

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
*«Металлургия – 2022»***

***Труды
XXIII Международной научно-практической конференции
23– 25 ноября 2022 г.***

Часть 2

**Новокузнецк
2022**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 **Металлургия : технологии, инновации, качество : труды
XXIII Международной научно-практической конференции.
В 2 частях. Часть 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 410 с. : ил.**

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА
ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»
АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»
АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»
ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР
ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН
ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»
ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»
АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Волченкова О.А., Михайличенко Т.А.</i>	297
ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К АГЛОСИХТЕ <i>Урусов Д.Н., Михайличенко Т.А.</i>	306
РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЗА ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Големинов С.П., Михайличенко Т.А.</i>	314
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ <i>Павловец В.М.</i>	322
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОКОМКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ДОБАВКИ <i>Павловец В.М.</i>	329
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Романова В.А., Дробышев В.К.</i>	338
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОВСТРЕБОВАННЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА НА СТАДИИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Филиппов В.А.</i>	344
СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	352
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ <i>Немчинова Н.В., Тузов А.В., Геройменко А.В., Апончук И.И.</i>	352
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ЗАВИСИМЫМИ ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ <i>Свинцов М.М., Скударнова Н.В., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Мышляев Л.П.</i>	358
ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СО СТРУКТУРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬЮ <i>Загидулин И.Р., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Свинцов М.М.</i>	363
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Коровин Д.Е., Грачев В.В., Макаров Г.В., Кулюшин Г.А., Скударнова Н.В.</i>	369
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ "ПЧ-АД" <i>Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.</i>	376
СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ, ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ <i>Макаров Г.В., Мышляев Л.П., Чинахов Д.А., Ивушкин К.А.</i>	384
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УДАЛЕННОЙ ПУСКОНАЛАДКИ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Кулюшин Г.А., Мышляев Л.П., Грачев В.В., Коровин Д.Е.</i>	391
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «АЛЮМИНЩИК» ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИКСЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ <i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А.</i>	400

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЕТАЛЛУРГИИ

Волченкова О.А., Михайличенко Т.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, volga89043765591@mail.ru*

Аннотация. *Представлено описание направлений возможного применения атомной энергетики в металлургической отрасли. Описаны преимущества использования атомной энергетики, проблемы выбора охладителя атомного реактора, технология получения энергии за счет быстрых нейтронов. Строительство атомного реактора нового поколения позволит прийти к «естественной безопасности» получения энергии с помощью атомных электростанций, а также приблизиться к замкнутому циклу в энергетике, полностью исключая вредные выбросы в биосферу.*

Ключевые слова: *атомная металлургия, энергетика, быстрые нейтроны, естественная безопасность, замкнутый цикл, энергоресурсы.*

THE ROLE OF NUCLEAR POWER IN METALLURGY

Volchenkova O.A., Mikhailichenko T.A.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, volga89043765591@mail.ru*

Abstract. *A description of the directions of possible using of nuclear power in the metallurgical industry is presented. The advantages of using nuclear power, problems of choosing an atomic reactor cooler, the technology of obtaining energy due to fast neutrons are described. The construction of a new generation nuclear reactor will allow us to come to the "natural safety" of energy generation using nuclear power plants, as well as approach a closed cycle in energy, completely eliminating harmful emissions into the biosphere.*

Keywords: *nuclear metallurgy, energy, fast neutrons, natural safety, closed cycle, energy resources.*

Направление в металлургии, использующее производимую в атомных (ядерных) реакторах электрическую, тепловую и радиационную энергию для осуществления и интенсификации химико-технологических процессов, называется атомной металлургией (рисунок 1).

Мирное использование источников ядерной энергии является основой промышленного производства Франции, Японии, Германии и Великобритании, Соединенных Штатов Америки и России. И если две последние страны еще в состоянии заменить ядерные источники энергии на ТЭС, то для Франции, или Японии это исключено. Использование атомной энергии в металлургии – одно из перспективных направлений. Фактическая безграничность сы-

рьевой основы атомной энергетики в сочетании с многократно меньшим экологическим влиянием на окружающую среду (практическое неимение пылевидных выбросов, сернистых и азотистых газов, CO_2 канцерогенных органических веществ и т.д) разрешают рассматривать атомную электростанцию как возможный энергетический узел энерготехнологического комплекса. Увеличение рентабельности энерготехнологических комплексов на базе атомных реакторов может быть достигнуто созданием высокотемпературных реакторов из ТВЭЛов с газовым охлаждением, что позволяет получать наряду с электроэнергией тепло не только низкотемпературное для бытовых нужд, но и достаточное по температуре для использования в металлургии [1].

