

ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАГАНДА

Ж.С. Саркулова[✉], Г.А. Исенгалиева¹⁵, Ж.Ж. Шильмагамбетова¹⁵, Р.Ж. Оразбекова¹⁵, К.Ш. Наурызова¹⁵

Актюбинский региональный университет им.К.Жубанова, Актобе, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: zhadi_0691@mail.ru

Подбор оборудования для эксплуатационных скважин на месторождении Караганда включает в себя анализ геологических условий, выбор насосного и трубопроводного оборудования, а также систем контроля и автоматизации. Важно учитывать параметры нефти и газа, условия эксплуатации и ремонтпригодность. Правильный выбор оборудования влияет на эффективность добычи, снижение затрат и обеспечение надежности процессов. Это требует детального анализа и часто подразумевает сотрудничество с поставщиками для оптимизации решения.

Выбор оборудования и методов извлечения нефти осуществляется на основе геолого-технических особенностей активных слоев, химических и физических характеристик жидкости, а также условий эксплуатации, режимов работы скважин, определяемых предполагаемым способом разработки.

Подбор наиболее оптимального метода механизированной эксплуатации определяется различными факторами. Началом формы. Важными из них являются глубина залегания продуктивного горизонта, продуктивность скважины, сложности, присущие эксплуатации конкретной скважины, а также экономическая целесообразность оснащения скважины определенным оборудованием.

Техническое и экономическое оправдание эксплуатации плунжерными штанговыми насосами остается актуальным для средне и низкопродуктивных скважин. В каждом конкретном случае подбор оборудования и оптимизация режимов работы штанговой насосной установки осуществляется лично, учитывая дебит, обводненность и газосодержание конкретной скважины на месторождении. Эксплуатация плунжерными штанговыми насосами является эффективным и рациональным способом разработки скважин, предоставляя широкие возможности как для поверхностной добычи, так и для подъема продукции с большой глубины.

Ключевые слова: эксплуатационные скважины, оборудование для бурения, автоматизированный метод, электроцентробежные насосы, винтовые насосы, эффективность.

SELECTION OF EQUIPMENT FOR PRODUCTION WELLS AT THE KARAGANDA FIELD

Zh.S. Sarkulova[✉], G.A. Isengalieva, Zh.Zh. Shilmagambetova, R.ZH. Orazbekova, K.Sh. Nauryzova

Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan
e-mail: zhadi_0691@mail.ru

The selection of equipment for production wells at the Karaganda field includes the analysis of geological conditions, the selection of pumping and pipeline equipment, as well as control and automation systems. It is important to take into account the parameters of oil and gas, operating conditions and maintainability. The right choice of equipment affects the efficiency of production, reducing costs and ensuring the reliability of processes. This requires detailed analysis and often involves collaboration with suppliers to optimize the solution.

The choice of equipment and methods of oil extraction is based on the geological and technical characteristics of the active layers, chemical and physical characteristics of the liquid, as well as operating conditions, operating modes of wells determined by the proposed method of development.

The selection of the most optimal method of mechanized operation is determined by various factors. The most important of them are the depth of the productive horizon, the productivity of the well, the

difficulties inherent in the operation of a particular well, as well as the economic feasibility of equipping the well with certain equipment.

The technical and economic justification for the operation of plunger rod pumps remains relevant for medium and low-productivity wells. In each specific case, the selection of equipment and optimization of the operating modes of the rod pumping unit is carried out personally, taking into account the flow rate, water content and gas content of a particular well in the field. The operation of plunger rod pumps is an efficient and rational way to develop wells, providing ample opportunities for both surface production and lifting products from great depths.

Keywords: production wells, drilling equipment, automated method, electric centrifugal pumps, Screw pumps, efficiency.

ҚАРАҒАНДЫ КЕН ОРНЫНДА ПАЙДАЛАНУ ҰНҒЫМАЛАРЫНА АРНАЛҒАН ЖАБДЫҚТАРДЫ ІРІКТЕУ

Ж.С. Сарқұлова ✉, Г.А. Исенғалиева, Ж.Ж. Шильмағамбетова, Р.Ж. Оразбекова, К.Ш. Наурызова

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.
e-mail: zhadi_0691@mail.ru

Қарағанды кен орнындағы пайдалану ұнғымалары үшін жабдықтарды іріктеу геологиялық жағдайларды талдауды, сорғы және құбыржол жабдықтарын, сондай-ақ басқару және автоматтандыру жүйелерін таңдауды қамтиды. Мұнай мен газдың параметрлерін, пайдалану жағдайлары мен қызмет ету мерзімін ескеру маңызды. Жабдықты дұрыс таңдау өндіріс тиімділігіне әсер етеді, шығындарды азайтады және процестердің сенімділігін қамтамасыз етеді. Бұл егжей-тегжейлі талдауды қажет етеді және көбінесе шешімді оңтайландыру үшін жеткізушілермен ынтымақтастықты қамтиды.

Мұнай өндірудің жабдықтары мен тәсілдерін таңдау белсенді қабаттардың геологиялық-техникалық сипаттамаларына, сұйықтықтың химиялық және физикалық сипаттамаларына, сондай-ақ пайдалану жағдайларына, ұнғымалардың жұмыс режимдеріне негізделген.

Механикаландырылған пайдаланудың ең оңтайлы әдісін таңдау әртүрлі факторлармен анықталады. Олардың маңыздылары - өнімді горизонттың тереңдігі, ұнғыманың өнімділігі, белгілі бір ұнғыманы пайдалануға тән қиындықтар, сондай-ақ ұнғыманы белгілі бір жабдықтармен жабдықтаудың экономикалық орындылығы.

Поршеньді штангалық сорғыларды пайдаланудың техникалық және экономикалық негіздемесі орташа және төмен өнімді ұнғымалар үшін өзекті болып қала береді. Әрбір нақты жағдайда штангалық сорғы қондырғысының жабдықтарын таңдау және жұмыс режимдерін оңтайландыру кен орнындағы нақты ұнғыманың дебитін, сулануын және газ құрамын ескере отырып, жеке жүзеге асырылады. Поршеньді штангалық сорғыларды пайдалану Ұнғымаларды өндеудің тиімді және ұтымды әдісі болып табылады, бұл жер үсті өндіруге де, өнімді үлкен тереңдіктен көтеруге де кен мүмкіндіктер береді.

Түйін сөздер: пайдалану ұнғымалары, бұрғылау жабдықтары, автоматтандырылған әдіс, электр ортадан тепкіш сораптар, бұрандалы сораптар, тиімділік.

Введение. Карагандинское месторождение расположено в Каркаралинском районе Карагандинской области Казахстана. Рельеф региона характеризуется мелкопочным и низкогорным рельефом с относительными превышениями до 50 метров. Физико-химические свойства нефти Карагандинского месторождения включают вы-
сокое содержание парафиновых углеводородов. Содержание парафиновых углеводородов нормального строения в два раза ниже по сравнению с изопарафинами, а ароматических углеводородов в два раза больше, чем в нефти Кенкиякского месторождения. Нефть этого месторождения является малосернистой, с содержанием серы око-

ло 0,24%. Удельный вес нефти составляет 0,8256 г/см³. Выход фракций, выкипающих до 200 °С, составляет 22%, а до 300 °С — 48%. Содержание сернокислотных смол достигает 9%.

Изучение информации о работе скважин позволило выявить ключевые факторы, характерные для данного месторождения, которые оказывают влияние на выбор оптимального метода эксплуатации:

- продуктивные горизонты в среднем залегают на глубине до 750 метров;
- давление в пластах юрских горизонтов варьируется от 1,54 до 5,82 МПа, а в триасовых горизонтах от 2,45 до 4,67 МПа;
- давление, при котором нефть насыщается газом, находится в диапазоне от 0,2 до 1,54 МПа;
- газовое содержание в нефти юрских горизонтов низкое, составляющее от 1,5 до 5,22 м³/т, в то время как для триасовых горизонтов оно немного выше, в диапазоне от 4,68 до 10,88 м³/т;
- нефть, добываемая с юрских горизонтов, характеризуется как тяжелая и высоковязкая, с вязкостью от 80,7 до 505 мПа*с в зависимости от конкретного пласта (от Горизонта Ю-II А до Горизонта Ю-IA). Кроме того, она содержит парафин (до 4,45% по массе) и смолу (до 16,6% по массе);
- при эксплуатации скважин наблюдается высокая интенсивность пескопроявления, при этом содержание механических примесей в добываемой продукции составляет от 0,001 до 0,25 г/м³;
- Продуктивность скважин характеризуется как средняя и низкая.

Пониженное содержание газа и высокая вязкость нефти, включая объекта Ю-IA, оказывают влияние на реологические свойства нефти, которые определяются большим количеством смол и асфальтенов. Это создает определенные ограничения при выборе метода добычи. Фонтанный метод добычи является наиболее экономически эффективным и менее сложным методом добычи нефти из скважин с применением природной энергии пласта. Однако, чтобы достичь проектного дебита при использовании фонтанного ме-

тода, необходимы определенные факторы, такие как высокое пластовое давление, наличие газа и коэффициент продуктивности скважин [1-2]. Когда эти факторы отсутствуют или не удовлетворяются, не будет достигнуто запланированное дебитирование нефти фонтанным методом. В таких случаях, когда условия пласта не позволяют поддерживать приемлемый уровень добычи или вообще препятствуют притоку пластовых флюидов в скважину, требуется перевод скважин на механизированную добычу.

Материалы и методы. В результате интерпретации результатов комплексного пластового исследования было выявлено, что продуктивность скважин на месторождении варьирует в диапазоне от 0,039 м³/сут*атм. (скв.10) до 1,78 м³/сут*атм. (скв.34). Забойное давление при испытании скважин на Ю-IA горизонтах колеблется от 0,58 до 2,6 МПа, на горизонтах Ю-II от 3 до 3,8 МПа, а на триасовых горизонтах составляет 3,6-4,9 МПа. Анализ данных показал, что скважины, пробуренные на горизонте Ю-I, имеют наибольшую депрессию на пласт, следовательно, проявляют более низкие показатели продуктивности. Важно отметить, что физико-химические свойства нефти на Ю-I горизонте существенно отличаются (низкое содержание газа, высокая вязкость), что условия эксплуатации данного объекта требуют режима с повышенной депрессией.

С целью установлений условий начального прорыва скважин, когда забойное давление ожидается давление ниже точки насыщения нефти газом, были проведены гидравлические расчеты с использованием аналитического подхода, разработанного академиком Крыловым. Для фонтанирования скважин при условии $P_{заб} < P_{нас}$, требуется, чтобы эффективный газовый фактор $\Gamma_{эф}$ был не менее удельного расхода газа на оптимальном режиме $R_{опт}$, т. е.:

$$\Gamma_{эф} \geq R_{опт} \quad (1)$$

Коэффициент газонасыщенности $\Gamma_{эф}$ и требуемый индивидуальный расход газа $R_{опт}$ составляют 3,6 м³/сут и 2704 м³/сут вследствие этого, при низком давлении на устье скважины 0,1 МПа и

при давлении на забое, близком к давлению насыщения. Это свидетельствует о недостаточных условиях для естественного притока в скважину, так как связь между коэффициентом газонасыщенности и индивидуальным расходом газа для подъема жидкости состоит в том, что чем больше коэффициент газонасыщенности, тем больше газа потребуется для эффективной добычи жидкости из скважины [3].

Согласно рекомендованному четвертому варианту разработки данной технологической схемы, предусматривается проведение дополнительного разбуривания 39 скважины, предназначенные для добычи, а также активация 5 скважин. Также планируется провести восстановительные работы и вывести из утилизационного фонда 1 скважину с последующим переводом 23 скважин на нагнетание. В целом, существующий фонд эксплуатационных скважин, запланировано увеличить до 50 единиц в 2015 году, а затем снизить его до 30 скважин (2034) г.

Для определения необходимой мощности насоса при эксплуатации скважин на Карагандинском месторождении используем следующую формулу:

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta \cdot 10^6} \quad (2)$$

где:

Q - дебит жидкости, м³/сут;

ρ - плотность нефти, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

H - глубина установки насоса, м;

η - КПД системы (предположительно 50%).

Пример расчёта: При дебите $Q = 50$ м³/сут, плотности нефти $\rho = 825.6$ кг/м³ и глубине установки насоса $H = 750$ м:

$$N = \frac{50 \cdot 825,6 \cdot 9,81 \cdot 750}{0,5 \cdot 10^6} \approx 606,5 \text{ кВт}$$

Этот расчёт поможет в выборе насоса с соответствующей мощностью.

Для оценки продуктивности скважины используем модифицированную формулу Вогеля:

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = 1 - 0,2 \cdot \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right)^2 \quad (3)$$

где:

Q - дебит при забойном давлении P_z ;

Q_{\max} - максимальный дебит;

P_r - пластовое давление;

P_{wf} - забойное давление.

При $P_p = 3.8$ МПа, $Q_{\max} = 50$ м³/сут и $P_{wf} = 1.8$ МПа:

$$\frac{Q}{50} = 1 - 0,2 \cdot \left(\frac{1,8}{3,8} \right) - 0,8 \left(\frac{1,8}{3,8} \right)^2$$

Решив уравнение, получаем $Q \approx 30.5$ м³/сут.

Ниже представлена кривая притока (IPR) для горизонта Ю-II, построенная по модифицированной формуле Вогеля.

Автоматизированный метод насосной добычи нефти обычно реализуется через три основных способа:

- установками плунжерных штанговых насосов (УПШН);

- установками электроцентробежных насосов (УЭЦН);

- установками винтовых штанговых насосов (УВШН).

Использование плунжерных штанговых насосов (УПШН) является эффективным способом эксплуатации скважин, обеспечивая добычу в диапазоне от 2 до 80 м³/сут и возможность подъема добычи из глубин свыше 2000 метров. Штанговые установка пользуются широким спросом благодаря своей простоте конструкции, хорошо изученности и удобству использования, что обеспечивает их рекомендацию для эксплуатации низко- и среднедебитных скважин [4-5].

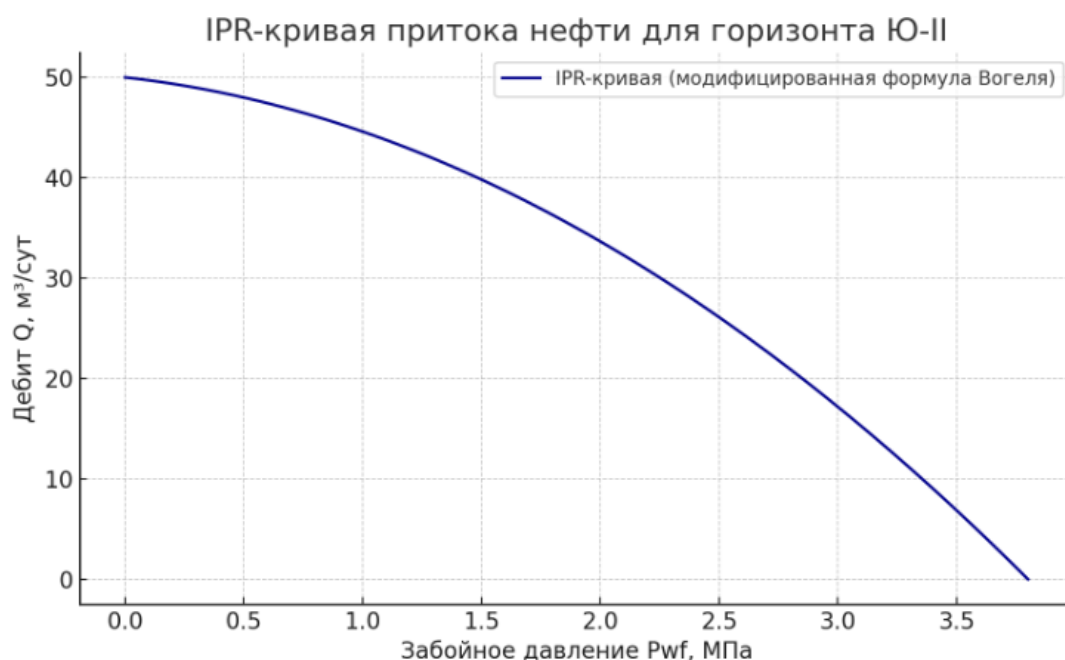


Таблица 1 - Сравнение возможной производительности

Насос	Производи- тельность (м³/сут)	Глубина (м)	Тип нефти и условий работы	Преимущества	Ограничения
УПШН (Плунжер- ные штанговые насосы)	2-80	До 2000	Низкая и средняя дебитность	Простота, хорошая известность, удобство эксплуатации	Меньше эффективны на больших глубинах
УЭЦН (Электроцен- тробежные насосы)	60-1500	1000- 3000	Высокие дебиты, высокая температура, вода и газ	Высокая произво- дительность на высокодебитных скважинах	Потери эффективности при высоких температурах и газе
УВШН (Винтовые штанговые насосы)	1-750	Более 2000	Трудоемкая, вязкая нефть	Эффективны при вязкой нефти, перекачка твердых частиц	Высокая стоимость установки и обслуживания

Результаты и обсуждение. В процессе разработки предполагается достижение максимального среднегодового дебита скважин по жидкости в размере 75,8 т/сут к 2025 году. Стремительная эффективность эксплуатации скважин при неполном насыщении пластовой нефти может предполагаться, поскольку она позволяет создать достаточно высокую депрессию в пласте.

При наличии повышенного уровня газа в нефти и при эксплуатации с уменьшенным $P_{нас}$ забойными давлениями, постановка насосов должна быть оснащена газозащитными устройствами.

Перевод скважин на работу с помощью плунжерных насосов предпочтительно осуществлять с использованием вставных насосов следующих диаметров: 32, 38 и 44 мм. Также эффективными в этом процессе являются трубные насосы с диаметрами 32, 38, 44 и 57 мм. Для этих насосов подходят насосно-компрессорные трубы размером 73 мм. Стержень следует иметь двухступенчатую конструкцию с диаметрами 7/8" и 3/4". При откачке желательнее выбирать длинноходный и низкочастотный режим, что обусловлено инертностью вязкой нефти.

Способ использования установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) для эксплуатации скважин обеспечивает значительные преимущества по сопоставлению с системами плунжерных штанговых насосов. Он наиболее широко применяется на месторождениях, где вероятно произвести извлечение от 60 до 1500 м³/сут [6-7].

На сегодняшний день производители установок электроцентробежных насосов выпускают их с целью разнообразия условий эксплуатации. Рекомендуется учитывать, что производительность внедрения таких установок также понижена из-за возможного влияния высших температур (>90⁰С) на работу оборудования или высокого содержания газа в добычи. Во многих ситуациях установки электроцентробежных насосов эффективны в погружных скважинах с высоким содержанием воды и дебитам жидкостей больше 50 м³/сут. Однако, в процессе добыче плотной нефти, использование установок электроцентробежных насосов может сопровождаться значительным падением коэффициента эффективного воздействия насоса. При пробном этапе применение установок электроцентробежных насосов не является целесообразным для достижения прогнозных уровней добычи, поскольку ожидаемые дебиты можно получить с помощью установок плунжерных и винтовых насосов с уменьшенными капитальными и эксплуатационными издержками.

Винтовые насосы стали очень популярными благодаря их способности перекачивать флюиды, содержащие большое количество твердых частиц. Они также отличаются своими свойствами, которые в некоторых аспектах схожи с ароматически-

ми соединениями газового конденсата. Винтовые насосы способны эффективно перекачивать тяжелые эмульсии и нефть. Эти насосные агрегаты имеют производительность от 1 до 750 м³/сут и могут работать в значительном содержании воды, не боясь песка и абразивов.

В виду с потребностью разработки технических средств для добычи трудоемкой и вязкой нефти, рекомендуется использовать высокодепресссионный режим на месторождении Ю-1А, что позволяет снизить забойное давление ниже давления насыщения. Одним из наиболее эффективных методов, рассматриваемых для применения, называется способ холодильных добычи тяжелой нефти с одновременным переносом песка. Опыт применения данной технологии на аналогичных месторождениях показал, что использование винтовых плунжерных насосов является наиболее эффективным подходом. Этот тип установок наилучшим образом соответствует основным принципам НТДТП:

- в процессе извлечения нефти, вода и газ, а также песок и другие твердые литологические материалы извлекаются совместно;
- в процессе добычи нефти в ствол скважины осуществляется поступление песчаных частиц. Это происходит в результате создания высокого давления на пласт, вызывающего значительное снижение забойного давления до уровня ниже давления насыщения;
- в процессе эксплуатации установки винтовых штанговых насосов возникают депрессии, которые влияют на формирование эмульсий. Тем не менее, использование данной технологии позволяет снизить издержки на переработку продукции.

