

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 2 № 4

**Севастополь
2016**

**Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь:
ФГАОУ ВО СевГУ, 2016. – Т. 2. - № 4. – 100 с.: ил.**

В научный журнал «Энергетические установки и технологии» включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: «Тепловые и ядерные энергетические установки», «Электротехнические комплексы и системы», «Экологическая безопасность», «Химические технологии атомных станций».

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

Редакционная коллегия:

Кирияченко В.А. (главный редактор), к.т.н., профессор;
Омельчук Ю.А. (заместитель главного редактора), к.х.н., доцент;
Федорова С.А. (ответственный секретарь), к.пед.н., доцент;
Сафонов В.А., д.т.н., профессор; *Пухлий В.А.*, д.т.н., профессор;
Пучков В.Н., д.т.н., профессор; *Акимов А.М.*, д.т.н., профессор;
Федоровский К.Ю., д.т.н., профессор; *Олейников А.М.*, д.т.н., профессор;
Тимощенко А.И., д.т.н., профессор; *Карницкий А.Б.*, д.т.н., профессор;
Мирошниченко С.Т., к.т.н., доцент; *Свириденко И.И.*, к.т.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.*, к.т.н., доцент;
Углов А.В., к.т.н., доцент; *Шайтор Н.М.*, к.т.н., доцент;
Ерофеев В.А., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И.*, к.т.н., доцент

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Рекомендован к печати Ученым советом ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки	5
<i>Анистратенко О.В., В.А. Коваль В.А., Мирошниченко С.Т., Урикова Н.В.</i>	
Современные представления о возникновении и превращениях энергии	5
<i>Браславский Ю.В., Матузаев К.Б., Гладущенко Р.А.</i> Исследование нейтронно-физических характеристик органов регулирования СУЗ ВВЭР при различных состояниях активной зоны	15
<i>Дикусар Ю.Г., Сулейменова М.Б., Богусева В.Д.</i> Построение границ и области устойчивости цифровой системы автоматического регулирования	20
<i>Качур С.А.</i> Имитационное моделирование пространственного распределения энергии в активной зоне ядерных реакторов	25
<i>Коваль В.А., Мирошниченко С.Т., Софийский И.Ю., Урикова Н.В.</i> Пути превращения материи с целью создания волновой квантовой энергии	31
<i>Наточий Ю. А., Никонов А. А., Семенов Е. С., Сукрушев А. В.</i> Обеспечение безопасности ВВЭР-1000 в случае его разгона на мгновенных нейтронах	41
<i>Свириденко И.И., Шевелев Д.В., Подопригора А.В., Выборнов С.С.</i> Особенности построения расчетной модели термосифонной СПОТ бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива ВВЭР	45
<i>Шагов Е.В., Богачев А.В., Беркович В.Я., Меркун А.В., Муравин Д.Б., Нагорный А.О., Семешкин В.П., Жуков А.В., Барков В.Н.</i> Внедрение системы автоматизированного контроля остаточного ресурса совместно с системой контроля гидроамортизаторов на этапе продления срока службы энергоблока	54
Электротехнические комплексы и системы	64
<i>Колодяжный В.В.</i> Учет продольных параметров сети при исследовании процессов перемежающихся дуговых замыканий на землю	64
<i>Чебоксаров В.В.</i> К вопросу о создании маятниковых волновых энергоустановок большой мощности	69
Экологическая безопасность	77
<i>Гавриш В.М., Баранов Г.А., Храброва Е.А.</i> Применение микробиологического выщелачивания для извлечения урана из отвалов	77
<i>Мауричева Т.С. , Долгобородова С.Н. , Горбачев А.А.</i> Обеспечение радиационной безопасности при утилизации атомных подводных лодок	84
<i>Пухлий В.А., Журавлев А.А., Пухлий П.В.</i> Определение категории взрывоопасности технологических блоков при очистке сточных вод от метанола и ацетона	90