Вместе с сырьевой задачей приобретает большое значение энергообеспечение металлургических процессов. Существует научное мнение, что «узким местом» металлопроизводства является не природное сырье, а именно энергетическая энергия, направленная на обеспечение общества. Со временем при увеличении производства энергии и совершенствовании химической технологии меняется и представление о природе сырья. Наиболее значимые материалы в большом количестве возможно получить из обыкновенных горных пород. Академик Д.И. Щербаков, например, сделал предложение по металлургии базальтов, при котором экономия остается только при наличии значительного количества дешевой энергии.

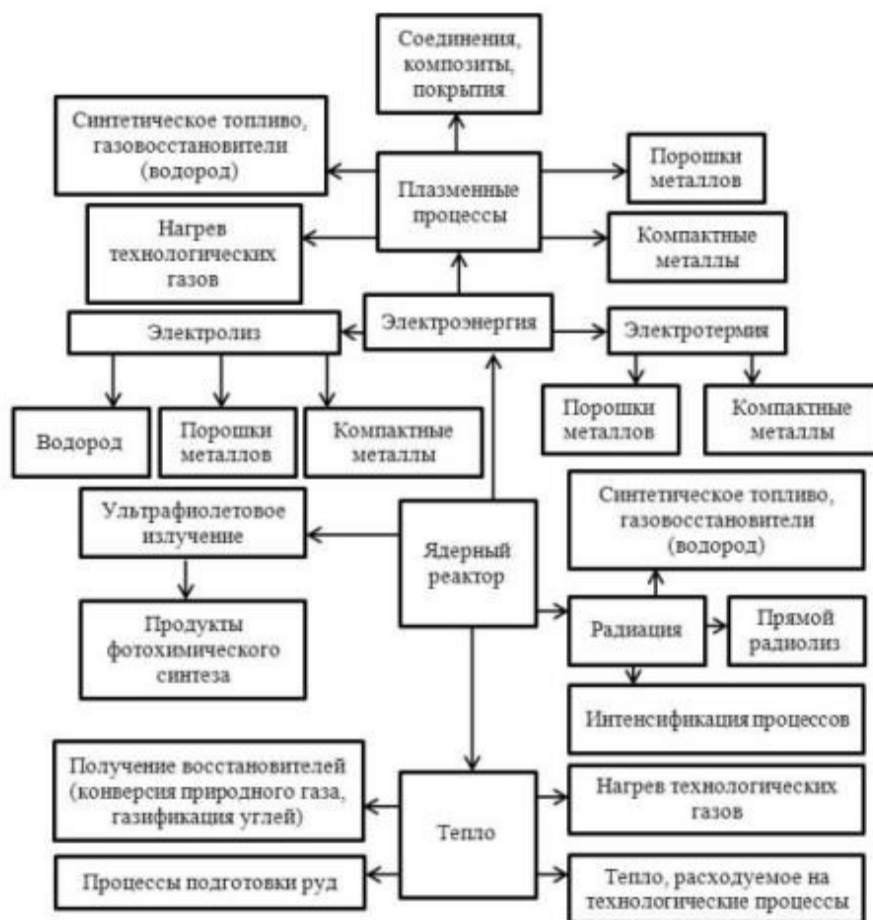


Рисунок 1 – Схема возможных вариантов использования энергии ядерных реакторов в металлургии

На Земле сильно растет потребность в большом количестве энергетических ресурсов, она увеличивается вдвое каждые 8-9 лет. Перспективой ядерной энергетики, у которой есть возможность удовлетворить требования, предъявляемые общим ростом производительных сил, является обеспечение неисчерпаемыми источниками энергии.

