурмы; выбирая «движение на низкой скорости» (Low speed movement) вверх (up) и вниз (down); используя «приращение» (Increment) вверх (up) и вниз (down), которое передвигает фурму на определённое количество шагов. Скорость подачи (Fuel rate) природного газа для **Положений 5 и 6** размещена слева от таблицы положения фурмы (Lance position table). Режим системы подачи к фурме (Lance feed mode) и таблица потока подачи (Feed flow table) показаны в центральной части экрана. Данная таблица перечисляет режимы эксплуатации [«Ожидание» (Standby) и «Плавка» (Smelt)] и объём подачи природного газа (Natural gas rate), обогащение фурмы кислородом (Lance oxygen enrichment), стехиометрию плавки (Smelt stoichiometry) и общую скорость подачи концентрата для каждого режима (Total concentrate fedrate). «Фурма в эксплуатации» (Lance in operation) показывает, какая фурма используется в данный момент.

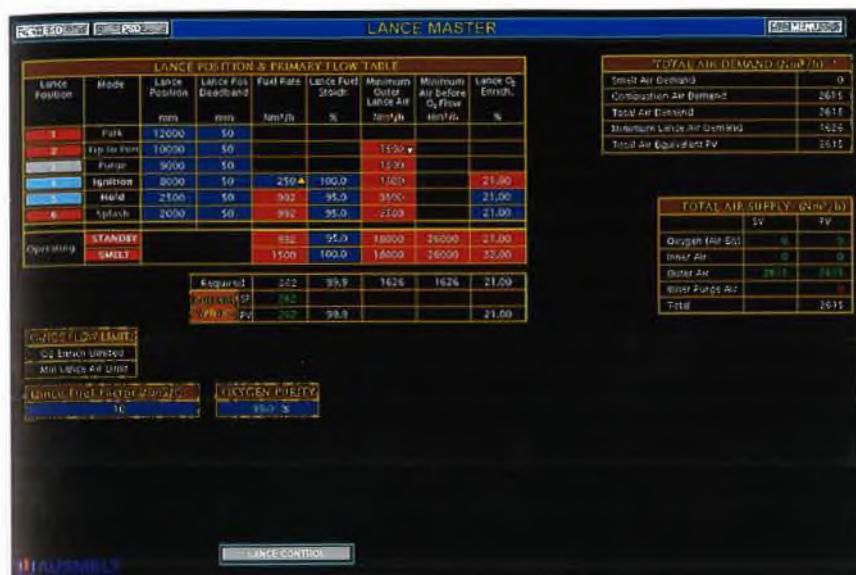


Рис. 4.4.8.6. Основной экран управления фурмы\*

\*Данный экран используется для установки режима эксплуатации фурмы для установленных положений 1–6 и потребностей в техническом воздухе во время различных режимов процесса. Он показывает индикацию положения фурмы, эксплуатационные параметры фурмы, технические требования к воздуху плавки. На дисплее предоставлена информация о состоянии оборудования перемещения фурмы, индикация положения фурмы.

Активные «кнопки» на данном экране служат для установки положения фурмы, выбора режима процесса, установки параметров потока фурмы для Положений 1–6. Имеется «оперативная связь» (Hot link) с экраном контроля фурмы (Lance control screen).

Таблица показывает:

- установленные положения 1–6 фурмы (Lance positions), включая наименование положения и расстояние от пода печи, например Положение 3 (Position 3) – это положение продувки (Purge position) и расстояние составляет 9000 мм;
- объём подачи (Fuel rate) природного газа (Natural Gas) для данного положения в  $\text{Nm}^3/\text{ч}$ ;
- стехиометрию топлива фурмы (Lance fuel stoichiometry) для данного положения, %;
- минимальный внешний воздух фурмы (Minimum outer lance air), требуемый для охлаждения, для данного положения в  $\text{Nm}^3/\text{ч}$ ;
- минимальный поток воздуха фурмы (Minimum lance air flow) до расхода кислорода (Oxygen flow) в  $\text{Nm}^3/\text{ч}$ ;
- обогащение дутья кислородом (Lance oxygen enrichment) для данного положения, %.



Рис. 4.4.8.7. Основной экран загрузки\*

\*Данный экран используется для установки условий скорости загрузки. На нём представлена информация о состоянии всех отдельных потоков шихты к печи.

Активные «кнопки» на данном экране служат для контроля метода плавки шихты и системы загрузки.

Каждый отдельный питатель имеет следующие табулированные данные потока: заданное значение и текущая величина на питателе; скорость загрузки, соответствующая каждому режиму процесса [режим «Ожидания» (Standby) и «Плавки» (Smelt)] и режимам над ванной. [Позиции формы 1–6]; текущая величина загрузки на печи.

Для режима «Ожидания» можно добавлять только флюс и восстановитель в ванну. Для режима «Плавки» оператор устанавливает смесь загрузки концентрата. Общая скорость загрузки всего медного концентрата выбирается на экране управления формой. Все скорости загрузки другого материала могут быть установлены индивидуально оператором или для режима «Плавки» могут быть установлены системой управления как соотношение общей скорости загрузки медного концентрата. Для режима «Над ванной» все скорости загрузки могут быть заданы индивидуально, но данный режим используется в основном для наплавления начальной ванны после дренажа печи. Скорости загрузки в данном режиме устанавливаются вновь в позицию ноль, если форма удаляется из ванны.

Все режимы процесса имеют ограничение по загрузкам в соответствии с этапом. Они не могут быть изменены оператором. Состояние системы загрузки показано в нижнем правом углу экрана. Активные кнопки позволяют устанавливать питатели в автоматический режим, подавать сигналы тревоги, запускать и останавливать конвейерную систему.

Схема загрузки (Feed schematic) показана внизу экрана.

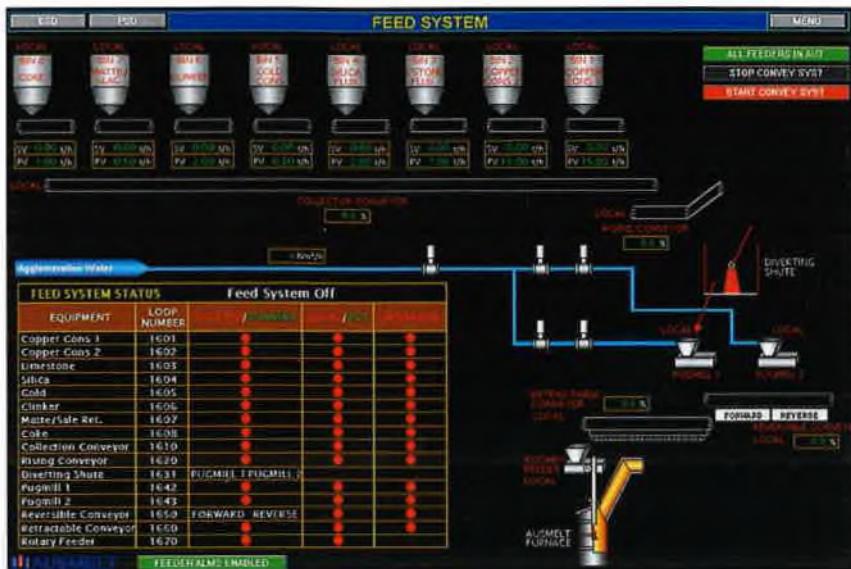


Рис. 4.4.8.8. Управление загрузкой\*

\*Данный экран используется для контроля системы загрузки. Он предоставляет информацию о состоянии всех отдельных питателей, смесителей и конвейеров к печи.

Текущая скорость каждого конвейера представлена как процент максимальной скорости ремня конвейера.

Скорость загрузки воды для смесителя показана в  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Положение отводного жёлоба обозначено, указывая на то, какой смеситель находится в действии.

Активные кнопки позволяют выбрать направление реверсивного конвейера.

Состояние системы загрузки (Feed system) показано в нижнем правом углу экрана.

Состояние системы загрузки указывает на то, функционирует ли система и на каком этапе последовательности запуск/остановка она находится. Последовательность всего запуска питателя обеспечивает правильную смесь шихты, которая поступает с самой первой загрузки.

Таблица указывает эксплуатацию и блокирующие устройства для всего оборудования по транспортировке шихты. Оборудование блокируется в течение работы оборудования по транспортировке шихты, за исключением выдвижного конвейера, который также блокируется при условиях аварийной остановки ESD.

Активные кнопки позволяют установить питатели в автоматический режим, получить сигналы тревоги, а также запустить и остановить конвейерную систему.

Загрузочными материалами для печи Ausmelt являются:

- медный концентрат № 1 – Copper Concentrate № 1;
- медный концентрат № 2 – Copper Concentrate № 2;
- известняковый флюс – Limestone Flux;
- кремнезёмистый флюс – Silica Flux;
- концентрат золота – Gold Concentrate;
- клинкер – Clinker;
- оборотные материалы – Matte / Slag Returns и др. компоненты шихты; кокс – Coke.

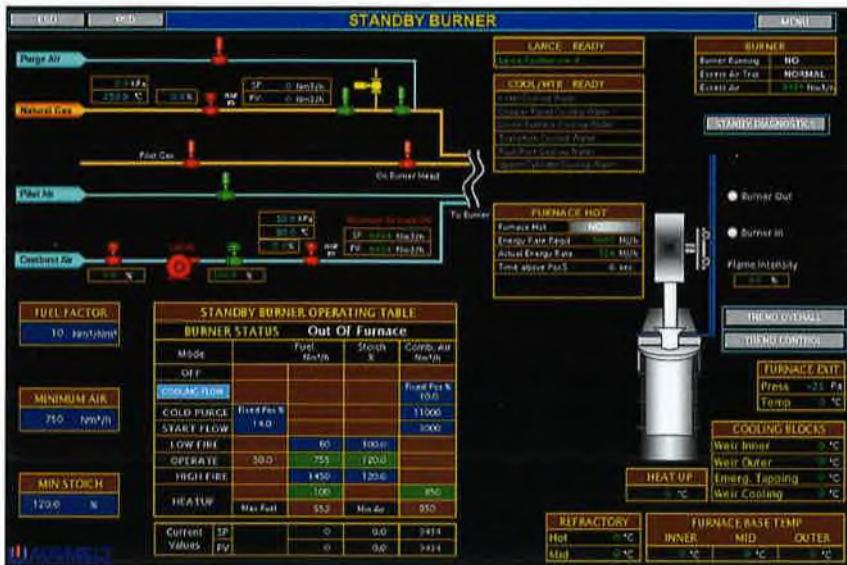


Рис. 4.4.8.13. Экран резервной горелки\*

\*Данный экран используется для установки эксплуатационных условий для резервной горелки. Он также сообщает о состоянии всех потоков к горелке, блокирующих устройств к горелке, о температурах печи, даёт информацию об отходящих газах. Активные «кнопки» на данном экране позволяют выбрать режим резервной горелки и подтвердить запуск горелки. Также имеется связь со страницей диагностики резервной горелки для идентификации неисправностей. Механизмы потока горелки (Burner flow trains) показаны в левой части экрана.

Как и в суммарной таблице, показанной на экране обзора загрузки, печи и фурмы, показаны заданные значения и текущие величины потоков природного газа и воздуха для горения. В дополнение к данным параметрам физическая установка клапанного механизма иллюстрируется с помощью обозначения положения клапанов. Допускающие блокирующие устройства горелки показаны в верхней правой части экрана. Таблицы «Фурма готова» (Lance ready), «Охлаждающая вода готова» (COOL/ WTR ready) и «Печь горячая» (Furnace hot) показывают, когда условия блокировки удовлетворены (высвечены зелёным цветом) или, если имеются какие-либо текущие условия (высвечены красным цветом), которые не допускают эксплуатацию горелки. Данными условиями допуска являются: фурма выше Положения 4; достаточные потоки охлаждающей воды; печь горячая. Кнопка «Горячий пуск» (Hot start) позволяет горелке начать работу без прохождения через режим холодной продувки. Состояние эксплуатации горелки (Burner operating status) показано в дальнем правом углу экрана, где отражается, работает ли горелка (Running) в режиме нормальной эксплуатации, либо находится в состоянии «Неисправности» (Fault). Состояние неисправности горелки может быть определено при обзоре экрана диагностики резервной горелки. Данные температуры печи (Furnace temperature) показаны в нижнем правом углу экрана. Кроме того, указаны температура выхода отходящих газов печи и давление. Таблица эксплуатации резервной горелки (Standby burner operating table) показана в нижнем левом углу экрана. «Охлаждающий поток» (Cooling flow), «Холодная продувка» (Cold purge) и «Поток при

пуске» (Start flow) являются режимами, которые контролируются системой управления во время запуска.

Режимы «Слабый огонь» (Low fire) и «Сильный огонь» (High fire) также имеют заданные заранее величины для скорости топлива и стехиометрии горения, которые требуются для изменения доступа на уровне инженера.

Режим «Эксплуатация» (Operate) позволяет оператору отрегулировать скорость топлива и стехиометрию горения горелки, чтобы варьировать ввод тепла.

Режим «Подогрева» (Heatup) используется в основном для обслуживания огнеупора и подогрева печи (из состояния холодной печи).

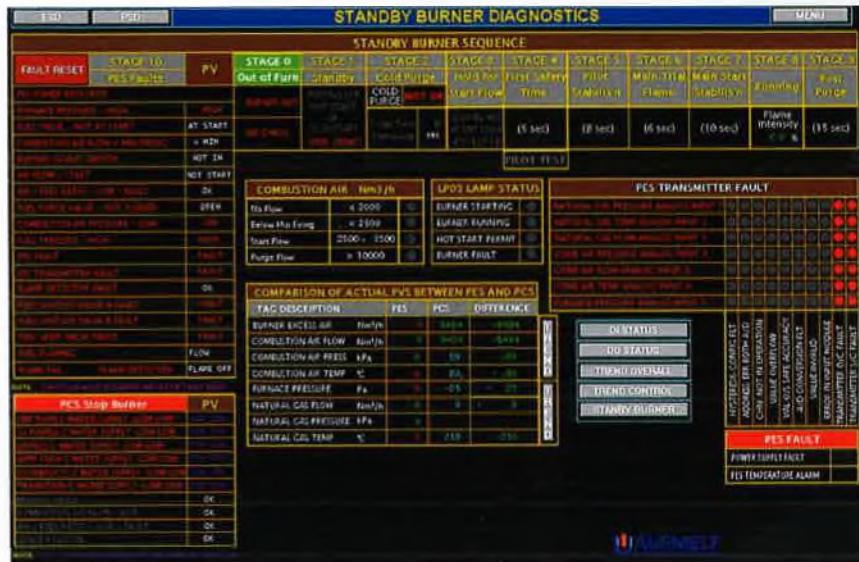


Рис. 4.4.8.14. Экран диагностики резервной горелки\*

\*Данный экран используется для диагностики проблем, возникающих при эксплуатации резервной горелки. Имеется активная «кнопка», которая позволяет отменить неисправности, а также связь с экраном управления резервной горелки. Имеются также кнопки по показу трендов в отношении резервной горелки.

Таблица сравнения фактических значений между программируемой электронной системой и системой управления процессом (Comparison of actual pv's between pes and pcs) находится в центре экрана. Она показывает рассогласования между программируемой электронной системой (для системы управления горелкой) и системой управления процессом.

Активные кнопки в правом нижнем углу экрана связаны с показом трендов, сравнивая текущие величины для воздуха и природного газа в программируемой электронной системе и системе управления процессом. Также может показываться тренд неисправностей.

Оперативная связь с экраном резервной горелки (Standby burner) представлена в правой части экрана.

#### **4.4.9. Аварийная остановка печи**

Система управления процессом Ausmelt автоматически активирует аварийную остановку (ESD) при возникновении следующих ситуаций:

- недостаточная подача охлаждающей воды к кессонам;
- положительное давление в печи;
- неисправность в управлении потоком природного газа;
- неисправность в управлении потоком кислорода;
- неисправность в управлении потоками внутреннего и внешнего воздуха;
- неисправность в подаче охлаждающей воды;
- неисправность в котле-утилизаторе.

В дополнение к данным ситуациям аварийной остановки (ESD), активированным системой управления процессом Ausmelt, оператор может вручную инициировать аварийную остановку, если отсутствует зажигание фурмы во время запуска, при прорыве содер-жимого печи и выбросе шлаковой пены из печи.

Вступление в действие аварийной остановки приведёт к сле-дующему:

- прекратится подача шихты в печь;
- остановится подача на фурму природного газа, кислорода, внутрен-него и внешнего воздуха фурмы, за исключением внутреннего воздуха для продувки фурмы;
- продуется топливо и кислород в фурме;
- фурма поднимется в **Положение 3**.

Запуск в действие остановки процесса (PSD) будет иметь точно такой же эффект как оператор, выбирающий предварительно заданное **Положение 5** («Удержание»). Вся загрузка прекратится. Инициаторы остановки процесса получат сигнал тревоги.

Аварийные остановки ESD и PSD не отключают систему охла-жающей воды для печи или последнее загрузочное устройство до печи. Шихта на этом устройстве с питателем или транспортёром – будет выгружена в печь.

Начало условия аварийной остановки (и также аварийная оста-новка) останутся фиксированными и могут быть отменены только оператором, когда все следующие условия удовлетворены:

- условие, которое вызвало аварийную остановку, было устранено.
- фурма находится в или выше **Положения 3**.

Как только активирована аварийная остановка, оператор должен проанализировать проблему и затем либо возобновить работу с помощью повторного запуска фурмы и погружения и возобновить загрузку, либо действовать в режиме «Ожидания», либо с резервной горелкой, либо с фурмой. Если режим включает участие фурмы, то она должна быть опущена на **Положение 5**.

В случае аварийной остановки (ESD) операторы должны учитывать то, что фурма будет подниматься из печи и горячий шлак может падать с поверхности фурмы. Персонал должен находиться на расстоянии от печи и может приближаться к печи только, когда фурма будет полностью извлечена.

Запуск резервной горелки должен быть осуществлён как можно быстрее, если есть вероятность, что аварийная остановка не будет ликвидирована быстро.

## **4.5. Техника безопасности при обслуживании печи**

Технологический процесс, связанный с получением расплава, требует использования кислорода высокого давления, водоохлаждаемых узлов, работающих в непосредственном контакте с расплавом, что может приводить к хлопкам в печи, вспениванию расплава, прорыву массы через корпус печи, высокой загазованности рабочих мест, высоким температурам в рабочих зонах и поверхностей используемого оборудования, инструмента и механизмов.

Во время плавки выделяются вредные вещества:

- диоксид серы от окисления сульфидов, обладающий резким запахом и раздражающий слизистые оболочки верхних дыхательных путей и глаз: ПДК<sub>SO2</sub> – 10 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности – 3;
- окись углерода, не имеет цвета и запаха, воздействует на кровь человека: ПДК<sub>CO</sub> – 20 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности – 4;
- пыль, состоящая из частиц шихты и возгонов: ПДК<sub>пыль</sub> – 4 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности – 4.

При эксплуатации печи «Аусмелт» основные меры безопасности состоят в предупреждении и остановке прорыва расплава через кладку и кессоны печи, предотвращении нарушений технологического процесса, предотвращении вспенивания расплава.

В случае возникновения аварийной ситуации на металлургическом комплексе «Аусмелт» обслуживающему персоналу необходимо руководствоваться «Планом ликвидации аварий», в котором описан порядок действия работников и способы предотвращения, устранения аварии или минимизации наносимого ущерба оборудованию, зданиям и сооружениям.

План ликвидации аварий, в первую очередь, направлен на спасение жизни и защиту здоровья людей, находящихся в пределах воздействия аварийной ситуации на окружающие объекты.

С целью минимизации угрозы здоровью работников предприятия или других людей, присутствующих в цехе, все они обязаны постоянно использовать средства индивидуальной защиты (каску, очки, бирюши, перчатки, средства защиты органов дыхания), должны быть одеты в специальную защитную одежду и обувь.

Нахождение на территории металлургического комплекса «Аусмелт» посторонних людей без сопровождающего из числа работников предприятия категорически запрещено.

#### **4.5.1. Фурма**

При эксплуатации фурмы печи «Аусмелт» возможно возникновение следующих ситуаций:

**4.5.1.1. Прекращение горения на фурме**, что может привести к накоплению газа или топлива в печи и создать потенциально взрывоопасные условия.

Во время выполнения последовательности действий при зажигании фурмы при запуске необходима проверка для того, чтобы убедиться в том, что есть факел. Отсутствие воспламенения фурмы может возникнуть вследствие следующего: неисправности на подаче топлива и/или подаче воздуха; отключения подачи топлива и/или подачи воздуха; температуры в печи ниже 800 °C; повреждения фурмы или наконечника фурмы.

Чтобы гарантировать, что фурма не сможет быть запущена без источника воспламенения, печь должна быть разогрета до того, как фурма будет опущена ниже положения воспламенения (**Положение 4**). Печь считается «Горячей», когда выполнено одно из двух следующих условий: фурма и/или горелка производят количество энергии в печи адекватное для того, чтобы гарантировать сгорание топлива; фурма была в **Положении 5** или ниже в течение минимум 30 минут. Резервная горелка может работать, пока фурма находится в **Положении 4**, но фурма не может быть опущена ниже **Положения 4** с работающей резервной горелкой. Резервная горелка может использоваться для воспламенения фурмы, но фурма может быть опущена ниже **Положении 4** тогда, когда печь в горячем состоянии.

Прекращение горения (срыв факела) во время нормального режима эксплуатации печи связано с отключением (прерыванием подачи) или засорением линии подачи топлива и/или подачи воздуха на фурму. Потеря подачи воздуха на фурму не вызовет немедленного отключения технологического процесса. Компьютерная система автоматически вызовет отключение процесса только после того, как величины подачи на фурму отклонялись от заданных значений в течение 60 секунд. Если есть подача воздуха, недостаточная для горения, то компьютер установит величину подаваемого топлива в соответствии с количеством подаваемого воздуха.

