

УДК 574:621.039.542.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА ИЗ БУРЫХ УГЛЕЙ И ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ МЕТОДОМ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.И. Сидоров*, В.М. Поплавский*, А.А. Кричко, А.С. Малолетнев****

** ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*

*** Московский институт горючих ископаемых, г. Москва*



Рассмотрены вопросы экологии при крупнотоннажном производстве моторного топлива из угля и тяжелых нефтяных остатков. В России разработана экономически эффективная универсальная технология переработки угля в моторное топливо методом гидрогенизации под невысоким давлением водорода 6-10 МПа, вместо 20-30 МПа в зарубежных процессах. Наиболее существенное повышение эффективности переработки угля может быть достигнуто при использовании высоконадежных экологически безопасных ядерных реакторов типа БН в составе промышленного комплекса для энергообеспечения и интенсификации технологического процесса получения синтетического жидкого топлива. Это позволит резко улучшить экологическую обстановку в районе добычи и в местах переработки угля.

Химическая переработка твердых горючих ископаемых в настоящее время претерпевает радикальные принципиальные изменения. Идет реструктуризация и всей угольной промышленности.

В связи с разразившимся в мире энергетическим кризисом в 70-80-х гг. в США, Германии, Японии, России, Австралии, Канаде, Китае, Великобритании снова вернулись к идее переработки угля в моторное топливо методом гидрогенизации, которая осуществлялась в промышленном масштабе в 30-50-х гг. в Германии, Англии, России.

В настоящее время разработано в общей сложности более 60 технологических схем переработки угля в продукты топливного и химического назначения, в том числе 30 вариантов процессов с применением метода гидрогенизации.

В России разработана экономически эффективная универсальная технология переработки угля методом гидрогенизации под невысоким давлением водорода 6-10 МПа вместо 20-30 МПа в зарубежных процессах, позволяющая рентабельно производить из бурых и низкосортных углей высококачественные бензин, дизельное и реактивное топливо, фенолы, бензол, ксилолы и другие продукты углехимии [1-3].

В этих работах участвовало большое число научно-исследовательских, проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий России. Были разработаны научные основы и новая отечественная технология, которая прошла паробацию в условиях опытно-промышленного производства на заводе СТ-5 (г. Венев Тульской обл.), а также проектно-конструкторская документация для сооружения в Канско-Ачинском бассейне промышленного предприятия мощностью от 3,0 до 4,5-5,0 млн. т жидких продуктов в год. В состав углеперерабатывающего предприятия включены принципиально новые процессы подготовки и переработки угля (сушка в вихревых камерах, микронный помол, диспергирование, нанесение на уголь эмульгированного катализатора и др.), сжигания твердого остатка для регенерации Мо-катализато-

Таблица 1

Основные экономические показатели промышленного предприятия СТ-500 по получению жидкого топлива из угля (цены 1991 г.) [3]

Показатели	Единицы измерения	Величина показателей	
		I схема *	II схема**
Годовой объем переработки угля,	млн.т	20,318	28,198
в т.ч. на технологию	- " -	14,068	21,198
Годовой выпуск жидких продуктов, всего	- " -	4,361	5,486
в том числе			
автобензин АИ-93	- " -	1,000	2,370
авиакеросин	- " -	0,300	0,300
дизтопливо марки Л гидроочищенное	- " -	2,715	2,715
бензол	- " -	0,061	0,061
толуол	- " -	0,005	0,005
МТБЭ – метил-требутиловый эфир	- " -	0,281	-
метанол	- " -	-	0,036
Стоимость годового выпуска товарных продуктов	млн.руб	1556,7	2087,9
Себестоимость годового выпуска товарных продуктов	- " -	778,2	989,0
Годовая прибыль	- " -	778,5	1098,9
Сметная стоимость строительства, всего	- " -	4884,7	6261,1
в том числе СМР	- " -	2626,8	3367,0
Численность производственного персонала	чел.	4621	4853
Годовой расход энергосредств:			
бурый уголь для сжигания на ТЭЦ	млн.т	4,600	4,820
бурый уголь для сжигания в блоке углеподготовки	- " -	1,650	1,740
топливный газ (собственная выработка)	млн.м ³	5,139	5,210
пар (собственная выработка)	млн.Гкал	7,780	7,940
электроэнергия (50% собственная выработка)	млн.кВтч	3338,7	3647,18
вода свежая	млн.м ³	59,0	65,096
Срок окупаемости капитальных вложений	лет	6,2	5,7

* получение жидкого топлива прямой гидрогенизацией угля;

** получение жидкого топлива гидрогенизацией и газификацией угля (дополнительно включена установка по производству из синтез-газа бензина с последующей гидроконверсией его в высокооктановый автобензин).