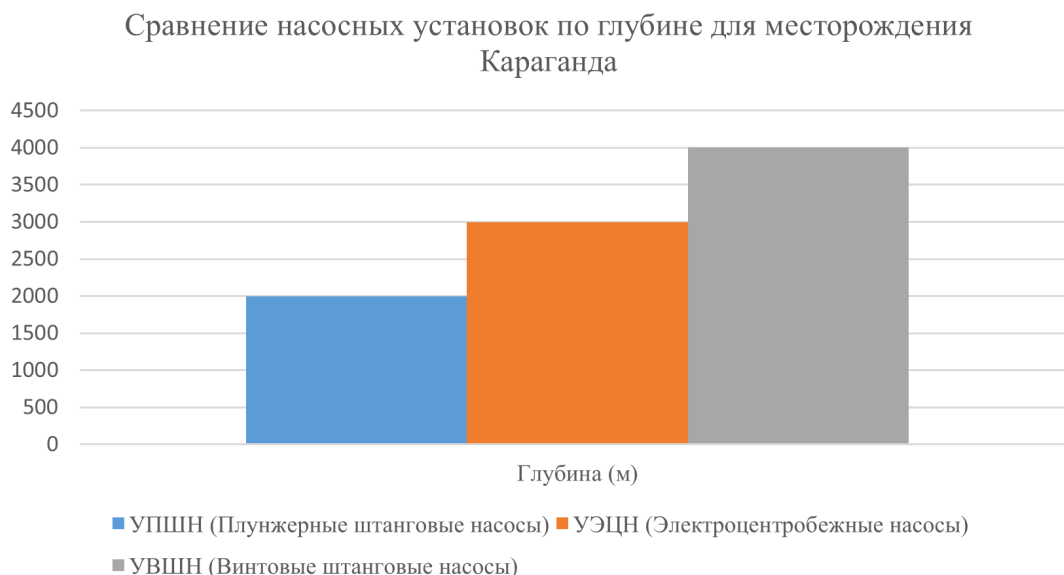
Преимущества УВШН в сравнении с дополнительными машинными системами называются следующими: низкие инвестиции, меньшие эксплуатационные расходы относительно технического обслуживания установок, возможность выбора эффективного материала из каучука, учитывающая свойства извлекаемой жидкости, а также отсутствие заслонок и, как следствие, сложности их ударотермической неплотности. Благодаря своей

апатичности к вольному газу, винтовые насосы прекрасно соответствует для передачи высокоуглеродистой нефти. Оборудование винтовых насосов преимущественно стойкие к изнашиванию при приобретении масла с механическими примесями, потому что твердые гранулы, передаваемые сквозь насос, давятся к искривленной, но стойкой сетке эластомера (статора).

При выборе винтовых насосов по производительности необходимо учитывать проектные уровни добычи нефти. В связи с этим, насосы отбираются с большей производительностью, чем предполагаемый дебит, учитывая, что они не смогут функционировать на предельных скоростях поворота. Для добычи липкой нефти наилучшей скоростью вращения имеет 60-150 оборотов в ми-

нуту. Рекомендуется устанавливать насос в нижней части интервала перфорации. Чтобы обеспечить перемешивание поступающего потока, предпочтительно применять хвостовик с прорезями длиной 0,5-1 м или отверстиями диаметром 20 мм в основании насоса. Для обеспечения безопасности ротора (в случае обрыва штанги) целесообразно монтировать металлический брус снизу. Имеется зумпфа позволяет начать добычу при больших дебитах песка, поскольку оно наполняется песком впоследствии пуска скважины [8-9].

На приведенной ниже диаграмме мы можем увидеть сравнение по возможной глубине насосных установок для Карагандинского месторождения:



Используя данные таблицы 1 и диаграммы, мы можем выбрать наиболее эффективное оборудование для этого месторождения. Для Карагандинского месторождения с тяжелой нефтью, высокой вязкостью и возможным содержанием песка, винтовые штанговые насосы (УВШН) представляют собой наиболее подходящее решение. Эти насосы способны эффективно перекачивать вязкую нефть и жидкости с высоким содержанием твердых частиц, что критично для этого региона. УЭЦН могут быть использованы для скважин с высокими дебитами и более легкой нефтью, однако в условиях Караганды с тяжелой нефтью

они будут менее эффективны. УПШН могут быть применены в ситуациях, когда дебит нефти не так велик, однако при высоких вязкостях нефти их эффективность будет ограничена.

В роли подъёмника используются НКТ диаметром 73 мм, которые опускаются в эксплуатационную колонну диаметром 168 мм. Глубина опускания насосно-компрессорных труб находится выше перфорированного интервала, обычно на 10-20 метров. Если скважина оснащена насосными установками для контроля активного и пассивного уровней, то кольцевое пространство остается без изоляции пакером.

При выборе винтовых насосов для проектов добычи нефти, основываясь на производительности, специалисты рекомендуют учитывать не только ожидаемый дебит, но и уровни добычи. В этом случае рекомендуется использовать насосы с большей производительностью, учитывая, что они не будут функционировать на предельных скоростях вращения ротора (250-300 оборотов в минуту). В случае вязкой нефти, идеальной скоростью обращения считается 60-150 оборотов в минуту, при этом она может меняться в зависимости от крутящего момента в приводной системе. Обходя возможность использования наземных приводов и штанг, можно опробовать винтовые насосы с электрическими и гидравлическими погружными управляемые системами, которые позволяют регулировать крутящий момент и расход в соответствии с уровнем жидкости в кольцевом пространстве. Кроме того, можно использовать насосы с частотным контроллером скорости оборотов электродвигателя, без необходимости переключения шкивов.

Выводы. В процессе тестирования и эксплуатации на Карагандинском месторождении был накоплен ценный опыт по работе скважинных установок данного типа. В экспериментальных условиях были использованы механизированные винтовые штанговые насосы, позволяющие эффективно добывать нефть. На сегодняшний день компания "Протекс" внедряет новые скважинные установки, которые обладают производительностью от 10 до 17 м³/сут при 100 оборотах в минуту и напором до 1200 метров. Статоры насосов имеют эластомером типа РХ40, специально разработанным для работы в средах с высокими

температурами до 120 градусов, а также обладающим устойчивостью к шлифовочным частицам, газам, запаховому веществом, серой и углекислому газу [10-12].

Оптимальное размещение винтового насоса предполагает его установку под самыми нижними перфорациями отверстий на насосно-компрессорные трубы диаметром 73-89 мм. Предлагается развивать такой промежуток (~1м) между статором и перфорационными отверстиями в соотношении с результативности конкретного винтового насоса. Это обеспечивает оптимальную проходимость мощность и ограничивает крутящий момент, обеспечивая эффективную работу насоса:

- для эффективного смешивания притока жидкости в основание насоса советуются применять хвостовик с надрезами, длиной от 0,5 до 1м, или же отверстиями диаметром 20 мм;
- для защиты ротора (в случае обрыва штанги) рекомендуется установить стальной щит;
- наличие зумпфа с 1-4 трубами диаметром 168 мм в операционной колонне обеспечивает быстрому запуску производства песка при больших начальных дебитах;
- для более эффективной предотвращения раскручивания статора рекомендуется устанавливать приспособление в верхнем участке;
- опускание ротора производится с использованием штанг диаметром 22 мм, учитывая низкую глубину и крутящий момент;
- установка винтовых насосов с устройствами регулярного наблюдения за вращающим поворотом.

Литература

1. Котик Е.П., Котик П.Т. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учебник. -Алматы: CyberSmith, 2021. -Т.1. -220 с. ISBN 978-601-342-948-9
2. Котик Е.П., Котик П.Т. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учебник. -Алматы: CyberSmith, 2021. -Т.2. -212 с. ISBN 978-601-342-948-9
3. Котик Е.П., Котик П.Т. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учебник. -Алматы: CyberSmith, 2021. -Т.3. -240 с. ISBN 978-601-342-948-9
4. KASE: нефтегазовая отрасль Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: <https://kase.kz>

-
5. Миловидов К.Н. Инновационные технологии в разведке и добыче нефти [Текст]: Уч. пособие / К.Н. Миловидов., В.И. Кокорев – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2008. -272 с. ISBN 978-5-317-02644-8
 6. Федоров В. А. Технология эксплуатации нефтяных и газовых скважин. — СПб, 2016. -26 с. ISBN 978-5-4469-0145-1
 7. Хасанов Э.М., Кагарманов И.И., Пупченко И.Н. Особенности эксплуатации УЭЦН: Учебное пособие. – Самара: «РОСИНГ», 2006 – 216 с.
 8. Zhadyrassyn Sarkulova, G. Lo Papa, Carmelo Dazzi, Farida Kozybaeva, Gulzhan Beiseyeva. Morphogenetic characteristics of chernozem leached in mining enterprises pollution conditions // EurAsian Journal of BioSciences. -2019. –Vol.13. Iss.2. - P.1931-1941.
 9. A. Abdirashit, YE. Makhambetov, Zh. Sarkulova, A. Yerzhanov Large-scale laboratory tests for smelting medium-carbon ferromanganese using jezda manganese ore and simn17 silicomanganese fines// METABK. -2023. –Vol.62(1). –P.139-141. URL: <https://hrcak.srce.hr>
 10. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин. -Академия, Москва, 2004. -351 с. ISBN: 5-7695-1119-2
 11. Moradi, S. et al. Artificial Lift Selection Methods in Conventional and Unconventional Wells: A Summary and Review from Old Techniques to Machine Learning Applications. Volume 9, Issue 3, March – 2024. International Journal of Innovative Science and Research Technology. ISSN No:-2456-2165
 12. Ma, G. et al. A Semianalytical Coupling Model between Reservoir and Horizontal Well with Different Well Completions. Volume 2020, Article ID 8890174, 12 P DOI 10.1155/2020/8890174

References

1. Kotik E.P., Kotik P.T. Razrabotka i jekspluatacija neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij: uchebnik. - Almaty: CyberSmith, 2021. –Т.1. -220 s. ISBN 978-601-342-948-9 [in Russian]
2. Kotik E.P., Kotik P.T. Razrabotka i jekspluatacija neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij: uchebnik. - Almaty: CyberSmith, 2021. –Т.2. -212 s. ISBN 978-601-342-948-9 [in Russian]
3. Kotik E.P., Kotik P.T. Razrabotka i jekspluatacija neftjanyh i gazovyh mestorozhdenij: uchebnik. - Almaty: CyberSmith, 2021. –Т.3. -240 s. ISBN 978-601-342-948-9 [in Russian]
4. KASE: neftegazovaja otrasl' Respubliki Kazahstan [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://kase.kz> [in Russian]
5. Milovidov K.N. Innovacionnye tehnologii v razvedke i dobyche nefti [Tekst]: Uch. posobie / K.N. Milovidov., V.I. Kokorev – М.: Izd-vo «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina. – 2008. -272 с. ISBN 978-5-317-02644-8 [in Russian]
6. Fedorov V. A. Tehnologija jekspluatacii neftjanyh i gazovyh skvazhin — SPb, 2016. -26 s. ISBN 978-5-4469-0145-1. [in Russian]
7. Hasanov Je.M., Kagarmanov I.I., Pupchenko I.N. Osobennosti jekspluatacii UJeCN: Uchebnoe posobie. – Samara: «ROSING», 2006 – 216 s. [in Russian]
8. Zhadurassyn Sarkulova, G. Lo Papa, Carmelo Dazzi, Farida Kozybaeva, Gulzhan Beiseyeva. Morphogenetic characteristics of chernozem leached in mining enterprises pollution conditions // EurAsian Journal of BioSciences. -2019. –Vol.13. Iss.2. - P.1931-1941.
9. A. Abdirashit, YE. Makhambetov, Zh. Sarkulova, A. Yerzhanov Large-scale laboratory tests for smelting medium-carbon ferromanganese using jezda manganese ore and simn17 silicomanganese fines// METABK. -2023. –Vol.62(1). –P.139-141. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/407990>

10. Vadetsky Yu.V. Burenie neftyanykh i gazovykh skvazhin. - Publishing House: Textbook, 2014 Academy, Moscow, 2004. -351 s. ISBN: 5-7695-1119-2 [in Russian]
11. Moradi, S. et al. Artificial Lift Selection Methods in Conventional and Unconventional Wells: A Summary and Review from Old Techniques to Machine Learning Applications. Volume 9, Issue 3, March – 2024. International Journal of Innovative Science and Research Technology. ISSN No:-2456-2165
12. Ma, G. et al. A Semianalytical Coupling Model between Reservoir and Horizontal Well with Different Well Completions. Volume 2020, Article ID 8890174, 12 P DOI 10.1155/2020/8890174

Сведения об авторах:

Саркулова Ж.С. - PhD доктор, доцент, Актюбинский Региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан, email: zhadi_0691@mail.ru

Исенғалиева Г.А. - кандидат технических наук, доцент, Актюбинский Региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан, email: isengul@mail.ru

Шильмағамбетова Ж.Ж. - кандидат педагогических наук, доцент, Актюбинский Региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан, email: Zhadra_69@mail.ru

Оразбекова Р.Ж. - кандидат технических наук, Актюбинский Региональный университет им. К.Жубанова, Актобе. Казахстан, email: riza_O@mail.ru

Наурызова К.Ш. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский Региональный университет им. К.Жубанова, г. Актобе, Республика Казахстан, e-mail: nauryzova61@mail.ru

Information about the authors:

Sarkulova Zh.S.-PhD Doctor, Associate Professor, Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Republic of Kazakhstan, email: zhadi_0691@mail.ru;

Isengalieva G.A. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional University named after. K. Zhubanov, Aktobe, Republic of Kazakhstan, email: isengul@mail.ru

Shilmagambetova R.ZH. - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional University named after. K. Zhubanov, Aktobe, Republic of Kazakhstan, email: Zhadra_69@mail.ru;

Orazbekova R.Zh. - Candidate of Technical Sciences, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Republic of Kazakhstan, Aktobe, email: riza_O@mail.ru

Nauryzova K.Sh. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Aktobe Regional University named after. K. Zhubanova, Aktobe, Republic of Kazakhstan, email: nauryzova61@mail.ru

ФИЛЬТРАЦИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЕ

Ж.К. Зайдемова[✉], М.Д. Бисенгалиев[✉], Ш.М. Медетов[✉], Г.Ш. Досказиева[✉], Г.Г. Абдешева[✉],
Г.Е. Суюнгариев[✉], А.Н. Мукамбеткалиева[✉]

НАО Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: maks_bisengali@mail.ru

Результаты исследования позволили изучить процессы в призабойная зона скважины (ПЗС) и стволе скважины в режимах, характерных осложненным условиям эксплуатации без учета фильтрации. Однако, эксплуатация таких скважин для добычи нефти неразрывно связана с фильтрацией вытесняемой из пласта водонефтяной смеси. Поэтому при таких осложнениях необходимо также исследовать режим работы ПЗС в условиях фильтрации, т.е. фильтрационные процессы как в естественном проявлении, так и с применением специальных фильтров. В связи с этим, для конкретизации эксплуатационных параметров процесса добычи нефти ШСНУ исследуем гидродинамику процесса вытеснения нефти из пласта с учетом применения устройств для фильтрации [1].

В нефтепромысловой практике применяются скважинные фильтрационные устройства, среди которых гравийный скважинный фильтр представляет собой наиболее простую и дешевую конструкцию, доступную в условиях промыслового ремонта [2]. Для его создания в открытую в продуктивном пласте часть ствола скважины засыпают крупнозернистым материалом (например, гравий) и для предотвращения выноса засыпки потоком нефти в верхней части ствола у кровли пласта устанавливают пакер сетчатого типа.

Целью данной статьи является вывод уравнений для расчета гидротехнических характеристик нефтедобывающей скважины с гравийным фильтром и их решение. На этой основе обоснованы рабочие параметры процесса фильтрации без учета и с учетом влияния на ПЗС погружения плунжера штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ).

Выбор такого метода борьбы с пескопроявлением связано с тем, что, в отличие от фильтратов перфорационной конструкции [3,4].

Ключевые слова: гидротехническая характеристика, фильтрация жидкости, пескопроявление, нефтеотдача пласта, гравийный фильтр, плунжерный насос.

ТІК ҰНҒЫМАДА СЫҒЫЛМАЙТЫН СҰЙЫҚТЫҚТЫ СҰЗУ

Ж.К. Зайдемова, М.Д. Бисенгалиев[✉], Ш.М. Медетов, Г.Ш. Досказиева, Г.Г. Абдешева, Г.Е. Суюнгариев, А.Н. Мукамбеткалиева

«С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КеАҚ, Атырау, Қазақстан,
e-mail: maks_bisengali@mail.ru

Зерттеулер қортындысы ұнғыманың түп маңы аймағында және ұнғыма оқпанындағы сүзілуді ескермеген кездегі пайдаланудың күрделендірілген жұмыс жағдайымен сипатталатын режимдердегі үрдістерді зерттеуге мүмкіндік берді. Алайда, мұнай өндіруге арналған мұндай ұнғымаларды пайдалану қабаттан ығыстырылып шығарылатын су-мұнай қоспасының сүзілуімен үздіксіз байланысты. Сондықтан мұндай күрделі жағдайларда сүзілу жағдайындағы ұнғыманың түп маңы аймағының жұмыс режимін зерттеу қажет, яғни табиғи сүзілу кезіндегі және арнайы сүзгілерді қолдану кезіндегі сүзілу үрдісін зерттеу керек. Осыған байланысты, штангалы ұнғымалық сорап қондырғысының (ШҰСҚ) мұнай өндіру үрдісінің пайдалану көрсеткіштерін нақтылау үшін сүзгілеу құрылғыларын қолдануды ескере отырып, қабаттан мұнайдың ығыстырылу үрдісінің гидродинамикасын зерттейміз [1].

Мұнай кәсіпшілігінің тәжірибесінде ұңғымалық сүзгі құрылғылары қолданылады, олардың ішінде қиыршық тасты ұңғыма сүзгісі кәсіпшілік жөндеу жағдайларына мүмкіндік беретін қарапайым және арзан конструкция түрінде болады [2]. Оны құрау үшін өнімді қабатта ұңғыманың оқпанының бір бөлігін ірі бөлшекті материалмен (мысалы қиыршық тас) көмеді және көмілген материалды мұнай ағызып кетпеу үшін оқпанның жоғары бөлігіне қабат шетіне тор тәріздес пакер орнатады.

Бұл мақаланың мақсаты қиыршық тасты мұнай өндіруші ұңғымалардың гидротехникалық сипаттамаларын есептеуге арналған теңдеуді шығару және оларды есептеу. Осы негізде штангалы ұңғымалық сорап қондырғысының ШҰСҚ плунжерінің батуының ұңғыманың түп маңы аймағына әсер етуін ескерген және ескермеген кездегі сүзілу үрдісінің жұмыстық көрсеткіштерін негізделген [3,4].

Құм көрінісімен күрестің осындай әдісін тандау перфорациялық конструкциялы сүзгіштерге қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие болуымен байланысты түсіндіріледі.

Түйін сөздер: гидротехникалық сипаттама, сұйықтың сүзілуі, құм көрінісі, қабаттың мұнай бергіштігі, қиыршық тасты сүзгі, плунжерлі сорап.

FILTRATION OF INCOMPRESSIBLE FLUID IN A VERTICAL WELL

Zh.K. Zaidemova, M.D. Bisengaliyev[✉], Sh.M. Medetov, G.Sh. Doskazieva, G.G. Abdeshova, G.E. Suyungariyev, A.N. Mukambetkalieva

NAO Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebaev, Atyrau, Kazakhstan
e-mail: maks_bisengali@mail.ru

The results of the research allowed to study the processes in bottom-hole zone (BHZ) and wellbore in the regimes characteristic of complicated operating conditions without taking into account filtration. However, the operation of such wells for oil production is inextricably linked with filtration of water-oil mixture displaced from the reservoir. Therefore, under such complications it is also necessary to investigate the operation mode of the CCD under filtration conditions, i.e. filtration processes both in natural manifestation and with the use of special filters. In this connection, for specification of operational parameters of the process of oil production by SHSNU we study the hydrodynamics of the process of oil displacement from the reservoir taking into account the application of filtration devices [1].

In oilfield practice, downhole filtration devices are used, among which gravel downhole filter is the simplest and cheapest design available in the conditions of field repair [2]. To create it, a coarse-grained material (e.g., gravel) is poured into the open part of the wellbore in the productive formation and a net-type packer is installed in the upper part of the wellbore near the formation roof to prevent the oil flow from carrying the filling away.

The purpose of this article is to derive equations for calculating the hydraulic characteristics of an oil production well with a gravel filter and their solution. On this basis, justification of the operating parameters of the filtration process without taking into account and taking into account the effect on the CCD of plunger immersion of rod well pumping units (RWPU). The choice of such a method of struggle against sand penetration is connected with the fact that unlike perforation design filtrates [3,4].

Keywords: hydraulic engineering characteristics, fluid filtration, sanding, oil recovery, gravel filter, plunger pump.

Введение. Из общего объема ежегодно добываемой в республике нефти более чем 80% приходится месторождениям, находящимся на последней стадий эксплуатации. В связи с этим, не смотря на интенсивное освоение новых нефтяных ме-

сторождений Казахстана, проблема повышения эффективности эксплуатации, в частности интенсификации нефтеотдачи пластов существующих месторождений и увеличения их межремонтного периода все еще остается важной научно – произ-

водственной проблемой.

Решение таких задач, прежде всего, связано с применением комплекса научно обоснованных мероприятий, направленных на совершенствование рабочих процессов, методов и технических средств воздействия на пласт, способствующих интенсификации и снижению себестоимости добычи нефти. При многочисленности существующих способов и методов воздействия на пласт, вопрос о научном обосновании их оптимального выбора в каждом конкретном случае эксплуатации скважин, с учетом влияния на дебит рабочих параметров применяемых технических средств добычи представляет собой огромный научно-практический интерес.

Если учесть, что 70% действующего фонда скважин старых нефтяных месторождений, эксплуатируемых как в республике, так и в ближнем зарубежье осваиваются при помощи ШСНУ, то станет очевидным, какое влияние может оказать на нефтеотдачу оптимальный выбор режима их работы, совершенствование уравнивания привода при рациональном сочетании с тем или иным способом воздействия на пласт. Такой подход решения вышеуказанной задачи путем комплексного рассмотрения вопросов уравнивания привода и колебания подземной части ШСНУ с учетом влияния различных динамических факторов предопределяет повышение дебита скважин и получение более достоверных результатов исследований.

В связи с этим, исследования направленные на изучение влияния на дебит скважин упругого уравнивания привода плунжерных насосов и оптимизация способов воздействия на пласт в условиях пескопроявления являются актуальными.