Преобразование тепловой энергии в электрическую, а затем обратно электрической в тепловую энергию в производстве металла приводит к потерям более половины первичной энергии. Это объясняет тенденцию прямо использовать энергию, выделяемую в ядерном реакторе, в ее изначальном виде. Преградой является то, что в газоохлаждаемом реакторе можно рассчитывать на температуру охладителя только в диапазоне от 500°C до 750°C, а это значительно ограничивает его использование в металлургической отрасли. Для восстановления железа температура газа требуется не ниже 1000°C.

В Германии был испытан небольшой экспериментальный реактор, в котором для охлаждения использовался гелий с давлением 3-4 МПа, а температура охладителя достигалась до 850°C. Была даже получена кратковременная предельная температура охладителя 1000°C, и есть вероятность, что можно ее поднять до 1200°C и даже до температур, выше температуры плавления чугуна и стали [2].

Теплоту охлаждающего газа реактора в металлургии можно применять для получения восстановительной газовой смеси с помощью газификации твердого топлива или изменения состава природного газа или жидкого топлива, а также в качестве источника тепла для производства окатышей, губчатого железа, агломерации руд, подогрева воздуха, обогащенного кислородом, для доменных печей. Электроэнергию, которая вырабатывается в реакторе, можно применять в электропечном производстве ферросплавов или в производстве стали из губчатого железа, в производстве кислорода и восстановителей.

В России, Германии, Японии и Англии (промышленно развитых странах) рассматривают два основных технологических комплекса с использованием ЯЭУ в разработанных проектах: доменная печь – конвертор; установка прямого восстановления железа – электропечь.

В одном из вариантов компоновки ядерного реактора с доменной печью для приготовления восстановительного газа рекомендуется применять доменный газ, который попадает в теплообменник и нагревается до 1300°C теплом гелия, остужающего ядерный реактор. Охлажденный гелий из теплообменника снова поступает в ядерный реактор, а высокотемпературный доменный газ отправляется в камеру подготовки восстановительного газа. Далее доменный газ проходит через слой некачественного угля. В итоге реакции получается восстановительный газ, который затем вдувается в доменную печь. Считается, что один реактор сможет обеспечить теплом до 3 доменных печей. Электроэнергию, выработанную реактором, можно применять на этом же металлургическом предприятии в прокатном производстве, в электропечах, для производства кислорода. Использование восстановительного газа, нагретого теплом ядерного реактора до высокой температуры, позволит, по предварительным расчетам, вдвое снизить удельный расход

кокса в доменной печи.

Сказанное вполне осуществимо в текущем столетии, а в будущем более вероятно использование атомных электростанций в производстве губчатого железа. При этом установки по производству губчатого железа и выработки электроэнергии, а также ядерный реактор будут представлять собой целостный промышленный комплекс. Температура гелия на выходе из реактора при восстановлении природным газом должна быть 900°C , а с твердым восстановителем, таким как кокс, уголь, бурый уголь - 1200°C . Для нагрева восстановительного газа, конверсии природного газа и производства пара применяется тепло от ядерного реактора. В этих проектах планируется плавить сталь в электропечах с использованием электроэнергии, получаемой в ядерном реакторе [3].

Возможность применения энергии ядерных реакторов в металлургической промышленности является довольно перспективной. Есть различные проекты и предложения, которые связаны с осуществлением данной идеи. В основном рассматриваются варианты применения тепла ядерных реакторов для операций твердофазной регенерации. Существуют предложения по использованию атомной энергии для разложения воды с последующим применением водорода для восстановления железа.

Под атомной металлургией мы считаем не только использование тепла ядерного реактора. Будущий атомно-металлургический комплекс мыслится как нечто современное во всех своих частях.

Современная технология получения черных металлов требует постоянных высоких температур: выплавка чугуна – 1600°C , нагрев – 1400°C , термическая обработка проката – 1250°C .

Такая температура присутствует только внутри активной зоны. Перенос тепла в зону, где относительно спокойно, требует специальных условий. Поэтому для прямого использования ядерных реакторов требуются металлические теплообменники из жаропрочных коррозионностойких сплавов, потому что им необходимо выдерживать одновременное воздействие больших механических нагрузок, радиации и высокой температуры. Следовательно, использование атомной энергии повлечет за собой коренное изменение всей технологии черной металлургии.

Существует иной путь – преобразование атомной энергии в электрическую, но все-таки основной путь развития черной металлургии с помощью атомной энергии другой. Необходимо изменить технологический цикл, что будет означать переход на прямое восстановление железа.