ра, очистки водородосодержащего газа (ВСГ) от примесей и известные из практики нефтепереработки процессы, необходимые для функционирования промышленного предприятия. Основные технико-экономические показатели производства приведены в табл. 1 [3]. На основании данных табл. 1 можно констатировать, что переработка угля с применением гидрогенизационных процессов при пониженном давлении водорода (10,0 МПа) позволяет увеличить ресурсы моторного топлива; все получаемые продукты обеспечат прибыль и рентабельность промышленного производства при сроке окупаемости капложений в течение 5-6 лет. В ближайшей перспективе сооружение предприятий по производству из угля 3,0-5,0 млн.т моторного топлива в год в одном угольном регионе вряд ли целесообразно в связи с трудностями обеспечения инвестициями на создание столь крупномасштабного производства. Более реальным представляется строительство упрощенных установок модульного типа мощностью 500 тыс.т жидких продуктов в год.

Создание таких установок достаточно для обеспечения горючесмазочными материалами угольных регионов России, удаленных от источников централизованного снабжения нефтепродуктами, но располагающих ресурсами угля, в том числе малодефицитных мелких классов.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Предприятия ТЭК являются основным источником загрязнения окружающей среды. На долю ТЭК приходится около 48,0% выбросов вредных веществ в атмосферу и 27,0% сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, свыше 30,0% твердых отходов и до 70,0% общего объема парниковых газов [4]. При производстве тепла и электроэнергии на тепловых электростанциях с использованием органического топлива (угля, мазута, природного газа, торфа и др.) негативное воздействие на окружающую среду выражается, прежде всего, в загрязнении атмосферного воздуха. Помимо газообразных продуктов сгорания следствием применения твердого и частично жидкого топлива являются выбросы твердых частиц, причем также из систем складирования и транспортировки топлива, отделений пыле- и золоудаления ТЭС. Приводятся данные [5], что в 1995 г. общий объем выбросов в России на ТЭС составил 4474 тыс.т, из них твердых веществ - 1349 тыс.т, диоксида серы - 1913,5 тыс.т, оксидов азота - 1045 тыс.т, оксидов углерода - 124 тыс.т, или 89,0% от общего газового выброса в энергетическом секторе. По данным Государственного вычислительного центра (ГВЦ) энергетики в 1999 г. объем выбросов вредных веществ в атмосферу уже составлял 10606,3 тыс.т. Другим источником негативного воздействия угледобывающих, углеперерабатывающих и углепотребляющих предприятий ТЭК являются золошлаковые отходы. В России более 170 тепловых станций, работающих на угле, способствуют образованию ежегодно около 50,0 млн.т золошлаковых отходов, причем доля их утилизации крайне мала [6]. Приводятся данные о том, что в конце 90-х гг. для производства строительных материалов, в дорожном строительстве и для других целей было использовано лишь от 4,3 до 7,7% золошлаковых отходов ТЭС [4]. Сопоставление объемов поступления загрязняющих веществ в окружающую среду с объемами добычи и переработки топливно-энергетических ресурсов в нефтеперерабатывающей и угольной отраслях ТЭК приведено в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что для этих энергоемких отраслей ТЭК удельные выбросы загрязняющих веществ за указанные 5 лет не только не снизились, несмотря на спад добычи ТЭР и производства электроэнергии, но и наблюдался их устойчивый рост (угольная промышленность). Углеперерабатывающее промышленное предприятие по производству СЖТ является так же, как и ТЭС, потенциально опас-