#### **4.5.1.2. Обслуживание фурмы**

Во время осмотра фурмы фиксатор тележки со стрелой должен быть активирован и заблокирован с помощью изоляционных бирок. Персонал не должен находится под рабочим участком во время проверки и технического обслуживания.

Привязные ремни безопасности могут потребоваться для смены фурмы при работе в положении вне платформы. Запрещено забираться на тележку со стрелой без защитного снаряжения.

При выполнении любых работ по осмотру и техническому обслуживанию необходимо убедиться, что пневматическая система изолирована (выключена и отведена). Обслуживающий персонал носит всю обязательную, обеспечивающую безопасность, спецодежду.

Любой газ под давлением может вызвать потенциально опасную ситуацию. Весь персонал, управляющий и работающий с системами кислорода и оборудованием, должен пройти соответствующую подготовку и инструктаж.

Кислородные линии должны быть свободны от огнеопасных веществ. Все линии должны быть изолированы и к ним должны быть прикреплены предупредительные знаки до работы на линии. Курение запрещено в течение всего времени обслуживания фурмы. Все инструменты, одежда рабочих и используемое оборудование при работе на кислородной линии не должны содержать смазки и масла. Гаечный ключ «кэмлок» должен иметь линию связи с оператором для предотвращения его случайного падения.

Перед работой на лебёдке фурмы необходимо убедиться в исправности фиксаторов фурмы, срабатывающих при отключении электроэнергии на лебёдке.

Нельзя проходить или стоять под тележкой фурмы со стрелой.

Нельзя разъединять соединительную муфту кислорода фурмы, если нет подтверждения, что фурма продута.

При замене фурмы необходимо осуществлять все этапы в полном объёме и в заданной технологической инструкцией последовательности.

При выполнении ремонтных работ необходимо снимать фурму с тележки и помещать её в фурменный парк.

Перед любым перемещением фурмы необходимо убедиться, что с неё удалены все настыли и корки расплава.

#### 4.5.2. Взрыв в печи

Вероятность взрыва существует, если имеется накопление в печи или в газоходах несгоревшего топлива, топлива резервной горелки, моноокиси углерода (**CO**) или летучих компонентов угля. Соблюдение технологических параметров плавки позволяет полностью исключить вероятную возможность взрыва по указанным обстоятельствам. В качестве профилактических мер в системе управления предусмотрена предварительная продувка холодной печи воздухом перед зажиганием горелки.

Другая потенциальная опасность может возникнуть из-за попадания воды в печь из-за прогара или разрушения кессона. С целью предотвращения этого явления на печи устанавливается система контроля за всеми кессонированными элементами и предусмотрен ежесменный визуальный осмотр их работы оператором печи.

Использование угля в шихте или неполное сжигание природного газа из-за недостатка кислорода дутья приводит к образованию монооксида, концентрирующегося в котле-utiлизаторе или других участках газоходной системы. При объёмной концентрации **CO** в металлургическом газе в пределах 12,5–74,2 % может образоваться смесь, воспламеняющаяся со взрывным эффектом.

С целью предотвращения образования монооксида углерода требуется строгое соблюдение заданного соотношения материалов в шихте, обеспечение подачи воздуха и кислорода с дутьём в количествах, определяемых материальным балансом горения. Для минимизации возможных случаев образования **CO** при постоянном использовании угля в конструкции формы TSL предусматривается наличие укороченного кожуха на трубе формы (фото 4.2.5.3), через который подаётся дополнительное избыточное дутьё, направляемое в верхнюю зону печи, обеспечивающее дожигание окиси углерода.

При наличии в шихте большого количества сульфидов возможно образование паров элементарной серы, уносимых в газоходную систему. Сера, сконденсированная на охлаждаемых металлоконструкциях, пыли, настырях и оборудования газоочистки, при определённой температуре газа возгорается, вплоть до взрыва в зависимости от концентрации окислителей на контакте с ней. Для предотвращения этого явления в дутье всегда должно иметься избыточное количество кислорода, а в исключительных случаях форма и котёл должны быть оборудованы системами дожига элементарной серы.

#### **4.5.3. Прорыв металла или шлака**

Причинами прорыва расплава через элементы печи могут быть: значительный износ футеровки; прогар кессона или элементов конструкции печи; недостаточное количество воды, поступающей в кессоны.

Признаками возникновения аварийной ситуации могут быть:

- повышение температуры корпуса и/или элементов печи;
- резкое повышение температуры охлаждающей воды на сливе из кессонов;
- покраснение кожуха;
- выход газа через неплотности в конструкции печи.

С целью предупреждения прогара необходимо увеличить поток воды на «парящие» кессоны, применить дополнительное местное охлаждение элемента (кожуха) водой или воздухом, при необходимости остановить плавку путём прекращения загрузки шихты и останова дутья до устранения неисправности. По решению мастера, для понижения температуры расплава загрузка шихты может быть продолжена без подачи дутья. В исключительных случаях мастер имеет право принять решение по выпуску расплава из печи в ковш шлаковоза или чашу через аварийную лётку.

При обнаружении утечек воды, топлива, кислорода и воздуха через трубопроводы, гибкие шланги и другие соединения необходимо остановить плавку и принять меры по устраниению утечек.

В случае, если повреждена огнеупорная футеровка печи, имеется вероятность, что расплав выйдет из печи. Если такое происходит, первое, что персонал должен предпринять – это эвакуация с этой площадки всех лиц, не участвующих в ликвидации аварии, запустив последовательность аварийной остановки, как только они начали покидать площадку. Персонал возвращать на площадку только после того, как прорыв расплава прекратился.

При наличии воды на площадках или ниже их в зоне розлива расплава возможно происхождение взрывов при контакте воды и расплавленной массы. Взрывы могут происходить с небольшой задержкой по времени, связанной с накоплением пара под коркой и разрушением её под давлением среды.

Расплавленные материалы в контакте с бетонными перекрытиями также могут вызвать небольшие взрывы из-за остаточной влажности бетона.

#### 4.5.4. Вспенивание шлака

Когда большие объёмы газа продуваются сквозь ванну шлака, при определённых условиях имеется риск вспенивания расплава. Это явление происходит тогда, когда газы не могут покинуть образующийся вязкий шлак.

Вспенивание шлака может происходить и если производится подача концентрата или восстановителя в «переокисленную» ванну, которая мгновенно генерирует большие количества газа  $CO/CO_2/SO_2$ .

Переокисление ванны может происходить, если:

- прекращается подача медного концентрата без остановки дутья;
- возникает неправильное соотношение топлива или шихты к воздуху/кислороду;
- ступенчатое изменение химии шлака и его возросшей вязкости мешает выходу газов из шлака;
- температура расплава понизилась ниже температуры ликвидуса, вызывая увеличение вязкости, препятствуя газовыделению;
- возникает внезапное и быстрое перемешивание ванны с различными потенциалами кислорода из-за предыдущего слабого или неравномерного перемешивания расплава.

Пена может образоваться в печи в течение нескольких секунд. Во многих случаях пена остаётся внутри печи и не создаёт непосредственной опасности для персонала. В таких условиях происходит образование настылей на верхней части печи, на фурме и загрузочных отверстиях.

Основные признаки, предупреждающие оператора об образовании пены, заключаются в следующем: существенное уменьшение шума, создаваемого фурмой; изменение свойств выплесков (брзг); увеличение вибрации печи и/или фурмы; наличие «выхлопов» (выбросов газа) из печи.

Если пена не изливается из печи, необходимо поднять фурму выше ванны, чтобы убрать источник пены. Когда оператор убедится в том, что пена спала, можно возобновлять нормальный режим эксплуатации.

В случаях, если пена выбрасывается через отверстия в печи, необходимо осуществить аварийную остановку. После прекращения выделения пены персонал должен убрать разлитый шлак и поставить резервную горелку. Фурма должны быть полностью убрана из печи для осмотра и устранения повреждений.

#### **4.5.5. Пожар**

Выброс расплавленного или раскалённого шлака из печи может зажечь горючие вещества, находящиеся на площадках. Пожар небольшого объёма обычно можно легко погасить орошением водой из системы пожаротушения. Если площадь пожара увеличивается и имеется опасность для персонала, следует сначала запустить аварийную остановку печи, а затем действовать в соответствии с планом ликвидации аварий.

Для предотвращения пожара на площадках и отметках печи категорически запрещено нахождение на них горючих и воспламеняющихся материалов, которые, как правило, могут оставаться после ремонта печи в виде лесов, ёмкостей, поддонов, строительного мусора, обёрточного материала и т. п. Перед пуском печи в эксплуатацию после ремонта все горючие материалы должны быть убраны со всех отметок печи.

При эксплуатации печи возможно возникновение пожара на самоходной технике, обслуживающей нулевую отметку металлургического комплекса. С целью его предотвращения необходимо предусматривать защиту этих механизмов от возможных выбросов расплава, осуществлять постоянный контроль за их работой со стороны обслуживающего персонала печи (операторов, плавильщиков, разливщиков металла, шлаковщиков).

При возникновении пожара в операторской, комнате отдыха и приёма пищи, в местах расположения основного и вспомогательного оборудования необходимо действовать в строгом соответствии с планом ликвидации аварии с удалением из зоны пожара всех лиц, не участвующих в его ликвидации.

#### **4.5.6. Прожиг лётки аварийного слива расплава**

Плавильщики, выполняющие прожиг лётки, должны всегда носить все средства индивидуальной защиты (СИЗ). В дополнение к обеспечению защиты от разбрзгивающегося расплавленного металла или шлака, эти средства предохранят плавильщика от тепла, излучаемого расплавленным материалом, текущего по желобам.

При использовании кислородной трубки для прожига лётки рабочий должен обращать особое внимание на следующее:  
– струя кислорода, выходящая из трубы, должна быть направлена в

- сторону от персонала, и до и после её воспламенения;
- смесь кислорода и масла может создать опасность взрыва;
  - крепёж и шланги должны быть совместимыми с кислородом и очищены от масла (обезжирены для работы с кислородом);
  - лёгочные трубы должны храниться таким образом, который предотвращает загрязнение смазками, масляными или металлическими наполнителями;
  - до начала розжига лётки она должна быть продута небольшим количеством кислорода для устранения возможных её засорений;
  - не допускать слива расплавленного материала через лётку во влажные желоба;
  - при возникновении обстоятельств, когда расплавленные продукты из печи не могут быть транспортированы по системе желобов и поток неуправляем, весь посторонний персонал, находящийся поблизости, должен быть эвакуирован, и плавильщики должны ликвидировать аварийную ситуацию в соответствии с планом ликвидации аварий;
  - площадка для прожига лётки должна быть свободной от оборудования и технологических отходов (и мусора), и если потребуется эвакуация с этой площадки, то операторы должны знать ближайшие запасные выходы.

#### **4.5.7. Прекращение подачи воды в охлаждающие элементы**

Прекращение подачи воды к любому объекту: кессонам, блокам порога, блокам аварийной лётки или к охлаждающимся перемычкам представляет собой непосредственную опасность, так как увеличивается вероятность того, что расплавленные продукты вступят в прямой контакт с медью, из которой изготовлены охлаждающие блоки. В крайней ситуации расплавленный материал, соприкоснувшись с этой медью, вызовет её разрушение, что приведёт к контакту расплавленного материала с остатками воды в каналах медного элемента, что может привести к микровзрывам и разрушению футеровки или конструкций печи. При прекращении подачи воды к водоохлаждаемым элементам плавление будет приостановлено аварийной остановкой, запущенной компьютерной системой Ausmelt. Для поддержания работоспособности элемента на период выполнения останова или приостановки печи к нему может быть подведен сжатый воздух.

#### 4.5.8. Потеря тяги

В ходе продувки печи персонал должен следить за наличием разряжения в газоходном тракте как по приборам, так и по характеру выбросов через неплотности в системе загрузки, ввода фурмы и по газоходному тракту агрегата. Потеря разряжения в газоходном тракте печи может произойти из-за внезапного отказа дымососа или забивания тракта пылью. В этом случае система управления запустит программу аварийной остановки.

Внезапный отказ в работе системы обработки отходящих газов представляет потенциальную опасность из-за угрозы попадания металлургических газов в зоны обслуживания печи, на территорию промплощадки или прилегающие населённые пункты. При этом выделяются следующие опасные и вредные химические вещества:

- сернистый ангидрид ( $SO_2$ ) – бесцветный газ с резким запахом, с плотностью по отношению к воздуху при нормальных условиях 2,264, ПДК на рабочем месте – 10 мг/м<sup>3</sup>, при пороге восприятия запаха – 6 мг/м<sup>3</sup>, вызывает раздражение в горле при 20–30 мг/м<sup>3</sup>, раздражение глаз и кашель при 50 мг/м<sup>3</sup>, при вдыхании газа с высокой концентрацией возникает одышка, обостряется бронхит, появляется чувство стеснённости в груди, вплоть до потери сознания;
- оксид углерода ( $CO$ ) – бесцветный газ, без вкуса, с очень слабым запахом (обычно неощутимым), слегка напоминающим запах чеснока, плотность по отношению к воздуху – 0,967, ПДК на рабочем месте – 20 мг/м<sup>3</sup>.
- свинец и его соединения ( $Pb$ ,  $PbO$ ,  $PbSO_4$ ) – пары металла, аэрозоль с крупностью частиц менее 3 мкм, не горит, не взрывается, не растворяется в воде, температура плавления 327 °С, температура кипения 1740 °С, плотность 11,34 г/см<sup>3</sup>, ПДК на рабочем месте: среднесменная – 0,05 мг/м<sup>3</sup>.
- мышьяк и его неорганические соединения.  $As$ ,  $As_2O_3$ ,  $As_2O_5$  – твёрдое стекловидное (кристаллическое) вещество белого цвета с температурой плавления 275 °С, плотностью 3,74 г/см<sup>3</sup>, в воздухе присутствуют в виде полидисперской пыли (аэрозоли), ПДК на рабочем месте: среднесменная – 0,01 мг/м<sup>3</sup>, максимально-разовая – 0,04 мг/м<sup>3</sup>.
- неорганическая пыль с содержанием кремния до 20 %, ПДК на рабочем месте – 2 мг/м<sup>3</sup>.

При выделении сернистого ангидрида в рабочую зону цеха нужно немедленно надеть фильтрующий противогаз (марка коробки

«В» по ГОСТ 12.4.122-83) или респиратор фильтрующий газопылезащитный РУ-60М (с маркой патрона «В» по ГОСТ 12.4.122-83), или респиратор фильтрующий газопылезащитный 6200 (с маркой патрона АБЕ, Е по ГОСТ Р 12.4.193-99), в случае отравления газом нужно вынести пострадавшего на свежий воздух, освободить от стесняющей дыхание одежды, промыть глаза, прополоскать рот двухпроцентным раствором питьевой соды, далее действовать в соответствии с планом ликвидации аварийной ситуации.

При остром отравлении оксидом углерода проявляются следующие основные симптомы – потеря сознания, судороги, одышка, удушье. Особо важны начальные симптомы, которые могут служить предостережением об опасности – голова делается тяжёлой, появляется сдавливание лба, затем сильная боль во лбу и висках. В глазах мелькание, «туман», в висках ощущение пульсации. Больше всего при отравлении оксидом углерода страдает центральная нервная система. По мере развития аноксемии человек постепенно теряет способность рассуждать, затем нарушается координация движений. При хроническом отравлении появляются жалобы на шум в голове и головные боли, особенно во время работы и по утрам, головокружение, дрожание конечностей, психоневрозы.

При выделении газа в рабочую зону цеха нужно немедленно надеть фильтрующий противогаз с коробкой типа СО (цвет маркировки черный по ГОСТ Р 12.4.193-99) или марки СО или М (цвет коробок белая или красная соответственно по ГОСТ 12.4.122-83). В случае отравления нужно вынести пострадавшего на свежий воздух, обеспечить полный покой, устранить всё, что затрудняет дыхание. При потере сознания – дать понюхать нашатырный спирт, обрызгать грудь и лицо холодной водой, растирать тело. Далее действовать в соответствии с планом ликвидации аварийной ситуации.

Общий характер воздействия свинца и его соединений: при попадании в организм происходят изменения в нервной системе, крови и сосудах. Различают острые и хронические отравления. Острые отравления выражаются в сладковатом вкусе во рту, слюнотечении, тошноте, рвоте, судорожных болях в желудке. Хронические отравления выражаются в появлении свинцовой каймы по краю дёсен, преимущественно у передних зубов, землисто-серая окраска кожи, лёгкая желтушность. Средства индивидуальной защиты при наличии свинца и его соединений в рабочей зоне – противопылевые респираторы типа «Лепесток».

Благодаря нерастворимости, мышьяк в чистом виде не вызывает отравления, но может оказаться ядовитым вследствие окисления в мышьяковистый ангидрид потом или слюной. На коже и слизистых оболочках соединения мышьяка вызывают экземы, фолликулиты, изъязвления.

Мышьяк и его соединения неблагоприятно действуют на обмен веществ, поражают центральную и периферическую нервную систему, органы пищеварения и др. Обладает значительным местным действием, вызывает нарушение питания тканей и злокачественные образования. При повторных воздействиях накапливается в организме. Средства индивидуальной защиты при наличии мышьяка и его соединений в рабочей зоне – противопылевые респираторы типа «Лепесток». При остром отравлении необходимо промыть желудок тёплой водой, вызвать рвоту и обратиться к врачу. Средства индивидуальной защиты при наличии пыли в рабочей зоне – противопылевые респираторы типа «Лепесток».

Возобновлять работу печи можно только после устранения неисправностей, приведших к потере тяги, запуска дымососов, появления устойчивого разряжения в газоходной системе печи и после получения соответствующего письменного указания технологического мастера. Начинать продувку при отсутствии или недостаточном разряжении в печи – запрещается.

#### **4.5.9. Резервная горелка**

Оператор должен изолировать (отключить) все возможные динамические нагрузки и блоки электропитания, топливные и воздушные изоляционные клапаны до начала работы с горелкой. Для снятия нагрузки с лебёдки резервной горелки предохранительная штанга должна быть закреплена в положении технического обслуживания, при этом горелка должна находиться в самом верхнем положении. Запрещается залезать на тележку резервной горелки.

Перед использованием горелки все системы её коммуникаций должны быть продуты воздухом, слит, при наличии, водный конденсат из катенарных шлангов и других конструктивных мест горелки и её инфраструктуры.

Для безаварийной работы горелки должно быть обеспечено её безопасное расположение во время неиспользования, защищающее от механического воздействия и выбросов расплава из печи.

#### **4.5.10. Анализ аварийных ситуаций**

Производственная площадка с размещённым на ней комплексом «Аусмельт» является опасным производственным объектом, на котором возможны аварийные ситуации.

В таблице 4.5.10.1 представлены возможные аварийные ситуации и условия, при которых возможны аварии; их последствия, способы предупреждения и устранения. Во всех случаях возникновения аварийной ситуации производственный персонал обязан руководствоваться «Планом ликвидации аварий», находящимся в операторских, диспетчерских и местах отдыха персонала. План разрабатывается для всех возможных случаев эксплуатации металлургического оборудования, утверждается руководством предприятия и доводится до сведения всех его работников, эксплуатирующих особо опасное оборудование. Мероприятия по ликвидации должны быть учтены в должностных инструкциях обслуживающего персонала на всех рабочих местах и в планах ликвидации, составленных в цехах.

Своевременная и организованная работа персонала, направленная на реализацию мер по ликвидации аварий на рабочих местах, обеспечит надёжную защиту трудящихся от последствий аварийных ситуаций. Ответственным руководителем работ по ликвидации аварий внутри цеха является начальник (заместитель) цеха.

До прибытия ответственного руководителя работ по ликвидации аварий и спасению людей выполняет мастер.

Непосредственное руководство работами по тушению пожара осуществляют начальник пожарной части. До его прибытия эти обязанности выполняет начальник смены.

Лица, вызванные для спасения людей и ликвидации аварий, сообщают о своём прибытии ответственному руководителю работ, по его указанию приступают к исполнению своих обязанностей.

При направлении рабочих по выполнению аварийных работ в газоопасных местах во главе каждой бригады должен быть инженерно-технический работник и работник газоспасательной службы.

Организация и ведение этих работ должны осуществляться в соответствии с «Положением по организации и ведению газоспасательных работ», утверждённым или согласованным с Госгортехнадзором России.

При возникновении любого вида аварии, если есть пострадавшие, следует незамедлительно оказать экстренную медицинскую помощь.

В качестве мер, снижающих риск возникновения аварий, связанных с проведением технологического процесса плавки шихтовых материалов и получением черновой меди, необходимо соблюдать следующие требования:

- проводить процесс в строгом соответствии с нормативно-технической документацией, технологическим регламентом и стандартом предприятия, утверждённым техническим руководством завода;
- соблюдать правила безопасности при эксплуатации оборудования металлургического комплекса «Аусмельт»;
- соблюдать правила эксплуатации при работе с газами: природным газом, кислородом, воздухом высокого давления;
- контролировать работу газоочистного оборудования;
- выполнять все решения и рекомендации, предусмотренные проектом, рабочей документацией, распоряжениями руководителей смены, технологами цеха и вышестоящими техническими специалистами, ответственными за безопасную эксплуатацию металлургического оборудования, соблюдение технологического процесса плавки;
- систематически наблюдать за состоянием оборудования и соблюдением технологического режима производственного процесса;
- выполнять замечания и предложения представителей ГГТН и технического инспектора по охране труда и технике безопасности.

При возникновении аварийной ситуации на металлургическом комплексе «Аусмельт» следует прекратить работу печи в соответствии с порядком, изложенным в инструкции по её эксплуатации, предупредить окружающих об опасности, принять меры к устранению аварии или аварийной ситуации в соответствии с «Планом ликвидации аварий».

Возобновление работ допускается только после полного устранения аварийной ситуации и письменного распоряжения руководителя, отвечающего за безопасную эксплуатацию металлургического комплекса.

Для индивидуальной защиты от воздействия расплавленного металла применяют: оgneупорные фартуки, костюмы, суконную спецодежду, валенки, рукавицы суконные, вачеги, войлочные шляпы, каски, защитные экраны, очки. Для защиты органов дыхания: противогазы, респираторы, пылезащитные маски.