Материалы и методы. Фильтрацию несжимаемой жидкости (нефти) в вертикальной центральной скважине, эксплуатирующей горизонтальный пласт толщиной b (рисунок 1). Поток жидкости внутри ствола скважины примем за одномерный, направленный вдоль оси z , т.е. радиальной составляющей течения внутри ствола скважины. Неравномерностью потока по ее сечению пренебрегаем. Поэтому вертикальную со-

ставляющую $u(z)$ скорости течения будем считать зависящей только от одной координаты z . Приведенное давление [5].

$$P^{(t)} = \rho g z + p + \rho \left(\frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} \right), \quad (1)$$

где ρ – гидродинамическое давление; ρ – плотность флюида; g – ускорение свободного падения; z – координата, направленная вертикально вверх по оси скважины, начало отсчета на которой совмещено с подошвой пласта (рисунок 1), внутри скважины в первом приближении тоже считаем функцией только лишь координаты z .

Связь между скоростью $u(z)$ и давлением определяется из закона фильтрации для фильтра скважины

$$\frac{dP}{dz} = -f(u), \quad (2)$$

где – заданная функция удовлетворяющая условию $f(0) = 0$. В частности, если в фильтре скважины фильтрация линейная, то

$$f(u) = \frac{\mu u}{k_2}. \quad (3)$$

Если в фильтре режим фильтрации подчиняется двучленному закону, то

$$f(u) = Au + Bu^2, \quad (4)$$

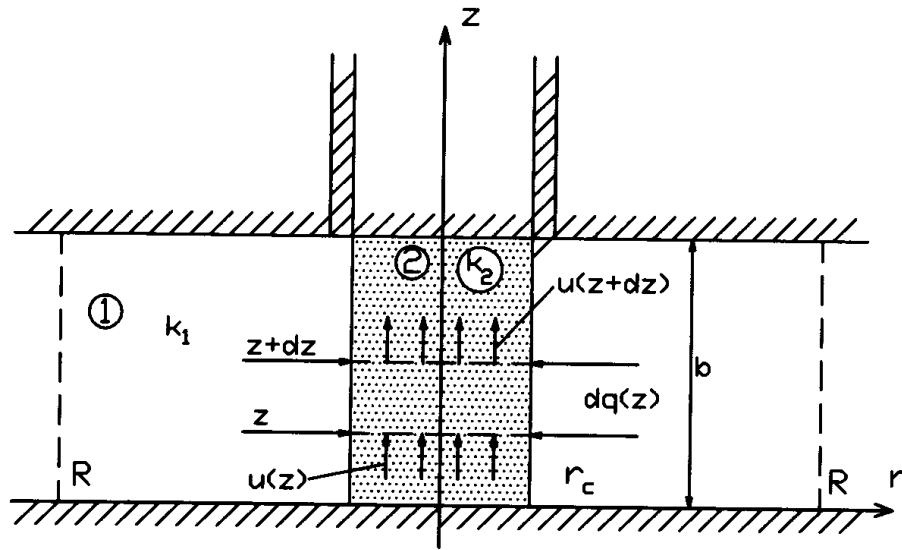
где A и B – некоторые экспериментально устанавливаемые положительные постоянные. Кроме перечисленных (3), (4) под $f(u)$ могут пониматься и другие законы фильтрации, например степенные.

Результаты и обсуждение. Если функция $u(z)$ будет найдена, то с помощью (2) можно определить скорость $u(z)$, а следовательно и дебит скважины $Q = \pi \cdot r_c^2 \cdot u(b)$. Для вывода уравнения, которому должна удовлетворять функция $P(z)$, рассмотрим течение в скважине между двумя бесконечно близкими плоскостями z и $z + dz$ (рисунок 1) [6]. Течение жидкости между плоскостями z и $z + dz$ в первом приближении будем рассматривать как плоскорадиальное. Поэтому величину

притока $dq(z)$ жидкости в части боковой поверхности ствола скважины, заключенной между z и $z + dz$, найдем по известной [6] формуле Дюпюи:

$$dq(z) = \frac{2\pi k_1 \cdot (P_{\Pi} - P(z)) \cdot dz}{\mu \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}, \quad (5)$$

где P_{Π} – давление на контуре питания $r = R$; $P(z)$ – давление в скважине. К величине $dq(z)$ добавляется поток со стороны поступающей снизу жидкости, равный $\pi \cdot r_c^2 \cdot u(z)$ (рисунок 1). Поэтому за единицу времени в участок скважины $[z, z + dz]$ поступает суммарный поток жидкости, равный $dq(z) + \pi \cdot r_c^2 \cdot u(z)$.



1 – призабойная зона скважины (ПЗС) с проницаемостью k_1 – режим фильтрации линейный; 2 – гравийный фильтр (часть ствола скважины с засыпкой) – режим фильтрации может быть (в зависимости от его свойств) как линейным, так и нелинейным; r_c – радиус скважины, k_2 – коэффициент проницаемости фильтра, r и z – цилиндрические координаты, ось z направлена вверх; R – радиус контура питания; $u(z)$ – скорость течения жидкости в фильтре скважины

Рис.1 – Схема устройства гравийного скважинного фильтра и принятая модель течения жидкости в нем

Следовательно, в сечении скважины $(z + dz)$ вертикальная составляющая скорости потока будет равна

$$u(z + dz) = \frac{dq(z) + \pi r_c^2 \cdot u(z)}{\pi r_c^2} = u(z) + \frac{2k_1 \cdot (P_{\Pi} - P(z)) \cdot dz}{\mu \cdot r_c^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}. \quad (6)$$

С другой стороны, величина скорости $u \cdot (z + dz)$ связана с распределением давления в стволе скважины по закону (2). Поэтому должно быть выполнено равенство:

$$\frac{dP(z + dz)}{dz} = -f[u(z + dz)]. \quad (7)$$

Вычитая из (7) соответствующие части равенства (2), получим

$$\frac{dP(z+dz)}{dz} - \frac{dP(z)}{dz} = -\{f[u(z+dz)] - f[u(z)]\}. \quad (8)$$

Если теперь к обеим частям последнего выражения применить известную в математическом анализе теорему Лагранжа и перейти к пределу при dz , то из (8) с учетом равенства (6) получим:

$$\frac{d^2P(z)}{dz^2} = -\frac{2k_1 \cdot [P_{\Pi} - P(z)]}{\mu \cdot r_c^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)} \cdot f'[u(z)]. \quad (9)$$

Уравнение (9) содержит две неизвестные функции: приведенное давление внутри ствола скважины (z) и скорость потока жидкости в стволе скважины $u(z)$. Поэтому для решения задачи еще нужно определить уравнение для $u(z)$. Чтобы найти $u(z)$ воспользуемся формулой (5) за весь приток жидкости к скважине на участке $[0, Z]$:

$$q(z) = \int_0^z dq(z) = \frac{2\pi k_1}{\mu \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)} \cdot \int_0^z (P_{\Pi} - P(z))dz. \quad (10)$$

С учетом, что через сечение z скважины должен проходить за единицу времени поток жидкости $q(z)$, средняя скорость течения жидкости $u(z)$ будет равна $\frac{q(z)}{\pi r_c^2}$, т.е.

$$u(z) = \frac{2k_1}{\mu \cdot r_c^2 \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)} \cdot \int_0^z (P_{\Pi} - P(z))dz. \quad (11)$$

Подставив (11) в (9), относительно неизвестной функции распределения давления в стволе скважины получим одно интегро-дифференциальное уравнение. Для решения этого уравнения нужно еще дополнительно задать краевые условия на границах $z = 0$ и $z = b$ активного участка скважины. В сечении на кровле пласта $z = b$ (рисунок 1) должно быть задано давление в скважине, поэтому

$$P|_{z=b} = P_C. \quad (12)$$

В сечении $z = 0$ (на подошве пласта) нормальная составляющая скорости потока $u(0) = 0$, а следовательно,

$$\frac{dP}{dz}|_{z=0} = -f[u(0)] = -f(0) = 0.$$

Поэтому

$$\frac{dP}{dz}|_{z=0} = 0. \quad (13)$$

Выводы. Таким образом, интегро-дифференциальное уравнение, получающееся при подставке (11) в (9), должно интегрироваться совместно с краевыми условиями (12) и (13).

После того, как функция $P(z)$ будет найдена, дебит Q скважины можно вычислить по формуле (10) при $z = b$:

$$Q = \frac{2\pi k_1}{\mu \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)} \cdot \int_0^b (P_{\Pi} - P(z))dz. \quad (14)$$

Если вдоль ствола скважины давление $P(z)$ можно принять постоянным, равным P_C , то из формулы (14) получается классическая формула Дюпюи для дебита Q_0 центральной совершенной скважины

$$Q_0 = \frac{2\pi k_1 \cdot (P_{\Pi} - P_C) \cdot b}{\mu \cdot \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}. \quad (15)$$

Более простой по сравнению с (9), (11) и удачно его дополняющий способ расчета гидротехнических характеристик скважины можно получить, если за основу взять распределение скорости течения $u(z)$ в ее фильтре. Поэтому в допол-

нение к (9), (11) выведем еще дифференциальное уравнение для скорости фильтрации $u(z)$ [7 - 9].

Прежде всего заметим, что для производной $\frac{du}{dz}$ из формулы (6) с учетом (15) получается значение

$$\frac{du}{dz} = \frac{Q_0}{\pi \cdot r_c^2 \cdot b} \cdot \frac{P_{\Pi} - P(z)}{P_{\Pi} - P_C} \quad (16)$$

Дифференцируя обе части (16) по z и учитывая формулы (2) и (15), для скорости фильтрации $u(z)$ получим уравнение

$$\frac{d^2 u}{dz^2} = \frac{Q_0}{\pi \cdot r_c^2 \cdot b \cdot (P_{\Pi} - P_C)} \cdot f(u) \quad (17)$$

Дифференциальное уравнение (17) должно интегрироваться совместно с краевыми условиями

$$u|_{z=0} = 0 \text{ и } \frac{du}{dz}|_{z=b} = \frac{Q_0}{\pi \cdot r_c^2 \cdot b}. \quad (18)$$

Первое из условий (18) означает, что нормальная составляющая скорости потока на подошве пласта отсутствует, а второе условие сразу следует из (16) при $z = b$.

Интегрирование уравнения (17) совместно с условиями (18) приводит к следующему распределению скорости $u(z)$:

$$z = \frac{1}{A} \cdot \int_0^u \frac{du}{\sqrt{1 - \frac{2}{A \cdot (P_{\Pi} - P_C)} \cdot \int_u^{u_*} f(u) du}}, \quad (19)$$

где введены обозначения

$$A = \frac{Q_0}{\pi \cdot r_c^2 \cdot b}; \quad u_* = \frac{Q}{\pi \cdot r_c^2} = u(b). \quad (20)$$

Уравнение для неизвестной постоянной u_* получим с помощью (19) при $z = b$. Учитывая (20), приходим к следующему уравнению для u_* :

$$A \cdot b = \frac{1}{A} \cdot \int_0^{u_*} \frac{du}{\sqrt{1 - \frac{2}{A \cdot (P_{\Pi} - P_C)} \cdot \int_u^{u_*} f(u) du}}. \quad (21)$$

Из уравнения (21) вычислим u_* , а стало быть и дебит Q по формуле (20). Затем по формуле (19) можно будет найти распределение скорости $u(z)$ в фильтре скважины [10]. Наконец, с помощью формул (16) и (19) найдем распределение давления в стволе скважины по ее высоте:

$$\frac{P_{\Pi} - P(z)}{P_{\Pi} - P_C} \sqrt{1 - \frac{2}{A \cdot (P_{\Pi} - P_C)} \cdot \int_u^{u_*} f(u) du} \quad (22)$$

Таким образом, задачу расчета гидротехнических характеристик скважины с гравийным фильтром оказалось можно считать решенной. Это дает основание анализировать работу фильтра для любого режима эксплуатации, в нашем случае, для линейного режима.

Литература

1. Зайдемова Ж.К., Ахметов С.М. Исследование процесса движения жидкости в призабойной зоне и в стволе нефтегазодобывающей скважины в условиях повышенного обводнения и пескопроявления // Сборник трудов Третьего международного семинара – совещания «Инновационные подходы в развитии нефтегазовой и нефтехимической промышленности в Атырауской области». - Атырау: АИНГ, 2005. – С.345–358.
2. Пашкин В.Д., Лежнев К.Э., Кудря Е.Р., Никулин К.А. Гравийные фильтры как средство контроля притока при разработке слабоконсолидированных пластов. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2022;7(1):52-59.
3. Попов М.А., Петраков Д.Г. Исследование режимов эксплуатации газовых скважин в осложненных условиях. Санкт-Петербургский горный университет. Недропользование. 2021. Т.21, № 1. С.36-41.

-
4. Шиян С. И., Шаблий И. И., Задачин А. А., Сафиуллина Е. У, Кусова Л. Г Перспективы применения методов повышения нефтеотдачи пластов на Полярном нефтяном месторождении на основе анализа эффективности применяемых методов на месторождениях-аналогах. // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 3 (639). – С.9–18.
 5. Бисенгалиев М.Д., Абдешова Г.К., Досказиева Г.Ш. Конструкция усовершенствованного цепного привода штанговой скважинной насосной установки, «Нефть и газ» 2, 2025 год, 274-281 стр.
 6. Зайдемова Ж.К., Ахметов С.М., Суюнгариев Г.Е. Перспективы уравнивания наземных приводов скважинных насосных установок пружинными выравнителями нагрузок //Доклады Первых международных научных Надиловских чтений «Научно-технологическое развитие нефтегазового комплекса». - Атырау.-2003. - С.268 -271.
 7. Шишкин Г. А. , Линейные интегро-дифференциальные уравнения Фредгольма. Учебное пособие по спецкурсу и спецсеминару. Издательство Бурятского госуниверситета 2007.-195 с.
 8. Власов В. В., Перез Орtiz Р. Спектральный анализ интегро-дифференциальных уравнений, возникающих в теории вязкоупругости и теплофизике // Матем. Заметки.- 2015.-Т.98(4).- С.630-634 DOI <https://doi.org/10.4213/mzm10829>
 9. Пулькина Л. С. Нелокальная задача для гиперболического уравнения с интегральными условиями I рода с ядрами, зависящими от времени//Изв. вузов. Матем.-, 2012.- №10.- С.32-34 DOI 10.3103/S1066369X12100039
 10. Сабитова Ю. К. Краевая задача с нелокальным интегральным условием для уравнений смешанного типа с вырождением на переходной линии// Матем. Заметки.- 2015.-Т.98(3). С.393-406. DOI 10.4213/mzm9135

References

1. Zajdemova Zh.K., Ahmetov S.M. Issledovanie processa dvizhenija zhidkosti v prizabojnoj zone i v stvole neftegazodobyvajushhej skvazhiny v uslovijah povyshennogo obvodnenija i peskoproyavlenija // Sbornik trudov Tret' ego mezhdunarodnogo seminar – soveshhanija «Innovacionnye podhody v razvitii neftegazovoj i neftehimicheskoj promyshlennosti v Atyrauskoj oblasti». -Atyrau: AING, 2005. – S. 345–358.[in Russian]
2. Pashkin V.D., Lezhnev K.Je., Kudrja E.R., Nikulin K.A. Gravitnyye fil' try kak sredstvo kontrolja pritoka pri razrabotke slabokonsolidirovannyh plastov. PRONEFT". Professional' no o nefti.2022;7(1):52-59. [in Russian]
3. Popov M.A., Petrakov D.G. Issledovanie rezhimov jekspluatcii gazovyh skvazhin v oslozhnennyh uslovijah. Sankt-Peterburgskij gornyj universitet. Nedropol' zovanie.2021. T.21, № 1. S.36-41. [in Russian]
4. Shijan S. I., Shabliy I. I, Zadachin A. A., Safiullina E. U, Kusova L. G Perspektivy primeneniya metodov povysheniya nefteotdachi plastov na Poljarnom neftjanom mestorozhdenii na osnove analiza jeffektivnosti primenjaemyh metodov na mestorozhdenijah-analogah. // Neftepromyslovoe delo. – 2022. – № 3 (639). – S.9–18[in Russian].
5. Bisengaliev M.D., Abdeshova G.K., Doskazieva G.Sh. Konstrukcija usovershenstvovannogo cepnogo privoda shtangovoj skvazhinnoj nasosnoj ustanovki, «Nef' i gaz» 2, 2025 god, 274-281 str. [in Russian]
6. Zajdemova Zh.K., Ahmetov S.M., Sujungariyev G.E. Perspektivy uravnoveshivaniya nazemnyh privodov skvazhinnyh nasosnyh ustanovok pruzhinnyimi vyravnivateljami nagruzok //Doklady Pervyh mezhdunarodnyh nauchnyh Nadirovskih chtenij «Nauchno-tehnologicheskoe razvitie neftegazovogo kompleksa». - Atyrau.-2003. - S.268 -271. [in Russian]

7. Shishkin G. A. , Linejnye integro-differencial' nye uravnenija Fredgol' ma. Uchebnoe posobie po speckursu i specseminaru. Izdatel' stvo Burjatskogo gosuniversiteta 2007. -195 c. [in Russian]
8. Vlasov V. V., Perez Ortiz R. Spektral' nyj analiz integro-differencial' nyh uravnenij, vznikajushhih v teorii vjazkouprugosti i teplofizike // Matem. Zametki.- 2015.-T.98(4).- S.630-634 DOI 10.4213/mzm10829. [in Russian]
9. Pul' kina L. S. Nelokal' naja zadacha dlja giperbolicheskogo uravnenija s integral' nymi uslovijami I roda s jadrami, zavisjashhimi ot vremeni//Izv. vuzov. Matem.-, 2012.- №10.- S.32-34 DOI 10.3103/S1066369X12100039. [in Russian]
10. Sabitova Ju. K. Kraevaja zadacha s nelokal' nym integral' nym usloviem dlja uravnenij smeshannogo tipa s vyrozhdeniem na perehodnoj linii// Matem. Zametki.- 2015.-T.98(3). S. 393-406. DOI 10.4213/mzm9135. [in Russian]

Сведения об авторах

Ж.К. - , НАО Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: b.n.m.99@list.ru;
Бисенгалиев М.Д. - ассоциированный , НАО Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;
Медетов Ш.М. - ассоциированный , НАО Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: medetov.76@mail.ru;
Досказиева Г.Ш.- , НАО Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: doskaziyeva.gulsin@gmail.com;
Абдешова Г.Г.- ст преподаватель, НАО Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: gulya6320@mail.ru;
Суюнгариев Г.Е. - ассистент профессора, НАО Атырауский университет нефти и газа имени С.Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: S.gabit72@mail.ru;
Мукамбеткалиева А.Н. - докторант, НАО Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: ainash_m_89@mail.ru;

Information about the authors

Zaidemova Zh. - Ph. Sci, Professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: b.n.m.99@list.ru;
Bissengaliyev M. – Ph. sci, associate professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: maks_bisengali@mail.ru;
Medetov Sh. - Ph. Sci, Associate Professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: medetov.76@mail.ru;
Doskazieva G- Ph. Sci, Professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: aing-zhomart@mail.ru;
Abdehova G - Senior lecturer, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: gulya6320@mail.ru;
Suyungariyev G. - Ph. Sci, Assistant Professor, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: s.gabit72@mail.ru;
Mukambetkalieva A. - Doctoral, Atyrau University of Oil and Gas named after S. Utebaev, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: ainash_m_89@mail.ru.

БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ СІҢІРІЛУІН ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН ЖЕҢІЛДЕТІЛГЕН ПОЛИМЕРЛІ ҚҰРАМ

Н.А. Бесбаева[✉], Г.Ж. Бимбетова[✉], К.С. Надиров[✉], М.Қ. Жантасов[✉], Н.Ш. Отарбаев[✉]

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: gulmnaz@mail.ru

Ұңғымаларды бұрғылау кезінде бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуі кеуекті немесе жарықшақты қабаттардың ашық болуымен байланысты. Сіңірілу технологиялық себептерге немесе тау жыныстарының жатыс пішіндерінің геологиялық жағдайларына байланысты болуы мүмкін. Геологиялық себептер-сіңірілу қабатының түрі, қуаты мен оның жатыс пішінінің тереңдігі, гидравликалық жарылысқа тау жыныстарының төзімділігінің жеткіліксіздігі, қабат қысымы және қабат сұйықтығының сипаттамасы, сонымен бірге, басқа да ілеспе қиындықтардың болуы (опырылуы, мұнайгаздың пайда болуы, қабат суларының ағындары және т.б.). Болатын технологиялық себептерге ұңғымаға айдалатын бұрғылау ерітіндісінің саны мен сапасы, бұрғылау әдісі, көтеріп-түсіру операцияларын жүргізу жылдамдығы және техникалық жабдықтау, бұрғылау процесін ұйымдастыру сияқты факторлар кіреді.

Берілген мақалада ұңғымадағы бұрғылау ерітіндісінің тау жыныстарының жарықшақтарына сіңірілуін төмендету мүмкіндігі мен пайда болу мәселелері қарастырылды. Ерітіндінің сіңірілуін төмендетудің қолданыстағы әдістері талданды және қиын жағдайларда сәтті бұрғылауды жүзеге асыру бойынша ұсыныстар жасалды.

Сонымен қатар, мақалада әр түрлі мөлшердегі қатынаста модификацияланған полиакриламид пен ұсақталған мақта талшығының бұрғылау ерітіндісінің қасиеттеріне әсері туралы зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл зерттеулер ұңғыма қабырғасының қабықшалы қабат арқылы бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу жылдамдығын төмендету мақсатында жүргізілді. Модификацияланған полиакриламид пен ұсақталған мақта талшығының концентрациясының бұрғылау ерітіндісінің реологиялық қасиеттерінің көрсеткіштеріне (ығысудың статикалық кернеуі және шартты тұтқырлық) әсері бойынша зерттеулер жүргізілді. Құрамында бентонит сазы бар жеңілдетілген бұрғылау ерітіндісіне ұсақталған мақта талшығын енгізу тұтқырлықты жоғарылатады және судың бергіштігін төмендетеді, сонымен қатар ұңғыма қабырғасына сапалы қабықшаның пайда болуына ықпал етеді. Осылай, ерітіндінің негізгі көрсеткіштер бойынша оң нәтиже көрсеткен оңтайлы құрам анықталды, бұл авторлардың пікірінше, мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде сіңірілетін ерітіндінің көлемін төмендетуге ықпал етеді.