Таблица 2

**Динамика поступления загрязняющих веществ
в окружающую среду от предприятий ТЭК [4,5]**

Показатели	Годы				
	1991	1992	1993	1994	1995
Нефтеперерабатывающая промышленность					
Объем нефтепереработки, млн.т	284	249	213	187	175
Газовые выбросы, тыс.т					
в целом	1436	1360	1191	1004	909
на 1 млн.т переработанной нефти	5,06	5,49	5,59	5,37	5,19
Сбросы сточных вод, млн.м ³					
в целом	325	325	279	225	317
на 1 млн.т переработанной нефти	1144	1305	1318	1203	1811
Угольная промышленность					
Добыча угля					
млн.т	349	332	306	272	252
млн.т. у. т.	156	148	136	121	112
Газовые выбросы, тыс.т					
в целом	236	267	384	687	627
на единицу добытого угля (в млн.т. у. т.)	1,51	1,80	2,82	5,68	5,60
Сбросы сточных вод, млн.м ³					
в целом	552	598	664	649	740
на единицу добытого угля (в млн.т. у.т.)	3571	4041	4882	5364	6607

ным источником вредных выбросов в атмосферу оксидов серы и азота, непредельных и ароматических углеводородов, твердых частиц (угольная пыль), а также образования большого количества золошлаковых отходов, требующих складирования и утилизации. В [7, 8] показано, что при производстве 4,0-5,0 млн.т жидких продуктов из бурых углей Канско-Ачинского бассейна 70,0% выбросов в атмосферу приходится на долю технологических установок, 2,7% - факельного хозяйства, 27,2% - ТЭЦ.

На долю неорганизованных источников выбросов (выбросы от фланцевых соединений аппаратуры, оборудования, трубопроводов, "дыханий" резервуарных парков и др.) промышленного модуля по производству СЖТ из угля приходится 22,0% от общих вредных выбросов предприятия.

Существенное снижение вредных выбросов промышленного комплекса по производству СЖТ может быть достигнуто при применении в его составе экологически безопасных ядерных БН-реакторов для выработки электроэнергии, водяного пара и газового теплоносителя на собственные нужды и обеспечения в районе его размещения близлежащих поселков [7-10]. Отмечается, что в этом случае можно рассчитывать на сокращение объемов добычи и сжигания угля на 20,0-30,0%, а также на 10,0-15,0% расхода угля на газификацию для производства водорода и энергетического газа на собственные нужды предприятия. Суммарное снижение удельного расхода угля на производство примерно в 1,5 раза позволит резко увеличить защищенность окружающей среды от вредных выбросов газов в атмосферу и на 30,0-40,0% снизить складирование твердых золошлаковых отходов в отвалы.

**ОЦЕНКА ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ НА ТОВАРНУЮ ПРОДУКЦИЮ
С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТЕЖЕЙ**

В настоящее время в большинстве стран приняты стандарты качества воздуха и специальные правила, ограничивающие нормы допустимых загрязняющих окружаю-

Таблица 3

Представительные стоимости специальных способов охраны окружающей среды при вводе в эксплуатацию новых угольных теплоэлектростанций (долл. США по курсу 1978 г. за 1 т используемого угля)

Способ охраны окружающей среды	Стоимости способов, долл.	Усредненные данные, долл.
Контроль за выделением тепла (охладительные башни) - с применением воды - сухой метод	0,8 11	5,9
Контроль за выделением твердых частиц - специализированный - механическое улавливание	2 3	2,5
Контроль за выделением серы - обессеривание дымовых газов с помощью известняка - регенерация - сухие методы обессеривания дымовых газов	20 17 20	19
Контроль за окислами азота - выделение окислов азота после сжигания - улавливание окислов серы и азота скрубберами после сжигания угля	6 13	9,5
Размещение отходов, полученных при сжигании угля, - обычной золы - золы, содержащей токсичные материалы, - золы и шламов, полученных при обессеривании дымовых газов	2 5 2,5	3,2
Обработка загрязненной отработанной воды - обычными методами - полная очистка	1 2,5	1,8
Итого:		~ 42 долл./т угля

Для оценки стоимости природоохранных мероприятий использовались данные, приведенные в книге К.Л. Уильсона Уголь - мост в будущее.- М.: Недра, 1985.

щую среду выделений при работе тепловых электростанций, использующих в качестве топлива уголь.