#### **4.5.11. Правила безопасного обращения с кислородом**

При использовании кислорода или воздуха, обогащённого кислородом, и других продуктов разделения воздуха должны соблюдаться следующие основные правила:

- использование запорной арматуры, установленной на технологических трубопроводах, в качестве регулирующей, а регулирующей в качестве запорной – запрещается;
- эксплуатация оборудования и трубопроводов при наличии утечки кислорода через неплотности в арматуре или по другим причинам – запрещается;
- производить ремонт оборудования и трубопроводов, находящихся под давлением – запрещается;
- в условиях низких температур окружающей среды отогрев трубопроводов и арматуры должен производиться только горячим воздухом, водой или паром;
- в специальных помещениях, предназначенных для размещения узлов регулирования и распределения кислорода должен осуществляться контроль за содержанием кислорода в воздухе помещения;
- применять для обезжиривания оборудования и трубопроводов четырёххлористый углерод – запрещается;
- кислородопроводы, арматура и кислородное оборудование должны быть защищены от попадания на них смазочных масел, жиров и других горючих материалов;
- проверка плотности кислородопроводов, арматуры и оборудования должна производиться специальными приборами или мыльным раствором;
- проверка утечек с помощью тлеющих лучин или открытого огня – запрещается;
- ремонт кислородопроводов, оборудования и запорной арматуры, содержащей обогащённый кислородом воздух, разрешается производить только после их продувки паром или воздухом до остаточного двухкратного анализа на кислород – 23 %;
- продувка кислородопроводов, арматуры и оборудования воздухом от поршневых компрессоров – запрещается;
- инструмент, применяемый при обслуживании кислородопроводов, арматуры и оборудования, должен быть обезжирен и иметь отличительную голубую полосу;

- в местах расположения кислородопроводов, арматуры и оборудования запрещается курить и пользоваться открытым огнём;
- спецодежда, спецобувь и рукавицы персонала не должны иметь следов жира и масла;
- после пребывания в местах с повышенным содержанием кислорода в воздухе в течение не менее 30 минут нельзя приближаться к открытому огню, раскалённым предметам и курить;
- в случае возгорания кислородопровода или возникновения пожара в районе его расположения, он должен быть отключён;
- рукава, шланги, лёточные трубы для ремонта и прожига не должны иметь масляных загрязнений и разрывов, быстроразъёмные крепления должны производиться специальными зажимами;
- при отборе кислорода от трубопроводов арматура для присоединения рукавов должна размещаться в металлическом шкафу с отверстиями и щелями для вентиляции.

### **Особо выделим требования по эксплуатации фурм**

После изготовления и ремонта фурма должна подвергаться испытаниям на прочность и плотность в соответствии с требованиями технической документации. При сборке фурмы необходимо не допускать наличие грязи, окалины и посторонних материалов на внутренних поверхностях труб. При перемещении фурмы на тележке со стрелой она должна быть оборудована концевыми выключателями.

Установленная в печь или на стеллаж фурма должна иметь свободный доступ для удаления настылей и осмотра. Фурма в печи должна фиксироваться с выводом информации на пульт управления оператора печи, последний должен иметь возможность визуального контроля за положением фурмы в печи и за характером выбросов брызг расплава из агрегата.

Для наблюдения и контроля за работой фурмы на пульте управления должны быть установлены приборы, показывающие и регистрирующие расходы и давления кислорода, КВС, природного газа, воды на кессонированные элементы. Осмотр состояния поверхности фурм проводится ежесменно при отключённом дутье.

При замене фурмы необходимо строго руководствоваться технологической инструкцией с соблюдением всех мер безопасности.

## ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЁРТОЙ ГЛАВЕ

В представленной главе были рассмотрены вопросы, связанные с более-менее детальным описанием комплекса «Аусмельт», включающего в себя саму печь, системы оборотного водоснабжения, способы её огнеупорной защиты, системы пыле- и газоочистки, а также пути модернизации, совершенствования и направления развития указанного оборудования.

Не менее важной частью является анализ выявленных недостатков в оборудовании при его эксплуатации, что позволило коллективу ИТР сделать соответствующие выводы и двигаться дальше по пути освоения процесса плавки «Аусмельт».

При анализе работы печи были показаны способы её останова и пуска в работу после полной замены футеровки, при этом акцентировано внимание читателя на недостатках, связанных с разогревом огнеупора, влияющих на её кампанию. При обсуждении работы основного оборудования выделены особенности его работы во взаимодействии со всем металлургическим комплексом.

Особо подробно автор сделал оценку проектирования, изготовления, монтажа и работы котла-utiлизатора, являвшегося одним из «узких» мест при освоении данной печи. Нестабильная работа этого оборудования постоянно создавала угрозу безопасной эксплуатации комплекса и ритмичной работе всего подразделения. Путь, пройдённый коллективом ЗАО «Карабашмедь» в направлении совершенствования котла-utiлизатора для печи «Аусмельт», является бесценным опытом при освоении этого процесса в условиях РФ. Первоначальные конструкции этого оборудования были разработаны на основе практики освоения автогенных процессов плавки в жидкой ванне, взвешенной плавки и КФП, но конструктивные особенности печи «Аусмельт» показали низкую эффективность этого газоочистного оборудования. В конечном итоге наиболее перспективным оказался котёл-utiлизатор, максимально приближённый к конструкциям, используемым в зарубежной практике для плавки в расплаве, позволявший за счёт использования высокого вертикального газохода перед котлом проводить закаливание частиц расплава, что стабилизировало работу всего комплекса.

Не менее богатый опыт был получен в результате освоения печи-миксера для разделения расплава на шлаковую и штейновую фазы. После неоднократных переделок и полных замен этой печи к

2022 г. обобщены основные особенности эксплуатации этого оборудования, что позволило, при практической реализации положительных решений, обеспечить стабильную работу миксера.

В разделе по организации управления печью были рассмотрены основные подходы и принципы контроля за технологией плавки, её ведения на разных стадиях, в том числе и при возникновении аварийных ситуаций. Впервые в российской технической литературе дано детальное описание управления фирмой TSL при переработке медного сырья, что позволяет операторам на печи иметь достаточный объём справочной информации, привязанной к конструктивным особенностям печи «Аусмельт» на ЗАО «Карабашмедь».

Немаловажное место в данной главе уделено вопросам безопасной эксплуатации комплекса «Аусмельт», анализу возможных аварийных ситуаций, путей их предотвращения и способов ликвидации, в том числе: при обслуживании формы, взрывах в печи, прорыве металла, вспенивании шлака, возникновении пожара, при прожиге лётки и аварийном сливе расплава, прекращении подачи воды на кессонированные элементы, потере тяги в газоходной системе, при пользовании резервной газовой горелкой.

Наряду с промбезопасностью, оценены и вредные факторы металлургического производства в виде газов и пыли, способные воздействовать на обслуживающий персонал. Даны признаки отравления этими веществами и способы, направленные на оказание первой помощи пострадавшим людям.

Все аварийные ситуации обобщены в сводной таблице с указанием мероприятий по их предотвращению и устраниению, что является неотъемлемой частью «Плана ликвидации аварий на комплексе «Аусмельт».

Работа печи на дутье, обогащённом кислородом до 60 %, привела к необходимости детального рассмотрения особенностей эксплуатации, ремонта и обслуживания кислородного оборудования печи и погружной формы технологическим и ремонтным персоналом.

Обобщая представленную информацию, необходимо отметить, что коллектив ЗАО «Карабашмедь» в содружестве с разработчиками процесса компании Ausmelt и, позднее, Outotec трудно, но стабильно и последовательно осваивает процесс плавки в печи, что привело к удвоению её производительности по переработке концентрата в тех же конструктивных габаритах.

## ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ

В данном разделе рассмотрены принципиальные вопросы автоматического контроля, регулирования и управления технологическими параметрами следующих сооружений:

- системы загрузки, включающей: шихтарник, узел перегрузки и транспортирования исходного сырья в печь Ausmelt;
- плавильного отделения, включающего установки: печь Ausmelt, котёл-утилизатор, шнековые смесители, реверсивный конвейер;
- металлургического цеха, включающего установку печи-миксера;
- газового тракта, состоящего из дымососов печи и печи-миксера;
- системы охлаждения отходящих газов;
- системы обратного водоснабжения, включающей: обратный цикл печи (I контур до теплообменника), обратный цикл печи (II контур от теплообменника до насосной станции с градирнями) и дополнительных потребителей (воздуходувная и дымососы);
- воздуходувной станции;
- химводоподготовки;
- кислородной станции.

Объём автоматизации для каждого из перечисленных выше технологических сооружений определяется проектом и требованиями заказчика при разработке рабочей документации.

В качестве локальных технических средств автоматизации на первом этапе внедрения использовались технические средства фирмы JOKOGAWA (Япония). Технические средства для местного контроля (не используемые в системе управления процессом) основаны на продукции приборостроительных заводов России.

Для управления технологическим комплексом используется система управления (PCS) компании Ausmelt (JOKOGAWA CS 3000). Система обеспечивает: контроль и управление всем технологическим оборудованием, поставляемым компанией Ausmelt; контроль и управление оборудованием технологических сооружений, проектируемым и поставляемым по инициативе заказчика.

Структура системы управления сооружений, выполненная институтом «Унипромедь» для ЗАО «Карабашмедь», предусматривает три режима управления: автоматизированный, дистанционный и местный.

Автоматизированный и дистанционный режимы управления осуществляются по сигналам системы JOKOGAWA CS 3000.

Автоматизированный режим позволяет выполнение технологического процесса по заданной программе с определённой последовательностью технологических операций.

Дистанционный режим позволяет оператору (в случае необходимости) вести технологический процесс, используя клавиатуру и экран системы управления.

Местный режим управления предусматривает управление исполнительной аппаратурой с кнопочных постов управления по месту (используется в основном в аварийных ситуациях). На постах управления предусматривается переключение режимов работы оборудования.

Блокировки при работе оборудования выполняются на уровне программного обеспечения и действуют в автоматическом и дистанционном режимах управления.

Связь технических средств автоматизации нижнего уровня (датчики расхода, давления, температуры, вибрации, уровней, положения исполнительных устройств и др.) с верхним уровнем (системой управления JOKOGAWA CS 3000) осуществляется при помощи дискретных/аналоговых сигналов входа/выхода и по интерфейсной связи согласно протоколу обмена сигналами MODBUS.

Технические средства автоматизации нижнего уровня размещаются на трубопроводах, технологическом оборудовании и местных щитах, где формируются необходимые сигналы. Сигналы передаются на шкаф ввода/вывода или непосредственно на контроллер системы управления JOKOGAWA CS 3000, размещаемые в помещении оператора печи Ausmelt.

Проектом автоматического контроля технологических параметров и сигнализации химводоподготовки (исходной воды на входе в ХВО, химочищенной воды на выходе из ХВО, пара на подогреватели исходной воды) предусмотрено: учёт расходов; контроль температуры; контроль давления. Система предусматривает контроль за давлением на фильтрах: осветительных, гидроперегрузки, крепкого раствора соли, катионитовых; на напорных трубопроводах подающей и химочищенной воды предусмотрен показывающими манометрами «по месту». Светозвуковая сигнализация предельных значений уровней в баках химочищенной воды, конденсата, взрыхления, ячейках мокрого хранения соли, солевых ячейках, зумпфа дренажных вод и в баке-мернике раствора соли выводится на щит управления ХВО. Тем-

пература осветлённой воды после пароводяного подогревателя регулируется в автоматическом режиме с выводом сигнализации предельных отклонений на щит управления ХВО.

Для обеспечения устойчивой, стабильной и качественной передачи информации от датчиков первого уровня к системам анализа и управления все кабельные проводки выполнены кабелями КВВГ в стальных защитных трубах, прокладываемых по металлическим конструкциям в местах, защищённых от механического, теплового, водяного и газового воздействия. В помещениях щитовых кабельные проводки проложены в кабельных каналах. Импульсные проводки выполняются водогазопроводными трубами от места отбора к датчикам контроля.

С целью организации оперативного управления комплексом «Аусмелт» на предприятии организованы следующие виды связи: производственная автоматическая телефонная связь (ПАТС); производственная громкоговорящая связь (ПГС); пожарная сигнализация и оповещение; радиосвязь через переносные устройства; мобильная связь с использованием служебных телефонов.

Производственная автоматическая телефонная связь предусмотрена от существующей АТС завода. Кабели проложены по эстакадам на кабельных конструкциях и по стенам зданий.

В цехах по условиям технологии производства предусматривается производственная громкоговорящая связь (ПГС). На рабочих местах установлены приборы ПГС-16. Питание приборов ПГС-16 на напряжении 220 В выполняется от сетей освещения. Сеть производственной громкоговорящей связи выполнена кабелем ПРПМ 2 x 1,2, проложенным в защитных каналах по стенам.

Для организации пожарной сигнализации установлена, как пример по состоянию на 2007 г., система «Орион». Пульт управления и монитор находятся у диспетчера производства. В зданиях устанавливаются приёмно-контрольные приборы «Сигнал-20», в шлейфы которых включаются дымовые извещатели ИП 212-45, тепловые ИП 101-1А и ручные ИПР-СУ. Приборы пожарной сигнализации и оповещения являются потребителями I категории, поэтому для них предусматривается рабочее и резервное питание. Рабочее – от щитка освещения, резервное – от аккумуляторной батареи. Сеть пожарной сигнализации и оповещения выполнена кабелем КСПВ 2 x 0,5, проложенным в защитных каналах по стенам и под перекрытием.

## **5.1. Анализ технологических показателей**

С целью обучения и воспитания специалистов высокого уровня, способных самостоятельно анализировать технологические показатели, осознанно принимать решения по использованию полученных аналитических данных, при этом неся ответственность за свои действия, на ЗАО «Карабашмедь» Ю. А. Король и П. В. Зубовым была разработана и внедрена «открытая»<sup>56</sup> программа аналитического учёта металлургического производства [41].

Решаемая задача по анализу производства состояла в следующем:

- получение реального ежесуточного баланса по всему комплексу от доставки сырья и отгрузки готовой продукции до учёта всех передельных материальных потоков и остатков сырья, полуфабрикатов и материалов;
- возможность ежесменного анализа производственных показателей и материальных потоков по каждому технологическому переделу;
- возможность видоизменять, дополнять, формировать пользователем новые аналитические данные в зависимости от потребности производства и поставленных задач;
- обеспечение минимальных дополнительных затрат на сбор и обработку исходных данных;
- максимальная достоверность аналитического учёта и согласованность его с реальными материальными потоками;
- получение сводного баланса по предприятию и составление технического отчёта на следующий день после завершения текущего месяца;

---

<sup>56</sup> Под «открытыми» предлагается понимать аналитические программы, позволяющие пользователям видеть весь алгоритм расчётов, иметь возможность им управлять и самостоятельно совершенствовать. Такие программы используют, как правило, общедоступное программное обеспечение, не требующее специфических знаний и понимаемое пользователем. В этом случае критерии оценки полученных данных не ограничены только теоретическими заданными интервалами значений при составлении программы, но в большинстве случаев учитывают профессиональный опыт и знания пользователя, складывающуюся ситуацию на производстве во всей взаимосвязи. Пользователь «работает» с этими данными как в направлении их приведения в соответствие с заданными интервалами, так и с внесением изменений в системе сбора и анализа данных. При этом отрицательное значение какого-либо материального потока имеет понятный смысл и участвует в анализе производства.

- возможность корректировки баланса по результатам маркшейдерских замеров остатков, среднемесячным аналитическим данным и коммерческому учёту поставляемого сырья и отгружаемой готовой продукции;
- автоматическое формирование ежесуточных отчётов для руководителей различного уровня;
- минимальные затраты на разработку программного обеспечения, возможность имеющихся специалистов работать с аналитической программой, отсутствие соответствующего программного сопровождения и дополнительных расходов на него;
- и, главное, минимальные затраты труда специалистов на составление ежесменных балансов и отчётов.

Поставленная задача, по мнению авторов, могла бы быть выполнена только программой открытого типа. Анализ имеющихся технических возможностей и уровня подготовки персонала на заводе показал, что в качестве готового программного обеспечения можно использовать одну из офисных программ – Excel или «Сократ»<sup>57</sup>.

На пути выполнения поставленной цели стояла проблема достоверности и достаточности исходных данных. Если часть информации можно собирать (автоматическим или ручным режимом ввода) с приборов учёта первого-второго уровня, то большая часть данных (это характерно для всех металлургических и химических переделов, трансформирующих входящее сырье в многочисленное разнообразие готовых продуктов, полуфабрикатов и оборотных материалов) имеет низкую достоверность. И проблема не только в том, что пробыываются, осознанно или нет, искажены, а в том, что при их отборе из куч, бункеров, буртов, газоходов (для сыпучих) и из ковшей, лотков, печей, желобов (для расплавов) невозможно отобрать пробу, достоверно отражающую весь анализируемый объём материала. Например, анализы шлаков, отобранные из расплава методами пересечения струи, ломка, ложки и т. д. никогда не совпадут с анализами того же шлака, но уже застывшего и перекристаллизовавшегося, при этом и те, и другие анализы никогда не совпадут с данными по этому же шлаку, но уже измельчённому до микронных фракций. Аналогичная ситуация и с определением веса перерабатываемых продуктов. Каким бы количеством

<sup>57</sup> «Сократ» – табличный редактор российской разработки, полный аналог Excel, хотя был разработан и начал широко применяться в 90-х годах прошлого века задолго до появления «Майкрософт офис».

весоизмерительных устройств не было «обязано» производство, мы всегда будем иметь разнотечения из-за вопроса организации поверки всех устройств, технических трудностей их эксплуатации, разумности и целесообразности взвешивания всего и везде. Так, имеющиеся постоянные колебания влаги в материале, которые достоверно для всего объёма определить невозможно, сводят на нет все усилия по тотальному взвешиванию влажных материалов и, соответственно, снижают достоверность сухого веса, необходимого для составления всех балансов. Но, кроме того, и невозможно знать, допустим, истинные объёмы пылеобразования в печах, распределения её по газоходам и бункерам. Определить реальные содержания компонентов, включая пыль, характеризующие весь объём газа в системе, затруднительно, и эти замеры имеют также определённую условность. При этом абсолютно нереально определить фактическое количество металла в непрерывно действующей печи в заданную единицу времени, тем более распределение элементов и их содержание в расплаве.

Технологическая схема ЗАО «Карабашмедь» показана на рис. 5.1.1 и состоит из двух основных переделов: плавки поступающего сырья и оборотов в печи; конвертирования медного штейна в конверторах. Газы печи и конверторов перерабатываются с получением серной кислоты. Все металлургические шлаки обедняются на обогатительной фабрике с целью извлечения цветных металлов, а песок железосодержащий, образующийся в виде хвостов обогащения, отгружается на заводы по производству цемента. Пыли газоочистки циркулируют между переделами или отгружаются потребителям для извлечения свинца и цинка.

При, казалось бы, несложной технологической схеме проблема производственного анализа на предприятии усложняется большой номенклатурой типов, видов и поставщиков сырья. Только по медсодержащим материалам в рамках рассматриваемого периода может быть до нескольких десятков поставщиков, а с учётом большого количества партий от одного поставщика одного или разного вида сырья, по учёту проходят несколько сотен поставок в течение одного месяца.

Сырье по своим характеристикам имеет большой разброс значений, в том числе по меди от 1–3 % до 23–28 %, свинцу от 0,01 % до 3–6 %, цинку от 0,02 % до 12–18 % и т. д.

Влажность поступающих материалов по одному и тому же виду сырья имеет колебания, даже иногда в одной партии, от 4 до 13 %.

Нестабильные анализы во входящем сырье и отсутствие физической возможности его усреднить приводят к тому, что все продукты переработки имеют значительные колебания по химическому составу, особенно это существенно для оборотных материалов и полуфабрикатов. Так, содержание цинка в пылях изменяется от 1–2 % до 37–56 %, свинца от 0,03 до 18 %, меди от 5–6 до 27 %. Ещё более значительные изменения во всех материальных потоках по содержанию драгметаллов.

В соответствии с разработанным авторами алгоритмом (рис. 5.1.2) вся информация о количестве и качестве сырья, оборотов, полупродуктов и готовой продукции формируется отделом технического контроля (ОТК) и центральной химической лабораторией (ЦХЛ) в таблицах Excel, имеющих совместный доступ для нескольких пользователей. Для удобства заполнения различные типы материалов объединены в нескольких файлах: сырье, обороты, вторичное сырье, черновая медь, полупродукты.

Данные ОТК и ЦХЛ отражаются в таблицах или ручным вводом на основании первичного учёта или автоматически после внедрения на предприятии системы автоматизированного учёта сырья и готовой продукции. Условно принято, что все материальные потоки проходят через разгрузочную эстакаду в транспортном цехе. На самом деле часть сырья поступает на шихтарник металлургического цеха или конвертерный участок, минуя эстакаду, в этом случае данные попадают в файл мастера эстакады автоматически через связи с файлами других участков. Мастер эстакады вносит в разработанную для него таблицу данные о номерах партий и количестве выгруженных мест за свою смену, остальное (вес, химсостав, количество металлов и пр.) в его отчёте формируется автоматически через связи с файлами ОТК.

С учётом дополнительных данных ОТК об отгрузке с завода готовой продукции, оборотных материалов и полуфабрикатов, в этом подразделении автоматически формируется баланс по заводу о движении сырья и готовой продукции с любой разумной дискретностью. Для условий ЗАО «Карабашмедь» принято, что этот анализ формируется ежесменно, с корректировкой, при необходимости, по ежесуточным анализам и остаткам на девять часов утра каждого суток.

С использованием имеющегося математического аппарата в Excel для технологов разработаны несколько типовых проверочных балансовых файлов, отслеживающих правильность заполнения данных, которые показывают несоответствие по каждой партии материалов в случае ошибки ввода, искажения объёмов, ошибки методологии учёта поступающего сырья и оборотов и т. д. и т. п.