Түйін сөздер: мұнай, бұрғылау ерітіндісі, мақта талшығы, полиакриламид, май қышқылы, госсипол шайыры, полимерлі бұрғылау ерітіндісі, каустикалық сода, ерітіндінің сіңірілуі, сіңірілуді төмендету.

ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

Н.А. Бесбаева, Г.Ж. Бимбетова[✉], К.С. Надиров, М.Қ. Жантасов, Н.Ш. Отарбаев

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
e-mail: gulmnaz@mail.ru

Поглощения бурового раствора при бурении скважин связано с вскрытием пористых или трещиноватых пластов. Поглощения могут быть вызваны технологическими причинами или геологическими условиями залегания горных пород. Геологические причины - тип поглощающего пласта, его мощность и глубина залегания, недостаточность сопротивления пород гидравлическому разрыву, пластовое давление и характеристика пластовой жидкости, а также наличие других сопутствующих

осложнений (обвалы, нефтегазоводопроявления, перетоки пластовых вод и др.). Технологические причины - количество и качество подаваемого в скважину бурового раствора, способ бурения, скорость проведения спускоподъемных операций и другие. К этой группе относятся такие факторы, как техническая оснащенность и организация процесса бурения.

Рассмотрены вопросы возникновения и возможности снижения поглощений бурового раствора в скважине. Проанализированы существующие методы снижения поглощения раствора и сформулированы рекомендации для реализации успешного бурения в осложненных условиях.

В данной статье приведены результаты исследований по влиянию модифицированного полиакриламида, а также измельченного хлопкового волокна в различных соотношениях на свойства бурового раствора. Данные исследования проведены с целью снижения скорости поглощения бурового раствора через корковый слой стенки скважины. Проведены исследования по влиянию концентрации модифицированного полиакриламида и измельченного хлопкового волокна на реологические показатели бурового раствора (статическое напряжение сдвига и условная вязкость). Показано, что введение измельченного хлопкового волокна в состав облегченного бурового раствора, содержащего бентонитовую глину, приводит к повышению вязкости и одновременно снижает водоотдачу, а также способствует образованию качественной корки стенки скважины.

Таким образом, выявлен оптимальный состав раствора, который показал положительные результаты по основным показателям, что, по мнению авторов, будет способствовать снижению объема поглощаемого раствора при бурении нефтегазовых скважин.

Ключевые слова: нефть, буровой раствор, хлопковые волокна, полиакриламид, жирные кислоты, госсиполовая смола, полимерные буровые растворы, каустическая сода, поглощения раствора, снижение поглощений.

POLYMER COMPOSITION TO REDUCE THE ABSORPTION OF DRILLING MUD

N.A. Besbaeva, G.ZH. Bimbetova[✉], K.S. Nadirov, M.K. Zhantasov, N.Sh. Otarmaev

M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: gulmnaz@mail.ru

The absorption of drilling mud during well drilling is associated with the opening of porous or fractured formations. Uptake may be caused by technological reasons or geological conditions of rock occurrence. Geological reasons are the type of absorbing formation, its thickness and depth of occurrence, insufficient rock resistance to hydraulic fracturing, reservoir pressure and characteristics of reservoir fluid, as well as the presence of other concomitant complications (landslides, oil and gas occurrences, overflows of reservoir waters, etc.). The technological reasons are the quantity and quality of drilling mud supplied to the well, the drilling method, the speed of descent operations, and others. This group includes factors such as technical equipment and organization of the drilling process.

The issues of the occurrence and the possibility of reducing the absorption of drilling mud in the well are considered. The existing methods of reducing the absorption of the solution are analyzed and recommendations are formulated for the implementation of successful drilling in complicated conditions.

This article presents the results of studies on the effect of modified polyacrylamide, as well as crushed cotton fiber in various ratios on the properties of drilling mud. These studies were conducted in order to reduce the rate of absorption of drilling mud through the cortical layer of the well wall. Studies have been conducted on the effect of the concentration of modified polyacrylamide and crushed cotton fiber on the rheological parameters of the drilling mud (static shear stress and conditional viscosity). It is shown that the introduction of crushed cotton fiber into the composition of a lightweight drilling mud containing bentonite clay leads to an increase in viscosity and at the same time reduces water loss, as well as contributes to the formation of a high-quality crust of the well wall.

Thus, the optimal composition of the solution was identified, which showed positive results in terms of the main indicators, which, according to the authors, will contribute to reducing the volume of absorbed solution when drilling oil and gas wells.

Keywords: oil; drilling mud; cotton fibers; polyacrylamide; fatty acids; gossypol resin; polymer drilling fluids; caustic soda; absorption of the solution; reduction of absorption.

Кіріспе. Оңтүстік Торғай ойпатының кен орындарында мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылаудың дәстүрлі әдістерімен ұңғымадағы қысымның өзі, кейбір жағдайларда қабат қысымынан асып түседі, бұл ұңғымаға қабат сұйықтықтарының түсуін болжайды. Болжамды механизмдердің біріне сәйкес, ұңғымадан бұрғылау ерітіндісінің кетуі оны өткізгіш тау жыныстарға сүзілу нәтижесінде пайда болады, онда бұрғылау ерітіндісінің сұйық компоненті тау жыныстарына сіңеді, ал қатты бөлшектер мен эмульсия тамшылары оқпан қабырғасына жиналып, сүзгі қабықшасын құрайды. Мұндай массаның төмен өткізгіштігі ағып кетудің өте аз мөлшерін қамтамасыз етеді және оның пайда болуы циркуляцияның жоғалуы ретінде қарастырылмайды. Циркуляцияның жоғалуы тау жыныстары жарықшақты, кавернозды немесе өте кеуекті болған жағдайда пайда болады. Содан кейін басқа механизм болған кезде, егер оқпандағы қысым тау жыныстарын жарудағы беріктігінен жоғары болса, жарықшақтар пайда болады. Осы механизмдердің әрқайсысы үшін ерітіндінің үлкен көлемінің сіңірілу аймақтарына кетуі байқалады [1].

Бұрғылау ерітіндісінің қабатқа кетуі бұрғылау шығындары мен тәуекелдерін едәуір арттырады және болашақта одан да үлкен мәселелерге айналу қаупі бар. Өнеркәсіпте осындай қиындықтарды алдын алу және жою үшін ұңғыманың оқпанын нығайту үшін әртүрлі материалдар қолданылады, олар әртүрлі жұмыс принциптеріне ие, бірақ кейбір міндеті жарықшақтардың таралуын тоқтатуға және ұңғымадағы бұрғылау ерітіндісін мүмкіндігінше сақтауға бағытталған [2].

Әр түрлі қарқындылықта немесе бұрғылау ерітіндісінің циркуляциясы толығымен тоқтаған кезде сіңірілудің алдын алу және жоюдың негізгі әдістерін келесі авторлар [3] бірінші ұңғыманың қабырғаларына гидростатикалық және гидродинамикалық қысымды төмендету арқылы қиынды-

қтардың алдын алу, содан соң арнайы цемент ерітінділерімен және пасталармен сіңірілу арналарын бекіту арқылы сіңірілу қабатын ұңғымадан оқшаулау, сонымен бірге, шегендеу тізбегін түсіру арқылы бұрғылау ерітіндісін шығармай бұрғылауды қарастырды. Айта кету керек, ерітіндіні сіңірілумен күресудің ең жақсы құралы - оның алдын алу болып табылады. Отандық және шет елдік бұрғылау компанияларының тәжірибесіне сүйене отырып, бұрғылау ерітіндісінің шығынын азайту үшін бұрғылау ерітіндісінің қасиетін, ең алдымен тығыздығын реттеу; ұңғымада жүргізілетін көтеру-түсіру және басқа технологиялық операциялардың жылдамдығын реттеу (өңдеу жылдамдығы, аралық шаю және т. б.); құбырлар мен ұңғыманың қабырғалары арасындағы оңтайлы саңылауды анықтау, құбыраралық кеңістіктегі құлау қысымын төмендету және ұңғыма оқпанының тарылу мүмкіндігінің төмендеуі; гидравликалық жаруға бейім тау жыныстарының шөгіндісіз бөлігіне ауырлатылған бұрғылау ерітіндісінің әсерін болдырмау мақсатында ұңғыма оқпанының құрылымын өзгерту бойынша ұсыныстар жасалды [3].

Циркуляцияның жоғалуын болдырмау үшін жарықшақтардың өсуіне төзімділікті арттыру әдісі жарықшақтың жоғарғы бөлігін жабу, тығыздау және кесу үшін жанадан пайда болған немесе бар жарықшаққа сіңірілуге қарсы материалды айдауды қамтиды, бұл қабаттың жарықшақтың таралуына төзімділігін арттырады. Жарықшақтардың өсуін тоқтату циркуляцияның жоғалуын да тоқтатады. Жарықшақтардың өсуіне төзімділікті арттырудың осы әдісін қолдану мұнай негізіндегі бұрғылау ерітіндісінің (МНБЕ) су негізіндегі бұрғылау ерітіндісіне (СНБЕ) қарағанда гидравликалық жару қысымының төмен градиентін тудыратынын түсіндірді. Зақымданбаған ұңғымаларда әртүрлі типтегі және рецептуралық бұрғылау ерітінділерін қолданған кезде

жарықшақтың пайда болу қысымы бірдей болғаны белгілі, бірақ жарықшақтардың таралу сипаты айтарлықтай өзгерді.

Бұл айырмашылық жарықшақтың соңғы экрандау сияқты құбылыспен түсіндірілді. Жарықшақ өсе бастаған кезде оқпаннан жаңа пайда болған қуысқа бұрғылау ерітіндісінің белгілі бір көлемі бірден кетеді. Егер мұндай бұрғылау ерітіндісінде сіңірілуге қарсы материал болса, онда бұрғылау ерітіндісінің жарықшаққа түсуі онда осы материалдың жиналуына әкеледі, ол жарықшақтың жоғарғы бөлігін кіретін ерітіндінің толық қысымынан оқшаулайды (қорғайды). Сіңірілумен күресу үшін материалдың мұндай жинақталу тәсілі бұрғылау ерітіндісінің түріне байланысты. СНБЕ қолданған жағдайда, жарықшақтың өсуі сіңірілуге қарсы материалдан тығынның пайда болуына әкеледі, ол жарықшақтың жоғарғы бөлігін оқшаулайды және оның одан әрі өсуіне жол бермейді. Сіңірілуге қарсы материалдың СНБЕ қосылуы жалпы жағдайда жарықшақтың таралу қысымының жоғарылауына ықпал етеді: бұрғылау ерітіндісінің қысымы ерітіндінің экрандаушы толтырғыштың тосқауылына еніп, қайтадан жарықшақтың жоғарғы жағына жетуі үшін жеткілікті жоғары болған жағдайда ғана жарықшақ өсе береді. Алайда, бұл орын алған кезде, жарықшақтың өсуі қайтадан басталады және сіңірілуге қарсы материалдың қосымша көлемі қайтадан бітелгенге дейін шыңында жинала бастайды.

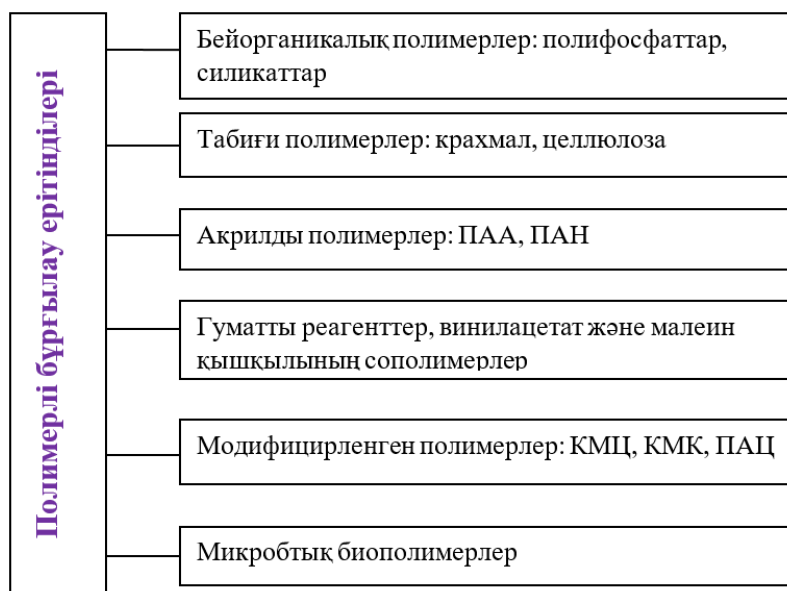
Эмульсиялық бұрғылау ерітінділері өткізгіш жынысқа ену және жарықшақ қабырғасының ішінде өте тығыз және ультра жұқа сүзгі қабығын жасау үшін су негізіндегі эмульсияланған сұйықтықты пайдаланады. Ерітіндінің қатысуымен жарықшақтың өсуімен кері эмульсия жарықшақтың бетін тез саздайды, бұл сұйықтықтың қабатқа кетуін шектейді. Қатты бөлшектердің өте аз мөлшері ұңғыманың қабырғаларына тұнбаға түседі және экрандаушы толтырғыштан немесе саз қабығынан цементтелген тосқауыл пайда болмайды. Мұндай ерітіндіні қолданған кезде жарықшақтың жоғарғы жағындағы қысым ұңғыманың оқпанындағы қысымға жақын болады, ал СНБЕ қолданған кезде жарықшақтың жоғарғы жағын-

дағы қысым айтарлықтай төмендейді. Осылайша, МНБЕ қолданған кезде жарықтардың таралуы СНБЕ қарағанда оңайырақ. Жарықшақты сенімді тығыздау және оның шыңы арқылы ағып кетуді азайту үшін синтетикалық графит, жержаңғақ қабығы және мұнайға дисперсті целлюлоза бөлшектері сияқты оқпанды қатайтатын материалдар ең тиімді болып саналады. Бұл материалдар бұрғылау ерітіндісінде 43-тен 57 кг/м³-ге дейінгі концентрацияда болуы керек, олар ұңғыманың жаңа учаскелерін бұрғылау кезінде үздіксіз қорғауды қамтамасыз ету үшін ұңғыма оқпанына үнемі қалпына келтіріліп, қайта енгізіледі [1].

Жұмыс авторлары [4] мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылауға арналған аз сазды және полимерлі ерітінділердің термотұзға төзімді құрамдарын әзірлеу және реттеу бойынша ауқымды зерттеулер жүргізді.

Оңтүстік Торғай ойпатының Қазақстандық кен орындарының ұңғымаларын бұрғылау жағдайында бейорганикалық, органикалық, микробтық, сондай-ақ модификацияланған құрамдар негізінде гель түзетін полимерлі ерітінділер кеңінен қолданылды (1-сурет).

Бұрғылау ерітіндісіне крахмал сияқты табиғи полимерлерді қосу сұйықтықтың жоғалуын болдырмаудың негізгі механизмдерінің бірі болып табылатын реологиялық қасиеттерді өзгертудің бір жолы болып табылады [5]. Әртүрлі кернеулердегі бұрғылау ерітіндісінің әрекетін зерттеу және жақсарту үшін әртүрлі реологиялық модельдер қажет. Осылайша, бір модельді қолдану ұңғымадағы әртүрлі кернеулер мен жағдайларда бұрғылау ерітіндісінің реологиялық қасиеттерін зерттеуге жарамайды. Циркуляцияның жоғалуын болдырмау үшін ең танымал әдіс ретінде крахмалды қолдану ұсынылады, ұңғыманың су бергіштігі крахмалдың көмегімен төмендейді, бұл тұздар мен басқа заттардың айдалатын өнімге енуіне жол бермейді. Сонымен қатар, крахмал тәрізді карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) қолданылады, ол экологиялық таза арзан шикізат болып табылады. КМЦ су бергіштікті төмендету және бұрғылау ерітіндісінің тұтқырлығын арттыру үшін бұрғылау ерітіндісіне қоспа ретінде пайдалану кеңінен қолданылады.



1 - сурет. Полимерлі бұрғылау ерітінділері

Ұңғыманы салу мерзімін қысқарту, қиындықтарды және басқа мәселелерді азайту мәселесін шешу полимердің құрылымына, оның концентрациясына, сонымен бірге, дисперсиялық ортамен және дисперсті фазамен өзара әрекеттесу сипатына байланысты бірқатар физикалық, химиялық құбылыстарға негізделген акрил полимері қоспалары бар полимерлі бұрғылау ерітінділерін қолдануды ұсынды. Мысалы, бұрғыланған тау жыныстарын суды сіңіруді және саз ерітіндісінің тұтқырлығын төмендету үшін полимерлі реагенттер (КМЦ) және натрий органосиликаты ГКЖ-10,11 қоспалары бар рецептураны қолдану ұңғымалардың қабырғаларының жағдайын жақсартуға, ерітіндідегі мұнай құрамын шектеуге және сәйкесінше ұңғымаларды цементтеу сапасын арттыруға мүмкіндік берді [6].

Сіңірілу аймақтарын оқшаулаудың перспективасы бағыттарының бірі полиуретан негізіндегі полимерлі материалдарды пайдалану болып саналады. Құрамына байланысты олар сұйық немесе қатты болуы мүмкін. Сіңірілу аймақтарын жоюға қажетті сипаттамалар гидроактивті көбікті полиуретан полимерінің құрамында болады. Гидроактивті көбікті полиуретан сумен араласқан уақытта қатты күйге өзгеру мүмкіндігімен және көлемінің ұлғаюымен ерекшеленеді. Көбікті полиуретанды өндіруге арналған компо-

зицияларда полиэфир компоненті, олигоэфир-крилат және полиизоцианат компоненттері де болады [7]. Полиуретанды көбіктің басқа композициялық материалдарға қарағанда негізгі артықшылықтары оның төмен тұтқырлығы болып табылады, ол әртүрлі мөлшердегі жарықшақтар мен тесіктерге жақсы ену қабілетін, полимер судың құрамы мен мөлшеріне байланысты 12 есеге дейін ұлғаю қабілетін, сондай-ақ оның мұнай өнімдеріне инерттілігін қамтамасыз етеді. Қаптама металы және тау жыныстары сияқты әртүрлі материалдармен жақсы адгезиясы байқалады. Ылғал құммен байланыста полиуретанды көбік жасанды тасты құрайды, қатайған кезде кішіреймейді, жабық кеуекті жүйеге ие болады, бұл оның құрылымына еркін судың енуіне жол бермейді.

Ұңғымаларды салу технологиясының маңызды кезеңі - өнімді қабаттың алғашқы ашылуының тиімділігін, сондай-ақ бұрғылаудың коммерциялық жылдамдығын анықтайтын шаю сұйықтығын дайындау болып есептеледі. Табиғи полисахаридтер (крахмал, ксантан және т.б.) жоғары пайдалану қасиеттеріне байланысты бұрғылау ерітінділері үшін жақсы полимерлі негіз болып саналады. Осы қасиеттерден басқа, табиғи полисахаридтер іс жүзінде қоршаған ортаны ластамайды. Мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде қолданылатын бұрғылау ерітіндісі көп компонент-

ті және көпфункционалды жүйе болып табылады, оның маңызды сипаттамалары реологиялық және сүзу қасиеттері болып табылады. Бұрғылау ерітінділерінде полимерлерді қолдану сүзудің айтарлықтай төмендеуіне қол жеткізуге мүмкіндік береді (5-6 мл дейін). Сонымен қатар, қолданылатын полимерлер ерітінділерге төмен пластикалық тұтқырлықты, жоғары ығысудың динамикалық кернеуін, сондай-ақ макромолекулалардың құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты бұрғылаудың жоғары жылдамдығын және ұңғыма түбі мен оқпанның бұрғыланған тау жыныстардан тиімді тазартуды қамтамасыз ететін құрылымдық сипаттамаларды береді. Полисахаридтердің тез биологиялық деструкцияға қабілетті екендігі маңызды, соның арқасында бұрғылау процесінде пайда болған кольматация қабатын жою мүмкіндігі қамтамасыз етіледі және іс жүзінде өнімді қабаттың коллекторлық қасиеттері толығымен қалпына келтіріледі [8].

Қазіргі таңда, полимерлі қоспалардың арқасында қиындықтардың қарқындылығын төмендетуге мүмкіндік беретін суды ұстап тұру қабілеті жоғары шаю сұйықтықтар қолданылады. Біздің еліміздің оңтүстігінде орналасқан мұнай және газ кен орындарының геологиялық бөлімдерінде ең көп таралған қиындықтар - бұл бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуі мөлшерінің жоғары болуы, сазды тау жыныстардың опырылуы, құлауы, ұңғыма оқпанының тұрақтылығының жоғалуы және т. б.

Түптің тереңдігінің өсуімен қабат суларының минералдану дәрежесінің табиғи өсуі байқалады. Кейбір жағдайларда минералдану дәрежесі біршама төмендейді, бұл қалыптан тыс төмен қабаттық қысым (ҚТТҚҚ) аймақтарында жиі кездеседі. Мұндай жағдайларда полимерлі шаю сұйықтықтарын қолдану өте күрделі. Сондықтан, тау жыныстарын бұрғылау үшін (гельге ұқсас консистенциясы бар өте қаныққан тұз ерітіндісі), сонымен бірге қалыптан тыс төмен қабат қысымы бар өнімді қабаттарды ашу үшін арнайы ыстыққа төзімді тиімді шаю сұйықтықтарын жасау қажет. Біздің елімізде және шетелде бұл үшін суда еритін полимерлі қоспа ретінде акрил полимерлері кеңінен қолданылады.