Основными загрязняющими веществами, регламентируемыми правилами, являются диоксид серы SO_2 , микрочастицы (частицы, полностью находящиеся во взвешенном состоянии) и оксиды азота NO_x .

В отдельных странах стандарты по качеству окружающего воздуха отсутствуют. Это не означает, что не предпринимаются попытки контролировать уровень загрязнения атмосферы; просто в тех странах используются другие методы определения и достижения качества окружающего воздуха. Более того, даже в тех странах, где стандарты качества окружающего воздуха имеются, методы их применения отличаются друг от друга.

Так, в США для новых угольных теплоэлектростанций введены специальные способы охраны окружающей среды (табл. 3).

На основании данных табл. 3 были проведены оценка и сравнение затрат на производство электроэнергии на теплоэлектростанциях на угле с затратами по производству электроэнергии на реакторе БН-600 (табл. 4).

В табл. 5 приведены основные экономические показатели производства синтети-

Таблица 4

Сравнение затрат на производство электроэнергии на различных электростанциях (в ценах 1991 года)

Показатели	БН 600 МВт (э)	КЭС на угле 600 МВт (э)
Капиталовложения в промстроительство, млн. руб.	1300	820
Годовые эксплуатационные расходы (включая топливо), млн.руб.	103,5	150
Срок эксплуатации, лет	30	30
Средний коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) за срок эксплуатации	0,8	0,8
Годовая выработка электроэнергии, млрд. кВт-ч/год.	4,2	4,2
Приведенные затраты на производство электроэнергии,	5,6	5,5
Дополнительные экологические платежи, руб./т. угля	-	42
Средний расход топлива, кг/кВт-ч (бурый уголь)	-	1,0
Дополнительные годовые затраты на производство электроэнергии, связанные с экологическими платежами, млн.руб./год.	-	176,4
Затраты на производство электроэнергии с учетом экологических платежей, коп./кВт-ч	5,6	9,7

Таблица составлена на основании данных “Проекта Южно-Уральской атомной станции”, 1993

ческого жидкого топлива из угля на предприятии типа СТ-500.

Таким образом, сравнительные оценки стоимости производства электроэнергии на ТЭС и АЭС, проведенные с учетом экологических платежей, отличаются ~ в 1,7 раза (табл. 4), а приведенные удельные затраты на производство синтетического жидкого топлива с энергообеспечением от АЭС ~ на 30% ниже (табл. 5).

Таблица 5

Основные экономические показатели производства синтетического жидкого топлива из угля на предприятии типа СТ-500 (в ценах 1991 г.)

Показатели	Единица измерения	Вариант БН (600·10 ³ кВт(э))	Вариант КЭС (600· 10 ³ кВт(э))
Производительность по моторному топливу	млн.т/год	1,8	1,8
Капитальные вложения в комбинат	млн.руб.	2400	2050
Удельные капитальные вложения на 1 т товарной продукции	руб./т	1333	1140
Текущие эксплуатационные затраты	млн.руб./ год	200	427
Удельные текущие эксплуатационные затраты	руб./т	111	237
Приведенные удельные затраты	руб./т	311	408
Соотношение приведенных удельных затрат	%	100	131

Расчеты выполнены на основании данных ТЭДа предприятия СТ-500 (по производительности, капиталовложениям, эксплуатационным затратам и энергообеспечению)

Если ограничение выбросов в атмосферу загрязняющих химических веществ носит пока характер проблемы национального масштаба, то вопросы минимизации выбросов парниковых газов, отраженные в протоколе, принятом в Киото (Япония), приобретают статус международных соглашений, подлежащих выполнению к 2008-2012 гг. всеми подписавшими протокол странами. Ядерная энергетика обладает огромным потенциалом снижения загрязнения воздушной среды, как в региональном, так и в глобальном масштабах.

ПРИМЕНЕНИЕ ГАММА-РАДИАЦИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЯ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

В последние годы возросло внимание исследователей к другим аспектам применения ядерных энергоисточников, а именно, к изучению γ -радиационного воздействия на интенсификацию химико-технологических процессов.