В настоящее время существует три принципиально различных типа технологических процессов такого рода с использованием ядерной энергии.

Первый это высокотемпературное восстановление. Процесс происходит при температуре 1600 градусов. Так как ядерные реакторы такой температуры не дают, то основным блоком является струйно-плазменный реактор, использующий ядерную энергию для генерации плазмы.

Восстановительный газ – водород, смешанный или без посторонних примесей, плавит железо и его сплавы, восстанавливает, и в виде распыле-

ния жидких капель металл поступает в плавильную печь, где проводятся операции легирования.

Существует схема среднетемпературного восстановления, когда процесс протекает при температуре 900 градусов. Восстановителем является водород либо в чистом виде, либо с примесью монооксида углерода. Железо находится в твердом состоянии, образуя при восстановлении своего рода губку.

Прием позволяет использовать АЭС совсем без переходных процессов. Большая часть восстановительного газа нагревается в теплообменнике ядерного реактора. Однако там низкая температура. Такой «холодный» газ можно смешать с более горячим, подогретым за счет электроэнергии ядерного реактора. Получается вполне пригодная по технологии смесь. Наконец, при низкотемпературной рекуперации тепло снабжается ядерным реактором. Можно предположить, что ядерная энергия здесь используется в чистом виде.

Это три типа технологических процессов, которые, по мнению многих специалистов, имеют право на существование.

Конечным продуктом во всех трех типах является железо, вода и углекислый газ, а воду можно далее снова применять для производства водорода и кислорода. Таким образом, есть реальные возможности реализовать замкнутый цикл извлечения железа, создать безотходное производство.

В России существует схема ядерно-металлургического комплекса (ЯМК). Как показали предварительные расчеты, применение тепла ядерных реакторов непосредственно для регенерации более эффективно, чем использование этого тепла на стадии получения восстановительных газов.

Разработанная схема ЯМК предусматривает: непрерывность процесса, высокую производительность агрегата, рециркуляцию восстановительных газов, так как агрегаты устанавливаются в непосредственной близости от ядерных реакторов. В качестве теплоносителя был выбран гелий из реакторной установки. Восстановитель представляет собой природный газ, преобразуемый теплом гелия, нагретого в ядерном реакторе.

Согласно схеме, железорудные материалы должны поступать в шахтную печь, где при температуре около 850 °С произойдет восстановление железа. Произведенный продукт предусмотрено использовать в качестве шихтового материала в сталеплавильных печах. По схеме ЯМК отходящие из шахтной печи газы должны очищаться от H_2O и CO_2 и многократно использоваться.

Несмотря на встретившиеся трудности, комплексное исследование проблемы использования ядерной энергетической установки в черной металлургии указывает, что разработка и увеличение видов технологии, которые могут быть переведены на ядерную энергию, являются одним из важнейших направлений научно-технического прогресса в металлургии на долгосрочную перспективу [4].

Летом 2021 года в сибирском городе Северск началось строительство свинцового атомного реактора на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300. Он станет одним из трех элементов проекта Росатома «Прорыв», который уже к концу десятилетия должен продемонстрировать то, о чем ядерщики мечтали с середины прошлого века, — возможность замыкания топливного цикла.

БРЕСТ (Быстрый Реактор ЕСТественной безопасности или Быстрый Реактор Естественной безопасности со Свинцовым Теплоносителем) должен обладать свойствами «естественной безопасности»: — исключение аварий, требующих эвакуации (выселения населения), а также выводящих из хозяйственного использования значительные территории, за счёт конструктивных методов:

- абсолютное применение энергетического потенциала добываемого сырья;
- радиационно-эквивалентное обращение ядерных материалов в топливном цикле с сохранением природного радиационного баланса;
- технологическое усиление режима нераспространения ядерного оружия за счет исключения наработки и выделения в топливном цикле чистых U-235 и Pu оружейного качества, а также постепенного отказа от использования в ядерной энергетике технологий разделения (обогащения) изотопов урана;
- обеспечение конкурентоспособности ядерной энергетики по сравнению с другими видами энергогенерации.