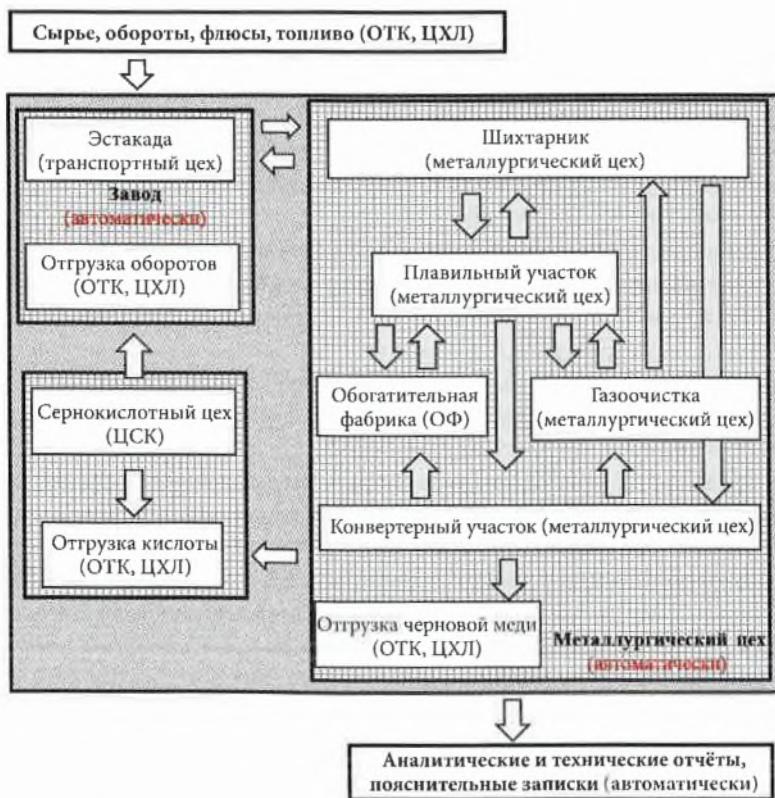


Рис. 5.1.2. Блок-схема сбора и формирования базы данных

Для этого анализа вполне достаточно нескольких математических, логических и готовых формул по массивам данных, таких как ВПР, ГПР, ВЫБОР, ДРВ и т. п., «вшитых» в табличный редактор Excel.

cel, математический аппарат позволяет составить любой алгоритм решения поставленной задачи, тем более что комбинация этих формул и их взаимное перекрещивание ограничено только опытом и фантазией пользователя. Главное, пользователь, получив информацию об ошибке, может самостоятельно просмотреть всю последовательность вычислений, понять причины и сделать соответствующие выводы, вплоть до корректировки формул, если они по каким-либо причинам не соответствуют настоящему моменту.

Для условий КМ эти проверочные балансовые файлы (по четыре на каждый месяц) самые «тяжёлые» и содержат до 2 млн формул каждый, но они работают в фоновом режиме и не требуют «выгрузки» на рабочий стол для большинства пользователей. С этими файлами работает только один оператор при окончательном сведении баланса и выявлении возможного источника ошибки при заполнении других файлов по всем взаимозависимым переделам предприятия.

Как показано на рисунке 5.1.2, аналогичные таблицы заполняют мастера на всех участках медеплавильного цеха, а именно плавильном, конвертерном, газоочистке, обогатительной фабрике и в шихтарнике. Сводный баланс переработки сырья по металлургическому переделу формируется автоматически с использованием формул, имеющихся в табличном редакторе. В файле по цеху предусмотрен анализ производства по выполнению плановых показателей и, безусловно, баланс переработки с остатками сырья, материалов, полуфабрикатов и готовой продукции. По мере постановки задач по контролю за производством пользователь имеет возможность сформировать любой аналитический массив данных в удобной для анализа форме. Доступ в режиме реального времени к анализу работы своего подразделения и цеха в целом имеет каждый допущенный пользователь. Сводный баланс имеет до десятка логических формул, позволяющих пользователю выявлять ошибки или указывающих ему на некорректность заполнения. Обращаем внимание, что программа не делает выборку значений из базы данных, исходя из заданного алгоритма и критериев, а обращает внимание пользователя на несоответствия, и он сам принимает решения о дальнейших действиях, исходя из своих знаний, опыта и уровня ответственности.

С целью минимизации возможных ошибок при составлении балансов, которые, в основном, вытекают из невысокой достоверности исходных данных, о чем указано ранее, на предприятии автомати-

чески формируется сводный производственный баланс с учётом балансов по заводу, металлургическому и сернокислотному цехам. На этой стадии осуществляется окончательная проверка правильности заполнения с учётом взаимосвязи всех материальных потоков на предприятии. Файл с производственным балансом также содержит до десятка типовых математических и логических формул для выявления ошибок заполнения в подразделениях, связанных в основном с несбалансированностью потоков, искажением объёмов переработки и/или перемещения сырья, готовой продукции и полуфабрикатов.

Опыт использования программы показал, что время заполнения первичных данных и их последующий анализ мастером смены занимает от пяти до пятнадцати минут, при этом заполняемый объём составляет лишь незначительную часть того, что мастера ежесменно делают при составлении своих рапортов. Для проверки правильности заполнения по подразделениям и выверки общего баланса по предприятию на конечном этапе, с учётом среднесуточных анализов, уполномоченный пользователь затрачивает до часа своего времени, один раз в сутки.

Для уменьшения недостоверности в химических анализах балансировка на КМ одновременно ведётся по следующим компонентам: меди, цинку, свинцу, золоту, серебру, палладию, сере, железу, диоксиду кремния и оксиду кальция. Учитывая различное их распределение между продуктами переработки и общие критерии для различных материалов, связанные с особенностями ведения технологии, пользователь имеет возможность критически оценивать содержания элементов по данным химических анализов, сопоставляя их с расчётными величинами, и принимать решение о необходимости внесения соответствующих корректировок в балансы. Так, содержание серы в медном штейне находится в интервале 18–25 % и никак не может быть меньше или больше для используемого типа плавки и перерабатываемого сырья, соответственно, получив иные данные, пользователь анализирует весь спектр показателей и вносит соответствующие уточнения (корректировки) в отчёtnости. Аналогично, содержание диоксида кремния в конвертерном шлаке находится на уровне 13–28 % и не может существенно и постоянно отклоняться от этих значений, в противном случае это является предметом для анализа пользователем поступившей информации. Одновременный учёт, анализ и балансировка по

семи металлам, трём шлакообразующим компонентам и сере, как газообразующей, позволяет снизить до минимума недостоверность аналитического учёта по всему металлургическому переделу.

Разработанная методика по анализу металлургического производства позволила полностью решить поставленные задачи и дала инженерам-металлургам возможность вдумчивого анализа технологических процессов и самостоятельного совершенствования аналитического программного обеспечения.

Файлы, разработанные для каждого подразделения, имеют в своём составе аналитический блок, который объединён с общим анализом производства по всему предприятию. В зависимости от поставленных задач, руководители любого уровня получают информацию в любом необходимом объёме (рис. 5.1.3). По желанию пользователь имеет возможность просмотреть отчёт и рассмотреть материальные балансы по подразделениям и предприятию в целом за любой предыдущий день путём внесения интересующей даты, при этом (по желанию пользователей на КМ) табличная часть пересчитывается на установленную дату, а графическая остаётся на дату заполнения. Время предоставления информации на 9 часов утра каждого дня. Производственный техотчёт за месяц по подразделениям и предприятию в целом формируется в течение нескольких часов после получения среднемесячных анализов и снятия остатков сырья и материалов по переделам. У специалистов компании накопился уже достаточный опыт в решении подобных задач, поэтому ниже представлены некоторые рекомендации и советы для пользователей, занимающихся решением аналогичных проблем.

**Первый совет.** Названия файлов необходимо делать максимально информативным при минимальном их размере. Это связано с тем, что в редакторе формул Excel есть ограничение в количестве символов, используемых в формуле. В случае увязки файлов через связи с пропиской полного адреса ссылки символов может не хватить. При этом плохо то, что формула напишется, а потом при обновлении все избыточное «обрежется» без ведома пользователя. Пример размещения папок и файлов в них на КМ в 2017 г. показан на рис. 5.1.4. Обращаем внимание, что папка «2017-КМ» размещена в корневом каталоге на диске «С» у всех пользователей, это очень важно при обмене файлами и обновлении связей между файлами. В противном случае связи могут обновляться до 30–60 минут.

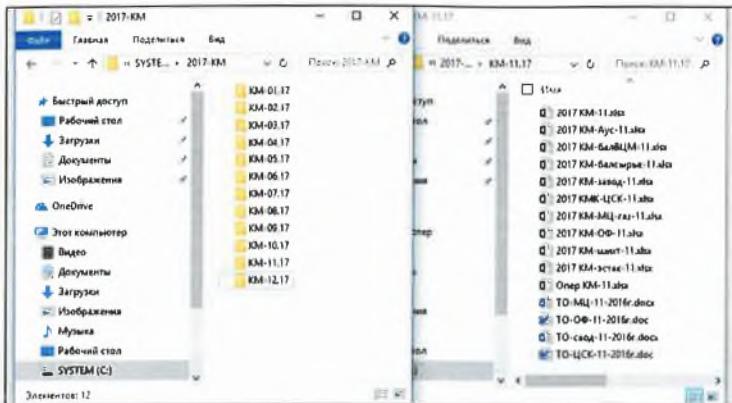


Рис. 5.1.4. Размещение файлов программы аналитического учёта на КМ в 2017 г.

**Второй.** Необходимо выделить участки, где постоянно и достоверно обнуляется вес материала и при формировании формул для поиска ошибок исходить из этого производственного звена по всей предыдущей технологической цепочке. В случае КМ такими материалами являются концентрат обогатительной фабрики (практически несколько раз в месяц) и металлургические шлаки в разрезе (три-четыре раза в год). Проведённая работа по анализу производства позволила установить достоверный вес шлака в шлаковозах и штейна в ковшах при отсутствии возможности взвешивать эти материалы имеющимися механизмами. Так, вес штейна в ковше изменён с 24 до 20 тонн, шлака «Аусмельт» в чаше с 33 до 32 тонн, вес конвертерного шлака в ковше увеличен с 9,5 до 13 тонн.

**Третий.** При формировании таблиц в файлах предусмотреть все возможные виды сырья и полупродуктов с дополнительным резервом в 10–15 %.

**Четвёртый.** Балансировку формировать и проводить со вспомогательных переделов – «снизу вверх» и получать автоматический сформированный баланс на уровне металлургического подразделения, завода и предприятия в целом. На КМ сначала формируется баланс обогатительной фабрики, газоочистки, сернокислотного цеха, шихтарника, и только после этого – плавильного и конвертерного участков и – далее – металлургического передела в целом.

**Пятый.** Сделать программы самообучающимися, т. е. все изменения в формулах, дополнения в аналитике и прочие корректировки, сделанные в текущем месяце, использовать в качестве основы для последующего периода. Здесь возникает трудоёмкая проблема обнуления внесённых данных, поэтому только в этом случае использовать простейшие макросы, легко формируемые в Excel для подобных целей. Макросы можно разместить на отдельном листе и пользоваться ими только при формировании новой формы. Далее их можно отключать, чтобы не утяжелять файлы. Имеющийся в Excel аппарат позволяет очень легко получить навыки составления простейших макросов, единственное, что их необходимо научиться «чистить» от повторений при автоматическом написании, хотя можно и не трогать, они все равно будут работать. Именно эта возможность самосовершенствования программы в интересах пользователя в текущем периоде позволяет творчески работать инженерам, а не быть механическим приложением к ком-то разработанной программе.

## ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ

Одновременно с автоматизацией управления ведением процесса плавки на предприятии внедрили систему сбора и анализа информации как в целом по предприятию, так и по отдельным переделам. Программа и её алгоритм взаимодействия с использованием имеющегося математического аппарата в программе Excel позволяет достоверно, быстро и своевременно анализировать металлургическое производство. Она может совершенствоваться пользователем, имеющим общие познания в табличном редакторе по мере возникновения новых задач без привлечения программистов и специализированных организаций. Вдумчивая работа пользователя делает его реальным руководителем технологический процессов, осознанно и ответственно принимающим решения, направленные на совершенствование производства. Применяемые методы анализа производства с использованием доступного и готового математического аппарата в Excel заменяют механическую работу по занесению данных или контролю за их занесением в закрытых аналитических системах, на творческую работу инженера, развивающего свой интеллектуальный уровень. Разработанная программа может быть применена на любых металлургических предприятиях, имеющих переделы плавки, конвертирования и получения серной кислоты, переработки оборотных продуктов, получения и отгрузки готовой продукции.

## **ГЛАВА 6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КИСЛОРОДОМ И ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ**

В условиях отсутствия свободных площадей, ограниченности ресурсов по энергетике на промплощадке ЗАО «Карабашмедь» и при недостатке высококвалифицированного обслуживающего персонала для обеспечения кислородом автогенного комплекса Ausmelt применён метод адсорбционного получения кислорода [42].

В настоящее время в промышленности широко используются четыре технологии получения технического кислорода: криогенная; адсорбционная; мембранные и электрохимическая.

В основе работы криогенных кислородных установок разделения воздуха лежит метод низкотемпературной ректификации, базирующийся на разности температур кипения компонентов воздуха и различий составов находящихся в равновесии жидких и паровых смесей. В процессе разделения воздуха при криогенных температурах между находящимися в контакте жидкой и паровой фазами, состоящими из компонентов воздуха, осуществляется массо- и теплообмен. В результате паровая фаза обогащается низкокипящим компонентом, а жидкая высококипящим компонентом. Таким образом, поднимаясь по ректификационной колонне вверх, пар обогащается низкокипящим компонентом – азотом, а стекающая вниз жидкость насыщается высококипящим компонентом – кислородом. Криогенный метод – единственный метод, который обеспечивает высокую чистоту продуктов разделения при высоком коэффициенте извлечения в любом количестве продукта, что обуславливает его высокую экономичность. При этом метод позволяет одновременно получать несколько продуктов разделения как в виде газа, так и в виде жидких продуктов. К недостаткам криогенных кислородных установок можно отнести более длительный, по сравнению с адсорбционными и мембранными установками, пусковой период. В силу чего данный метод целесообразно применять для крупных стационарных комплексов большой производительности с длительным периодом непрерывной работы. К недостаткам этого метода нужно отнести сложность аппаратурного оформления процесса, высокие капитальные вложения и повышенные требования к обслуживающему персоналу по уровню профессиональной подготовки. Криогенные процессы предъявляют особые требования к чистоте сырья в виде технологического воздуха по диоксидам серы и углерода.

В основе разделения газовых сред с помощью мембранных кислородных установок лежит разница в скоростях проникновения компонентов в газовой смеси через вещество мембранны. Процесс разделения обусловлен разницей в парциальных давлениях на различных сторонах мембранны. Для технологий мембранного разделения газов применяется современная поливолоконная мембрана, состоящая из пористого полимерного волокна с нанесённым на его внешнюю поверхность газоразделительным слоем. Существующий уровень развития технологии позволяет производить полимеры, которые обладают высокой селективностью при разделении различных газов, что, соответственно, обеспечивает высокую чистоту газообразных продуктов. Принципиально существует две технологии получения кислорода с помощью мембран: компрессорная и вакуумная. В случае компрессорной технологии воздух под избыточным давлением подаётся в волоконное пространство, кислород выходит из мембранны под небольшим избыточным давлением, и, в случае необходимости, дожимается компрессором до нужного давления. При использовании вакуумной технологии в кислородной установке для создания разности парциальных давлений применяется вакуумный насос. К основным недостаткам мембранной технологии можно отнести: ограниченную производительность и чистоту кислорода не выше 50 %.

Электрохимические методы производства кислорода основаны на его выделении из перекисных и надперекисных соединений щелочных и щелочноземельных металлов, извлечении в электрохимических установках на твёрдых электролитах или из водных растворов с одновременным получением водорода. Установки, реализующие данный способ, являются сложными в обслуживании и предъявляют высокие требования к обеспечению промышленной безопасности и охране окружающей среды.

Адсорбционные технологии получения кислорода используют явление селективной гетерогенной адсорбции кислорода из воздуха твёрдым адсорбентом. Работа современной адсорбционной кислородной установки основана на том, что поглощение газа адсорбентом сильно зависит от температуры и парциального давления компонента газа. Таким образом, благодаря изменению давления и температуры можно регулировать процессы поглощения газа и регенерации адсорбента. Процесс работы кислородной установки устроен таким образом, что легко адсорбируемые компоненты смеси газа поглощаются

адсорбентом, тогда как слабо адсорбируемые и неадсорбируемые компоненты проходят через установку. На сегодняшний день получили распространение три метода организации циклического безнагревного процесса адсорбционного разделения воздуха: напорные (PSA), вакуумные (VSA) и смешанные (VPSA). Для напорных схем кислород извлекают при давлении выше атмосферного, а стадия регенерации адсорбента протекает при атмосферном давлении. В вакуумных схемах кислород получают при атмосферном давлении, регенерация проводится при отрицательном давлении. Работа смешанных схем сочетает изменение давления от положительного до отрицательного.

Адсорбционные установки отличаются высокой надёжностью, низкими капитальными затратами, простотой и высокими технико-экономическими характеристиками. Во время их работы не требуется постоянный контроль со стороны оператора. Для размещения установок отсутствуют специальные требования к помещениям и оборудованию. К основным недостаткам можно отнести: ограниченную производительность; чистоту кислорода не выше 92 %.

В условиях ЗАО «Карабашмедь» при выборе технологии производства кислорода дополнительно учитывались следующие факторы:

- относительно невысокое потребление кислорода;
- отсутствие технологических требований по высокой чистоте кислорода;
- ограниченность территории промплощадки;
- недостаток высокопрофессиональных кадров в г. Карабаш для обслуживания и эксплуатации криогенной кислородной станции;
- трудности в обеспечении станции технологическим воздухом, без какого-либо его загрязнения диоксидами серы и углерода.

По мнению одного из поставщиков газоразделительных систем – компании ГРАСИС – выбор технологии производства кислорода обуславливается производительностью установки и необходимой чистотой получаемого кислорода (рис. 6.1).

Для условий рассматриваемого проекта потребность в кислороде на первоначальном этапе реконструкции составляла 5–10 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  при чистоте на уровне 80–90 %. В соответствии с рисунком эти данные должны были бы привести к выбору одной из криогенных установок, но в условиях ЗАО «Карабашмедь» с учётом ограничений, указанных выше, было отдано предпочтение адсорбционной

технологии производства кислорода. Главными факторами, определившими данный выбор, явились простота монтажа и обслуживания, отсутствие особых требований к зданиям и сооружениям. Немаловажным фактором выбора явился и недостаток квалифицированных кадров для её обслуживания.

Существенными недостатками принятого решения являлись игнорирование сложившегося в мировой практике мнения об экономической целесообразности выбранного варианта и отсутствие в металлургии России опыта строительства и эксплуатации адсорбционных установок. В этих условиях акционеры предприятия пошли на существенные промышленные, экологические и инвестиционные риски. Промышленные и экологические риски выражались в опасности нанесения ущерба производству и третьим лицам вследствие нарушения технологического процесса или невозможности его осуществления. Инвестиционный риск был связан с возможностью недополучения или потери прибыли в ходе реализации проекта строительства комплекса «Аусмельт».

Для минимизации рисков специалистами предприятия на тендерной основе была выбрана одна из лучших мировых компаний-производителей адсорбционного оборудования – Linde AG. В соответствии с проектами строительства, для производства кислорода на первом этапе было приобретено два блока производительностью по 5 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ <sup>58</sup> смеси, содержащей  $92\pm 2\%$  кислорода. Постапный запуск в эксплуатацию установки был завершён в 2005 г. Время на монтаж оборудования одного блока в готовом здании составляло от 6 до 7 месяцев. Для минимизации капитальных вложений на первом этапе на предприятии в качестве здания было использовано пустующее помещение производства строительных материалов. При дальнейшем расширении установки были построены два одноэтажных здания из легковозводимых конструкций.

Получение кислорода в установках осуществляется по технологии короткоциклической адсорбции фирмы Linde. Извлечение газов из смесей основано на способности пористых адсорбентов связывать газы на своей поверхности. В зависимости от извлекаемых газов, в ка-

<sup>58</sup> С учётом положительного опыта эксплуатации, в последующие годы производительность установки была увеличена в три раза за счёт закупки и установки дополнительного оборудования фирмы Linde AG.

чество адсорбентов применяют цеолитные или углеродные молекулярные сите, активированный уголь, оксиды кремния или алюминия. Установка ВКЦА (вакуумной короткоциклической адсорбции) предназначена для выделения кислорода из атмосферного воздуха (рис. 6.2).