Анализ литературы показывает, что пока нельзя сделать однозначных выводов и предсказать изменения в углях и нефтепродуктах, подвергшихся радиационному воздействию. Это объясняется тем, что описанные в литературе эксперименты проводили на разных углях, при различных условиях подготовки и облучения образцов. Для изучения преобразований, происходящих при радиоллизе углей, использовали, как правило, только один метод исследования. Однако можно сделать заключение о необходимости дальнейшего изучения проблемы с использованием современных методов воздействия на уголь, нефтепродукты и их смеси, а также анализа экспериментальных результатов для разработки научно-технических и технологических рекомендаций применения ядерных энергоисточников для интенсификации различных химико-технологических процессов, в том числе получения жидкого топлива из угля.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА УГОЛЬ

Работы по радиолизу угля в лабораторных условиях проводились для изучения влияния различных видов и доз ионизирующего излучения на изменение физических и химических свойств природных углей различной степени углефикации [11-20].

При введении в образец угля источника α -излучения наблюдали искусственно вызванный процесс углефикации; под воздействием ионизирующего облучения повышалось содержание углерода и изменялась отражательная способность облученного угля по сравнению с исходным [11]. Влияние ионизирующего излучения на гидрогенизацию облученного угля (доза γ -облучения $1 \cdot 10^{-7}$ Гр; доза рентгеновского облучения $6 \cdot 10^{-4}$ Гр) исследовали при температуре 400°C и давлении водорода 30,0 МПа [12]. Для большинства углей с содержанием углерода от 70,4 до 90,2%, подвергнутых действию ионизирующего излучения, увеличение степени превращения углей составило примерно 4,0%, т.е. глубина превращения углей была примерно такой же, как и необлученных углей. Эффект увеличения степени превращения отмечался у образца угля с содержанием углерода 77,1%, которое при γ -облучении составило 10,0%, а при рентгеновском облучении - 6,0%.

При исследовании влияния γ -облучения на бурые и газовые угли и их смеси с тяжелыми нефтяными остатками [13,14] установлено, что при низких дозах радиации при термообработке указанного сырья преобладают деструктивные процессы; при более высоких дозах усиливается роль поликонденсационных процессов. Отмечается, что радиационное облучение влияет на устойчивость бурых углей к термическому воздействию и на природу парамагнитных центров (ПМЦ). В [15-20] приведены данные по изучению процессов образования ПМЦ в углях при облучении образцов углей медленными и быстрыми нейтронами на ядерном реакторе, γ -квантами и электронами. При нейтронном облучении угля [15] отмечено значительное увеличение

концентрации ПМЦ в углях с содержанием углерода 89,3 и 90,5%. При облучении углей электронами с энергией 6,0 МэВ наблюдали образование короткоживущих ПМЦ, исчезающих после прекращения действия ионизирующего облучения [20]. В [21] показано, что структурные характеристики каменного угля (марки К₂) зависят от поглощенной дозы γ -излучения. В [22] исследовано влияние воздействия γ -облучения на структуру и свойства каменных углей марки Г6 Кузбасса. Установлено, что с увеличением дозы облучения угля при его термическом разложении появляется тенденция к снижению выхода твердого остатка и соответственно увеличению выхода газообразных продуктов. Аналогичные выводы о снижении термической устойчивости каменных углей при воздействии γ -облучения получены в [23-25].

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что при воздействии ионизирующего излучения на гумусовые угли наблюдается смещение области максимального разложения углей в сторону более низких температур, увеличение доли летучих веществ, выделившихся до температуры максимума основного разложения, а также повышение реакционной способности облученных образцов по сравнению с исходным углем.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА НЕФТЕПРОДУКТЫ