Быстрые нейтроны. Работающий на АЭС уран-235, распадаясь, выбрасывает большое количество высокоэнергетических быстрых нейтронов. Они попадают в толщу воды, куда погружены топливные сборки. Жидкость замедляет нейтроны, позволяя тем взаимодействовать с новыми ядрами урана-235 и вовлекать их в цепную реакцию. Но большая доля выделяемой при делении энергии уходит на нагревание воды, которая играет еще и роль теплоносителя: отводит энергию, превращается в пар и вращает турбину электрогенератора. Водо-водяные реакторы – самые распространенные в мире, но для работы с плутонием они малопригодны. Такому топливу требуются быстрые нейтроны, а не замедленные тепловые, и это уже совсем другой уровень.

У быстрых нейтронов энергии гораздо больше, чем у тепловых. Это предъявляет совершенно иные требования к рабочей температуре, конструкционным материалам и теплоносителю [5].

Жидкий свинец. Использовать в реакторе в качестве теплоносителя воду, которая замедляет быстрые нейтроны, нельзя. Необходим другой материал, имеющий возможность обеспечить съём тепла, но не поглощающий высокоэнергетические частицы, позволяя тем самым продолжить цепь ядерных реакций. За последние десятилетия ученые испытали множество аналогов воды, включая жидкие литий, калий и даже ртуть. Лучшее из всех зарекомендовал себя свинец: температура его плавления составляет около 330 °С, а кипения – почти 1750 °С. Это обеспечивает очень широкий диапазон рабочих температур – от границы, начиная с которой свинец становится жидкостью, и до границы, за которой он закипит, сделавшись практически непригодным для охлаждения. Именно этим была вызвана авария на АЭС «Фукусима-1». Из-за остановки генераторов остановились насосы, которые качали теплоноситель; отвод тепла прекратился, вода закипела, произошел взрыв и расплавление активной зоны реактора. Для свинца с его очень высокой температурой кипения такое невозможно.

Свинец позволяет удерживать внутри корпуса практически любые процессы, связанные с локальным выделением большого количества тепла, а если аварии избежать невозможно, свинец сам по себе превратится в тяжелый

"саркофаг" для реактора и обеспечит его защиту. Известно, что свинец – прекрасный материал для экранирования радиации, включая гамма-лучи и нейтронное излучение.

БРЕСТ — прототип реактора на быстрых нейтронах БР-1200 также со свинцовым теплоносителем, который, в свою очередь, станет основой коммерческого энергоблока большой электрической мощности порядка 1200 МВт.

Сегодня Россия первой построила и ввела в эксплуатацию атомные энергоблоки с реакторами поколения 3+, и уже ведется работа по освоению технологий установок четвертого поколения.

Но дело не только в цифровом обозначении – с четвертым поколением ядерных энерготехнологий термин "реактор" заменяется более корректным словом "система", что включает в себя как непосредственно сам реактор, так и переработку (рециклирование) его ядерного топлива.

Согласно свежим условиям мирового атомного сообщества, подобные системы обязаны обладать более высокими рабочими показателями, чем предыдущие поколения, в области обеспечения стабильного развития, конкурентоспособности с иными вариантами генерации, безопасности и надежности, а также защиты от распространения, оправдывая применение в их отношении формулирования "технологический прорыв".

Сейчас развитие атомной энергетики в мире во многом еще сдерживается боязнью аварий, связанных с выбросами радиоактивных веществ. А различные комплексы безопасности, которыми обустроены современные энергоблоки, существенно увеличивают стоимость АЭС. И противоречивые требования экономики и безопасности полностью удовлетворить было бы нереально, если бы не реакторы на быстрых нейтронах с их уникальными ядерно-физическими свойствами (сейчас вся мировая атомная энергетика построена на реакторах на так называемых тепловых нейтронах, и только в России на Белоярской АЭС эксплуатируются два "быстрых" энергетических реактора).

Российским специалистам удалось показать, что можно так спроектировать ядерные реакторы на быстрых нейтронах, что их безопасность будет основываться на законах природы, а не на создании дополнительных инженерных барьеров и увеличении персонала. Это и есть принцип естественной безопасности, который лег в основу концепции БРЕСТа. Его конструкция исключает так называемый разгон на мгновенных нейтронах, ставший причиной аварии в Чернобыле. На БРЕСТе невозможен и фукусимский сценарий с потерей теплоносителя.