Жоғарыда келтірілген деректер жергілікті шикізат негізінде шаю сұйықтықтардың жаңа тиімді құрамдарын алу технологиясын әзірлеу мәселесіне жаңа шешімдер қажет екенін көрсетеді. Бұрғылау шаю сұйықтықтары ерітіндіге тұтастай тұрақтылық, судың төмен шығуы, жеткілікті тұтқырлық беретін қасиеттерге ие болуы керек. Бұл функциялар бұрғылау ерітіндісіне полимерлермен мақсатты модификациялау арқылы май қышқылдарының вакуумдық дистилляциясының сабындалған жартылай ұнтақтарын береді [9].

Бұл жұмыстың мақсаты мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау үшін берілген функционалды қасиеттері бар ерітіндінің құрамын алу болып табылады. Бұрғылау кезінде ұңғыманы шаю үшін қолданылатын ерітінді белгілі бір тығыздығы мен тұтқырлығы бар жеңілдетілген болуы керек. Алынған ерітінді ұңғыма қабырғасы қабықшасының қажетті қалыңдығын және ерітіндінің тиімді циркуляциясын, сонымен қатар мұнайгаз ұңғымаларын бұрғылау кезінде бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу жылдамдығын төмендетуді қамтамасыз ететіндігімен ерекшеленеді. Сазды ерітінді рецептурасына полиакриламидпен модификацияланған дистилденген май қышқылының сабындалған гудроны (госсипол шайыры) және ұсақталған мақта талшығы қосылады.

Материалдар мен әдістер. Сазды бұрғылау ерітіндісінің негізгі ингредиенті-бентонит. Табиғи саз минералы (саз ұнтағы) сумен қаныққан кезде шамамен 15 есеге ісінеді. Осылайша гель тәрізді тығыз масса пайда болады. Түркістан облысы, Дарбаза кен орнының жергілікті шикізаты - бентонит бұрғылау шаю сұйықтығына едәуір қолайлы құрылым түзуші қоспа болып табылады, өйткені оның қасиеттері модификацияланған полимерлі қоспалармен жақсартылады.

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің ғалымдары 15 жыл бойы жергілікті шикізат көздері негізінде көпфункционалды бұрғылау шаю сұйықтықтарын алу үшін материалдарды іріктеу бойынша жүйелі зерттеулер жүргізуде [10,11]. Алайда, алынған композициялар басқа мақсатта алынды, жалпы жұмыстар негізінен ауырлатылған шаю сұйықтықтарын алуға бағытталған еді.

Модификацияланған ерітіндінің құрамы: полиакриламидке негізделген модификацияланған полимерлі қоспа (МПАА); бентонит сазы (БС); ұсақталған мақта талшығы (ҰМТ); кальцинирленген сода Na_2CO_3 ; қалғаны - су.

Бұл жұмыста госсипол шайырының май қышқылдарының тұздары мен полиакриламид қосылған аз сазды ерітінділер алынды, алынған ерітінді тау жыныстарына енген кезде ісінеді, осылайша бұрғылау ерітіндісінің сіңірілу жылдамдығын төмендетеді. Бентонит - ерітіндідегі құрылым түзуші ингредиент. Ұсақталған мақта талшығы ұңғыма қабырғасында сапалы қабықшаны қамтамасыз ететін функцияны орындайды, осылайша бұрғылау кезінде циркуляциядағы сұйықтықтың сіңірілу жылдамдығының төмендеуін қамтамасыз етеді. Кальций иондарының құрамын реттеу үшін кальцинирленген сода енгізіледі.

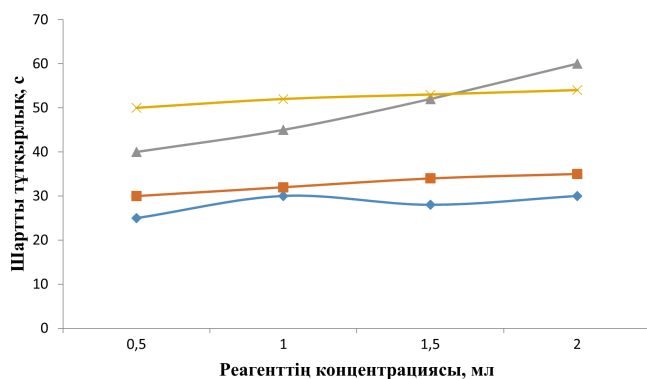
Полиакриламид, май қышқылдарының тұздары және госсиполаттар бірге кешенді реагент түзеді. Түзілген кешенді реагент ерітінді циркуляциясы мен тау жыныстарына ену кезінде ерітіндінің тау жынысы арқылы өту жылдамдығын төмендетуге және сол арқылы ерітіндінің сіңірілу көлемін төмендетуге ықпал етеді.

Бұрғылау ерітіндісі циркуляцияға түскен сай-

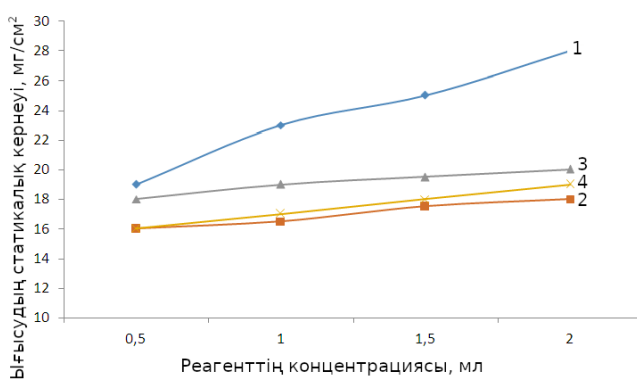
ын ұсақталған мақта талшығы ұңғыманың қабықшалы қабатында жартылай шөгеді. Сондықтан, бұрғылау ерітіндісін талшық қосу барысында бастапқы концентрацияға жеткізу арқылы енгізу керек. Яғни, модификацияланған полиакриламид пен бентонит сазы бар ерітіндіге түзету жүргізіледі. Сабындалған фракция (май қышқылдарының тұздары және госсиполаттар) полиакриламидпен бірге тұрақтылықты қамтамасыз етеді және ерітіндіге қосымша коррозияға қарсы майлағыштық қасиеттерін береді.

Нәтижелер және талқылау. Ұсынылған ерітінді құрамының тиімділігі технологиялық көрсеткіштер бойынша бағаланды: тығыздық (ρ , г/см³); шартты тұтқырлық ВУ, T_{500} , с; су бергіштік, (сүзу см³/30 мин); саз қабығының қалыңдығы (T_k , мм); ығысудың статикалық кернеуі (ЫСК, Па).

Төмендегі 1-ші кестеде берілген бұрғылау ерітіндісінің рецептурасы бойынша, яғни дистилденген май қышқылының (госсипол шайырының) сабындалған гудронымен модификацияланған полиакриламид полимері және ұсақталған мақта талшығы негізіндегі сазды бұрғылау ерітінділерінің концентрациясына ығысудың статикалық кернеуі мен шартты тұтқырлық мәндерінің тәуелділіктері 2 және 3-суреттерде көрсетілген.



2 - сурет. Бұрғылау ерітіндісінің шартты тұтқырлығының құрам компоненттерінің концентрациясына тәуелділігі



3 - сурет. Бұрғылау ерітіндісінің ығысуының статикалық кернеуінің құрам компоненттерінің концентрациясына тәуелділігі

Жоғарыда келтірілген тәуелділіктердің деректері зерттелетін жаңа реагенттің концентрациясынан саз ерітінділерінің ығысу статикалық кернеуі мен шартты тұтқырлығының өзгеруі іс

жүзінде сызықтық тәуелділікке ие екенін көрсетеді.

Айта кету керек, ұңғымаларды 800-1600 м ара-

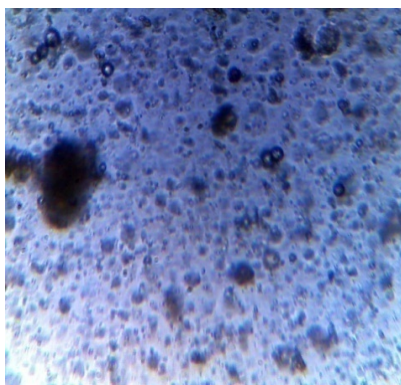
лықта бұрғылау кезінде жоғарғы бөлігінде негізінен құмтастар басым болады, ал 1200 метрден бастап сұр саздар, слюда, әртүрлі дәрежеде алевроит, кей жерлерде опокоидты, сонымен қатар сидерит басым болады.

Бентонит сазының құрамын 10% - ға дейін арттыру тұтқырлықтың жоғарылауына себеп болады және судың бергіштігін төмендетеді, сонымен

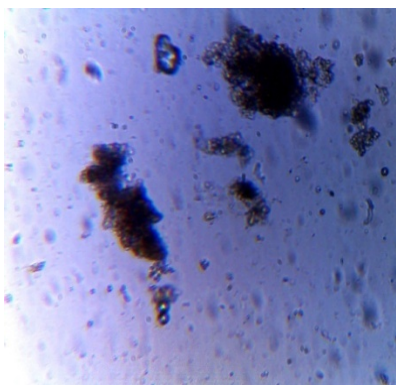
қатар ұңғыма қабырғасының сапалы қабықшасының пайда болуына ықпал етеді. Ығысудың статикалық кернеуі бұрғыланған тау жынысын бұрғылау ерітіндіде ұстау үшін қажет талаптарға сәйкес келеді (3-сурет, 2-қисық). Жоғарыда келтірілген композициялардың ішінен біз № 2 оңтайлы ерітінді ретінде таңдадық (1-кесте), ол негізгі көрсеткіштер бойынша оң нәтиже көрсетті.

1 - кесте. Бұрғылау ерітіндісінің технологиялық көрсеткіштері

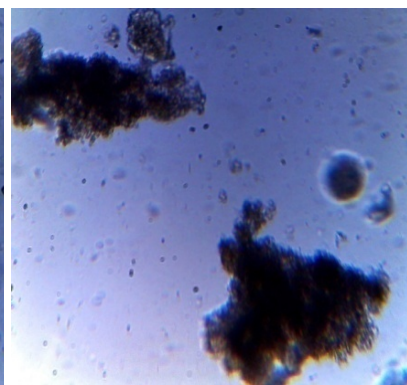
Бұрғылау ерітіндісінің құрамы, мл	тығыздық, ρ , кг/м ³	Шартты тұтқырлық, с	Сүзу, см ³ /30мин	ЫСК мг /см ²
№1. БС– 6, ҰМТ – 4, МПАА-0,5, су	1100	25-30	6,0-6,5	3-4/19-28
№2. БС–4, ҰМТ –2, МПАА-0,8, су	1050	30-35	3,7-4,8	2-3/16-18
№3. БС-10, ҰМТ –5,МПАА-1,0, су	1150	40-62	4,2-5,4	3-4/18-20
№4. БС– 8, ҰМТ –2, МПАА-1,0, су	1200	50-54	4,0-5,0	5-6/16-19



а) МПАА -0,5 мл



б) МПАА-1 мл



в) МПАА-1,5 мл

4 - сурет. Модификацияланған полимерлі реагенттің микросуреттері

Ұсынылған бұрғылау ерітіндісінің №2 оңтайлы ерітіндісі ұңғыма қабырғасының қабықшасының сапасын қамтамасыз етеді, яғни бұрғылау ерітіндісінің сіңірілуін төмендетеді, сонымен қатар су бергіштігін, тұрақты тұтқырлық мәндерін және ығысудың статикалық кернеуін төмендетеді. Айта кету керек, 1-кестеде келтірілген бұрғылау ерітінділерінің құрамын шартты

деп айтуға болады, өйткені ұңғыманың келесі аймағына өту кезінде, яғни кондуктор, құрылым түзушіден басқа қосымша химиялық реагенттер енгізіледі. Міндетті түрде беттік-активті заттарды, майлағыш қоспаларын, КМЦ сүзілу төмендеткішін және т. б. енгізу болып табылады.

Көрсету қабілеті 1х500 болатын жарық микроскопын қолдана отырып, полимерлі реагенттің

құрылымдық зерттеулерінің нәтижелері келтірілді. Дистилденген май қышқылының (госсипол шайырының) сабындалған гудронымен модификацияланған полиакриламид қоспасынан тұратын полимерлі реагенттің сазды ерітіндісіне оптикалық зерттеулер жүргізілді (4-сурет).

Жарық микроскопының көмегімен жүргізілген микроскопиялық зерттеулер, үлгілер құрылымының келесі ерекшеліктерін анықтады. Жоғарыда берілген микросуретте (4а-сурет) модификацияланған полимерлі реагенттің ұсақ бөлшектері мен пішінсіз қосындылары бар полимерлі құрылым көрінеді. Қызығушылық тудыратыны, 4б-суретте еритін бөлшектерден, орташа пішінсіз аймақтардан тұратын әртүрлі полимерлі құрылым айқын байқалуы болды. 4в суретте еритін бөлшектерден, көптеген үлкен пішінсіз аймақтардан тұратын әртүрлі полимерлі құрылым айқын байқалды.

Бұрғылау ерітіндісіндегі модификацияланған полимердің көмірсутектермен және тау жыныстарымен өзара әрекеттесуі нәтижесінде молекулалық күштер, қатты бөлшектер – су жүйесіндегі өзара әрекеттесу пайда болады деп болжанады.

Алынған нәтижелер құрам түрінің, құрылымының, химиялық табиғаттының, ингредиенттердің арақатынасының және олардың өзара әрекеттесу механизмінің әсер ету заңдылықтарын аны-

қтаудан тұратын практикалық маңыздылыққа ие. Минералды және органикалық ингредиенттерді біріктіретін композициялық химиялық реагенттерді құрудың негізгі физика-химиялық және технологиялық ғылыми негіздері белгіленді.

Қорытынды. Осылайша, жергілікті шикізат негізінде модификацияланған полимерлі реагенттің композициялық химиялық реагенттерін қолдану ұңғымаларды бұрғылау процесінде бұрғылау ерітіндісінің тұрақтылығын арттырады. Суда жақсы еру қабілетіне байланысты полимерлі компоненттер сабындалған шайырдың май қышқылдары мен ұсақталған мақта талшығының құрамына байланысты бұрғылау ерітіндісінің құрылымын нығайтуды қамтамасыз етеді. Алынған құрам бұрғылау ерітіндісінің ығысуының статикалық кернеуіне, шартты тұтқырлығына және майлауыш қасиеттеріне әсерін береді, бұл сөзсіз тау жыныстарын бұзатын құралдың (қашаудың) қызмет ету мерзімін ұзартады. Сонымен бірге су бергіштік коэффициентін төмендетуге және ұңғыма қабырғасында пайда болған қабықшаның сапасын арттыруға, бұрғылау ерітіндісін тұрақтандыруға ықпал етеді.

Қаржыландыру: бұл зерттеулер Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің (BR24992809) қолдауымен жүргізілді.

Әдебиеттер

1. Каукунова А.С. Перспективы нефтегазоносности в Южно-Торгайском бассейне //Геология и разведка месторождений углеводородов.-2020.-Vol.(3).-С.38-45. DOI 10.32454/0016-7762-2020-63-3-38-45
2. Конесев Г.В., Аксенова Н.А., Овчинников В.П. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. В 5 томах. Т.2 : учебник для студентов вузов. -Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. -560 с. ISBN 978-5-9961-1330-9
3. Рябов Н.И. Методы предупреждения и ликвидации поглощений бурового раствора при бурении нефтяных и газовых скважин. Самара, 2003. – 64 с.
4. Ишмухамедова Н.К. Разработка и регулирование термосолеустойчивых составов малоглинистых и полимерных растворов для бурения нефтяных и газовых скважин: 25.00.15 «Технология бурения и освоения скважин»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ишмухамедова Насима Кенжебаевна; Атырауский институт нефти и газа. – Атырау, 2010. с.37-44.
5. RyenCaenn, George R., in Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids (Seventh Edition).2015,7(2), 63–29. ISBN 9780123838599

6. Alaskar MN, Ames MF, Connor ST, Liu C, Cui Y, Li K, et al. Nanoparticle and microparticle flow in porous and fractured media-an experimental study // SPEJ. -2012. –Vol.17(4). –P.1160-1171. DOI 10.2118/146752-pa.
7. Мартынов Н.Н., Заливин В.Г. Технология ликвидации поглощений бурового раствора при бурении в интервалах трапповых интрузий // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. -2018. –Vol.41(4). -С.107–117. DOI 10.21285/2541-9455-2018-41-4-107-117
8. Минибаев В.В., Ильин И.А., Пестерев С.В. Эффективность полисахаридных реагентов в буровых растворах различной степени минерализации среды // Бурение и нефть. – 2009. – № 10. – С.44-46.
9. Умедов Ш. Х. Разработка эффективных составов промывочных жидкостей для борьбы с осложнениями при бурении нефтяных и газовых скважин: дисс. ... доктора технических наук, 05.15.10 – Технология бурения и освоения скважин. Ташкент – 2017. -213 с.
10. Надиров К.С., Бимбетова Г.Ж., Сакибаева С.А., Тасанбаева Н.Е., Тортбаева Д.Р. Стабилизатор буровых растворов // Нефть и газ. -2007. -№3. -С.26-29.
11. Патент 27482 РК, МПК C09K 8/34 (2006.01) Модифицированный буровой раствор /Бондаренко В.П, Надиров К.С., Бимбетова Г.Ж. [и др.]. -№ 2012/1022.1; заявл.05.10.2012; опубл.15.10.2013; Бюл. №10.

References

1. Kaukenova A.S. Perspektivy neftegazonosnosti v Juzhno-Torgajskom bassejne // Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration. – 2020. –Vol. (3). -C.38-45. DOI 10.32454/0016-7762-2020-63-3-38-45 [in Russian]
2. Konesev G.V., Aksenova N.A., Ovchinnikov V.P. Tehnologija burenija nefťjanyh i gazovyh skvazhin. V 5 tomah. T.2 : uchebnik dlja studentov vuzov. -Tjumen': Tjumenskij industrial' nyj universitet, 2017. -560 с. ISBN 978-5-9961-1330-9 [in Russian]
3. Rjabov N.I. Metody preduprezhdenija i likvidacii pogloshhenij burovogo rastvora pri burenii nefťjanyh i gazovyh skvazhin. Samara, 2003. – 64 s. [in Russian]
4. Ishmuhamedova N.K. Razrabotka i regulirovanie termosoleustojchivyh sostavov maloglinistyh i polimernyh rastvorov dlja burenija nefťjanyh i gazovyh skvazhin: 25.00.15 «Tehnologija burenija i osvoenija skvazhin»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskikh nauk / Ishmuhamedova Nasima Kenzhebaevna; Atyrauskij institut nefti i gaza. – Atyrau, 2010. s.37-44. [in Russian]
5. RyenCaenn, George R., in Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids (Seventh Edition).2015,7(2), 63–29. ISBN 9780123838599
6. Alaskar MN, Ames MF, Connor ST, Liu C, Cui Y, Li K, et al. Nanoparticle and microparticle flow in porous and fractured media-an experimental study // SPEJ. -2012. –Vol.17(4). –P.1160-1171. DOI 10.2118/146752-pa.
7. Martynov N.N., Zalivin V.G. Tehnologija likvidacii pogloshhenij burovogo rastvora pri burenii v intervalah trappovyh intruzij // Izvestija Sibirskogo otdelenija Sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Geologija, razvedka i razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. -2018. – Vol.41(4). -C.107–117. DOI 10.21285/2541-9455-2018-41-4-107-117 [in Russian]
8. Minibaev V.V., Il' in I.A., Pesterev S.V. Jeffektivnost' polisaharidnyh reagentov v burovyh rastvorah razlichnoj stepeni mineralizacii sredy // Burenie i neft'. – 2009. – № 10. – С.44-46. [in Russian]

9. Umedov Sh. H. Razrabotka jeffektivnyh sostavov promyvochnyh zhidkostej dlja bor' by s oslozhnenijami pri burnii neftjanyh i gazovyh skvazhin: diss. ... doktora tehnikeskikh nauk, 05.15.10 – Tehnologija burnija i osvoenija skvazhin. Tashkent – 2017. -213 s. [in Russian]

10. Nadirov K.S., Bimbetova G.Zh., Sakibaeva S.A., Tasanbaeva N.E., Tortbaeva D.R. Stabilizator burovyh rastvorov // Neft' i gaz. -2007. -№3. -С.26-29. [in Russian]

11. Patent 27482 RK, MPK S09K 8/34 (2006.01) Modificirovannyj burovoj rastvor /Bondarenko V.P, Nadirov K.S., Bimbetova G.Zh. [i dr.]. -№ 2012/1022.1; zajavl.05.10.2012; opubl.15.10.2013; Bjul. №10. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Бесбаева Н.А. - PhD докторанты, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: besbaeva.nursulu@mail.ru;

Бимбетова Г.Ж. - техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: gulmnaz@mail.ru;

Надилов К.С. - химия ғылымдарының докторы, профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: nadirovkazim@mail.ru;

Жантасов М.Қ. - техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: manapjan_80@mail.ru;

Отарбаев Н.Ш. - PhD, аға оқытушы, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: otarbaevn@mail.ru

Information about the authors

Besbaeva N.A. - PhD doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: besbaeva.nursulu@mail.ru;

Bimbetova G.Zh. - Candidate of technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: gulmnaz@mail.ru;;

Nadirov K.S. - Doctor of chemical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: nadirovkazim@mail.ru;

Zhatasov M.K. - Candidate of technical Sciences, Professor, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: manapjan_80@mail.ru;

Otarbaev N.Sh. - PhD, senior lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: otarbaevn@mail.ru

IRSTI 52.35.29

THE IMPORTANCE OF THE GAS FACTOR IN THE OCCURRENCE OF SUDDEN OUTBURST OF COAL AND GAS

¹A.D. Shontayev^{ORCID}, ²T.V. Demina^{ORCID}, ¹D.S. Shontaev^{ORCID}, ³V.F. Demin^{ORCID}, ³D.D. Meiram^{ORCID}✉

¹Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation,

³Saginov Technical University, Karagandy, Kazakhstan.