В литературе имеются ограниченные сведения по влиянию γ -радиации на превращение нефтепродуктов. Приводятся результаты [26,27], свидетельствующие о том, что под действием γ -облучения в нефтяных фракциях протекают деструктирующие процессы радиолиза. В [28] методами группового химического анализа, дистилляции и ИК-спектроскопии изучено влияние радиационного облучения на нефтепродукты с температурой кипения выше 260°C, угольные дистилляты процесса ожижения углей при 10,0 МПа (70,0% фракции с температурой кипения выше 400°C + 30,0% гидроочищенной фракции с температурой кипения 300-400°C) и на смесь нефтепродукта с углем в соотношении 1:1. Образцы были подвергнуты действию γ -облучения в течение различного времени - от 2,5 до 75 ч. Установлено деструктирующее влияние γ -радиации на нефтепродукты как в процессе облучения, так и при последующем нагреве облученного образца при дистилляции. Авторы [28] делают вывод о том, во время протекания процессов радиолиза как в угольном веществе, так и в нефтяной фракции и дальнейшего взаимодействия образующихся продуктов происходит изменение группового химического состава; увеличение образования жидких продуктов и растворимости в бензоле остатка, уменьшение содержания в структуре облученных веществ кислородных группировок, усиление эффекта отклонения от аддитивности потери массы при нагревании в интервале 350-450°C.

Таким образом, анализ литературы по проблеме гидрогенизационной переработки углей и нефтепродуктов с применением ядерных энергоисточников и ионизирующего облучения показывает, что для интенсификации процессов гидрогенизации угля и нефтепродуктов, решения проблемы сокращения расхода угля и экологически вредных выбросов в атмосферу углеперерабатывающего предприятия актуальной задачей является определение технических возможностей снижения давления процесса с 10,0 до 5,0-6,0 МПа, реализации в составе промышленного модуля энергоносителей на базе ядерной энергии, а также проведение технико-экономической оценки переориентирования этих производств на новый вид энергоносителя.

Литература

1. Малолетнев А.С., Кричко А.А., Гаркуша А.А. Получение синтетического жидкого топлива гидрогенизацией углей. - М.: Недра, 1992. - 129 с.
2. Кричко А.А., Малолетнев А.С. Жидкое топливо из угля // Российский химический журнал (Ж. Рос.хим. о-ва им. Д.И.Менделеева). - 1997. - Т.XLI. - №6. - С.16-22.
3. Малолетнев А.С. Получение моторных топлив из угольных дистиллятов с применением гидрогенизационных процессов: Дисс. докт. техн. наук. - М.: ИГИ, 1995. - 227 с.
4. Соловьянов А.А. Особенности воздействия топливно-энергетического комплекса России на окружающую среду // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). - 1997. - Т. XLI. - №6. - С.41-44.
5. О состоянии природной среды Российской Федерации в 1995 г. - М.: ЭКОС-информ, 1996. - 451 с.
6. Итоги работы Минтопэнерго России в 1998 г. - М.: ГВЦ Энергетики, 1999. - 37 с.
7. Кричко А.А., Малолетнев А.С., Заманова Л.В., Поплавский В.М. и др. Экологические аспекты гидрогенизации бурых углей Канско-Ачинского бассейна // Химия тв. топлива. - 1998. - №2. - С.14-20.
8. Trojanov M.F., Poplavski V.M., Krichko A.A., Maloletnev A.S. et al. Power technology complex for production of motor fuel from brown coals with power supply from NPPs // Proceedings of the 4th Symposium "Nuclear heat applications: Design aspects and operating experience". - International Atomic Energy Agency (IAEA), USA, TECDOC-1056, 1998. - P.217-225.
9. Чистотина Е.А., Малолетнев А.С., Сидоров Г.И. Пути сокращения вредных выбросов при промышленном производстве жидкого топлива из угля // В сб: Международная научн. конф., посвященная 275-летию РАН "Химия и природосберегающие технологии использования угля" (Звенигород, февраль 1999). - М.: МГУ, 1999. - С.235-237.
10. Головин Г.С., Кричко А.А., Малолетнев А.С., Поплавский В.М. и др. Моторное топливо и химические продукты из угля с применением ядерной энергии // В кн: XVI Менделевский съезд по общей и прикладной химии. - М.: ИОНХ РАН, 1998. - Т. 2. - С. 271.
11. Stach N., Depireux J. // Brennstoff. Chemie. - 1965. - В.46. - S.7.
12. Lewis P.S., Kawa W., Hiteshue R.W. Hydrogenation of irradiated coal // US Bureau of mines. - 1962. - RI 6022.
13. Смуткина З.С., Секриеру В.И., Кричко И.Б., Скрипченко Г.Б. Влияние γ -радиации на термические преобразования углей // Химия тв. топлива. - 1983. - №1. - С.37-41.
14. Рустамов В.Р., Курбанов М.А., Дзантиев Б.Г. и др. Закономерности образования CO и H₂ при радиоллизе бурого угля // Химия тв. топлива. - 1982. - №3. - С.114-116.
15. Friedel R.A., Berger J.A. // Science. - 1959. - V.130. - P.1762.
16. Кузнецов П.Н., Кузнецова Л.И., Куксанов Н.К., Фадеев С.Н. Влияние ионизирующего облучения бурого угля пучком ускоренных электронов на реакционную способность при деструкции в тетралине // В сб: Международная научн. конф. "Химия угля на рубеже тысячелетий" (Клязьма, март 2000). - М.: МГУ, 2000. - С.21-23.
17. Лихтерова Н.М., Луни В.В. // Химия и технология топлив и масел. - 1998. - №6. - С. 3-6.
18. Руднев А.В., Вальтер А.И., Калязин Е.П. Образование парамагнитных центров при гамма-радиоллизе бурого угля // Химия тв. топлива. - 1985. - №4. - С.47-49.
19. Лизачева Е.А., Костилов В.И., Скрипченко Г.Б. Влияние нейтронного облучения на структуру и свойства углеродных волокон // Химия тв. топлива. - 1979. - №4. - С.14-18.
20. Скрипченко Г.Б. Закономерности формирования надмолекулярной структуры в процессе метаморфизма углей и технологии получения высокообуглероженных материалов: Дисс. в форме научн. докл. докт. хим. наук. - М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1998. - 53 с.
21. Кричко И.Б., Хренкова Т.М., Кирда В.С. Изменение структурных параметров коксового угля под воздействием γ -излучения // Химия тв. топлива. - 1984. - №1. - С. 18-22.
22. Лебедев В.В., Чередкова К.И., Головина Г.С. и др. Исследование воздействия γ -излучения на уголь // Химия тв. топлива. - 1975. - №1. - С.165-166.
23. Henley E.J., Karasyk L. The effects of gamma radiation on the extractable matter in bituminous coal // Fuel. - 1961. - №3. - V. XL. - P.155-159.