Что касается решения сырьевых задач атомной энергетики, то здесь не используется уран-235, которого в природном менее одного процента. А сочетание свойств плотного нитридного уран-плутониевого ядерного топлива и свинцового теплоносителя дает возможность работать БРЕСТу в так называемом равновесном топливном режиме: когда ядерного "горючего", плутония, нарабатывается столько, сколько "сгорает". Он в составе отработавшего ядерного топлива идет для изготовления новых партий свежего топлива для БРЕСТа, извне подпитываемых только отвальным (обедненным) ураном-238,

и так по кругу. Цикл замыкается.

Экологическая безопасность достигается использованием специфических технологий регенерации и переработки отработавшего горючего реактора, заключающихся в его обработке от продуктов деления, смешение к очищенной смеси обедненного урана при изготовлении нового топлива. В результате так называемые минорные актиниды, наиболее опасные радиоактивные вещества, в составе регенерированного топлива возвращаются в реактор, где происходит их "пережигание". Дополнительно также решается задача использования урана-238, который накапливается в результате обогащения природного урана для нужд современной атомной энергетики с реакторами на тепловых нейтронах [6].

Оставшиеся выделенные продукты деления (радиоактивные отходы) направляются на длительную контролируемую выдержку в специальных хранилищах с последующим перемещением их в устойчивые композиции для окончательного захоронения без нарушения природного радиационного баланса Земли.

Укрепление режима нераспространения в рамках концепции реактора достигается тем, что в нем отсутствует "лишний" плутоний, годный для военных целей. В БРЕСТе нет и уранового blankets – зоны, в которой под действием нейтронов уран превращался бы в высококачественный оружейный плутоний. Более того, технологии переработки топлива без выделения радиоактивного металла делают конечный продукт полностью непригодным в качестве начинки для ядерных зарядов. Дополнительно, при получении топлива не требуется обогащать уран, что также исключает риски с точки зрения нераспространения.

Преимущества атомной энергетики. Потребление энергоресурсов в мире растет намного быстрее, чем ее производство, а промышленное использование новых современных технологий в энергетике по весомым причинам начнется не раньше 2030 года. Все острее выходит на первый план проблема нехватки ископаемых энергоресурсов. Возможности строительства новых гидроэлектростанций очень ограничены. Не следует забывать и о борьбе с парниковым эффектом, накладывающей ограничения на сжигание нефти, газа и угля на тепловых электроцентралях.

Решением проблемы является интенсивное развитие ядерной энергетики. На данный момент в мире обозначилось направление, получившее название «ядерный ренессанс». На эту тенденцию не смогла повлиять даже авария на АЭС «Фукусима». Даже самые сдержанные прогнозы МАГАТЭ говорят, что к 2030 году в мире может быть построено до 600 новых энергоблоков (сейчас их насчитывается более 444). На увеличении роли ядерной энергетики в мировой энергетике могут сказаться такие факторы, как надежность, низкий уровень финансовых вложений по сравнению с другими отраслями энергетики, сравнительно небольшой объем отходов, доступность ресурсов.

Если кратко сформулировать, плюсы ядерной энергетики, то получается следующий список:

Неисчерпаемая энергоемкость используемого топлива. Один килограмм урана, обогащенный до 4 %, при полном выгорании выдает энергию, равную сжиганию примерно 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти.

Возможность повторного использования топлива (после регенерации). Расщепляющийся материал (уран-235) может быть использован снова (в отличие от золы и шлаков органического топлива). С развитием технологии реакторов на быстрых нейтронах в перспективе возможен переход на замкнутый топливный цикл, что приведет к полному исключению отходов.

Ядерная энергетика не создает парниковый эффект. Ежегодно атомные станции в Европе позволяют избежать выбросов 700 миллионов тонн углекислого газа. Действующие АЭС России каждый год предотвращают выброс в атмосферу более 210 млн. тонн углекислого газа. Таким образом, быстрое развитие ядерной энергетики является одним из методов борьбы с глобальным потеплением.