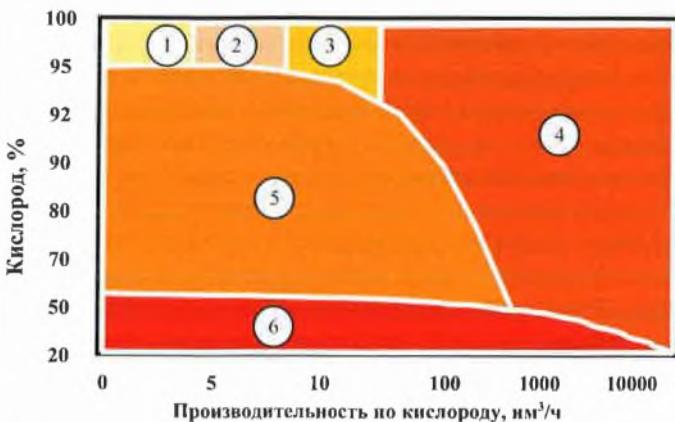


Рис. 6.1. Экономическая целесообразность различных способов получения кислорода [42], где: 1 – доставка в баллонах газообразным; 2 – доставка в баллонах жидким; 3 – доставка жидким; 4 – криогенные установки; 5 – адсорбционные установки; 6 – мембранные установки

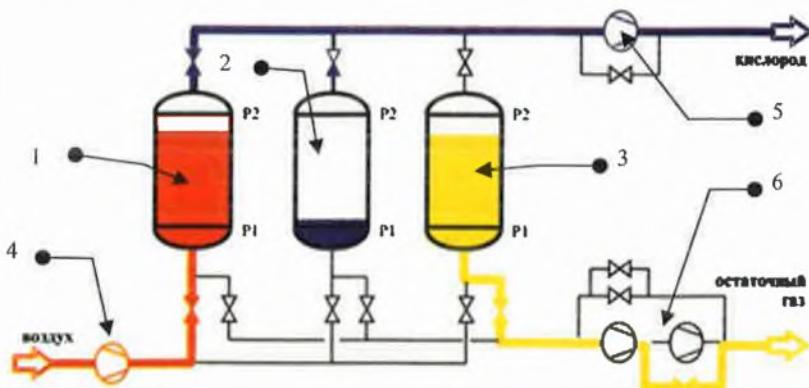


Рис. 6.2. Схема трехадсорберной системы с применением двухступенчатого насоса, где: 1 – адсорбер в стадии насыщения; 2 – адсорбер на стадии поднятия давления до адсорбционного уровня; 3 – адсорбер на стадии регенерации; 4 – воздуходувка; 5 – кислородный компрессор; 6 – вакуумный насос

Установка ВКЦА управляется программируемым логическим контроллером. В число его основных функций входят: автоматическое управление работой всего блока; слежение за большинством параметров процесса с автоматическим выключением установки и подачей сигналов в случае её нештатной работы; выдача параметров процесса на консоль оператора с возможностью ручного изменения управляющих величин; обеспечение анализа неисправностей при отключении.

Самое важное достоинство установки ВКЦА – её простота (фото 6.1). Она может быть запущена и остановлена простым нажатием кнопок и всего за несколько минут достигает специфицированной производительности и чистоты продукта. Установка рассчитана на работу без присмотра. Тем не менее один раз за рабочую смену рекомендуется выполнять её контрольное посещение. Установка имеет большой диапазон производительности от 30 до 100 % от номинала без изменения энергетических затрат.

Быстрый пуск, т. е. достижение характеристик рабочего режима по чистоте и производительности, и упрощённая процедура остановки по сравнению с криогенными блоками значительно упрощает ведение технологического процесса. Дистанционное управление и возможность дистанционного сервисного обслуживания позволяют оптимизировать ситуацию с нехваткой кадров на обеспечение работы кислородной станции.



Фото 6.1. Адсорбционная установка ВКЦА

Более низкие энергетические затраты и низкая стоимость установки по сравнению с криогенными блоками позволяют получить дополнительное конкурентное преимущество.

Применение первого защитного слоя адсорбента предотвращает чувствительность к агрессивным компонентам по сравнению с мембранными и криогенными установками, гарантирует высокие сроки эксплуатации адсорбента без его замены.

Используемая на ЗАО «Карабашмедь» установка ВКЦА является трёхадсорберной системой с горизонтальными адсорбераами и двухступенчатыми вакуумными насосами компании Linde AG. Насосы воздушного охлаждения обеспечивают давление товарного кислорода на выходе в пределах 0,25 МПа.

Опыт эксплуатации установки позволил подтвердить её основные преимущества:

- отсутствие потребления воды используемым оборудованием;
- полная автоматизация производства;
- простота механизмов и удобство их обслуживания;
- пуск и останов производится «одним нажатием кнопки»;
- минимальные эксплуатационные и капитальные затраты;
- компактность размещения оборудования;
- непрерывная работа;
- возможность дистанционного регулирования содержания кислорода в смеси от 40 до 98 % с плавной регулировкой расчётного потока;
- надёжность и безопасность эксплуатации;
- привязка системы управления к общезаводской АСУТП;
- система управления обеспечена бесперебойным источником питания;
- удельное электропотребление – 0,55 кВт/м<sup>3</sup> кислорода.

С целью продления срока службы адсорбера и стабильного содержания кислорода на выходе компания-разработчик рекомендует следующие требования к потребляемому технологическому воздуху:

- максимальное содержание  $\text{CO}_2$  – 0,8 г/м<sup>3</sup>;
- максимальное содержание  $\text{CO}$  – 6,2 мг/м<sup>3</sup>;
- максимальное содержание  $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$  – 0,3 мг/м<sup>3</sup>;
- максимальное содержание  $\text{H}_2\text{S}$  – 0,1 мг/м<sup>3</sup>;
- максимальное содержание углеводородов – 1,0 мг/м<sup>3</sup>;
- максимальное содержание  $\text{NO}_x$  – 0,3 мг/м<sup>3</sup>.

При содержании в воздухе  $SO_2 + SO_3$  более 2,5 мг/м<sup>3</sup> ежегодно не менее 2 % адсорбента от общего количества загруженного деактивируется, снижая, тем самым, производительность установки.

Компания Linde AG смонтировала более 700 установок КЦА в мире, в том числе ВКЦА – более 100. В табл. 6.1 представлены данные по наиболее эффективным установкам, работающим в металлургической отрасли.

Табл. 6.1. Наиболее эффективные установки компании Linde AG, нм<sup>3</sup>/ч

Компания	Производительность	%, О <sub>2</sub>
Anglo American Chili Chagres	1 x 5000	90
Linde AG, Словакия	1 x 3200	93
ЗАО «Рязцветмет»	1 x 1000	94
ОЭМК, г. Старый Оскол	2 x 4000	94
ЗАО «Карабашмедь»	6 x 5000	92
ЗАО «СУМЗ»	2 x 6000	92
Metsa Fibre, Финляндия	1 x 5484	93
СМК «Металлург», г. Скопин	1 x 900	92
«Волга-Фест», г. Фролово	1 x 1000	92
Linde AG, г. Фастив, Украина	1 x 1350	93
Linde AG, г. Сквира, Украина	1 x 1600	93

В качестве топлива на реализацию технологического процесса плавки, обогрева конверторов и обеспечения работы котельной и другого оборудования на ЗАО «Карабашмедь» используется природный газ. По состоянию на 2022 г. основными потребителями природного газа на ЗАО «Карабашмедь» являются, нм<sup>3</sup>/ч: печь Ausmelt до 3500, конверторы до 500, печь-миксер до 400, анодные печи и участок розлива анодной меди до 300; миксер черновой меди и участок её розлива до 300; цеха серной кислоты до 100 и тепляк до 500.

Характеристики и состав природного газа, потребляемого на предприятии, следующие:

- высшая теплота сгорания 38,5 МДж/нм<sup>3</sup>;
- плотность 0,7 кг/м<sup>3</sup>;
- химсостав, % об.: 94,0 метан  $CH_4$ ; 2,0 этан  $C_2H_6$ ; 0,5 пропан  $C_3H_8$ ; 0,1 бутан  $C_4H_{10}$ ; 0,1 пентан  $C_5H_{12}$ ; 0,1 гексан  $C_6H_{14}$ ; 3,0 азот  $N_2$ ; 0,2 двуокись углерода  $CO_2$ .

## ГЛАВА 7. ПЕРЕРАБОТКА ШЛАКОВ

Автогенная плавка при массе своих достоинств имеет существенный недостаток, связанный с невозможностью получения печных шлаков в виде отвальных продуктов. Среднее содержание меди в шлаке печного автогенного процесса и конверторов изменяется от 1,5 до 4,5 %. Высокое содержание меди обусловлено особенностями металлургического процесса переработки шихты в расплаве, характеризуемых большой интенсивностью плавки, высоким содержанием магнетита в шлаке, ограниченным временем для разделения шлаковой фазы и медного штейна и рядом других факторов [45].

В настоящее время используется несколько вариантов и способов переработки шлаков автогенных процессов. Перечислим ниже наиболее характерные приёмы.

Пирометаллургические технологии, включающие в себя, в том числе, внутривечное обеднение; внепечное обеднение, обработку восстановителями и сульфидизаторами в расплаве методом перемешивания фаз и др.

Внутривечное обеднение осуществляется пиритом путём промывки ванны расплава каплями сульфида железа, образующегося в результате диссоциации высших сульфидов. В качестве пирита используются колчеданные руды или пиритный концентрат от обогащения медно-цинковых руд. Обеднение шлака по меди осуществляется не только за счёт коагуляции капель механической взвеси в расплаве, но и за счёт взаимодействия продуктов диссоциации, в основном, серы с магнетитом. Разрушение магнетита создаёт условия для более эффективного разделения штейновой и шлаковой фаз, снижает растворимые потери меди.

В соответствии с термодинамическими расчётами, представленными в теоретической части рукописи, восстановление оксидов меди и их сульфидирование, а также разрушение магнетита дисульфидом железа, при прочих равных условиях, является более эффективным и предпочтительным процессом, даже по сравнению с металлическим железом и чугуном.

Наряду с высокой эффективностью, обработка расплава пиритом имеет недостаток, заключающийся в том, что в плавку вводится дополнительное количество железа, приводящее к увеличению выхода шлаков и, соответственно, увеличению потерь меди с ним, для формирования требуемых параметров шлака в расплав необходимы

вводить дополнительное количество флюсов, обеспечивая взаимодействие компонентов при высокой температуре.

Внепечное обеднение шлаков, как правило, осуществляется в электропечах, печах-отстойниках, отапливаемых ковшах, миксерах, отражательных печах и шахтных печах. Рассматривая плавку «Аусмельт» в комплексе с конвертерным переделом, отметим возможность и реализуемость рядом заводов переработки богатых конвертерных шлаков в печи «Аусмельт» после их предварительного охлаждения и измельчения.

Все приёмы внепечного обеднения требуют вовлечения дополнительного источника тепла в виде электроэнергии, угля, кокса, природного газа, мазута, нефти или других энергоносителей. Использование того или иного оборудования зависит от сложившихся традиций на предприятии, наличия трудовых ресурсов, электроэнергии, газа, топлива, воды, мест складирования и размещения отходов.

Для печных шлаков «Аусмельт» наибольшее предпочтение отдается переработке их в электропечах и отстой в печах-миксерах. В первом случае комплекс из печи «Аусмельт» – электропечь позволяет не только перерабатывать шлаки печи, но и обрабатывать шлаки конверторов в жидким виде, утилизировать «холодное» и корки главного пролёта, осуществлять физико-химическое регулирование состава расплава с целью повышения эффективности разделения фаз. Шлак из электропечи получается отвальным и не требующим дальнейшей переработки.

Обеднение в печах-миксерах осуществляется путём отстоя и последующего слива шлака на охлаждение, измельчение и переработку на обогатительной фабрике. Соответственно, печь-миксер требует обязательного дополнения в виде передела переработки шлака для получения отвальных продуктов.

Гидрометаллургические технологии переработки печеного шлака предполагают его дробление и измельчение для последующего разделения компонентов шлака флотационными методами без химического растворения минералов; растворение в водных растворах негорячих кислот с дальнейшим выделением полезных компонентов в отдельные или комплексные продукты.

При анализе и выборе наиболее эффективного процесса переработки автогенных шлаков для условий ЗАО «Карабашмедь» учитывались следующие ограничения: отсутствие свободных электрических мощностей в регионе; ограниченность площадей для размещения

нового производства в действующем металлургическом цехе; отсутствие площадей для размещения отвальных продуктов переработки; ограничения в переработке отходящих газов плавильных агрегатов; недостаток водных ресурсов для использования в системе охлаждения металлургических печей; недостаток квалифицированного персонала для обслуживания новых металлургических производств.

Использование шахтной печи для обеднения металлургических шлаков позволило бы получить наиболее высокое извлечение меди в штейн, при оптимальных затратах на передел, но ограничения в переработке газа с низким содержанием серы привели к отказу от использования этого процесса. В результате выполненного анализа способов переработки шлаков автогенных процессов было принято решение об использовании процессов флотационного обогащения. Инновационный характер технологии заключается в возможности переработки шлаков с минимальным расходом электроэнергии, с замкнутой системой водоснабжения, без занятия площадей действующего металлургического цеха и предоставляемой возможность получения отвальных продуктов в виде песков, имеющих устойчивый рынок сбыта.

Разработка технологии переработки шлаков автогенных процессов (процесса Ausmelt и конвертирования) была осуществлена компанией ЗАО «ИВС». Проект обогатительной фабрики был выполнен ЗАО «Механобр Инжиниринг».

При разработке регламента и проектировании обогатительной фабрики (ОФ) был принят за основу шлак, содержащий от 1,0 до 1,5 % меди [44]. Медь в шлаке на 93 % была представлена сульфидными минералами, причём доли вторичных и первичных минералов сопоставимы. Доля окисленной меди составляет 7 %, в том числе сульфатной до 0,7 %.

Минералогические исследования шлака автогенной плавки начального периода освоения процесса показали, что основными компонентами шлака являются силикаты, нераскристаллизованная стекловидная масса, магнетит и другие окислы железа. Рудными минералами в составе шлака являются: халькопирит; борнит; халькоzin; ковеллин; пирит; сфалерит; галенит; сплавы меди, цинка, свинца и серебра. Рудные минералы сцепментированы, главным образом, силикатами с включениями магнетита. Шлаки мелкозернистые, характеризуемые тонковрапленной структурой, представленной вторичными рудными минералами. Шлаки представлены двумя разновидностями:

стекловидной аморфной массой с глобулевидными выделениями медиодержащего штейна и тонковкрапленным магнетитом; массой, частично раскристаллизованной до оливина и до среднезернистого магнетита. Размер глобул составляет от первых долей микрона до 160 мкм, их них около 23 % – глобулы крупнее 80 мкм, около 46 % – до 40 мкм. Средний размер глобул равен 30 мкм. В пробах шлака наблюдается наличие значительного количества мельчайших зёрен рудных минералов крупностью до 10 мкм, пронизывающих всю массу шлака. Размер зёрен магнетита варьирует в пределах 0,6–80 мкм. До 42 % магнетита представлено частицами менее 20 мкм. Средний размер выделений магнетита равен 30 мкм. Рудные минералы в шлаке окружены магнетитом и фаялитом. Пористость шлака составляет 2,8 %. Размер пустот варьирует в пределах от первых долей микрона до 320 мкм. Количество пустот размером 160–320 мкм находится на уровне 73 %.

До 25 % доли медных минералов представлено халькопиритом, который находится в виде «капелек» размером 0,5–10 мкм в шлаковой массе, халькозине и борните, в свободном состоянии содержится до 6 %. Доля борнита в минералах меди составляет 23 %, который находится в сростках с халькозином, реже с халькопиритом и силикатами шлака.

Доля халькозина и ковеллина в первичных и вторичных минералах равна 24 % и 22 % соответственно. При этом халькозин располагается тончайшими полосками по борниту и халькопириту, а ковеллин в виде прожилок на магнетите. Куприт представлен мелкими скоплениями зёрен в силикатах. Цинксодержащие фазы представлены в основном силикатами цинка и вюрцитом в форме коротких игл и коломорфных выделений. До одного процента рудных минералов и до 30 % магнетита находится в сростках. Фаялит составляет основную массу шлака (до 90 %) и тесно ассоциирован со стекловидной массой.

Усреднённые данные по физическим и химическим свойствам перерабатываемых шлаков показаны в таблице 7.1 и 7.2.

Хрупкость глобул, мелкозернистость рудных минералов, наличие их сростков и высокая прочность фаялита отрицательно сказываются на показателях измельчения шлака. При большой глубине помола происходит переизмельчение рудных минералов, слагающих глобулы, при сохранении сростков при любой крупности измельчения.

Табл. 7.1. Физические свойства шлака

Плотность, т/м <sup>3</sup>	Объёмная масса, т/м <sup>3</sup>	Твёрдость по Протодьяконову	Влага, %	Пористость, %
3,5	3,0	14-16	0,5-1,5	2,8

Табл. 7.2. Химические свойства шлаков, %

Агрегат	Cu	Zn	S	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
«Аусмельт»	1,3-1,8	0,3-0,6	0,8-1,2	26-28	4-8	34-42	3-5
Конвертор	3,0-7,0	0,5-1,0	1,8-3,0	19-21	2-3	45-48	10-15

Позднее (2012 г.), в период устойчивой работы печи «Аусмельт», научно-исследовательским центром компании «Финпромко-Унипромедь» под руководством С. Ю. Семидалова была выполнена исследовательская работа по изучению минералогического и гранулометрического состава шлаков ЗАО «Карабашмедь» [66].

При изучении вещественного состава перерабатываемых шлаков было установлено, что шлак печи «Аусмельт» и конвертерный шлак имеют существенные различия в составе и свойствах. Шлак печи по меди беднее в 1,5-3,0 раза, чем конвертерный шлак, он более твёрд и прочен и имеет меньшую размерность зёрен медсодержащих минералов. Кроме того, имеется различие в соотношении минералов в шлаках. Печной шлак практически не содержит металлической меди, а конвертерный шлак ею обогащён. До 20-25 % меди в конвертерном шлаке находится в металлическом виде.

Распределение меди по классам крупности в шлаке «Аусмельт» представлено в таблице 7.3.

До 68,4 % меди в перерабатываемом шлаке находилось в классах крупности плюс 3,0 мм. Массовая доля меди в крупных классах перерабатываемой шихты имела тенденцию к снижению.

В классах крупности -3,0 мм массовая доля меди была выше, чем во всей шихте в 1,1-1,2 раза, в классах крупности -0,074 мм – выше в 2,0 раза. Для дроблённого печного шлака для каждого класса крупности был определён минералогический состав материала.

**Классы крупности +3,0 мм.** Макроскопически – остроугольные обломки тёмного (чёрного) цвета, средне- и сильнопрочные, с матовым до металлического блеском, плотные частично с кавернами (дырками) размером 0,1-0,5 мм, редко 1,0-2,0 мм.

Табл. 7.3. Распределение меди по классам крупности в шлаке «Аусмельт», %

Классы, мм	Выход	Массовая доля	Распределение
+10,000...-13,000	15,75	1,29	68,40
+5,000...-10,000	44,25		
+3,000...-5,000	17,00		
+1,000...-3,000	11,25		
+0,500...-1,000	4,56		
+0,200...-0,500	3,22		
+0,074...-0,200	2,22		
-0,074	1,75		
<b>Итого</b>	<b>100,00</b>		

В проходящем свете микроскопа обломки не просвечивают и только в краевых частях наблюдается стекловатая (непрозрачная) масса, на фоне которой выявляются призматические кристаллы амфибала и чёрные рудные минералы (фото 7.1).

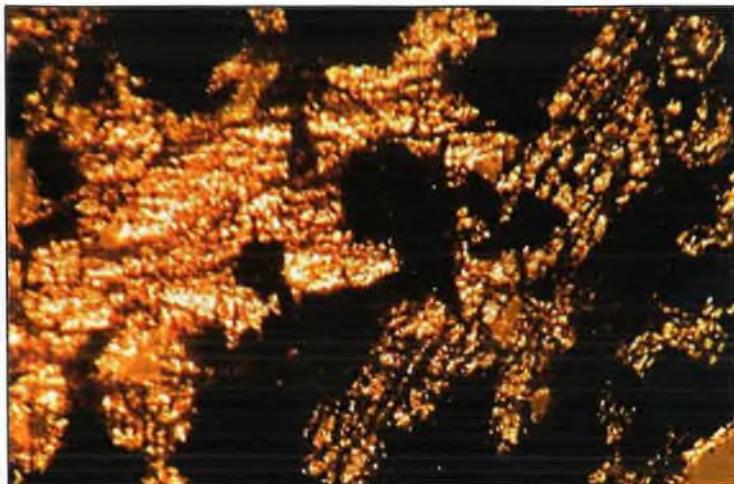


Фото 7.1. Шлак печи «Аусмельт», класс +3,0...-5,0 мм;  
призматические кристаллы амфибала (светло-серое),  
рудные минералы (чёрное). Прозрачный шлиф, проходящий свет,  
без анализатора, ув. 100<sup>х</sup> [66]

**Класс крупности +1,0...-3,0 мм.** В отражённом свете микроскопа выявляется раскристаллизованная масса, состоящая из тонко-зернистых, даже субмикроскопических вкраплений кристалликов

магнетита, нерудных минералов и стекла, а также полностью кристаллическая – зернистая «порода», состоящая из кристаллов фаялита (25 %), амфибола (20 %), магнетита (20 %), кубанита (1,2 %), борнита (0,8 %), куприта (0,6 %), тенорита (0,4 %), энаргита и халькозина (редкие зерна), металлической меди и железа (редкие зерна).

Стекло и другие алюмосиликаты, а также минералы цинка в исследуемом шлаке составляют около 32 %. Фаялит представлен изометричными кристаллами с хорошо выраженнымими одной-шестью гранями размером 0,01–1,0 мм (фото 7.2).

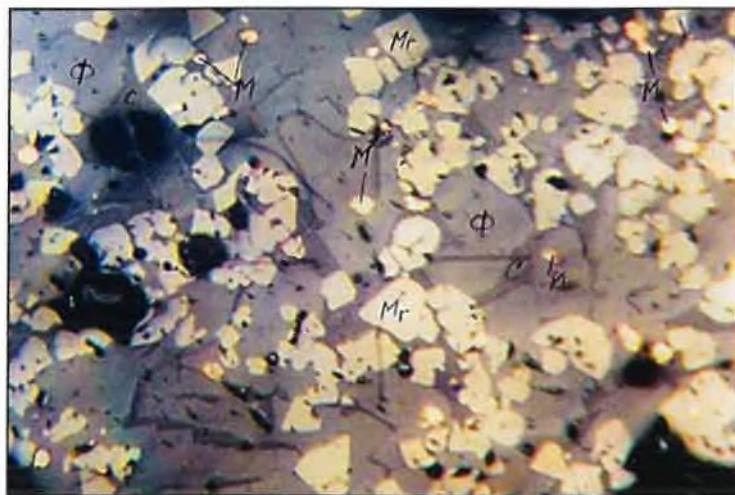


Фото 7.2. Шлак печи «Ausmelt», класс +1,0... –3,0 мм;

Ф – фаялит; М – магнетит; М – медь металлическая, С – стекло; чёрное – дефекты полировки. Полированный шлиф, отражённый свет, без анализатора, ув. 100<sup>х</sup> [66]

Амфибол – призматические кристаллы с ровными гранями размером 0,01–0,05 x 0,1–1,0 мм. В поперечном сечении – многоугольники размером 0,1–0,5 мм.