24. *Ouchi K., Kawana Y., Masuda T., et al.* Effect of cobalt-60 gamma radiation on coals 1- Analysis of the decomposition gases // *Fuel*. - 1963. - №1. - V. XLII. - P.55-61.
25. *Roy M.M.* Studies on the effect of gamma radiation on coals // *Fuel*. - 1963. - №2. - V. XLII. - P.125-130.
26. Радиолиз углеводородов // *Под ред. Топчиева А.В., Полака Л.С.* - М.: АН СССР, 1972. - 226 с.
27. *Лунин В.В., Соловецкий Ю.Н.* Экологически чистая технология радиационно-термической переработки угля пучками ускоренных электронов с энергией до 2,0 МэВ // В сб: VII научн. конф. по химии и технологии твердого топлива России и стран СНГ (Звенигород, ноябрь 1996). - М.: МГУ, 1996. - С. 261.
28. *Скрипченко Г.Б., Секриеру В.И., Ларина Н.К. и др.* Действие облучения на тяжелые нефтяные и угольные продукты // *Химия тв. топлива*. - 1986. - №4. - С.55-59.

Поступила в редакции 06.06.2002

УДК 621.039.586

Analysis of Failure of a Fast Reactor Runaway in Approach of Zero Lifetime of Prompt Neutrons \N.M. Kadjuri; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 5 pages, 2 illustrations. – References, 2 titles.

The estimations of the limit introducing of reactivity ρ_m conducting to destruction of fuel in approach of zero lifetime of prompt neutrons are carried out.

УДК 536.24:621.039.553.34

Influence of Geometrical Parameters of Surface Spheriodical Elements and the Scheme of Their Arrangement on Heat Efficiency of Heat-Exchange Plate Surface \ V.T. Buglaev, A.A. Anisin; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 11 pages, 5 illustrations. – References, 11 titles.

The research results of heat-aerodynamic characteristics of heat-exchange profile plate surface experimental patterns with different geometrical parameters of flow sections of adjustable passages are given and their heat efficiency is estimated.