В атомной энергетике отсутствуют недостатки, имеющиеся у так называемых альтернативных источников энергии. Так, затраты на производство солнечной батареи выше всех доходов от получаемой с ее помощью энергии. А ветряные электростанции имеют невысокую мощность, дороговизну и экологические ограничения. Их установка сильно изменяет рельеф местности, а инфразвуковой шум, который они производят, опасен для людей и животных, поэтому ветряки не могут быть расположены возле населенных пунктов [7].

Четвертый энергоблок Белоярской АЭС впервые был выведен на 100%-й уровень мощности в конце сентября 2022 года. В нем находится реактор БН-800, который теперь будет работать на инновационном МОКС-топливе. Как сообщил Росатом, «это важный шаг в выстраивании двухкомпонентной атомной энергетики с замыканием ядерного топливного цикла». Таким образом, Россия теперь на пороге создания вечного ядерного реактора.

С помощью применения МОКС-топлива возможно в десятки раз увеличить количество топлива для атомной энергетики. А главное — в реакторе БН-800 можно повторно, после соответствующей переработки, использовать облученное ядерное топливо других АЭС [8].

Развитие этого научно-технологического направления позволит удовлетворить постоянно растущий спрос на источники энергии в мире, а также решить возникающие проблемы в сфере энергетики: уменьшение дешевых запасов традиционных углеводородов, ужесточение требований к безопасности и экологичности энергетических систем.

Библиографический список

1. Атомная металлургия. Электронный ресурс – [Режим доступа]: <https://helpiks.org/6-72116.html/> (Дата обращения 20.09.2022).

2. Новое слово в энергетике: зачем России нужен атомный реактор с замыканием топливного цикла. Электронный ресурс – [Режим доступа]: <https://www.techinsider.ru/technologies/800463-novoe-slovo-v-energetike->

zachem-rossii-nuzhen-atomnyy-reaktor-s-zamykaniem-toplivnogo-cikla/ (Дата обращения 17.09.2022).

3. "Росатом" начал строить уникальный реактор БРЕСТ в Томской области. Электронный ресурс – [Режим доступа]: <https://habr.com/ru/company/macloud/blog/563830/?ysclid=l82hqwcqda616141421> (Дата обращения 18.09.2022).

4. Реактор БРЕСТ-300 и замкнутый цикл в ядерной энергетике. Электронный ресурс – [Режим доступа]: <https://ria.ru/20210608/energoblok-1736090576.html?ysdesp=l82hl4d9y7591821665/> (Дата обращения 18.09.2022)

5. Роль ядерной энергетике в современном мире. Безопасность и стоимость. Электронный ресурс – [Режим доступа]: https://www.unido-russia.ru/archive/num4/art4_18/ (Дата обращения 16.09.2022).

6. Атомная» («ядерная») металлургия. Электронный ресурс – [Режим доступа]: https://studopedia.ru/12_63710_atomnaya-yadernaya-metallurgiya.html/ (Дата обращения 14.09.2022).

7. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика. Электронный ресурс – [Режим доступа]: <https://sudact.ru/law/prognoz-dolgosrochnogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiia-rossiiskoi-federatsii-na/prognoz/2/2.2/prognoznye-znachenii-obemov-rynkov-po/energoeffektivnost-energoberezhenie-iadernaia-energetika/?ysclid=l82gkwvdv0425752062/> (Дата обращения 25.09.2022).

8. Аргументы и Факты. «Сделали то, что не успели в СССР». В России запущен вечный ядерный реактор. Электронный ресурс – [Режим доступа]: https://aif.ru/society/science/sdelali_to_chno_ne_uspeli_v_rossii_zapushchen_vechnyy_yadernyy_reaktor (Дата обращения 20.10.2022).

УДК 669. 1. 054. 83

ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К АГЛОШИХТЕ

Урусов Д.Н., Михайличенко Т.А.

***Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, Urusov.1975@mail.ru***

Аннотация. В данной статье содержится материал о технологии использования шламов. Подробно рассмотрено использование шламов на разных металлургических комбинатах. Описан перечень основного технологического оборудования для производства техногенного железоконцентрата. Представлена схема процесса переработки отходов шламонакопителя. Разработана технологическая схема переработки отходов, накопленных в теле шламонакопителя.

Ключевые слова: шламы, доменное производство, аглошихта, агло-

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 24,0 Уч.-изд. л. 26,4 Тираж 300 экз. Заказ № 296

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