Магнетит – неравномерно рассредоточенные зерна, реже агрегаты, иногда гнезда. Рассредоточенные зерна в раскристаллизованном шлаке представлены изометрично – неправильными образованиями с неровными границами, иногда огранёнными (1–2 грани) и ровными.

В слабораскристаллизованном шлаке – это мельчайшие (точечные) субмикроскопические изометрические образования размером не более 0,001–0,005 мм, иногда они располагаются гнездообразно (по 5–10 зёрен), сосредотачиваясь вдоль «останцев» эфузивной (материнской, нерасплавленной) породы.

Агрегаты, составленные двумя-пятью зёрнами, имеют весьма неправильную форму с многочисленными заливами и бухтами, выполненными шлаковой составляющей. Их размер 0,5–1,0 мм, структура в центральной части неяснозернистая, по периферии явнокристаллическая с размером зёрен 0,05–0,1 мм.

Медные минералы встречаются в виде гнездообразных вкрапленников округлой, эллипсовидной или неправильной формы различных размеров и представляют собой их сростки друг с другом:

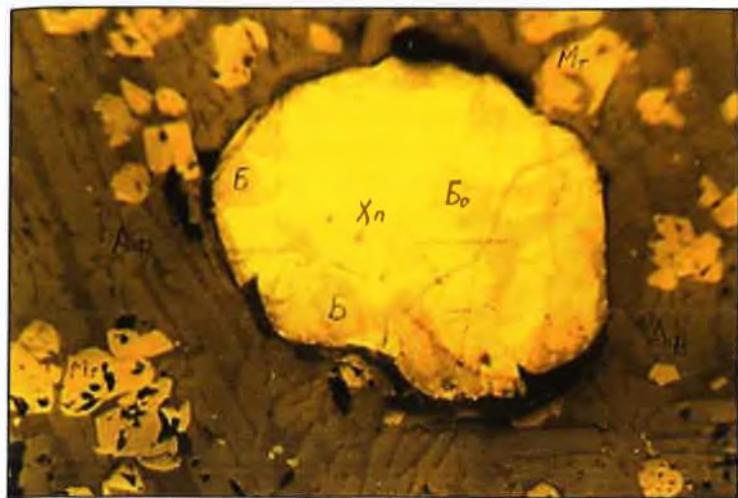
- округлые «капли» (диаметром 0,1–0,5 мм), состоящие в центральной части из зернистого куприта (0,01–0,03 мм), по периферии которого располагаются борнит (0,01–0,02 мм), тенорит (0,005–0,01 мм), халькозин (0,02–0,05 мм) и металлическая медь (0,01–0,03 мм);
- овально-эллипсовидные агрегаты (диаметром 0,2–0,3 мм), состоящие из энартита (0,03–0,1 мм) кристаллически-зернистого строения (размер отдельных зёрен 0,001–0,05 мм) с вкраплениями куприта округлой формы диаметром 0,03–0,06 мм с оторочками кубанита (0,005–0,01 мм) и секущей жилкой меди мощностью около 0,001 мм;
- окружный (диаметром 0,2–0,5 мм) агрегат энаргита (0,05–0,1 мм) кристаллически-зернистого строения (0,01–0,03 мм) с вкраплениями кубанита (0,05–0,1 мм), куприта (0,02–0,03 мм) и халькозина (0,03–0,06 мм);
- «гнезда» (0,2–0,5 мм) борнита (0,1–0,3 мм) с халькопиритом (0,05–0,1 мм) – (фото 7.3).

Все медные минералы представлены только вкраплениями в шлаке (свободные зерна в печном шлаке данной крупности – отсутствуют).

**Класс крупности +0,5...–1,0 мм.** В структурном отношении шлак аналогичен вышеописанному, однако в нем появляются свободные зерна и агрегаты медных минералов, а также самостоятельные их вкрапления.

В его составе присутствуют: фаялит (25 %), амфибол (20 %), магнетит (20 %), кубанит (25 %), борнит (1 %), куприт (0,5 %), тенорит

(0,5 %), энаргит и халькозин (редкие зерна), халькопирит и медь металлическая (единичные зерна). Стекло и другие алюмосиликаты, а также минералы цинка составляют около 32 %.



**Фото 7.3.** Шлак печи «Ausmetl», класс +1,0 ... -3,0 мм;  
Аф – призматические кристаллы амфибола; Мг – магнетит;  
Б-Хп – борнит-халькопиритовое «гнездо».  
Полированный шлиф, отражённый свет, ув. 150<sup>х</sup> [66]

Медные минералы, как и в классе крупности +1,0...–3,0 мм, встречаются в виде таких же вкрапленников сложных сростков друг с другом. Однако здесь присутствуют самостоятельные их вкрапления и свободные зерна:

- куприт в виде круглых «капель», изометрично неправильных зёрен размером 0,01–0,06 мм;
- кубанит – рассеянные зерна изометрично неправильной формы размером 0,005–0,01 мм, иногда округлые агрегаты диаметром того же размера;
- вкрапленники борнита окружной, изометричной и неправильной формы размером 0,05–0,1 мм; часто имеют решетчатое строение с халькопиритовыми пластинками толщиной от волосовидной до 0,001 мм;

– округлые «капли» и неправильной формы вкрапления меди в шлаке диаметром 0,005–0,03 мм, размером 0,05–0,1 мм (фото 7.4).

Свободные зерна медных минералов составляют 17 % от их количества.

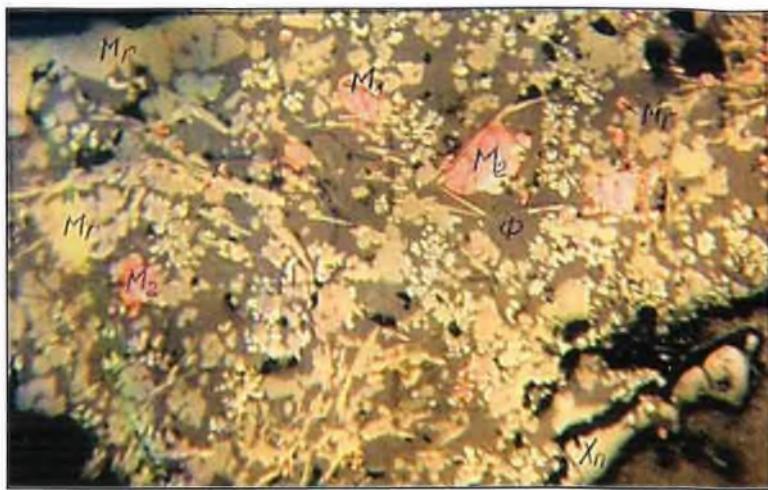


Фото 7.4. Шлак печи «Аусмельт», класс +0,5...–1,0 мм;

M<sub>1</sub> и M<sub>2</sub> – округлые и неправильной формы вкрапления в шлаке;

Mg – магнетит; Ф – фаялит; Xp – халькопирит.

Полированный шлиф, отражённый свет, ув. 150<sup>х</sup> [66]

**Класс крупности +0,2...–0,5 мм.** Состав: фаялит (25 %), амфибол (20 %), магнетит (20 %), кубанит (1 %), борнит (0,5 %), куприте (0,3 %), тенорит (0,3 %), энаргит и халькоzin (редкие зерна), прочие – около 33 %.

Медные минералы представлены как сложными сростками, так и самостоятельными образованиями:

- кубанит и куприте – округло-овальные, удлинённые, изометрически неправильные сростки размером 0,5–0,1 мм;
- борнит – халькоzinовые зональные агрегаты: (0,05–0,2 мм) в центре борнит, по краям халькоzin в виде тонкой (0,005–0,01 мм) каёмки; редко наоборот;
- кубанит – борнит-энаргитовые агрегаты размером до 0,5 мм;
- самостоятельные вкрапления различных форм и размеров (от 0,005 мм до 0,1–0,2 мм) перечисленных выше медных минералов.

Количество свободных зёрен медных минералов увеличивается до 37 %.

**Класс крупности +0,074...–0,200 мм.** Состав: фаялит (25 %), амфибол (20 %), магнетит (20 %), кубанит (1 %), борнит (1 %), халькозин (1 %), куприт (0,5 %), тенорит (0,5 %), медь и халькопирит (редкие зерна), прочие – около 31 %.

Медные минералы, в основном в виде самостоятельных свободных зёрен, а также совместных агрегатов:

- кубанит (0,01–0,03 мм), замещающий центральную часть агрегата, обрастает с одной стороны борнитом (0,005–0,01 мм), а с другой – купритом (0,005–0,02 мм);
- борнит, самостоятельный агрегат, весьма неправильной формы размером 0,012 x 0,06 мм;
- тенорит, самостоятельные зерна удлинённой формы размером 0,03–0,06 x 0,1–0,15 мм;
- медь металлическая, самостоятельные образования, округло-овальной формы диаметром 0,02–0,03 мм;
- борнит – купритовые сростки (свободные агрегаты) удлинённой формы размером 0,03–0,06 x 0,12–0,15 мм;
- борнит (свободные агрегаты) округло-квадратной формы размером 0,01–0,05 x 0,1–0,12 мм, содержащие только пластинки халькопирита и т. п.

**Класс крупности –0,074 мм.** Медные минералы представлены самостоятельными зёрнами в количестве: борнит – 2,0 %; куприт – 1,0 %; кубанит – 1,0 %; халькопирит и халькозин – 1 %; медь металлическая – редкие зерна. Изредка встречаются агрегаты борнит – халькозин и кубанит – куприт, также халькопирит решётчатый в борните.

Весь печной шлак совместно с конвертерным шлаком в составе шихты перерабатывается по схеме флотационного обогащения. Участок по переработке шлаков текущего производства (УПШТП – ОФ) включает в себя дробильное отделение, главный корпус (измельчение первой-второй стадии, флотация, сгущение и фильтрация медного концентрата, реагентное отделение), корпус измельчения и фильтрации (измельчение третьей стадии, сгущение и фильтрация строительных песков (фото 7.5). Годовая производительность ОФ равна 767,32 тыс. тонн по перерабатываемому шлаку.

Металлургический шлак с температурой в пределах от 0 до 70 °C автомобильным транспортом доставляется на площадку у среднего склада фабрики к шлаковым бункерам (рис. 7.1). Пропуск

шлака в бункеры с размером ячеек решётки 300 x 300 мм осуществляется с помощью гидромолота. Подрешётный продукт из бункеров пластинчатыми питателями дозируется на ленточный конвейер и подаётся для грохочения на колосниковый питатель щековой дробилки С-96 ASC. Размер щели между колосниками питателя 30 мм. Надрешётный продукт крупностью –300...+30 мм поступает в щековую дробилку крупного дробления с разгрузочной щелью не более 60 мм. Подрешётный продукт питателя и разгрузка щековой дробилки разгружаются на ленточный конвейер, которым подаются для предварительно-поверочного грохочения на двухдечный инерционный грохот CVB1540-2 с размером ячеек верхнего сита 30 мм, нижнего – 15 мм. Надрешётный продукт двухдечного грохота крупностью –30...+14 мм, разгружается на ленточный конвейер и поступает на 2 стадию дробления в конусную дробилку Trio TC84X с разгрузочной щелью 6–8 мм.



Фото 7.5. Фабрика ЗАО «Карабашмедь» по переработке шлака

В качестве резервного оборудования предусмотрена конусная дробилка КМД-1750Т с возможностью одновременной работы с основной дробилкой.

Дроблённый продукт конусной дробилки поступает на поверочное грохочение на двухдечном грохоте. С целью снижения потерь сырья (шлака) и загрязнения атмосферного воздуха щековой пылью

предусмотрена организация пяти аспирационных систем на узлах пересыпки с конвейера на конвейер, с конвейера в технологическое оборудование, с технологического оборудования на конвейер.

Дроблённое медное сырье перерабатывается по схеме прямой медной флотации с получением медного концентрата (пенный продукт) и строительных песков (камерный продукт).

Измельчение производится в три стадии в замкнутом цикле с классифицирующим оборудованием (фото 7.6). Флотация осуществляется в 3–5 стадий в зависимости от исходного содержания меди: межцикловая, основная и контрольная, две перечистные флотации.



Фото 7.6. Главный корпус обогатительной фабрики

Пенный продукт (концентрат) второй перечистки является готовым медным концентратом, который по сливным желобам поступает в распределительный короб, откуда песковыми насосами перекачивается в распределительный короб и самотёком поступает в сгуститель Ø 12 м, либо при необходимости производится переключение на сгуститель Ø 6 м. Камерный продукт второй перечистки и пенный продукт (концентрат) контрольной флотации по сливным желобам поступает в распределительный короб, откуда по технологическим трубопроводам насосом перекачиваются в приёмный карман основной флотации.

Камерный продукт контрольной флотации (строительные пески) сливается в зумпф с песковыми насосами, откуда перекачиваются в сгуститель Ø 24 м. Пески являются отвальным продуктом по содержанию меди. Готовый медный концентрат образуется при объединении ряда продуктов: пенного продукта (концентрата) межциклической флотации, либо второй перечистки.

Сгущение продуктов обогащения осуществляется в радиальных сгустителях. Медный концентрат сгущается в сгустителе Supaflo Ø 12 м, хвосты обогащения (строительные пески) – в сгустителе Симм-Групп Ø 24 м корпуса измельчения и фильтрации (КИФ). Фильтрация медного концентрата осуществляется на двух керамических вакуум-фильтрах KS-3-45 и одном Р45/15-С, два из которых находится в работе, третий в резерве. Фильтрация строительных песков осуществляется на двух вакуум-фильтрах ДОО 100 x 2,5, в качестве резервного аппарата фильтрации предусмотрен один вакуум-фильтр ДОО 63 x 2,5. В корпусе дополнительно установлены: вертикальная мельница Vertimill VTM-1500-WB третьей стадии измельчения с гидроциклонной установкой НС250-10-1, оборудование для фильтрации и транспортировки строительных песков. Удельный расход электроэнергии на тонну перерабатываемого шлака: по участку дробления 10 кВт/ч; по главному корпусу 42,9 кВт/ч; участку тонкого помола, сгущения и фильтрации 20,8 кВт/ч. Удельный расход электроэнергии по ОФ 72,6 кВт/ч на тонну шлака.

Химический состав медного концентрата и песков от переработки металлургического шлака представлен в таблице 7.4.

Табл. 7.4. Химсоставы продуктов переработки, %

Элемент	Концентрат	Пески
Cu	18–25	0,4–0,6
As	0,06–0,1	0,03
Pb	0,4–0,6	0,2
Zn	0,5–1,5	0,8
Fe	20–30	34–37
S	5–10	0,2–0,4
SiO <sub>2</sub>	16–23	28–30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1–2	1–4
CaO	0,6–2,0	3–4

Медный концентрат состоит из двух продуктов: слива межциклической флотации и слива второй перечистки основной флотации. Минералогический состав концентрата межциклической флотации разделяется по классам

крупности следующим образом.

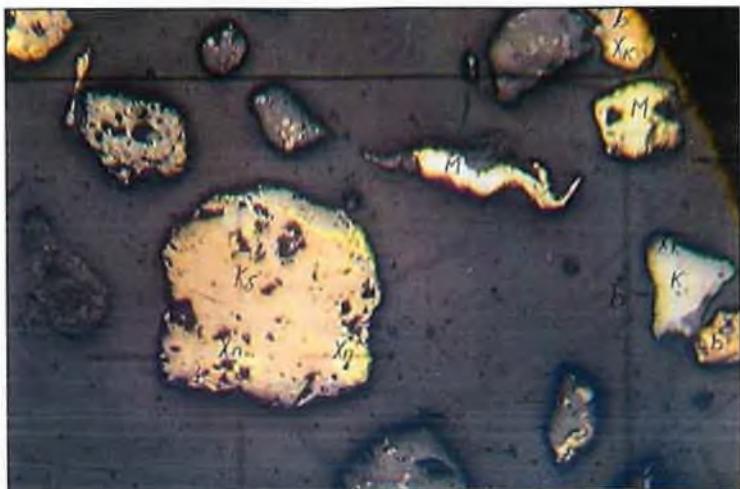
**Класс крупности +0,074...–0,200 мм.** Обломки изометричной, эллипсовидной, округлой, редко угловатой формы.

Обломки состоят на 58 % из шлака, нерудных минералов, магнетита и минералов цинка.

Медные минералы (42 %) представлены борнитом (20 %), халькозином (7 %), купритом (5 %), кубанитом (3 %), теноритом (1 %), халькопиритом (1 %), металлической медью (5 %).

Борнит образует как собственные агрегаты и зерна размером 0,1–0,05 мм, так и сростки с халькопиритом (фото 7.7).

Халькозин чаще ассоциирует с борнитом, где он занимает незначительные площади агрегатов в виде примазок-сростков, а также жилок мощностью 0,005–0,01 мм.



**Фото 7.7.** Концентрат межцикновой флотации, класс +0,74...–0,2 мм;

Кб – кубанит с вкраплениями халькопирита (Хп);

М – змейка зерна меди металлической; К – куприт с каймой халькозина (Хх); Б – борнит.

Полированный шлиф, отраженный свет, ув. 250<sup>х</sup> [66]

Куприт также часто ассоциирует с борнитом, но по размерам он не уступает ему (0,1–0,05 мм).

Кубанит – агрегаты округлой, овальной формы диаметром 0,01–0,1 мм, содержащие вкрапления халькопирита.

Медь металлическая – свободные образования в виде «капель», неправильных кружочков и эллипсов диаметром 0,01–0,1 мм, а также крупные вытянутые агрегаты размером 0,05–0,1 x 0,1–0,2 мм.

Тенорит и халькопирит – самостоятельные вкрапления и сростки со шлаком размером 0,01–0,05 мм.

В целом количество свободных зёрен медных минералов 65 %, сростков – 35 %.

**Класс крупности +0,044...–0,074 мм.** Состоит на 50–51 % из медных минералов. Медные минералы: борнит (16 %), кубанит (15 %), куприт (7 %), халькозин (5 %), халькопирит (5 %), тенорит (1 %). Металлическая медь – 2 %. Количество свободных минералов меди 90 %, сростков – 10 %.

**Класс крупности –0,044 мм.** Состоит на 48–50 % из медных минералов. Медные минералы представлены халькозином (15 %), борнитом (14 %), кубанитом (8 %), купритом (5 %), халькопиритом (3 %), теноритом (1 %); количество свободных зёрен – 95 %. Медь металлическая – 2 %, свободная.

Концентрат второй перечистки имеет несколько иной минералогический состав.

**Класс крупности +0,2 мм.** Изометрично-угловатые обломки, состоящие на 80 % из стекла, нерудных, цинковых минералов и магнетита.

Медные минералы представлены борнитом (5 %), халькозином (3 %), кубанитом (2 %), халькопиритом (2 %), купритом (1 %) и редкими зёрнами тенорита и энаргита.

Борнит – халькозиновые агрегаты имеют неправильную (0,01–0,1 мм), вытянутую (0,01–0,05 x 0,1–0,2 мм) или округло-овальную (диаметром 0,1–0,3 мм) форму и вкраплены в шлаковую составляющую. Часто имеют зональное строение: в центре борнит, по краям халькозин в виде тонкой (0,005–0,01 мм) прерывистой оболочки.

Кубанит – неправильной формы агрегаты размером 0,01–0,15 мм. Часто ассоциируют с медью, которая занимает центральную его часть.

Куприт – несколько вытянутые (0,01–0,05 x 0,1–0,15 мм) агрегаты с весьма неровными границами со шлаком.

Тенорит и энаргит – изометрично-угловатые агрегаты размером 0,005–0,015 мм.

Свободных минералов меди – 56 %, сростков – 44 %.

Медь металлическая – 3 % от площади аншлифа.

**Класс крупности +0,074...–0,200 мм.** Изометрично неправильные обломки, состоящие на 85 % из стекла, нерудных, цинковых минералов и магнетита.

Медные минералы – борнит (7 %), халькозин (2 %), кубанит (2 %), куприт (0,8 %), халькопирит (1 %), редкие зёरна тенорита и энаргита.

Структурные особенности минералов и их взаимоотношений аналогичны описанным в продукте класса +0,2 мм, кроме того, что халькозин содержит мельчайшие пластинки борнита, а борнит – халькопирита (решетчатая структура).

Свободные зерна – 71 %, сростки – 28 %.

**Класс крупности +0,044...–0,074 мм.** Стекло, нерудные и цинковые минералы, магнетит – 91 %.

Медные минералы – борнит (4 %), халькозин (2 %), тенорит (1 %), энаргит (1 %), куприт (0,5 %), халькопирит (редкие зерна). Медь металлическая – 1 %.

Количество свободных зёрен – 87 %, сростков – 13 %.

**Класс крупности +0,044 мм.** Стекло, нерудные минералы и магнетит – 82 %.

Медные минералы: борнит – 12 %, халькозин – 2 %, кубанит – 1 %, тенорит – 0,8 %, куприт – 0,5 %, энаргит – 0,5 %, халькопирит и медь металлическая – редкие зерна.

Количество свободных зёрен медных минералов – 96 %.

Смесь концентратов – **готовый медный концентрат** имеет следующий состав.

**Класс крупности +0,2 мм.** Магнетит, цинковые минералы, стекло и силикаты – 70 %.

Медные минералы: борнит – 9 %, халькозин – 7 %, халькопирит – 5 %, куприт – 5 %, тенорит – 3 %, медь – 1 %. Крупные (1,5–2,0 мм) зональные агрегаты: в центре борнит (1,0 мм), рассеянный жилками халькозина мощностью 0,001–0,005 мм, по краям – халькопирит (0,01–0,03 мм) и куприт (0,01–0,02 мм). Кроме того, эти минералы самостоятельно наблюдаются в свободном состоянии размером 0,01–0,03 мм, редко 0,5 мм и вкраплениями в шлаке (0,001–0,01 мм).