УДК 621.039.6

Magnetohydrodynamic Resistance Reduction by Forming Oxide Electroinsulated Coatings on Channels with Heavy Liquid Metal Coolants of TOKAMAK Reactor \ A.V. Beznosov, S.S. Pinaev, M.A. Kamnev, A.V. Nazarov, P.V. Romanov; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 3 pages, 1 table, 1 illustration. – References, 8 titles.

The article includes experimental data received in investigations of magnetohydrodynamic resistance reduction by forming oxide electroinsulated coatings on internal surfaces of channels of tokamak blanket and divertor.

УДК 556.555.8

⁹⁰Sr Contamination of Water Ecosystems in Bryansk Regions Damaged after Chernobyl Accident \ M.N. Katkova, Ya.I. Gaziev, G.I. Petrenko, A.M. Polukhina; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 6 pages, 3 tables, 2 illustrations. .

In 1997-1999 the monitoring of water ecosystems in Bryansk regions contaminated after Chernobyl fallout have been conducted. In the framework of these investigations the present ⁹⁰Sr level in water bodies was evaluated. Taking into accounts the obtained result the basic conclusions and recommendations for their future use were done.

УДК 631.42

Distribution of ¹³⁷Cs on "grain-size" fractions in soils at the 30 km restricted zone around Chernobyl NPP \ S.M. Rudaya, O.V. Chistik, I.I. Matveenko; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 8 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 8 titles.

The results of investigation of ¹³⁷Cs distribution on "grain-size" fractions in soils contaminated by Chernobyl catastrophe products are presented. The mathematical description of radiocaesium distribution on fractions >0,01 mm, 0,01-0,001 mm, <0,001 mm is given. Is shown that "grain-size" and mineralogy composition of researched soils substantially determines a sorption of a radionuclide on soil particles and influences vertical migration.

УДК 574:621.039.542.4

Ecological Aspects of Mass Production of Motor Fuels from Brown Coals and Heavy Petroleum Residuals by Hydrogenation with the Use of Nuclear Technologies \ G.I. Sidorov, V.M. Poplavsky, A.A. Kritchko, A.S. Maloletnev; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 10 pages, 5 tables. – References, 28 titles.

Issues on ecology with large-capacity production of motor fuels from coal and heavy petroleum residues were discussed. In Russia an efficient universal technology has been developed for coal reprocessing into motor fuel by hydrogenation under low hydrogen pressure of 6-10 MPa, instead of 20-30 MPa in foreign processes. The most significant increase in efficiency of coal reprocessing can be achieved with the use of highly reliable, environmentally safe nuclear reactors of BN type as part of industrial complex for power supply and intensification of technological process of synthetic liquid fuel production. This will allow to improve sharply ecological situation in mining areas and coal reprocessing sites.

УДК 574.4.631

Ecological risk assessment. 2. Estimation of exposition at definition of risk in agrosphere \E.S. Fesenko, B.I. Synzynys; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 11 pages, 1 table. – References, 10 titles.

In this article are considered the general principles of an estimation of exposition of animals and plants at hit in ecosystems of chemical substances or radionuclides.

The main ways and points of influence of chemical or radioactive substances in agrosphere, ways of distribution of chemical and radioactive substances, a route of influence are described.

УДК 621.039.54

The analysis of the VVER reactor characteristics for prolonged duration fuel cycles \O.G. Gerasimchuk, V.I. Orlov, V.F. Ukraintsev; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 7 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 2 titles.

Loading factors and characteristics of fuel using were derived and analyzed in fuel cycles of prolonged duration such as fuel campaign duration; burn up; natural uranium expenditure; specific portion of electricity cost price in dependency of fuel enrichment and quantity of loaded fuel assemblies.

УДК 621.039.54

The analysis and prediction of the VVER reactors fuel cycle economical characteristics \O.G. Gerasimchuk, V.I. Orlov, V.F. Ukraintsev; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 9 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The main economical characteristics of fuel cycle are derived and analyzed such as: the prime cost of electricity and cumulative economical profit while producing electricity on the VVER reactors depending on enrichment of fuel, number of loading fuel assemblies, duration of campaign and loading factor, and with account of modification of costs structures. On their basis the forecasts on an intrusion of optimum fuel cycles of prolong duration for the VVER reactor are made.