✉Corresponding-author: diana_meiram@mail.ru

The article examines the role of methane contained in coal in the mechanism of sudden outburst, because practice shows that the amount of methane released per ton of coal released into mining is several times and even tens of times higher than the natural gas content of the coal seam. Establishing the causes of sudden outbursts is necessary to reduce the risk of outbursts by influencing the stress state of a gas-saturated coal seam.

Keywords: sudden outburst of coal and gas, outburst hazard, gas content, gas release, gas saturation.

КӨМІР МЕН ГАЗДЫҢ КЕНЕТТЕН ШЫҒАРЫЛУЫНЫҢ ПАЙДА БОЛУЫНДАҒЫ ГАЗ ФАКТОРЫНЫҢ МАҢЫЗЫ

¹А.Д. Шонтаев, ²Т.В. Демина, ¹Д.С. Шонтаев, ³В.Ф. Демин, ³Д.Д. Мейрам✉

¹Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

²Орал мемлекеттік тау-кен университеті, Екатеринбург, Ресей Федерациясы,

³Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail: diana_meiram@mail.ru

Мақалада көмірдегі метанның кенеттен шығарылу механизміндегі рөлі қарастырылады, өйткені тәжірибе көрсеткендей, тау-кен қазбаға шығарылған көмірдің тоннасына бөлінетін метанның мөлшері көмір қабатының табиғи газдылығынан бірнеше есе, тіпті ондаған есе көп. Кенеттен шығарындылардың пайда болу себептерін анықтау газға қаныққан көмір қабатының кернеулі күйіне әсер ету арқылы шығарындылар қаупін азайту үшін қажет.

Түйін сөздер: көмір мен газдың кенеттен шығарылуы, шығарылу қаупі, газдылығы, газдың бөлінуі, газдың қанығуы.

ЗНАЧЕНИЕ ГАЗОВОГО ФАКТОРА В ВОЗНИКНОВЕНИИ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА УГЛЯ И ГАЗА

¹А.Д. Шонтаев, ²Т.В. Демина, ¹Д.С. Шонтаев, ³В.Ф. Демин, ³Д.Д. Мейрам✉

¹Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Российская Федерация,

³Карагандинский технический университет имени А.Сагинова, Караганды, Казахстан,
e-mail: diana_meiram@mail.ru

В статье рассматривается роль содержащегося в угле метана в механизме возникновения внезапного выброса, потому как практика показывает, что количество выделившегося метана на тонну выброшенного в горную выработку угля в разы и даже десятки раз превышает природную газоносность угольного пласта. Установление причин проявления внезапных выбросов необходимо для снижения выбросоопасности путём воздействия на напряжённое состояние газонасыщенного угольного пласта.

Ключевые слова: внезапный выброс угля и газа, выбросоопасность, газоносность, газовыделение, газонасыщение.

Introduction. Although various technical measures have been developed to prevent sudden coal and gas outbursts, many remain insufficiently effective. Causes include poor understanding of seam structure, gas behavior, and cost-related limitations. Accurate prediction of hazardous areas, particularly in geologically disturbed zones, remains essential.

Methane emissions in coal mines have extremely

negative social, technological, economic, and environmental impacts, as they increase the risk of methane-air mixture accumulation and explosions in both ventilated and unventilated workings. Such incidents often result in mass injuries and fatalities, as well as the destruction of mine support structures.

A global chronology of methane explosions with large numbers of fatalities is presented in Table 1.

Table 1 - Methane Explosions with Fatalities in Coal Mines (1962–2023)

Year	Country	Mine	Fatalities
1962	Germany	Luisenthal	299
1969	Mexico	Barroteran	300
1972	Rhodesia	Wankie	400
1975	India	Dhanbad	431
1979	Kazakhstan	Sokurskaya	72
1987	Ukraine	Chaykino	36
1990	Yugoslavia	Dobrinja	180
1992	Ukraine	Sukhodolska-Vostochnaya	63
1997	Russia	Zyryanovskaya	67
1997	Turkey	Armutcuk	217
2006	Kazakhstan	Lenin Mine (Shakhtinsk)	41
2007	Ukraine	AF Zasyadko Mine	106
2010	New Zealand	Pike River	29
2010	Russia	Raspadskaya	91
2013	China	Binxian	28
2014	Turkey	Soma	301
2015	Pakistan	Orakzai	45
2016	China	Chifeng	32
2020	China	Chongqing	23
2021	Kazakhstan	Abayskaya (Abay)	6
2022	Russia	Listvyazhnaya	51
2023	Kazakhstan	Kostyanko (Karaganda)	46

Currently, although various technical and technological measures have been developed to prevent the occurrence of sudden coal and gas outbursts, most of them have a number of shortcomings and are generally characterized by insufficient efficiency. The reasons for these

shortcomings are related both to the lack of information about the conditions of coal seams and the lack of knowledge about the nature of sudden outbursts themselves, as well as to the high complexity of implementation and high costs of the measures taken.

To ensure the safety of mining operations in coal seams that are dangerous and threatened by sudden coal and gas outbursts, it is necessary to predict the places of their possible occurrence (hazardous areas). Sudden coal and gas outbursts tend to occur in areas of geological disturbance. Of the 60 cases of sudden releases in the Karaganda coal basin, 23 were associated with fractured faults of the upwash type, 19 - with zones of small tectonic disturbances, 10 outbursts occurred in the zone of seam thickness changes (thinning or inflating), and 1 - in the zone of a sharp change in the seam hypsometry. The gas content of hazardous seams at the depth of coal and gas outbursts varies from 10.7 to 22.1 m³/t [1].

Therefore, in order to improve blowout prevention measures, it became necessary to conduct additional studies on the dynamics of gas release processes from rock massifs, to establish the regularities of the influence of gas factor on the nature of unloading ahead of the front of the advance of preparatory faces, in addition to a number of scientific publications available to the authors on this issue [2-4].

The sudden coal and gas outbursts that occurred at the mines of the Karaganda coal basin indicate that during their implementation, the amount of methane released per ton of coal released into production is several times and tens of times higher than the natural gas content of the coal seam. For example, the minimum value of gas release during outbursts (33.3 m³/t) was recorded at the 3-bis mine, and the maximum value (859.4 m³/t) was recorded at the Lenin mine. Of course, there is a question about the origin of the additional amount of methane released during outbursts. To get an answer to this question, it is necessary to know about the possible states of methane in coal and methods for determining the gas capacity of coal, on the basis of which the natural gas content of the seam can be determined.

Methane exists in coal in free, adsorbed, and

absorbed states [5]. Absorbed methane plays a key role in outburst events. Zhekamukhov et al. [6] demonstrated that up to 90% of methane is retained in absorbed form. International research confirms that gas desorption and sudden decompression are major outburst triggers [10–13]. Studies in the Karaganda basin show that geological faults and seam anomalies significantly increase risk [1–3].

Research into the role of methane in sudden coal and gas outbursts has evolved significantly over the past decades, integrating geological, geomechanical, and thermodynamic perspectives. Early studies in the Soviet Union [5] and later international efforts [7] established that methane exists in coal in three states: free, adsorbed, and absorbed, each playing distinct roles in the accumulation and rapid release of gas during mining operations.

Methane States and Sorption Properties. Methane content in coal seams, or gas capacity, is a critical parameter affecting outburst hazard. As documented by Zhekamukhov et al. [6], the dominant portion of methane is retained in sorbed form, with up to 90% being absorbed into the coal matrix. This absorbed gas can transition into free gas under sudden decompression, making coal seams inherently unstable when disturbed.

Experimental studies (e.g., Yu et al., 2014) have shown that coal porosity and microfractures significantly enhance gas diffusion and desorption. Moreover, sorption capacity increases under pressure, and standard lab-based gas capacity measurements often underestimate real in-situ conditions due to the inability to reproduce underground stress states [6].

Geological Preconditions for Outbursts. Outburst events are strongly associated with tectonic disturbances, seam thickness variations, and fault zones, as shown in cataloged incidents from the Karaganda coal basin [1]. Approximately 70% of such events occurred in areas of structural instability, confirming findings by Tsai and Shontayev [2], who emphasized the need for continuous geomechanical monitoring and predictive modeling of hazardous zones.

International Research and Predictive Modelling.

Modern approaches employ numerical simulation of coal-gas systems (e.g., COMSOL, FLAC3D) to model stress redistribution and gas pressure evolution. Studies by Zhang et al. (2020) and Liu et al. (2018) demonstrated that gas desorption-induced softening and pore pressure changes are key triggers of instability in coal seams under mining stress.

According to Wang et al. (2016), the Rebinder effect—the weakening of coal under sorption-induced molecular interactions—further reduces tensile strength, making it susceptible to fragmentation under low pressure gradients. This aligns with the activation-energy-based fracture models used in the present study [7, 8].

Karaganda Basin in Global Context. The Karaganda coal basin has been recognized as one of the most methane-rich basins worldwide, with reserves exceeding 4.0 trillion m³ and seam gas content reaching 25–40 m³/t, according to Drizhd et al. [14, 15]. The relevance of degasification strategies used in the U.S. (e.g., Powder River Basin), Australia (e.g., Bowen Basin), and China (e.g., Qinshui Basin) are highly transferable to Kazakhstan's context, as they rely on pre-mining drainage, multi-seam hydraulic fracturing, and in-situ monitoring networks.

Materials and methods. The study is based on analytical modeling of gas release mechanisms, fracture strength of coal, and sorption characteristics. Methane capacity is measured under laboratory and simulated field conditions. Strength models incorporate activation energy and pore-related weakening (Rebinder effect).

Methane in coal can be in a free state in cracks and pores, and sorbed. The latter is understood as an adsorbed gas (condensed on the surface of a solid substance of coal) and absorbed (as a solid solution in coal). In the case of absorption, the concept of "solid solution of embedding" is applicable to the methane-coal system, and the gas molecules embedded in the volume do not occupy voids in the crystal lattice, but vacancies in the solid. It is important to note that gas absorption increases the volume of coal, which undoubtedly leads to a decrease in its mechanical strength. When the equilibrium between different forms of methane

state is disturbed, free gas is released in coal first, then adsorbed and finally absorbed. It is considered [5] that the share of gas in the free and adsorbed states is not more than 10% of the total methane content in the outburst-hazardous formations, and the main role in unleashing the release is assigned to gas in dissolved form.

The gas capacity of coals is determined in the laboratory by their sorption capacity. The natural gas content of coals of the Karaganda basin at the depth of outburst occurrence is in the range of 10.7–22.1 m³/t. One gets the impression that coal seams contain more methane than can be "driven" into it in the laboratory, where gas absorption occurs only due to physical adsorption. Therefore, the determination of the natural gas content of coals according to existing methods does not reflect the real methane content in them, since it is impossible to change the volume of ultrapores and the sorption capacity of coals under laboratory conditions under the influence of mechanical pressure [6].

Based on the above, it follows that in order to understand the nature of sudden coal and gas outbursts, first of all, it is necessary to determine the conditions under which sorbed methane rapidly transitions from a supersaturated metastable state to a gas state in coal seams. Most researchers believe that the main factors of sudden methane outbursts are the stress state in the gas-saturated seam and the rapid discharge of these stresses, and coal crushing is the primary factor causing gas release. The stressed state of a gas-saturated coal seam is caused by the action of gravitational forces and the presence of sorbed methane in the coal. Under certain conditions, the potential of the gas-coal system reaches its maximum and becomes extremely unstable due to the supersaturation of coal with dissolved gases, which can lead to a sudden outburst of coal and gas.

Outlier zones of the formation differ from non-outlier ones by the possibility of rapid transition of dissolved gases from supersaturated solution to free gas, and they are usually confined to areas of the formation with tectonically disturbed coal. However, the reasons for the relationship of such coal with intensive methane release and the mechanism of

release of gas absorbed in coal are not explained.

It was noted in [6] that intensive methane release is possible only if coal unloading is accompanied by its dispersion, the only mechanism of which is the explosion of gas bubbles embedded in the coal structure. When the formation is unloaded, gas bubbles located near pores or microcracks break the coal partition of the order of 10^{-3} cm in size, and gas release from the volume of crushed coal will occur in the order of 0.01-0.1 s. The condition for breaking the coal shell is reduced to the inequality:

$$p_s^* - p^2 \geq \alpha \sigma_k, \quad (1)$$

where p_s^* – initial gas pressure inside the bubbles, approximately equal to the rock pressure;

p^2 – pressure of the mixture of gas and coal particles;

σ_k – ultimate tensile strength of coal;

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[\left(\sqrt[3]{\frac{4\pi}{3f_0}} - 1 \right)^3 \right] - 1, \quad (2)$$

where f_0 – porosity of coal.

Analysis of formulas (1) and (2) shows that an increase in porosity leads to a significant decrease in the critical values of rock pressure, at which a sudden outburst of coal and gas is possible. However, it is not clear, what the ultimate tensile strength is. If it is determined by standard laboratory tests, then its numerical value already takes porosity into account. The scale factor is also important in determining σ_k . On rock samples, their strength is significantly affected by structural defects (usually microcracks, pores commensurate with the size of the grains composing the rock). With a decrease in the size of coal to 10^{-3} cm, their strength will undoubtedly increase, since smaller defects will participate in the overvoltage of elementary bonds.

It is known [7] that the strength of a solid body can be represented as

$$\sigma = \frac{U_0'' - kT \ln \frac{\tau}{\tau_0}}{\gamma} \quad (3)$$

Where U_0'' – initial activation energy of destruction;

k – the Boltzmann constant;

T – absolute temperature of the test material;

τ – time to destruction of a solid (durability);

τ_0 – oscillation period of an atom in the crystal lattice;

$\gamma = q_{str} V_a$ – coefficient of the solid body structure;

q_{str} – coefficient that takes into account the overvoltage of elementary bonds due to the presence of structural defects in a solid (microcracks, pores, dislocations, etc.);

V_a – activation volume.

Let us consider the strength of coal in relation to particles of size 10^{-3} cm, which corresponds more to the mesoscopic level with a linear size of dislocation substructures $l \approx 0.01$ –10 microns and is characterized by collective movement of dislocation structures. For gas-saturated coal, it is necessary to take into account the phenomenon of adsorption decrease in strength (Rebinder effect). It is caused by proppant pressure caused by sorption forces, i.e., forces of interaction between methane molecules and the coal surface. This circumstance can be taken into account by introducing an additional coefficient γ into the formula for finding the structure coefficient q_g , which takes into account the overvoltage of elementary bonds due to the proppant action of gas molecules. At the same time, the natural disturbance of fossil coals is the main factor in the softening effect of gas on coal.

Results and discussion. It was found [6] that during degassing of disturbed coals, their strength increases by 30 – 45%, therefore, the numerical value of q_g can be assumed to be 1.30 – 1.45, so given $\sigma = \sigma_k$, equality (3) can be represented as

$$p_s^* - p_2 \geq \frac{U_0 - kT \ln \frac{\tau}{\tau_0}}{q_{str} q_g V_a} = A, \quad (4)$$

Determine the value of A by taking $U_0 = 0.64 \times 10^5$ J/mol, $\gamma = 0.0727$ (J/mol)/(kg/mm²), $q_g = 1.35$, $\ln \tau = -5$ (according to experiments on the durability of hard coal); $\ln \tau_0 = 29.9$. The

calculation results show that at $T = 293^\circ$, the value of A is 30.5 MPa.

The value of rock pressure is defined as $\gamma_r H$ (γ_r is the average volume weight of overlying rocks, H is the depth from the surface). However, a reference pressure zone appears near the mine workings, in which the value of the rock pressure is 2–3 times greater than $\gamma_r H$. Taking the value of p_2 approximately equal to atmospheric, we obtain that the possibility of coal dispersion as a result of the explosion of methane bubbles during seam

unloading can occur from a depth of $H = 500$ m (in calculations $\gamma_r = 2.0 \text{ t/m}^3$). With an increase in the disturbance of coals, the structure coefficient increases, so inequality (4) can be performed at lower depths. Figure 1 highlights the correlation between gas content and depth in the Karaganda Basin, as well as its impact on methane saturation.

Figure 2 reveals the differences in methane outburst volumes across various mines, indicating the influence of geological conditions and previous degasification activities.

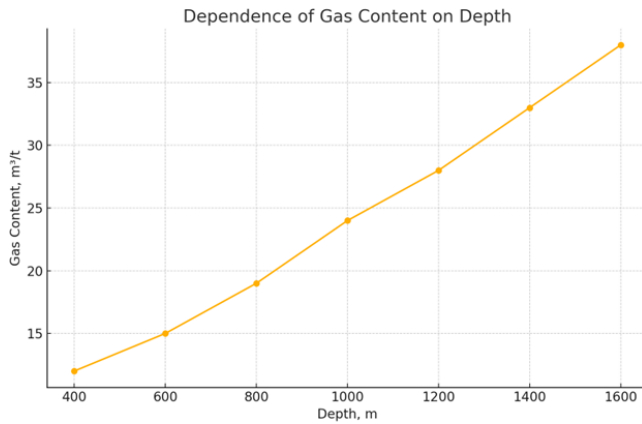


Fig.1 - Dependence of Gas Content on Depth in Karaganda Basin

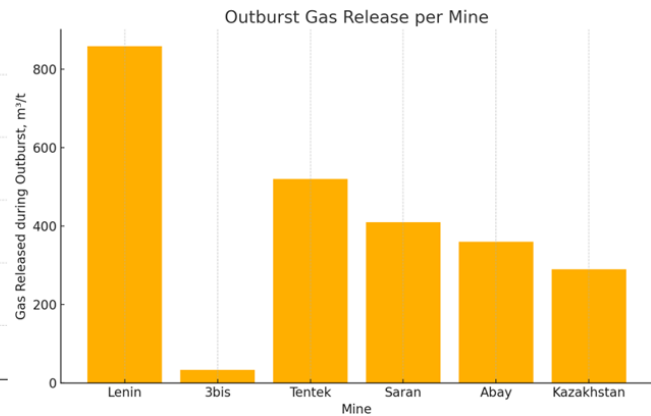


Fig.2 - Outburst Gas Release per Mine in Karaganda Basin

We investigate possible options for reducing the outburst hazard by influencing the parameters included in (3). A decrease in the temperature of coal in the outburst-hazardous zone leads to an

increase in the threshold at which coal dispersion and gas release due to the diffusion mechanism are possible (Table 2).

Table 2 - Influence of coal temperature on the threshold stress (σ_k) for dispersion and gas release in the outburst - hazardous zone

Coal temperature, t°C	20	15	10	5	0
σ_k , MPa	30,5	41,0	51,50	62,1	72,6

Reducing the temperature of coal by 5°C leads to an increase in strength by about 10 MPa. When degassing a coal seam, the numerical values σ_k shown in Table 1 increase by a factor of 1.30-1.45.

Conclusion. The mechanism of sudden outbursts and the causes of their occurrence differ in the aggregate assessment of the participation of gas in

them, the stress-strain state of the massif, as well as the physical, mechanical and physico-chemical properties of the intersected massif along the front of the mining operation.

Results show that coal porosity and methane saturation are directly correlated with the likelihood of sudden outbursts. Gas pressure at depths above 500 m can exceed critical strength thresholds.

Graphs in Figure 1 and Figure 2 illustrate this dependence.

At the same time, coal-sorbed methane plays a significant role in the implementation of a sudden outburst. With rapid stress relief in a gas-saturated

coal seam, especially near or in the zone of tectonic disturbances characterized by the presence of disturbed coal bundles, this gas disperses coal with simultaneous avalanche-like methane release and removal of the destroyed rock mass in the bottom-hole part into the mine.