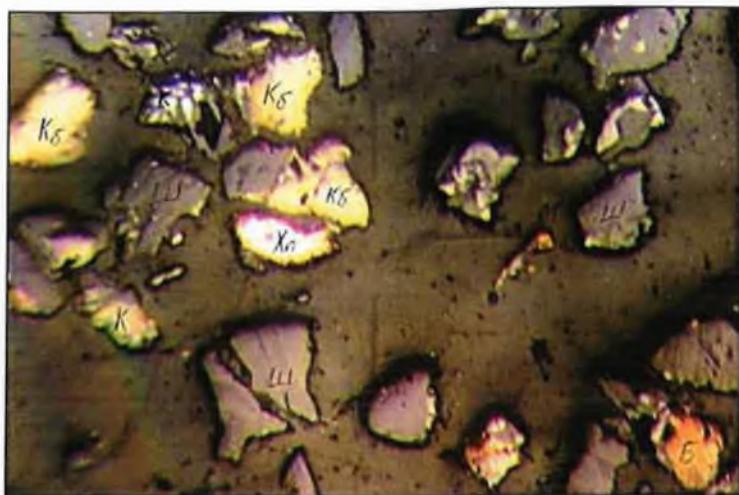
Тенорит – свободные зерна (0,01–0,1 мм), но чаще в шлаке (0,01–0,03 мм), и содержит вкрапления меди диаметром 0,01–0,05 мм.

Свободная медь – удлинённые агрегаты размером 0,01–0,05 x 0,1–0,2 мм. Количество свободных медных минералов – 35 %.

**Класс крупности +0,074...–0,200 мм.** Магнетит, цинковые минералы, стекло, силикаты – 72 % (фото 7.8).

Медные минералы: борнит (12 %), халькозин (6 %), куприт (4 %), тенорит (2 %), халькопирит (3 %), медь (1 %).

Структурные особенности, характер взаимоотношений одинаковы с продуктом класса +0,200 мм, отличаясь лишь размером свободных зёрен (их количество достигает 55 %).



**Фото 7.8.** Готовый медный концентрат, класс +0,74...–0,2 мм;  
Б – борнит; Кб – кубанит; Хп – халькопирит;  
М – медь металлическая; К – куприт; Ш – шлаковые минералы.  
Полированный шлиф, отражённый свет, ув. 150<sup>х</sup> [66]

**Класс крупности +0,044...–0,074 мм.** Магнетит, стекло, цинковые минералы, силикаты – 80 %.

Медные минералы: борнит – 8 %, кубанит – 7 %, куприт – 3 %, тенорит – 1 %, халькопирит – 1 %, медь металлическая – редкие зёрна.

Борнит – свободные изометрично неправильные зёрна размером 0,03–0,005 мм, вкрапления в шлаке 0,005–0,01 мм. Сростки с халькопиритом, иногда с теноритом.

Халькозин – свободные изометрично неправильной формы зёрна размером 0,01–0,03 мм, вкрапления в шлаке 0,005–0,03 мм.

Куприт – свободные зёрна размером 0,005–0,100 мм.

Тенорит – свободные зёрна размером 0,01–0,02 мм, вкрапленники в шлаке (0,005–0,010 мм).

Халькопирит – тонкие (0,001 мм и менее) пластиинки в борните.

Медь – свободные зёрна неправильной вытянутой формы, размером 0,01 x 0,05 мм. Количество свободных зёрен медных минералов – 83 %.

**Класс крупности –0,044 мм.** Магнетит, цинковые минералы, силикаты, стекло – 80 %.

Медные минералы: борнит (10 %), хальказин (7 %), куприт (2 %), тенорит, халькопирит и медь – редкие зёрна.

Свободные медные минералы и медь – 92 %, в сростках – 8 % борнит (0,001–0,05 мм) и хальказин (0,01–0,03 мм).

Пески флотации представлены следующим минералогическим и гранулометрическим составом:

**Класс крупности +0,200 мм.** Магнетит, нерудные и цинковые минералы – 98 %.

Медные минералы: борнит (1 %), хальказин (0,5 %), куприт и тенорит – редкие зёрна, вкрапленные в шлак в виде изометрично неправильных зёрен размером 0,01–0,1 мм. Свободные зёрна отсутствуют.

**Класс крупности +0,074...–0,200 мм.** Стекло, магнетит, нерудные и цинковые минералы – 98 %.

Медные минералы: борнит – 1 %, хальказин, куприт, тенорит – редкие зёрна. Аналогично предыдущему продукту, но кроме вкраплений медные минералы образуют сростки со шлаком (то есть занимают краевые его части). Свободные зёрна отсутствуют.

**Класс крупности +0,044...–0,074 мм.** Магнетит, стекло, нерудные и цинковые минералы – 99 %.

Медные минералы: борнит – менее 1 %, хальказин – редкие зёрна. Минералы в виде сростков со шлаком размером 0,01–0,03 мм.

**Класс крупности –0,044 мм.** Стекло, магнетит, нерудные и цинковые минералы – 99 %.

Медные минералы – борнит (менее 1 %), куприт (редкие зёрна). Минералы в виде сростков со шлаком размером 0,005–0,01 мм.

Изучение отвальных хвостов обогащения показало, что медь в них представлена преимущественно борнитом, купритом, хальказином, теноритом и металлической медью. Среди всех этих соединений меди преобладает борнит.

Доля свободных зёрен медных минералов достигает 10 % от всего количества медсодержащих частиц в хвостах. До 90 % медсодержащих частиц находится в сростках с фаялитом, магнетитом и амфиболами.

Размер свободных частиц медных минералов и металлической меди до 0,03–0,05 мм, куприта – 0,2 мм. В сростках преобладающий размер зёрен медных минералов 0,030–0,010 мм.

Количество свободных зёрен медсодержащих минералов и их размер в отвальных хвостах показали направления и пути совершенствования технологии флотации, что было в полном объёме реализовано в последующие годы.

Извлечение из отвальных хвостов до 30–40 % свободных медсодержащих частиц в концентрат и повышение тонины помола с 84–85 % до 90 % класса –0,074 мм обеспечило повышение извлечения меди в медный концентрат на 12 %.

Характеристика и тип основного оборудования фабрики представлены в таблице 7.5.

Основными потребителями электроэнергии обогатительной фабрики являются электродвигатели дробильной установки, конвейеров, шаровых мельниц, флотационных машин, сгустителей, дисковых вакуум-фильтров, керамических фильтров, вакуум-насосов, воздуходувок, горизонтальных и вертикальных насосов, вентиляторов, другого обогатительного оборудования и электрическое освещение.

По степени надёжности электроснабжения электроприёмники главного корпуса относятся ко 2-й категории, электроприёмники дробильно-сортировочного комплекса к 3-й категории.

На обогатительной фабрике предусмотрены следующие системы водоснабжения: хозяйственно-питьевой водопровод; водопровод горячей воды; производственно-противопожарный водопровод (свежей воды); производственный водопровод оборотной воды (через сгуститель); водопровод технической воды для охлаждения.

Медный концентрат, получаемый от переработки шлака, возвращается на комплекс «Аусмельт» на плавку. Хвосты флотации в качестве строительного материала – песков – отгружаются потребителям в строительной и цементной промышленности.

Реконструкция и модернизация обогатительной фабрики на ЗАО «Карабашмедь» продолжается с целью увеличения объёмов перерабатываемого шлака с печи и улучшения показателей по переработке конвертерного шлака.

## ГЛАВА 8. УТИЛИЗАЦИЯ СЕРЫ

Исторически так сложилось, что на медеплавильном комбинате в г. Карабаш металургическое производство не было оснащено системами утилизации газа. Построенные в разные годы газоочистные системы и цех по улавливанию и переработке металлургических пылей предназначались только для уменьшения выбросов твёрдых веществ в окружающую среду.

Выбросы диоксида серы в окружающую среду от работы шахтных печей и конверторов приводили к загрязнению воздуха не только на промплощадке, но и в городской черте. При неблагоприятных погодных условиях содержание  $SO_2$  в воздухе превышало ПДК в десятки раз.

Ухудшение здоровья людей, проживающих в г. Карабаш, стимулировало их к покиданию города и, соответственно, к деградации всего коммунального и социального хозяйства в нём, включая объекты инфраструктуры. Социальные протесты жителей обострялись с каждым годом на фоне понижения значимости предприятия в народном хозяйстве страны, разрушения зданий и сооружений завода, установления технологий и используемого оборудования.

Неоднократные решения Министерства цветной металлургии СССР о начале строительства производства по утилизации газообразных выбросов по разным причинам откладывались. Это явилось одной из причин по ограничению предприятия в медьсодержащем сырье в советское время и постепенном сворачивании металлургического производства в г. Карабаш в 90-х годах прошлого столетия.

После принятия решения о возрождении предприятия и проработки различных вариантов утилизации диоксида серы предприятие приступило к строительству двух различных сернокислотных производств в три этапа:

- на первом – строительство цеха для переработки газа с низкими и изменяющимися концентрациями и количеством на период работы шахтных печей, проведение пусконаладочных работ на автогенном плавильном комплексе Ausmelt и его освоение;
- на втором – строительство второго сернокислотного цеха для переработки богатых и стабильных по содержанию газов автогенных процессов (печи и частично конверторов);
- на третьем – строительство второго цеха для утилизации всех металлургических газов (от печи и конверторов).

## 8.1. Мокрый катализ

При реализации первого этапа были рассмотрены варианты по утилизации диоксида серы с низкими и нестабильными концентрациями путём химической очистки (опыт предприятий чёрной металлургии и химической промышленности), применению нестационарных процессов (опыт комбинатов ОАО «Печенганикель» и АООТ «ММСК»), применению ДК-ДА при дополнительном сжигании элементарной серы для стабилизации газа (опыт АООТ «ММСК» и ЗФ ГМК «НН»). Все эти классические варианты имели свои достоинства и недостатки, но ни один из них не позволял качественно и эффективно решить проблему газоочистки в условиях ЗАО «Карабашмедь» [43].

В 90-х годах фирмой Haldor Topsoe A/S (Дания) был разработан и внедрён новый способ и оборудование для получения концентрированной серной кислоты из отходящих газов с использованием процесса WSA (катализ влажного газа) без начальной или промежуточной осушки с последующей конденсацией серной кислоты из газов в газовоздушном теплообменнике.

Технология не имела аналогов в России и имела следующие отличительные особенности для применения в металлургическом производстве: не требуется предварительная осушка газов; высокая степень конверсии (до 98 %) при широком диапазоне концентрации  $SO_2$  в технологическом газе (0,5–6,5 % об.) обеспечивается за счёт использования активного низкотемпературного катализатора и конденсаторов серной кислоты; автотермичность процесса; при содержании  $SO_2$  в технологическом газе более 6,0 % об. установка вырабатывает пар; оснащение устройством подавления тумана серной кислоты; высокая степень утилизации тепла химических реакций; отсутствие потоков разбавленных кислот; отсутствие водяных теплообменников, охлаждение обеспечивается применением солевого расплава в циркуляционных контурах межполочных теплообменников; низкая стоимость, компактность и длительные межремонтные сроки эксплуатации установки; высокая степень автоматизации, не требующая вмешательства обслуживающего персонала.

Сущность технологического процесса мокрого катализа заключается в том, что влажный металлургический газ после его обеспыливания в промывном отделении ступенчато нагревается в регене-

ративных теплообменниках до температуры 400 °C. Нагрев осуществляется в две стадии: на первой стадии в подогревателе исходного газа до температуры 150 °C – горячим воздухом от конденсатора; на второй стадии в нагревателе технологического газа до температуры катализа 400 °C – за счёт теплообмена с расплавом соли. Для обеспечения соответствующего разряжения в предшествующем промывном отделении перед подогревателем устанавливается первая газодувка.

После воздушного теплообменника перед нагревателем технологического газа устанавливается вторая газодувка, обеспечивающая преодоление сопротивления всей установки. В период низкой концентрации  $SO_2$  для обеспечения теплового баланса аппарата перед второй газодувкой устанавливается горелка, работающая на природном газе.

Газ с температурой 400 °C поступает в контактный аппарат, в котором на сернокислотном катализаторе Topsoe (VK-WSA – кольца Рашига и VK-59 – «ромашка») происходит окисление  $SO_2$  до  $SO_3$  в двух адиабатических каталитических ступенях по равновесной реакции, идущей с выделением тепла:  $SO_2 + 1/2O_2 = SO_3 + Q$ .

Для обеспечения высокой конверсии требуется отвод тепла и охлаждение газа, что осуществляется перед второй ступенью катализа во встроенным межслойном охладителе. Охлаждение газа осуществляется бесконтактно расплавом соли с температурой 554 °C до 417 °C. Общая степень конверсии не менее 98 %.

Технологический газ после второй ступени конверсии охлаждается во втором солевом теплообменнике до температуры 290 °C, что выше точки росы серной кислоты, равной для данных условий 260 °C. При высоких температурах и в присутствии влаги происходит образование паров серной кислоты:  $SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + Q$ .

Затем газы поступают в конденсатор, в котором происходит конденсация серной кислоты. В конденсаторе температура газа снижается до 95 °C. Тип аппарата – конденсатор с падающей плёнкой, имеющий ряды стеклянных трубок для теплообмена и конденсации. Поток технологического газа движется вверх по трубному пространству, а сконденсированные пары кислоты в виде плёнки спускаются вниз по стенкам трубок в сборник кислоты. Технологический газ, содержащий азот, кислород, пары воды и остаточное содержание  $SO_3$  не выше 10 ppm выбрасывается в трубу.

Охлаждение газа осуществляется воздухом, который направляется далее на подогрев исходного газа. Полученная 97,5–98 % серная кислота с температурой до 95 °C направляется на охлаждение до

температуры 69 °С за счёт рециркуляции потоков серной кислоты, с последующим охлаждением до 38 °С в соответствующих холодильниках. Перед поступлением на склад готовой продукции кислота разбавляется водой до 92,8–93,5 %.

Тепло реакции от конверсии  $SO_2$  и тепло газофазной гидратации используется для подогрева технологического газа и производства пара. Тепло передаётся расплаву соли в межслойном охладителе и в холодильнике технологического газа. Горячий расплав соли охлаждается в нагревателе технологического газа и в холодильнике соли. Расплав соли циркулирует между холодильниками при температуре 275–450 °С.

Солевая смесь – это продукт, состоящий из нитратов и нитритов калия и натрия. Расплав соли циркулирует между теплообменниками, что гарантирует эффективное регулирование температуры и минимизирует объем необходимого пространства для оборудования.

При стабильном содержании  $SO_2$  в исходном металлургическом газе выше 6 % об. на установке WSA вырабатывается большое

избыточное количество химического тепла, которое не компенсируется затратами на нагрев поступающего газа. Поэтому установка может вырабатывать пара до 12 т/ч с давлением до 1,9 МПа.

Схема работы контактного узла WSA показана на рис. 8.1.1.

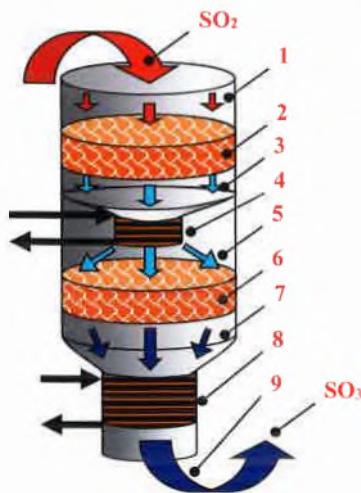


Рис. 8.1.1. Схема работы мокрого катализа, где: 1 – исходный газ с температурой 400 °С; 2 – первая ступень катализа; 3 – газ с температурой до 554 °С; 4 – первый солевой теплообменник; 5 – промежуточный газ с температурой 417 °С; 6 – второй слой катализатора (вторая ступень); 7 – газ после второго катализа; 8 – второй солевой теплообменник; 9 – газ после конверсии с температурой 290 °С

Характеристики основного оборудования процесса WSA представлены в таблице 8.1.1.

Для обеспечения надёжной работы системы мокрого катализа газ должен соответствовать требованиям, указанным в табл. 8.1.2.

Табл. 8.1.2. Требования к составу газа перед мокрым катализом

Показатели	
Содержание, % об.	SO <sub>2</sub> 3,0–6,5
	O <sub>2</sub> 6,0–13,0
	пыль не выше мг/нм <sup>3</sup> 2,0
	SO <sub>3</sub> не выше мг/нм <sup>3</sup> 15,0
	F <sup>-</sup> не выше мг/нм <sup>3</sup> 5,0
	Cl <sup>-</sup> не выше мг/нм <sup>3</sup> 0,1
	Pb не выше мг/нм <sup>3</sup> 1,0
	As не выше мг/нм <sup>3</sup> 0,1
Температура газа, °C	не выше 45

Фактический metallurgicheskiy gaz ot pechi prevyshal eti trebovaniya po vsem pokazatelyam, v tom chisle po temperaturye v 8–10 raz, po zapylennosti v 500–5000 raz, po drugim primesiam v deсяtki raz.



Dlya podgotovki pechnogo gaza k pererabotke metodom mokrogo kataliza ego podvergali дополнительной очистке после электрофильтров в системах с орошением.

Na ZAO «Kaabarash-mедь», v ramkah pervogo etapa, ispolzovali oborudovaniye kompanii Boliden Contech AB, sostoayushchее iz vysokonapornogo skorostnogo gazopromyvatеля, совmest'ennogo s dvumya absorbcionnymi kolonnami-kaple-uvolivateliyami i posleduyushchey tonkoy očistkoj ot aerozolej v mokryx elektrofiltrakh (foto 8.1.1).

Фото 8.1.1. Установка «Болиден», 2010 г.

Vo izbjekhanie nakopleniya pyli i drugih primesey, soderzhashchix se v gaze, v tsikle orosheniya skrubbera byl predusmotрен vyyvod

части циркуляционного раствора из цикла орошения в отделение очистки промстоков.

Основным аппаратом очистки газа являлся скруббер Вентури. Он представлял собой интегрированный агрегат, состоящий из следующих основных частей: квенчер, собственно сужение (горловина) Вентури, циклонов-каплеуловителей и абсорбционных башен. Газ поступал вертикальным нисходящим потоком в квенчер, где он обильно орошался водой при помощи форсунок. Вода дополнительно подавалась и в зону горловины. Тем самым обеспечивая интенсивную абсорбцию частиц пыли водой.

Из скруббера Вентури газ поступал в два параллельно установленных каплеуловителя, где циркуляционный раствор и уловленная пыль отдельно от газового потока направлялись в канальный сгуститель.

Две абсорбционные башни заполнялись полиэтиленовой насадкой в виде решёток кольцеобразной формы и орошались циркуляционным раствором, общий поток раствора составлял 626 м<sup>3</sup>/час (313 м<sup>3</sup>/час на каждую башню). Для обеспечения эффективного улавливания фтора каплеуловители были совмещены с абсорбционными башнями.

Особенностью конструкции скруббера Вентури компании Boliden Contech AB являлся регулируемый за счёт подвижного конуса зазор горловины. Перемещение конуса осуществлялось автоматически гидравлическим приводом. Вторым автоматически регулируемым параметром являлась частота вращения дымососов. Комбинация этих двух параметров регулировались таким образом, чтобы достигались оптимальные условия очистки газов в аппарате при изменении количества и напора газа на входе.

Для транспортировки технологического газа в промывном отделении последовательно устанавливались два дымососа. Дымососы были оборудованы водяными форсунками для очистки лопастей импеллера, в форсунки подавался фильтрат из отделения очистки промстоков.

После абсорбционных башен технологический газ поступал в три электрофильтра «Эдитьюб» первой ступени, а из них – в три электрофильтра второй ступени, где происходила их очистка от тумана серной кислоты и мышьяка. Две ступени мокрых электрофильтров

предусматривались в связи с высоким содержанием  $SO_3$ , свинца и мышьяка в технологическом газе и высокими требованиями по содержанию мышьяка в газах, направляемых на очистку по технологии WSA.

В газоходе перед первой ступенью электрофильтров была установлена форсунка для впрыска воды с целью улучшения поглощения  $SO_3$  и разбавления конденсата, который мог иметь высокие концентрации хлора и фтора, опасные для материалов аппаратов.

Для отвода тепла конденсации мокрые электрофильтры охлаждались оборотной водой, подаваемой в кожух электрофильтров по 60 м<sup>3</sup>/час на каждый электрофильтр. Дополнительное охлаждение

способствовало повышению степени очистки газа.

Периодически, один раз в смену, каждый электрофильтр промывали водой. Очищенный от примесей газ направлялся на установку WSA для получения серной кислоты.

Опыт эксплуатации установки WSA показал, что она полностью выполнила свою задачу первоначального этапа реконструкции предприятия (фото 8.1.2).



Фото 8.1.2. Установка WSA, 2013 г.

Строительство и эксплуатация сернокислотного цеха позволили не только запустить металлургические процессы, но и значительно их модернизировать с переходом от шахтной плавки медью содержащего сырья на автогенный процесс Ausmelt.

Достигнутые показатели на установке мокрого катализа показаны ниже:

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| – расход очищаемого газа        | 80–150 тыс. нм <sup>3</sup> /ч; |
| – температура газа на входе     | 30–45 °C;                       |
| – содержание $SO_2$             | 1,0–6,5 % об.;                  |
| – содержание $O_2$              | 6,0–13,0 % об.;                 |
| – очищенный газ содержит $SO_2$ | 4–15 ppm;                       |
| – степень конверсии             | 98 %.                           |

В ходе эксплуатации установки WSA были выявлены и обобщены проблемы, которые необходимо учитывать при проектировании и реализации мокрого катализа metallurgических газов в цветной металлургии. Ниже перечислим эти проблемы:

- а) При резком и длительном увеличении содержания диоксида серы во входящем газе выше проектных показателей происходит перегрев установки.
- б) Определённая инертность теплообменных систем при резких скачках содержания серы в газах приводит к перегреву газа на входе в конденсатор до 300 °C и лопанию стеклянных трубок. Хотя надо отдать должное, что даже в период нестабильной работы печи Ausmelt в период её освоения в 2007–2008 гг. выход из строя стеклянных трубок не превысил 4 % от их общего количества. На нагревателе технологического газа поломок трубок вообще не наблюдалось.
- в) Обслуживание и профилактический ремонт контактного аппарата и теплообменников требуют очень высокой квалификации персонала и правильной организации работ. Небрежно выполненный осмотр в 2007 г. первого солевого теплообменника привёл к утечке соли, которая при контакте с газом образует высокоагрессивную смесь азотной и серной кислот, разрушающих все применяемые материалы. Более 85 % всех остановов установки WSA после данного нарушения были связаны с последствиями непрофессионального осмотра и, соответственно, коррозии второго теплообменника, корпуса аппарата и газоходных систем.
- г) При строительстве установки в целях снижения стоимости работ часть газоходов, металлоконструкций и оборудования были выполнены в «чёрном» незащищённом исполнении. Опыт эксплуатации показывает, что все металлоконструкции и газоходы должны быть химически защищены или выполнены в нержавеющем исполнении и/или из органических материалов.

С целью устранения выявленных недостатков и в связи с увеличением мощности печи по переработке медьсодержащего сырья с увеличением объёма metallurgического газа на предприятии был реализован второй и третий этапы дальнейшего развития химико-металлургического комплекса «Аусмельт». Были приобретены, смонтированы и пущены в эксплуатацию сернокислотные цеха № 1 и № 2, работающие по классической схеме ДК-ДА.

## 8.2. Сернокислотные цеха

Проектная мощность ЦСК № 1 составила 200 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  газа, содержащего 10,64 %  $\text{SO}_2$ , в том числе 100 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  печного газа с концентрацией 17,1 %  $\text{SO}_2$  и 100 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  конвертерного газа с концентрацией 4,11 %  $\text{SO}_2$ . Проектная мощность ЦСК № 2 равна 141 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  по газу, содержащему 9,8 %  $\text{SO}_2$ .

С учётом того, что второй сернокислотный цех был построен на производственных мощностях установки WSA, общая проектная мощность сернокислотного производства на ЗАО «Карабашмедь» составляет 341 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  по металлургическому газу с концентрацией 10,29 %  $\text{SO}_2$  или 35,084 тыс.  $\text{nm}^3/\text{ч}$  по  $\text{SO}_2$  [44].

Технологические схемы обоих цехов аналогичны и представлены двойным контактированием и двойной абсорбцией (ДК-ДА). Сернокислотное производство включает в себя следующие стадии технологических процессов: мокрая очистка газов металлургического цеха в высокоэффективных скрубберах, башнях охлаждения и «мокрых» электрофильтрах промывных отделений; осушка газа в сушильной башне для получения кондиционного моногидрата и предотвращения сокращения срока службы контактной массы; первая ступень окисления диоксида серы  $\text{SO}_2$  в триоксид  $\text{SO}_3$  на ванадиевом катализаторе в контактном аппарате на 1,2 и 3 слоях; первая ступень абсорбции триоксида серы в первом моногидратном абсорбере сушильно-абсорбционного отделения; вторая ступень окисления оставшегося количества диоксида серы  $\text{SO}_2$  в триоксид  $\text{SO}_3$  на ванадиевом катализаторе в контактном аппарате на 4 слое; вторая ступень абсорбции триоксида серы во втором моногидратном абсорбере сушильно-абсорбционного отделения; складирование и отгрузка готовой продукции.

Металлургические отходящие газы от печи Ausmelt и конверторов смешиваются в камере смешивания (фор-башне) и поступают в промывные отделения очистки газа ЦСК-1 и ЦСК-2. Эти газы содержат пыль, возгоны металлов, вредные примеси мышьяка и фтора, туман серной кислоты, водяные пары. Состав поступающего газа с пылью, содержащейся в нём, представлен в таблице 8.2.1. Газовая смесь подвергается охлаждению и мокрой очистке газового потока: сначала в первом высокоэффективном скруббере, затем в башне газоохлаждения, далее во втором высокоэффективном скруббере и потом последовательно в первичных и вторичных электрофильтрах (рис. 8.2.1).

Табл. 8.2.1. Состав газа и пыли

Компонент газа	Содержание, %
SO <sub>2</sub>	9–12
SO <sub>3</sub>	0,2–0,4
CO <sub>2</sub>	1–2
H <sub>2</sub> O	24–26
N <sub>2</sub>	48–50
O <sub>2</sub>	6–8
Компонент пыли	Содержание, %
CuSO <sub>4</sub>	9–12
CuO	3–4
ZnSO <sub>4</sub>	13–19
PbSO <sub>4</sub>	22–28
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	6–8
SiO <sub>2</sub>	0,6–1,5
CaO	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3

Охлаждение газа осуществляется циркуляцией большого объёма воды через батарею оросителей. Охладительная башня улавливает остаточные крупные частицы пыли, однако она не захватывает пыль размером около микрона. В башне улавливаются и другие частицы, например, фтора или хлора. Любой SO<sub>3</sub>, присутствующий в горячем газе плавильной печи, будет вступать в реакцию с влагой и образовывать туман микронного размера, который также будет в основном проходить через охладительную башню.

Охладительная башня имеет кирпичную футеровку. Если в газе плавильной печи присутствует фтор, для футеровки используется углеродистый кирпич, т. к. фтор взаимодействует с керамическими кирпичами.

Охлаждённый и доочищенный во втором скруббере газ содержит микронный кислотный туман, который извлекается батареей электростатического осадителя влаги.

Часть промывной кислоты из цикла первого высокоеффективного скруббера выводится на фильтрацию в свинцовом фильтр-прессе ЦСК-1. Полученный в процессе фильтрации свинцовый промпродукт затаривается в контейнеры МКР и поступает на площадку временного хранения для дальнейшей реализации его стороннему потребителю.

Фильтрат после свинцового фильтр-пресса разделяется на два потока: часть возвращается в бак верхнего слива ЦСК-1, а вторая часть через бак для верхнего слива отстойника и башню десорбции SO<sub>2</sub> подаётся на участок по переработке отработанной кислоты в отделение очистки промышленных стоков (рис. 8.2.2)

Очищенный от вредных примесей и тумана серной кислоты газ с температурой 35–40 °C и концентрацией 10,7–12 %  $SO_2$  поступает на осушку в насадочную сушильную башню. Сушильная башня представляет собой стальной цилиндр, имеющий опорное устройство для размещения насадки, устройство распределения кислоты, туманоуловитель из металлической сетки. Башня футерована кислотостойким кирпичом. Насадка состоит из фасонного седловидного кольца 76 мм, высота насадки – 3,5 м; насадка уловки состоит из фасонного седловидного кольца 38 мм, высота насадки – 0,2 м.

Газ, проходя сушильную башню снизу вверх, орошаются 94,1 % серной кислотой с температурой 45 °C.

За счёт поглощения влаги из газа происходит разогрев орошающей кислоты с 45 °C до 50–56 °C, в зависимости от режима работы сернокислотного производства, и разбавление до 93,89–93,64 %.

Разбавленная кислота с нижней части башни сливается в сборник циркуляционного насоса сушильной башни. Концентрация кислоты 94,1 % в циркуляционном сборнике сушильной башни поддерживается за счёт подачи избытка 98,5 % моногидрата из объединённого цикла абсорберов. Охлаждение кислоты осуществляется в кожухотрубном холодильнике кислоты с поверхностью теплообмена, равной 858 м<sup>2</sup>.

Серная кислота, после удаления из неё диоксида серы, в цикле десорбции направляется в сборник товарной кислоты для откачки кислоты на склад.

Сушка газа осуществляется до содержания влаги в газе не более 0,01 %. Осущеный газ, пройдя туманоуловитель, поступает в компрессорное отделение на основную газодувку  $SO_2$ , а затем, после предварительного нагрева в теплообменниках контактного узла, на первый слой контактного аппарата. Отработанный воздух из башни десорбции, содержащий диоксид серы, поступает в газоход перед сушильной башней (табл. 8.2.2).

В абсорбционном отделении принята двухступенчатая абсорбция газа. Газ после первой ступени контактирования поступает в первый абсорбер моногидратный, где происходит поглощение  $SO_3$  из газовой смеси 98,3–98,4 % серной кислотой с температурой 75 °C. Газ после первой абсорбции, пройдя через высокоэффективный волокнистый туманоуловитель, находящийся в верхней части башни, направляется на вторую ступень контактирования.

Первый абсорбер состоит из стального корпуса, футерованного внутри кислотостойким кирпичом, опорного устройства для размещения насадки, керамической насадки, устройства распределения кислоты, волокнистого туманоуловителя. Основная насадка состоит из фасонного седловидного кольца 76 мм, высота насадки – 3 м; насадка верхнего слоя состоит из фасонного седловидного кольца 38 мм, высота насадки – 0,2 м.

Туманоуловитель представляет собой наборную конструкцию, состоящую из 39 цилиндрических фиброулавливающих элементов.

Газ после второй ступени контактирования поступает на вторую ступень абсорбции во второй абсорбер моногидратный и после поглощения  $SO_3$  из газовой смеси, пройдя высокоэффективный фиброзный туманоуловитель, выбрасывается в атмосферу через выхлопную трубу. Второй абсорбер конструктивно выполнен, как и первый абсорбер.

За счёт абсорбции  $SO_3$ , смешения кислот, а также физического тепла охлаждения газа, температура кислоты на выходе из первого абсорбера моногидратного, в зависимости от режима работы производства, колеблется от 81 °C до 97,7 °C, после второго абсорбера моногидратного от 80,6 °C до 87,9 °C. Предусмотрен общий циркуляционный сборник абсорбционной башни, в котором происходит усреднение температуры и концентрация серной кислоты, вытекающей из абсорбера моногидратных. За счёт поглощённого из газа  $SO_3$  увеличивается концентрация серной кислоты. Для поддержания стабильной концентрации 98 %  $H_2SO_4$  в сборник подаётся техническая вода.

Орошение башен осуществляется по схеме: сборник, насос, холодильник кислоты, абсорбер, сборник. Для отвода тепла в объединённом цикле абсорбера предусмотрена общая кожухотрубный холодильник кислоты абсорбционной башни с поверхностью теплообмена 620 м<sup>2</sup>. После охлаждения до температуры 75 °C кислота направляется на орошение первого и второго моногидратных абсорбера. Концентрация серной кислоты, орошающей абсорбера – 98,5 %.

Компрессорное отделение предназначается для транспортировки технологического газа по цепи аппаратов сернокислотного производства. В помещении установлены две основные газодувки  $SO_2$  (одна рабочая, одна резервная). Очищенный и осушённый газ после сушильной башни сушильно-абсорбционного отделения поступает в компрессорное отделение на всас основной газодувки. Далее технологический газ направляется в контактное отделение.

ЦСК-1	ЦСК-2
<b>Охладительная газодувка <math>SO_3</math></b>	
Производительность – 200 тыс. $nm^3/ч$	Производительность – 100 тыс. $nm^3/ч$
<b>Основная газодувка <math>SO_2</math></b>	
SIMMENS – STC-SO (SFO18). Q – 217 000 $nm^3/ч$ . N – 5050 кВт. Напряжение – 6000 В	Производительность по газу – 115–132 тыс. $nm^3/ч$ . N – 3400 кВт. Напряжение – 6000 В
<b>Система пускового подогревателя</b>	
Производительность – 100 000 $nm^3/час$	Производительность – 50 000 $nm^3/час$

В основе производства серной кислоты контактным методом лежит процесс окисления диоксида серы в триоксид по реакции:

$$SO_2 + 1/2O_2 = SO_3 + Q.$$

Процесс окисления протекает в присутствии ванадиевого катализатора. Окисление  $SO_2$  осуществляется в четырёхслойном контактном аппарате со встроеннымми газовыми теплообменниками. После каждого слоя газ охлаждается в теплообменниках: после первого и второго слоёв во встроенных теплообменниках, после третьего и четвёртого слоёв – в выносных.

После газодувки газ поступает в межтрубное пространство третьего теплообменника, где нагревается за счёт тепла газа после третьего слоя контактного аппарата. Далее газ направляется в трубное пространство встроенного (нижнего) теплообменника (табл. 8.2.3). Нагретый газ прокачивается через первый слой контактного аппарата. После этого слоя газ охлаждается в межтрубном пространстве встроенного (нижнего) теплообменника. После теплообменника газ направляется на второй слой контактного аппарата. Охлаждение газа после второго слоя до температуры входа на третий слой осуществляется в межтрубном пространстве встроенного (верхнего) теплообменника.

После третьего слоя газ охлаждается в трубном пространстве выносного третьего теплообменника. Затем поступает в трубное пространство охладителя  $SO_3$  и после направляется на первую ступень абсорбции. Охлаждение технологического газа в охладителе  $SO_3$  осуществляется за счёт подачи в межтрубное пространство холодного воздуха посредством охладительной воздуходувки  $SO_3$ .

Степень превращения в  $SO_3$  после первой ступени контактирования составляет 95,5 %. После первой ступени абсорбции газ последовательно подогревается в межтрубном пространстве выносного

четвёртого теплообменника, затем в трубном пространстве встроенного (верхнего) теплообменника и далее поступает на четвёртый слой контактного аппарата.

В отделении очистки промышленных стоков производится очистка и нейтрализация промышленных стоков от сернокислотного производства по сульфидно-известковой технологии с получением трисульфида мышьяка (рис. 8.2.2).

На фото ниже показаны ЦСК-1 и ЦСК-2 на промплощадке ЗАО «Карабашмедь».



**Фото 8.2.1.** Сернокислотное производство ЗАО «Карабашмедь», 2022 г.

После сгущения осадка и его фильтрации он загружается в мягкие контейнеры и отгружается потребителю. Осветлённый раствор перекачивается на участок нейтрализации кислоты известковым молоком, после чего образующийся осадок (гипс) перевозится на площадку временного хранения для последующей отгрузки предприятиям строительной и цементной отраслей.

Склад серной кислоты включает в себя четыре ёмкости по 2500 м<sup>3</sup>. Максимальный объём хранения кислоты равен 9500 м<sup>3</sup>.

Для перекачки кислоты со склада в цистерны или специализированные контейнеры предусмотрено 16 точек заливки.

Технологические параметры работы сернокислотных цехов на сырье и условиях 2023 г. представлены в табл. 8.2.3.

**Табл. 8.2.3. Технологические параметры работы цехов, 2023 г.**

ЦСК-1	ЦСК-2
<b>Товарная серная кислота концентрации 94 %</b>	
133 429 кг/ч или 924 575 т/год	58 804 кг/ч или 472 786 т/год
<b>Очищенный газ в атмосферу (сухой)</b>	
181 583 нм <sup>3</sup> /ч	94 351 нм <sup>3</sup> /ч
<b>Свинцовый промпродукт</b>	
92,9 кг/ч или 746,8 т/год	

Диаметр дымовой трубы для СКЦ-1 на максимальную производительность входящего газа (275 000 нм<sup>3</sup>/ч) равен 2,7 м при высоте



60 м. Максимальное количество удаляемых газов через трубу СКЦ-2 – 141 000 нм<sup>3</sup>/ч. Дымовая труба второго цеха имеет диаметр 1,8 м, высоту 60 м (фото 8.2.2).

**Фото 8.2.2. Санитарные трубы, 2022 г.**

## ГЛАВА 9. ДУТЬЕВОЙ ВОЗДУХ

Для обеспечения комплекса «Аусмельт», конверторов и анодных печей дутьевым воздухом на предприятии построена компрессорная станция, позволяющая производить 115 000–120 000  $\text{нм}^3/\text{ч}$  воздуха при давлении 0,25 МПа или в диапазоне 15 230–160 200  $\text{нм}^3/\text{ч}$  неосуществленного сжатого воздуха.

Атмосферный воздух с температурой  $-40\dots+50^\circ\text{C}$  после предварительной механической фильтрации поступает на станцию по системе венткоробов с промплощадки предприятия. Нагнетание неосуществленного воздуха сжатого осуществляется турбокомпрессорами типа SM6100-2900-2 (6 шт.).

На линии за каждой воздуходувкой устанавливается измерительное устройство – преобразователь расхода вихревой. Рабочая температура сжатого воздуха  $98^\circ\text{C}$ . Для безопасной эксплуатации все воздуховоды выполнены в изоляции, не допускающие температуру на поверхности выше  $45^\circ\text{C}$ . Характеристики компрессора представлены в таблице 9.1.

Для охлаждения узлов компрессора используется антифриз, циркулирующий в замкнутом контуре через сухие воздушные градирни вентиляторного типа, установленные вне контура помещения.

Табл. 9.1. Характеристики компрессора SM6100–2900–2

Параметр	Ед. изм.	Значение
Давление на входе	кПа	0,1
Давление на выходе расчётное	кПа	0,25
Минимальная производительность	$\text{нм}^3/\text{ч}$	15 230
Максимальная производительность	$\text{нм}^3/\text{ч}$	26 700
Потребление охлаждающего антифриза	$\text{нм}^3/\text{ч}$	81,4
Уровень звукового давления без кожуха	дБ	87
Мощность привода	кВт	1607
Масса с двигателем	кг	18 000
Ширина x длина x высота	м	7,1 x 2,3 x 3,2

Охлаждение происходит за счёт циркуляции наружного воздуха через рёбра теплообменника, установленного в градирне, с помощью осевого вентилятора и естественным путём. Теплообменники изготовлены из медных труб с алюминиевым оребрением на раме из оцинкованной стали.

## ВЫВОДЫ ПО ПОСЛЕДНИМ ГЛАВАМ

Модернизация металлургического комплекса на базе печи «Аусмельт» потребовала не только кардинальной замены всего металлургического оборудования, но и перестройки всех сопутствующих объектов инфраструктуры, обеспечивающих переработку металлургических шлаков, отходящих газов. Кроме того, масштабной реконструкции подверглись и объекты энергетической инфраструктуры, обеспечивающие предприятие кислородом, природным газом, дутьевым воздухом и электроэнергией.

При выборе вариантов обеспечения автогенного процесса кислородом акционеры ЗАО «Карабашмедь» остановились на адсорбционной технологии получения кислорода, что, по состоянию на 2005 г. являлось первым примером реализации этой технологии на предприятиях цветной металлургии в России.

Используемая на ЗАО «Карабашмедь» установка ВКЦА является трёхадсорберной системой с горизонтальными адсорберами и двухступенчатыми вакуумными насосами. Насосы воздушного охлаждения обеспечивают давление товарного кислорода на выходе в пределах 0,25 МПа. Её основные преимущества состоят в следующем: отсутствие потребления воды используемым оборудованием; полная автоматизация производства; простота механизмов и удобство их обслуживания; пуск и останов производится «одним нажатием кнопки»; минимальные эксплуатационные и капитальные затраты; компактность размещения оборудования; непрерывная работа; возможность дистанционного регулирования содержания кислорода в смеси от 40 до 98 % с плавной регулировкой расчётного потока; надёжность и безопасность эксплуатации; привязка системы управления к общезаводской АСУТП; система управления обеспечена бесперебойным источником питания; удельное электропотребление не выше 0,55 кВт/м<sup>3</sup> кислорода.

Для переработки шлаков автогенной плавки на заводе была использована гидрометаллургическая технология флотационного обогащения. Строительство и эксплуатация обогатительной фабрики показали, что для эффективной переработки печных шлаков до отвального содержания по меди данная технология позволяет достигать заданных параметров. В то же время при переработке конвертерного шлака из-за высокого содержания магнетита показатели по извлечению меди существенно меньше. В связи с этим конвертерные шлаки необходимо

перерабатывать или в отдельном металлургическом агрегате, или направлять обратно на плавку в печь «Аусмельт» с общей шихтой, или перерабатывать в отдельной технологической схеме флотационного обогащения. Повышение содержания магнетита в последние годы эксплуатации печи приводит к снижению сквозного извлечения меди, что стимулирует предприятие по совершенствованию обогатительного производства и увеличению его производительности.

Для утилизации диоксида серы из металлургических газов и для улавливания летучих компонентов шихты на предприятии были построены три сернокислотных цеха. Первый цех, работающий по технологии мокрого катализа, позволил обеспечить начало эффективного производственного процесса на низкоконцентрированных и нестабильных газах шахтных печей, конверторов и печи «Аусмельт» в первоначальный период её освоения. По мере вывода внедряемой автогенной технологии на проектные показатели был построен второй сернокислотный цех, работающий по схеме ДК-ДА. Стабилизация ситуации с выбросами в окружающую среду и их кратное сокращение позволили реализовать проект по увеличению производительности печи «Аусмельт» не менее чем в два раза, в том числе и за счёт строительства третьего сернокислотного цеха. Из-за ограниченности производственных площадей и прекращения выработки низкосернистых металлургических газов, третий цех был построен на месте первого.

Общая производительность сернокислотного производства на предприятии была доведена до 341 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  по металлургическому газу с концентрацией 10,29 %  $\text{SO}_2$  или 35,084 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$  по  $\text{SO}_2$ , что позволяет перерабатывать на модернизированной печи «Аусмельт» в условиях ЗАО «Карабашмедь» от 1300 до 1500 тыс. тонн концентрата в год, не увеличивая достигнутый уровень по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу промплощадки и города. Строительство новых сернокислотных цехов сопровождалось решением вопросов по улавливанию, переработке и последующей реализации оборотных материалов, содержащих цинк, свинец и мышьяк. Очистка промстоков от цветных металлов и переработка слабых промывных кислот сернокислотного производства позволили перевести предприятие на бессточную схему с замкнутым водооборотом.

Технологическая схема ЗАО «Карабашмедь» не предполагает образование отходов производства, все продукты, полученные в результате переработки медного сырья, реализуются потребителями.