References

1. Katalog vnezapnykh vybrosov uglya i gaza, proissledshikh na shakhtakh Karagandinskogo basseina. - Karaganda: GU UD AO "ArselorMittal Temirtau", 2018. - 171 s.[in Russian]
2. Tsai B.N., Shontayev A.D. Analiz vybrosov uglya i gaza, proissledshikh na shakhtakh Karagandinskogo basseina // Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Nauka i obrazovanie – vedushchii faktor strategii «Kazakhstan-2030». – Karaganda, 2008. - S.87-90. [in Russian]
3. Tsai B.N., Bondarenko T.T., Shontayev A.D., Amurgalinov S.T. Degazatsionnye skvazhiny i gidrorazryv plasta kak sposoby predotvrashcheniya vnezapnykh vybrosov uglya i gaza // Materialy II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Innovatsionnoe razvitie i vostrebovannost' nauki v sovremennom KazakhstanE». – Almaty, 2008. – S.91-93. [in Russian]
4. Shontayev A.D., Dudich O.N. O mekhanizme vnezapnykh vybrosov uglya i gaza // Materialy Mezhvuzovskoi studencheskoi nauchnoi konferentsii «Student i nauchno-tehnicheskii progress». – Karaganda, 2009. – S. 155-157. [in Russian]
5. Dokukin A.V., Airuni A.T., Ehttinger I.I., Bol' shinskii M.I., Zverev I.V., Dolgova M.O. Bor' ba s vnezapnymi vybrosami uglya i gaza v shakhtakh / Vestnik AN SSSR. - M.: 1984. –№ 12. - S.44-45. [in Russian]
6. Zhekamukhov M.K., Zhekamukhova I.M. K probleme vnezapnykh vybrosov uglya i gaza / Ehlektronnyi zhurnal «Issledovano v Rossii», 2003.-S. 526-538. URL: <https://cyberleninka.ru> .- Data obrashhenija: 02.02.2025. [in Russian]
7. Regel' V.R., Slutsker A.I., Tomashevskii Eh.K. Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel. – M.: Nauka, 1974. – 376 s. DOI 10.3367/UFNr.0106.197202a.0193. [in Russian]
8. Tsai B.N. Vliyanie teplovogo dvizheniya molekul na protsess razrusheniya gornykh porod / Izv. vuzov. Gornyi zhurnal, 1982. – № 10. – S.3-7. [in Russian]
9. Kucheryavyi F.I., Mikhalyuk A.V., Demchenko L.A. Ehnergiya aktivatsii i ehnergoemkost' razrusheniya gornykh porod // Izv. vuzov. Gornyi zhurnal, 1980. – № 5. – S.57-63. [in Russian]
10. Peng Li, Yaolin Cao et al. Desorption Characterization of Methane in Coal with Different Moisture Contents and Its Influence on Outburst Prediction// Advances in Civil Engineering.-2021.-Vol.2.- P.1-10. DOI:10.1155/2021/6797786
11. Fatemeh Soleimani, Guangyao Si, Hamid Roshan, Zhenyu Zhang. Numerical modelling of coal and gas outburst initiation using energy balance principles//Fuel.-2023.-Vol.334:126687 DOI 10.1016/j.fuel.2022.126687.
12. Liu, Q., Wang, Z., et al. (2018). Influence of coal strength and gas pressure on outburst risk// Fuel, 223, 420–430.
13. Ran Wang, Xianbo Su et al. Experimental Investigation of the Thermal Expansion Characteristics of Coal Induced by Gas Adsorption//SSRN Electronic Journal.-2022.- DOI 10.1155/2023/5201794

14. Drizhd N.A. Doklad na 6-om Mezhdunarodnom gorno-metallurgicheskom Kongresse «Astana Mining & Metallurgy» (AMM), 17 ijunja 2015 g., Astana. - 19 s.[in Russian]

15. Drizhd N.A., Sharipov N.H. O vozmozhnosti promyshlennoj dobychi metana v Karagandinskom bassejne // Sekcija: Jenergetika. Materialy konferencii «Social' noe izmerenie evrazijskoj integracii». - Karaganda: KarGTU, 2016. [in Russian]

Information about the authors

Shontayev A.D. - PhD, Associate Professor of Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: shon_oskar@mail.ru,

Demina T.V. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: fgz.bgp@m.ursmu.ru;

Shontaev D.S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: dshontaev@mail.ru;

Demin V.F. - Doctor of Technical Sciences, Professor of Saginov Technical University, Karagandy, Kazakhstan, e-mail: vladfdemin@mail.ru;

Meiram D. D. - Master, Doctoral student of Saginov Technical University, Karagandy, Kazakhstan, e-mail: diana_meiram@mail.ru,

Сведения об авторах

Шонтаев А.Д. - PhD, асс.профессор Казахского университета технологии и бизнеса, Астана, Казахстан, e-mail: shon_oskar@mail.ru;

Демина Т.В. - к.т.н., доцент Уральского государственного горного университета, Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: fgz.bgp@m.ursmu.ru;

Шонтаев Д.С. - к.т.н., асс.профессор Казахского университета технологии и бизнеса, Астана, Казахстан, e-mail: dshontaev@mail.ru;

Демин В.Ф. - д.т.н., профессор Карагандинского технического университета имени А.Сагинова, Караганды, Казахстан, e-mail: vladfdemin@mail.ru;

Мейрам Д.Д. - магистр, докторант Карагандинского технического университета имени А.Сагинова, Караганды, Казахстан, e-mail: diana_meiram@mail.ru

МРПТИ 52.01.75

METHODOLOGICAL SUPPORT FOR ASSESSING THE IMPACT OF DRILLING AND BLASTING ON THE EFFECTIVENESS OF OPERATION OF THE MINING TRANSPORT COMPLEX OF THE BAKYRCHI MINING ENTERPRISE

¹D.A. Galiyev[✉], ²A.V. Maldynova^{ib}

¹Qazaqstan smart technology LLP, Astana, Kazakhstan,

²K. Sagadiev University of International Business, Almaty, Kazakhstan

✉ Corresponding-author: info@qstechnology.kz

This article presents the results of a comprehensive scientific and technical research and technical and technological audit. The main goal of the study was to develop software and methodological support and analytical approaches to determine the nature of the dependence of the efficiency of operation of geotechnological complexes of quarries on the quality of preparation of rocks for excavation using drilling and blasting operations.

The research was based on the use of digital analogues, based on the method of simulation logical-statistical and object-oriented modeling. This approach made it possible to consider the events of the mining transport process operationally, taking into account the mining technical, mining-geological, mining-geometric, organizational and economic operating conditions.

As part of the study, an analysis of the existing software and methodological base was carried out and a technical, technological and energy audit of the efficiency of the geotechnological complex was carried out. Particular attention was paid to identifying promising areas and potential for increasing the efficiency of the complex, as well as analyzing energy consumption for individual machines and sections of intra-quarry roads. The study also included an assessment of the degree of congestion of intra-quarry roads and the development of proposals for improving their quality of coverage.

The article presents innovative approaches and methods that allow a deeper understanding and optimization of processes in geotechnological complexes, which is of great practical importance for the development of the mining industry.

Keywords: Geotechnological complexes, drilling and blasting operations, simulation modeling, technical and technological audit, mining transport processes, energy efficiency, optimization of mining activities, analysis of technical and economic indicators, logical and statistical modeling, increasing the efficiency of mining operations.

БАҚЫРШЫ ТӨК-КӨЛІК КЕШЕНІНІҢ ТАУ-КӨЛІК КЕШЕНІНІҢ ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІНЕ БҰРҒЫРУ ЖӘНЕ ЖАРЫЛУ ЖАСАУЛАРЫНЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ БОЙЫНША ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАМТАМАСЫЗ

¹Д.А. Ғалиев[✉] ²А.В.Малдынова

¹«Qazaqstan smart technology» ЖШС, Астана, Қазақстан,

²Қ.Сағадиев атындағы Халықаралық бизнес университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: info@qstechnology.kz

Бұл мақалада кешенді ғылыми-техникалық зерттеулер мен техникалық және технологиялық аудиттің нәтижелері берілген. Зерттеудің негізгі мақсаты бұрғылау-жару жұмыстарын қолдана отырып, тау жыныстарын қазуға дайындау сапасына карьерлердің геотехнологиялық кешендерін пайдалану тиімділігінің тәуелділігінің сипатын анықтау үшін бағдарламалық-әдістемелік қамтамасыз ету және аналитикалық тәсілдерді әзірлеу болды.

Зерттеу логикалық-статистикалық және объектілі-бағытталған модельдеудің имитациялық әдісіне негізделген цифрлық аналогтарды қолдануға негізделген. Бұл тәсіл тау-кен техникалық, тау-кен-


геологиялық, тау-кен-геометриялық, ұйымдық-экономикалық пайдалану жағдайларын ескере отырып, тау-кен тасымалдау процесінің оқиғаларын оперативті түрде қарастыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу шеңберінде қолданыстағы бағдарламалық-әдістемелік базаға талдау жүргізілді және геотехнологиялық кешеннің тиімділігіне техникалық, технологиялық және энергетикалық аудит жүргізілді. Кешеннің тиімділігін арттырудың перспективалық бағыттары мен әлеуетін анықтауға, сондай-ақ жеке машиналар мен карьерішілік жол учаскелерінің энергия тұтынуын талдауға ерекше назар аударылды. Сондай-ақ зерттеу барысында карьерішілік жолдардың кептелу дәрежесін бағалау және олардың қамту сапасын арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу қамтылды.

Мақалада тау-кен өнеркәсібін дамыту үшін үлкен практикалық маңызы бар геотехнологиялық кешендердегі процестерді тереңірек түсінуге және оңтайландыруға мүмкіндік беретін инновациялық тәсілдер мен әдістер ұсынылған.

Түйін сөздер: Геотехнологиялық кешендер, бұрғылау-жару жұмыстары, имитациялық модельдеу, техникалық және технологиялық аудит, тау-кен көлік процестері, энергия тиімділігі, тау-кен жұмыстарын оңтайландыру, техникалық-экономикалық көрсеткіштерді талдау, логикалық және статистикалық модельдеу, тау-кен жұмыстарының тиімділігін арттыру.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА БАКЫРЧИНСКОГО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

¹Д.А. Галиев , ²А.В.Малдынова

¹ТОО «Qazaqstan smart technology», Астана, Казахстан,

²Университет Международного Бизнеса им.К. Сагадиева, Алматы, Казахстан,
e-mail: info@qstechnology.kz

В данной статье представлены результаты комплексного научно-технического исследования и технико-технологического аудита. Основная цель исследования заключалась в разработке программно-методического обеспечения и подходов к аналитике для определения характера зависимости эффективности работы геотехнологических комплексов карьеров от качества подготовки горных пород к выемке с использованием буровзрывных работ.

Исследования базировались на применении цифровых аналогов, опирающихся на метод имитационного логико-статистического и объектно-ориентированного моделирования. Данный подход позволил пооперационно рассматривать события горнотранспортного процесса, учитывая горнотехнические, горно-геологические, горно-геометрические, организационные и экономические условия функционирования.

В рамках исследования был осуществлен анализ существующей программно-методической базы и проведен технико-технологический и энерго-аудит эффективности функционирования геотехнологического комплекса. Особое внимание уделялось выявлению перспективных направлений и потенциала для повышения эффективности работы комплекса, а также анализу энергорасхода по отдельным машинам и участкам внутрикарьерных автодорог. Исследование также включало оценку степени загрузки внутрикарьерных дорог и разработку предложений по улучшению их качества покрытия.

В статье представлены новаторские подходы и методы, позволяющие глубже понять и оптимизировать процессы в геотехнологических комплексах, что имеет важное практическое значение для развития горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: Геотехнологические комплексы, буровзрывные работы, имитационное моделирование, технико-технологический аудит, горнотранспортные процессы, энергоэффективность,

оптимизация горнодобывающей деятельности, анализ технико-экономических показателей, логико-статистическое моделирование, повышение эффективности горных работ.

Introduction. In the modern mining industry, the importance of effective management and optimization of mining and transport processes is a key aspect for increasing productivity and reducing costs. In this context, drilling and blasting operations play a significant role in the preparation of rocks for extraction, directly affecting the overall efficiency of quarry geotechnological complexes. As part of this study, carried out by Qazaqstan Smart Technology LLP, in-depth analytics was carried out to develop advanced software and methodological solutions aimed at improving and optimizing these processes. The main objective of the study was to develop and test innovative approaches to analytics that allow for a detailed assessment of the relationship between the quality of rock preparation for extraction and the overall efficiency of geotechnological complexes. A special feature of this study was the use of modern methods of simulating logical-statistical and object-oriented modeling, which made it possible to conduct a comprehensive analysis of the mining and transport process taking into account many factors - mining engineering, mining and geological, mining and geometric, as well as organizational and economic. Additionally, the study included technical, technological and energy audits aimed at analyzing the current state and identifying potential areas for improving the efficiency of geotechnological complexes. These measures were implemented to not only improve operational characteristics, but also to reduce the cost of mining and transport operations.

The article covers complex aspects of the study, from an overview of the current state of geotechnological complexes to proposals for improving and optimizing processes. It represents a valuable contribution to the mining industry, offering new approaches and solutions to improve overall efficiency and reduce environmental impact.

Intervention in mining processes requires a deep understanding of both technological and economic aspects. Given the rapid changes in the

global economy and increased demands on the sustainability of industrial enterprises, effective management of production processes is becoming a key success factor. In this context, optimization of loss and dilution management systems is a priority for mines.

One of the important aspects of optimization is the implementation of advanced technologies aimed at precise measurement and control of the content of useful components in ore. The use of modern analytical methods and automated data processing systems allows enterprises to significantly reduce losses and improve the accuracy of extraction.

The next important area of optimization is the development and implementation of a monitoring and control system based on the principles of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML). These technologies are capable of analyzing data in real time, predicting possible losses and automatically adjusting production processes to maximize the extraction of useful components [1].

Attention should also be paid to the development of more effective resource management strategies aimed at reducing costs and optimizing the dilution of useful components, which may include the implementation of circular resource use models, waste recycling and improved planning of production cycles.

Solving the problem of optimizing loss and dilution management systems at a mine requires an integrated approach, including technological innovations, the implementation of modern data analysis methods, and the development of effective resource management strategies. This approach not only helps to increase mine productivity, but also ensures the sustainability of enterprises in a dynamically changing market and economic environment.

The economic approach to optimizing the loss and dilution management system at a mine is based on strategies aimed at maximizing the efficiency of resource use and increasing the profitability of p

roduction. The approach includes a number of key aspects (Table 1):

Table 1 - Key aspects of optimizing the loss and dilution management system at a mine

No	Key aspects of optimization	Description
1	Cost analysis at each stage of production to identify bottlenecks and opportunities for cost reduction. Implementation of effective cost management methods.	Cost analysis at each stage of production to identify bottlenecks and opportunities for cost reduction. Implementation of effective cost management methods.
2	Implementation of modern technologies and equipment for precise control and measurement of the content of useful components in ore. Automation of production processes using artificial intelligence and machine learning systems.	Implementation of modern technologies and equipment for precise control and measurement of the content of useful components in ore. Automation of production processes using artificial intelligence and machine learning systems.
3	Creation of a monitoring system that analyzes data on ore quality, losses and dilution of useful components in real time. Use of analytical tools to identify trends and make decisions.	Creation of a monitoring system that analyzes data on ore quality, losses and dilution of useful components in real time. Use of analytical tools to identify trends and make decisions.
4	Development and implementation of resource management strategies aimed at optimizing the use of material and energy resources. Minimization of waste and reuse of resources.	Development and implementation of resource management strategies aimed at optimizing the use of material and energy resources. Minimization of waste and reuse of resources.
5	Conducting economic assessments of each project taking into account investments, costs, potential profit and efficiency. Implementation of projects with the highest economic efficiency.	Conducting economic assessments of each project taking into account investments, costs, potential profit and efficiency. Implementation of projects with the highest economic efficiency.
6	Training personnel in modern management methods and technologies to improve professional competence and labor efficiency.	Training personnel in modern management methods and technologies to improve professional competence and labor efficiency.
Note: compiled by the authors based on the source [2]		

The economic approach to optimizing the management system in the mining industry is aimed at creating sustainable and competitive enterprises that are able to adapt to changes in market conditions and ensure maximum profitability while minimizing risks.

Literature review. The idea of integrating processes from mining to beneficiation in the mining industry is widely discussed. The "Mine to Mill" concept emphasizes the relationship between the mining and beneficiation stages,

which allows for the optimization of production processes. Authors such as **McCoy J.T. & Auret L.** [3] actively research and implement integrated strategies to maximize production efficiency. Theoretical aspects of cost optimization in the mining industry are actively discussed. Researchers pay attention to various methods such as linear programming and stochastic programming methods for optimizing cost parameters at various stages of the production process. Analysis of the effectiveness of these methods helps to solve problems with

minimizing costs while maintaining high quality of production [4].

Theoretical models and research in the field of accurate measurement and control of ore quality highlight the importance of using modern technologies such as sensorics and data processing to ensure high accuracy in measuring the composition and quality of useful components. These studies help develop effective strategies for raw material quality management. Theoretical models based on artificial intelligence (AI) methods such as machine learning and neural networks are actively considered for predicting and optimizing production processes. Researchers aim to create systems that can adapt to changes in mining conditions and provide accurate forecasts.

Theoretical foundations of management strategies "Mine to Mill" is a strategic approach that aims to optimize the relationship and interaction between the stages of ore extraction and beneficiation. This concept goes beyond the traditional separation of mining operations and aims

to create a unified and harmonious management system to maximize the yield of useful components.

Integration begins with the optimization of the physical characteristics of the ore, starting from its extraction, which includes the analysis of various parameters such as granulometry, hardness and flowability to better understand the characteristics of the raw material entering the beneficiation.

One of the key aspects is to improve the interaction between geologists, miners and beneficiation specialists. An integrated approach allows the exchange of data and experience between different disciplines, which contributes to a better understanding of the ore potential and its optimal processing. The "Mine to Mill" concept is also aimed at optimizing the technological parameters of enrichment taking into account the characteristics of the raw material. This concept includes the selection of optimal methods of crushing, sorting and enrichment that are most effective for a specific ore composition. The main aspects of the "Mine to Mill" concept are presented in Table 2.

Table 2 - Main aspects of the "Mine to Mill" concept

№	Aspect	Description
1	Integration of mining and enrichment processes	The Mine to Mill concept emphasizes the interrelationship between the mining and beneficiation stages to optimize production processes.
2	Enrichment process parameters	Includes the selection of optimal methods for crushing, sorting and beneficiation of ore, taking into account its characteristics.
3	Integrated process monitoring	Provides continuous monitoring of product quality at each stage and a quick response to changes in ore composition.
4	Application of mathematical models	Allows for scenario analysis and selection of optimal parameters for each stage, taking into account technical and economic aspects.
5	Staff training	Extends integration to the level of personnel training to improve their understanding of the production cycle and the impact of their activities on the quality of the final product.
Note: compiled by the authors based on the source [5-7]		

Integrated process monitoring at each stage ensures continuous quality control of the product and allows for rapid response to changes in ore composition. Feedback between stages allows for

real-time adjustments to beneficiation strategies.

The use of mathematical models and optimization methods allows for scenario analysis and selection of optimal parameters for each stage. This includes

not only technical aspects, but also economic ones, taking into account costs at each stage of the production cycle.

Extending integration to the level of personnel training to improve their understanding of the entire production cycle and the impact of their activities on the quality of the final product [8].

The Mine to Mill concept not only helps optimize production processes, but also promotes more sustainable and efficient mine management strategies. These strategies are also focused on the sustainable use of resources and the promotion of environmental sustainability [9].

Researchers such as Mutani G. et al. [10] highlight the importance of technological innovations in waste management at mining enterprises. They consider progressive methods aimed at reducing losses and optimizing waste disposal. Merouane Khammar et al. [11] raise the issue of applying artificial intelligence in mining engineering. Using AI in monitoring and control systems can provide significant benefits in process optimization and decision making.

Using sensor technologies such as IoT (Internet of Things) and sensors for continuous monitoring of waste. These devices provide real data on the quantity and characteristics of waste, which allows for more efficient management of its treatment and disposal.

Using robotic systems equipped with artificial intelligence for automated waste sorting, which increases the accuracy of separation of different materials, reducing the amount of waste sent to landfill. Developing more efficient waste processing technologies to extract valuable materials. Processes such as pyrolysis, hydrometallurgy and biotechnology can increase the percentage of waste recycling and reduce its environmental impact.

Implementing digital platforms and management systems to monitor, analyze and optimize waste management processes. Platforms provide centralized management, allowing for informed data-driven decisions and reduced losses.

Using machine learning algorithms to analyze waste generation and processing data. These technologies help identify trends, predict waste

volumes and optimize waste management processes. Using biotechnologies such as biodegradation and composting to process organic waste. Biotechnologies help minimize waste volumes and create environmentally friendly methods of disposal.

Developing encapsulation technologies that stabilize hazardous substances in waste. Encapsulation technologies reduce the risk of environmental pollution and improve processing safety. Research into new methods and technologies for the reuse of sludge and waste from mining processes includes the creation of building materials adapted for use in construction or even the production of new materials.

Technological innovations in waste management in the mining industry aim to create more efficient, sustainable and smart waste management systems that reduce negative environmental impacts and increase the efficiency of use.

Circular economy is a concept that aims to optimize resource use by eliminating the principle of “take, make, throw away” and replacing it with “take, make, reuse” (Figure 1).

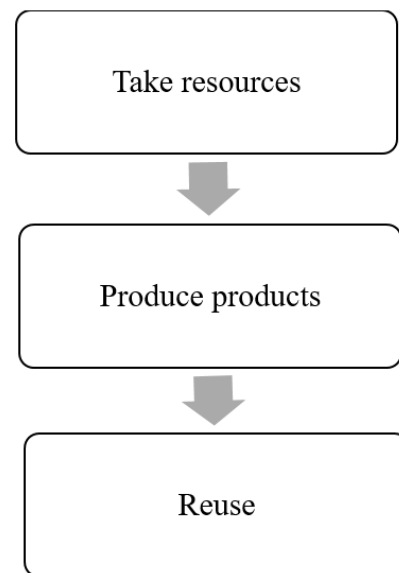


Fig.1 - Circular Economy Principle

Note: compiled by the authors

In the context of the mining industry, the application of the circular economy includes a

number of key aspects:

One of the main principles of the circular economy in the mining industry is the maximum recycling of materials, which includes the development and implementation of waste processing technologies in order to extract valuable materials for reuse in production processes.

The circular economy implies the efficient use of resources, which means reducing losses during the extraction and processing of minerals. Innovations in mining, enrichment and processing technologies are aimed at maximizing the extraction of valuable components and minimizing waste.

The principle of the circular economy includes the management of the product life cycle - from resource extraction to end use. The principle of the circular economy includes extending the service life of products, facilitating their repair, upgrade and, ultimately, disposal with minimal impact on the environment.

The use of monitoring technologies and feedback systems that allow for continuous assessment and improvement of environmental and economic indicators of production. This allows for a more effective response to changes in processes and optimizes the use of resources.

Developing and implementing sustainable resource extraction methods that minimise impacts on nature and include the use of technologies such as zero-waste mining or processing methods and the introduction of energy-efficient technologies.

Promoting circular ecosystems in which mining companies interact and exchange resources and materials to maximise their reuse and minimise waste [12].

Encouraging innovation and research into technologies and methods that support a circular economy in mining. This includes funding research into improved processing technologies, resource efficiency and reduced impacts [13]

A circular economy in mining not only contributes to environmental sustainability, but can also be a key element in ensuring the long-term sustainability of the industry and reducing negative environmental impacts.

Materials and methods. Based on the relevance and socio-economic significance of this topic, especially in light of the desire of the Republic of Kazakhstan to form a new scientific and technological policy and aspirations for low-carbon development, we have defined an integrated approach to the study, which includes not only traditional methods of analysis and evaluation, but also the use of advanced digitalization and automation technologies for a deeper understanding and optimization of processes at the enterprise [14].

The authors consider in detail each stage of the study, from the initial collection of data to their analysis and interpretation. This approach will identify potential areas for improving the efficiency and reducing the cost of mining and transport operations and assess the environmental aspects and carbon intensity of the technologies used. This approach is important to ensure sustainable development of the mining industry and its compliance with modern environmental standards and requirements.

Research question: The study is aimed at establishing a real relationship between mining and transport and drilling and blasting operations in the context of the efficiency of the geotechnological complex of the Bakyrchy mining enterprise. **Hypothesis put forward:** The hypothesis suggests that optimization of drilling and blasting and mining and transport operations can significantly increase the efficiency of geotechnological complexes, which in turn will improve the profitability and environmental safety of field development.

Research stages. Research in the field of low-carbon development strategy is important for achieving sustainable economic and environmental growth. For successful implementation of such a strategy, it is necessary to conduct a systematic scientific and practical study, which would include a number of stages. The first stage is the analysis of the relevance and socio-economic significance of the proposed research in the context of the low-carbon development strategy of the Republic of Kazakhstan. Then the object, subject, goals and objectives of the study are determined. After this, the primary data on the current situation at the

enterprise is studied. Finally, new methods and approaches for the analysis and optimization of processes are developed and applied (Figure 2).

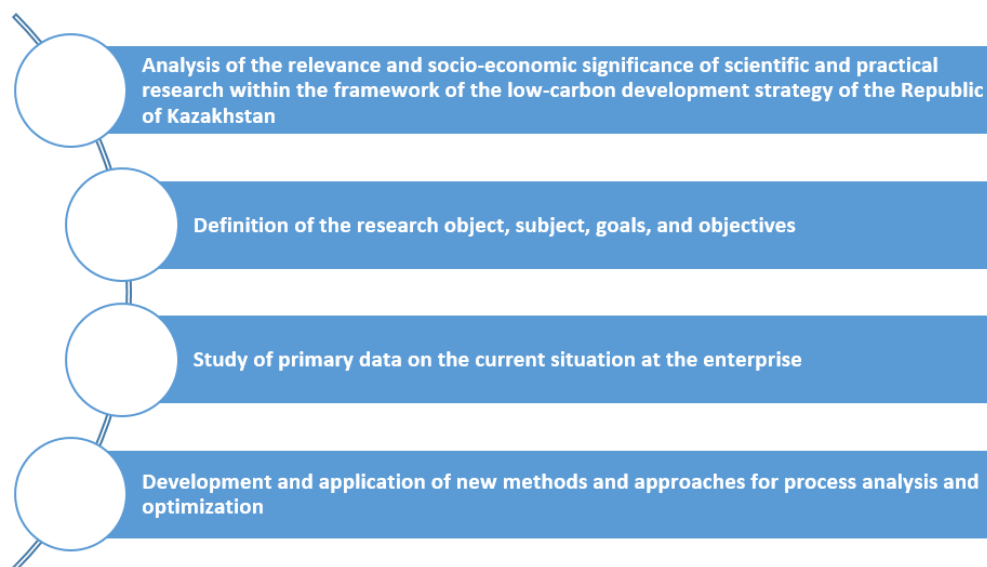


Fig.2 - Research stages

Note: compiled by the authors

These stages represent a sequence of steps necessary to carry out a successful study within the framework of a low-carbon development strategy, thereby providing a basis for developing effective strategies and solutions.

Research methods:

- Simulation modeling to assess various scenarios of mining and transport and drilling and blasting operations.

- Technical and economic analysis to assess the efficiency and potential for reducing the cost of work.

- Methods of digitalization and information analytical support for process management and automation.

- Environmental audit to assess the carbon intensity and environmental efficiency of technological processes [15].

Research results:

- Proposal of specific measures to improve the efficiency of the geotechnological complex.

- Analysis of the potential and directions for

process optimization, including assessment of the quality of the road surface, organization of blasting operations, preparation of rocks and optimization of the structure of intra-quarry rock flows.

- Development of methods for the environmental assessment of geotechnological complexes in open-pit mining [16].

The research is due to its relevance and socio-economic feasibility in the context of modern tasks in the formation of a new scientific and technological policy in the Republic of Kazakhstan, including aspects of low-carbon economic development and modernization of the mining industry.

One of the leading areas determining the efficiency of the mining industry is the optimization of the fleet of the main mining and transport equipment. Numerous studies and technical and technological audits confirm the importance of this aspect not only in terms of updating the model range and numerical ratio, but also in the context of the constant emergence of new equipment modifications on the world market. This observation

emphasizes the need to adapt and modernize equipment in accordance with current requirements and market trends [17].

Optimization of the depreciation policy of equipment, taking into account its technical condition and service life. Adequate consideration of these factors is often overlooked when planning mining and transport complexes, which leads to significant discrepancies between the actual and design efficiency of the equipment.

An important component of an integrated approach to managing mining processes is the analysis of the quality of the road surface in quarry areas. The quality of the road surface directly affects the speed modes of transport, the time of trips of dump trucks and, as a result, the overall productivity of the complex and the volume of environmental emissions during the work. Particular attention is paid to the optimization of drilling and blasting operations, especially when developing hard rocks. The efficiency of organizing these operations plays a key role in increasing the overall efficiency of the geotechnical complex. Thoughtful planning and organization of drilling and blasting operations contribute not only to increased productivity, but also to reduced costs [18].

Results and Discussions. The research of the influence of the quality of rock preparation for excavation and drilling and blasting methods opens up new opportunities for increasing the overall efficiency and reducing the cost of mining and transport operations. An important factor here is the degree of loosening of rocks, which affects the overall efficiency of the process.

The use of simulation modeling made it possible to evaluate various scenarios for mining and transport and drilling and blasting operations, which helps to improve the efficiency of these processes. Conducting a technical and economic analysis made it possible to evaluate the efficiency and potential for reducing the cost of work, which is an important aspect when making management decisions. The use of digitalization methods and information analytical support contributes to the management and automation of processes in the mining industry, which increases their efficiency.

Conducting an environmental audit allows you to assess the carbon intensity and environmental efficiency of technological processes in the mining industry, which is important from the point of view of compliance with environmental norms and standards.

The results of the research include proposals for specific measures to improve the efficiency of the geotechnological complex, an analysis of the potential and directions for optimizing processes, and the development of methods for the environmental assessment of geotechnological complexes in open pit mines.

An important area is the optimization of the organization of food for drivers of mining and transport equipment, which, despite its seeming secondary importance, has a significant impact on the productivity and efficiency of the complex.

Optimization of the structure of intra-quarry rock flows and the location of ore handling warehouses is also an important aspect that allows increasing the efficiency of the geotechnological complex and reducing costs.

The final stage is the development of methods for assessing the environmental efficiency of the complexes, the introduction of digital technologies and automation of management decisions, which helps to increase the economic efficiency of the geotechnological complex and reduce the costs of mining and transport operations, while improving the profitability of deposit development [19].

One of the important points in the economic assessment of the efficiency of the geotechnological complex, as well as the impact of its work on the efficiency of the enterprise as a whole. In this regard, it is fundamentally important to establish the relationship between the main economic indicators at the levels of the enterprise, quarry and the geotechnological complex under consideration.

According to the presented data, the total cost of the enterprise is 102493545.67 tenge. Of these, the mining part accounts for 82260256.7 tenge or 80.26% of the total volume. At the same time, with a given volume of rock mass extracted at the quarry, the specific cost of m³ of rock mass is 2481.3 tenge

or \$ 5.45 (at the exchange rate of 1 US dollar = 455 tenge). For the geotechnological complex, similar indicators have values of 55,745,052.0 (54.3% of total costs) and 1,683.6 tenge/m³, respectively.

One of the main cost items for maintaining the functioning of the quarry geotechnological complex are operating costs for the main mining and transport equipment - depreciation charges and material costs. In this regard, in the process of forming an economic and mathematical model of the functioning of the geotechnological complex, take into account the fact that the enterprise has established depreciation periods for the main mining and transport equipment purchased in 2016 and later, in particular dump trucks: BelAZ-75139 - 84 months and Komatsu HD785 - 60 months. The purchase prices of dump trucks are as follows: BelAZ 75139 - 594.2 million tenge (2021) and Komatsu HD785 - 410.7 million tenge (2021). In

2016, 6 Komatsu HD 785-7 dump trucks were purchased, with a service life of 60 months.

Another important item of operating costs taken into account is the monthly salary of drivers and operators of the main process equipment. Based on the adopted mode of organizing the main technological processes, similar shift indicators are established, which participate in the operational calculation of the cost of mining and transport operations, based on the actual production volumes of the main product of the functioning geotechnological complex. For 2023, according to the enterprise, the salary of excavator drivers is set at 639,002.2 tenge / month for drivers and 498,273.4 for assistant drivers. The salary of dump truck drivers at the enterprise is set at 591,476.0 tenge for the main workers and 532,377.0 for those who go on to replace them during lunch breaks (Table 3).

Table 3 - Calculation of costs for the extraction and processing of one m³ of rock mass for 2022-2023

Name of works and expenses	Cost Amount.	Mining Part		Geotechnological complex	
				Fact	
Share in total cost, %	100%	80,25%		54,39%	
Volume of rock mass, thousand m3.	2022 r. -33 111, 87 /2023 r. – 30770,0				
Total wages of workers, thousand tenge	7 946 581,0	5 221 194,0	157,7	5 221 194,0	157,7
Depreciation, thousand tenge.	24 154 670,1	19 494 675,7	588,8	19 494 675,7	588,8
Materials, thousand tenge	805 559,3	750 617,6	22,7	750 617,6	22,7
Fuels and lubricants	13 155 053,3	12 405 334,7	374,6	16 330 487,6	493,2
Energy tenge/kW.	2 031 750,7	438 098,9	13,2	438 098,9	13,2
rent	216 022,0	211 427,8	6,4		
spare parts	12 065 947,7	4 164 599,5	125,8	17 450,1	0,5
travel expenses	21 638,4	14 448,8	0,4		
utilities	250 845,1	172 056,6	5,2		
Taxes (fee for emissions)	1 301 628,5	1 152 575,0	34,8	1 152 575,0	34,8
Occupational safety	90 554,3	87 226,3	2,6		

Food	638 543,9	397 603,2	12,0		
Other (unaccounted for + personnel delivery)	326 812,4	243 241,1	7,3	243 241,1	7,3
Sn	453 281,7	303 186,8	9,2	303 186,8	9,2
So	187 067,9	118 795,8	3,6	118 795,8	3,6
OSMS + OPPV	472 324,6	327 115,8	6,9	327 115,8	9,9
MET	16 418 696,0	16 417 273,3	495,8		
Tires, thousand tenge				6419071,8	193,9
Repair and service	5 531 716,9	4 300 606,7	129,9	4 928 541,8	148,8
Services	39 244,1	37 891,1	1,1		
Contractor (drilling and blasting operations)	14 966 230,8	14 966 195,8	452,0		
Training	27 918,5	17 985,7	0,5		
Insurance	286 707,2	189 192,2	5,7		
Expert and analytical services	342 910,1	286 273,6	8,6		
Transport services	761 844,5	542 625,9	16,4		
TOTAL expenses tenge	102 493 548,7	82 260 256,7	2 481,3	55 745 052,0	1 683,6
Dollar (at the rate of \$1 = 455 tenge)			5,45		3,70

General practice and experience in researching the efficiency of quarry geotechnological complexes, traditionally, areas related to compliance with the depreciation policy in relation to dump trucks and optimization of their loading mode, by optimizing the equipment replacement schedule and maintaining the workshop profitability of the mining and transport complex at an optimal level, have significant potential in this regard. In this case, due to the insignificance of the term of open-pit mining, this direction can be implemented only in a small part of the existing total potential. A full-fledged economic assessment of the efficiency of the geotechnological complex from the quality of rock preparation for extraction at

the stage of drilling and blasting operations requires adequate consideration of the corresponding change in the traction forces of excavators during the process of rock extraction with subsequent reliable identification of energy costs, as well as the corresponding volumes of costs for drilling and blasting operations. In this direction, additional studies are also required with the corresponding variation in the volumes of buckets and dump truck bodies.

The most valuable thing in conducting a set of researches is identifying the economic effect realized by the enterprise from the deviation from the design solution adopted at the enterprise for opening the quarry and organizing the transportation

of overburden rock mass to the dump. This economic effect is about 6263.60 million tenge per year with a significant decrease in the indicator of optimal productivity of the geotechnological complex [20].

Analysis of other economic effects shows that the greatest potential for reducing the cost of mining

and transport operations in the established mining-technical, mining-geometric, mining-geological, organizational and economic conditions are in the areas of improving the quality of the road surface of intra-quarry roads, as well as optimizing the structure and number of the listed fleet of the main technological equipment.

Table 2 - Potential economic effect, thousand tenge per year

Optimization direction	Potential economic effect (thousand tenge per year)
Improving the quality of road surfaces of quarry roads	Approximately 1268.27
Optimization of the structure and number of the list of the main technological equipment	Approximately 1035.42
Note: compiled by the authors	

The total potential economic effect is about 1268.27 thousand tenge per year. Taking into account the lack of practical possibility of replacing the diesel fleet of excavators with electric ones with the corresponding technological parameters, the real potential for obtaining an economic effect will be 1035.42 million tenge per year.

Conclusion. The conducted research considered the efficiency of the quarry geotechnological complex with varying various factors of mining engineering, mining-geometric, mining-geological, organizational and economic nature.

In the course of research using the method of simulation logical-statistical and object-oriented modeling, the current state and economic efficiency of the functioning of the Bakyrchik quarry geotechnological complex were analyzed and assessed with a set of studies of its operation under various qualitative characteristics of the extracted rock mass.

As a result of the work carried out, the dependences of the economic efficiency of the geotechnological complex on the preparation of rocks for excavation were determined; the potential for increasing efficiency and directions for its implementation with the development of a set of appropriate measures were determined; software

and methodological support for the formation of digital twins of quarry geotechnological complexes were improved using the simulation modeling method; directions were determined and a set of specific measures were developed to increase efficiency and reduce the cost of mining and transport operations in the Bakyrchik quarry of Bykырchik Mining Enterprise LLP.

The maximum possible planned productivity of the quarry geotechnological complex in terms of rock mass is ensured by the high organization of mining and transport operations, high-quality operational management of the involved mining and transport equipment. The identified potential for increasing the efficiency of the geotechnological complex and reducing the cost of mining and transport operations is associated with the use of a process approach in management and can be most effectively implemented with the appropriate adaptation of the automated management system for mining and transport operations used in the quarry, providing operational accounting and operational economic assessment of the operation of elements and subsystems of the quarry geotechnological system. It is advisable to implement modules for monitoring the loading of sections of the quarry motor transport system, operational accounting and control of environmental emissions and dust in the

quarry space, and the introduction of a dynamic approach to accounting and control of energy consumption by motor transport.

The conclusions and proposals resulting from the conducted research work may be of interest to a wide range of specialists and managers of

the enterprise on technical and mining-production issues, on digital transformations and automated control systems, the energy service and the environmental protection department, as well as specialists in the planning and economic direction in terms of the formation of the economy of process management at the enterprise.

References

1. Naugol' nova I.A. Processnyj podhod k upravleniju: jevoljucija, sovremennye vyzovy, innovacii // Kreativnaja jekonomika.- 2023.-T.17(6).- S.2143–2164. DOI 10.18334/ce.17.6.117951[in Russian].
2. Kaplan A.V., Galiev S.Zh. Processnoe upravlenie gornotransportnym kompleksom v kar' ere na osnove jekonomicheskikh kriteriev // Gornyj zhurnal.-2017.- № 6.- S.28–32. DOI 10.17580/gzh.2017.06.05 [in Russian].
3. McCoy J.T., Auret L. Machine learning applications in minerals processing: A review // Minerals Engineering.- 2019.- Vol.132.- P. 95-109. DOI 10.1016/j.mineng.2018.12.004.
4. Ayoub R., Baïna S., Mhada F.Z., El Bachari E. Predictive maintenance in mining industry: Grinding mill case study // Procedia Computer Science.-2022.-Vol.207.-P.2483–2492.DOI 10.1016/j.procs.2022.09.306.
5. Salem K., AbdelGwad E., Kouta H. Predicting forced blower failures using machine learning algorithms and vibration data for effective maintenance strategies // Journal of Failure Analysis and Prevention.-2023.- Vol.23.- P.2191–2203. DOI 10.1007/s11668-023-01765-x.
6. Restrepo O. Exploring new sustainable horizons in the mining industry: Circular economy, sustainability, and technological development // Material Science Research India.-2024.- Vol.21(2). - P.72-73. DOI 10.13005/msri/210202.
7. Gilligan R., Aleksandar N. The extraction of vanadium from titanomagnetites and other sources // Minerals Engineering. - 2020. -Vol.146. -P.106. DOI 10.1016/j.mineng.2019.106106.
8. Ghorbani B., Saharkhiz M., Li J. A novel integrated system for sustainable generation of hydrogen and liquid hydrocarbon fuels using the five-step ZnSI thermochemical cycle, biogas upgrading process, and solar collectors//Journal of Cleaner Production.-2021.-Vol.312. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.127715.
9. Koyama K., Krane J. Energy security through FDI: The legacy of Early Japanese Investment in the Oil Sectors of the Persian Gulf // Resources Policy.-2021.-Vol.74:102165. DOI 10.1016/j.resourpol.2021.102165. 2021.
10. Mutani G., Todeschi V., Beltramino S. Energy Consumption Models at Urban Scale to Measure Energy Resilience // Sustainability. - 2020. - Vol.12.- № 14. DOI 10.3390/su12145678.
11. Khammar M., Zhu Y., Xu Y. Centrifugal recovery of solvent-diluted bitumen from oil sands // Minerals Engineering. - 2019. - Vol.136. – P.8-17. DOI 10.1016/j.mineng.2019.03.005.
12. Munagala V., Thudumu S., Logothetis I., Bhandari S., Vasa R., Mouzakis K. A comprehensive survey on machine learning applications for drilling and blasting in surface mining // Machine Learning with Applications. - 2024. - Vol.15. DOI 10.1016/j.mlwa.2023.100517.
13. Kaplan A. V. Upravlenie social' no-jekonomicheskim razvitiem gornodobyvajushhego predprijatija.- M.: Jekonomika, 2015. - 270 s. ISBN 978-5-282-03409-7 [in Russian].
14. Galiev S.Zh., Samenov G.K. Avtomatizirovannaja sistema korporativnogo upravlenija geotehnologicheskim kompleksom/ Sbornik dokladov i katalog VII Mezhotraslevoj konferencii

«Автоматизация производства - 2016», -М.-2016.-С.38-41 URL: <https://official.satbayev.university> Data obrashheniya: 05.02.25). [in Russian].

15. Galiev S.Zh., Galiev D.A., Sejtaev E.N., Uteshov E.N. O edinoj metodologii upravleniya geotekhnologicheskim kompleksom na otkrytyh gornyh rabotah/ Gornyj zhurnal.- 2019.- №12 С.70-75. DOI 10.17580/gzh.2019.12.15. [in Russian].

16. Rakishev B.R., Shubin I.L., Alenichev I.A. i dr. Snizhenie poter' i razubozhivaniya pri otrabotke rudnyh blokov slozhnoj konfiguracii i bol' shoj doli malomoshhnyh rudnyh tel. /Otechjot o nauchno-issledovatel'skoj rabote TOO «Qazaqstan Smart Technology» ot 27.12.2022 g. Almaty.: 2023.-41s. IRN123PKH003. URL: https://official.satbayev.university/download/document/42896/МАГ_2024 .- Data obrashheniya: 05.02.25). [in Russian].

17. Galiyev S.Zh., Samenov G.K., Zhusupov K.K., Galiyev D.A. Conception of automated management of geotechnological complex on an innovative base / 24th World Mining Congress Proceedings / Innovation / Instituto Brasileiro de Mineracio. IBRAM. - 2016. - 2555p.

18. Galiev D.A., Uteshov E.T., Tekanova A.T. Digitalization of Technological and Organizational Processes in Mining Operations through the Implementation of a Key Performance Indicators Installation and Monitoring System // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.- 2020. - Vol.5 (443).- P.47-53. DOI 10.32014/2020.2518-170x.103

19. Zarubin M., Statsenko L., Spiridonov P., Zarubina V., Melkumyan N., Salykova O. GIS Module for Environmental Impact Assessment of Open-Pit Mining Projects for Small-Scale Mining Operators in Kazakhstan // Sustainability. - 2021. - Vol.13(12): 6971. DOI 10.3390/su13126971.

Сведения об авторах

Галиев Д.А.- доктор PhD, директор TOO «Qazaqstan smart technology», Астана, Казахстан, e-mail: info@qstechnology.kz;
Малдынова А.В.- доктор PhD, доцент, Университет Международного Бизнеса им. К. Сагдиева, e-mail: maldynova.a@uib.kz, Алматы, Казахстан

Information about the authors

Galiyev D.A. - doctor PhD, Director of Qazaqstan smart technology LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: info@qstechnology.kz;
Maldynova A.V.- doctor PhD, Associate Professor, Kenzhegali Sagadiyev University of International Business Almaty, Kazakhstan, e-mail: maldynova.a@uib.kz