CONTENTS

Heating and Nuclear Power Plants	5
<i>Anistratenko O.V., Koval V.A., Miroshnichenko S.T., Urikova N.V.</i> Research of the Reactor Core Construction and Condition Impact on the Recriticality Attainment	5
<i>Braslavskiy Yu.V., Matuzaev K.B., Gladushhenko R.A.</i> Control element neutronics research of PWR control and safety system under different core conditions	15
<i>Dikuser Ju.G., Suleimenova M.B., Bogusheva V.D.</i> Creation of borders and area of stability digital system of automatic control	20
<i>Kachur S.A.</i> Simulation of Energy Spatial Distribution in Active Zone of Nuclear Reactors	25
<i>Koval V.A., Miroshnichenko S.T., Sofijsky I.J., Urikova N.V.</i> Ways of Transformation of a Matter for the Purpose of Creation of Wave Quantum Energy	31
<i>Natochey J. A., Nikonov A. A., Semenov E. S., Sukrushev A. V.</i> WWER-1000 safety precautions in case of its power excursion with the help of prompt neutrons	41
<i>Sviridenko I.I., Shevelev D.V., Pidipryhora A.V., Vybornov S.S.</i> The Features of Thermosiphon Based PRHR System Numerical Model for Spent Fuel Pool of NPP with WWER Type NSSS	45
<i>Shagov E.V., Bogachev A.V., Berkovich V.Ya., Merkun A.V., Muravin D.B., Nagorny A.O., Semishkin V.P., Zhukov A.V., Barkov V.N.</i> Introduction of residual life automatic control system jointly with the system of shock absorber monitoring at the stage of the power unit service life extension	54
Electrotechnical Facilities and Systems	64
<i>Kolodiainy V. V.</i> Account of the longitudinal parameters in the equivalent circuit of the electrical grid in the study process intermittent arc earth fault	64
<i>Cheboxarov V.V.</i> On Development of High Capacity Pendulum-Type Wave Energy Converters	69
Environmental Safety	77
<i>Gavrish V.M., Baranov G.A., Khrabrova E.A.</i> Application of microbiological leaching for extraction of uranium from dumps	77
<i>Mauricheva T.S., Dolgoborodova S.N., Gorbachev A.A.</i> The implementation of radiation safety in utilization of nuclear submarines	84
<i>Pukhliy V.A., Zhuravlev A.A., Pukhliy P.V.</i> definition of category of potential of explosion of technological blocks at sewage treatment from methanol and acetone	90

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.31.004.07

**Современные представления о возникновении и
превращениях энергии**О.В. Анистратенко¹, В.А. Коваль², С.Т. Мирошниченко³, Н.В. Урикова⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия¹pumi.2013@yandex.ua, ²V.A.Koval@sevsu.ru ³miroshnichenkost@gmail.com, ⁴Nadejda77777@yandex.ru,

Статья поступила 25.10.2016 г.; после доработки 28.10.2016 г.

Аннотация

Рассматривается сущность различных видов энергии, как дифференциаций Единой Всеначальной Энергии. Приводятся более широкие понятия - типы, формы, виды и превращения энергии.

Ключевые слова: материя, энергия, элементарная частица, фотон, огонь, гравитация, вселенская энергия.

**Modern Representations about Occurrence and Energy
Transformations**O.V. Anistratenko¹, V.A. Koval², S.T. Miroshnichenko³, N.V. Urikova⁴

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.

¹pumi.2013@yandex.ua, ²V.A.Koval@sevsu.ru ³miroshnichenkost@gmail.com, ⁴Nadejda77777@yandex.ru,

Received 25.10.2016 y.; received in final form 28.10.2016 y.

Abstract

The essence of various kinds of energy, as differentiations of Uniform Space Energy is considered. Wider concepts - types, forms, kinds and energy transformations are resulted.

Keywords: matter, energy, elementary particle, photon, fire, gravitation, universal energy.

Введение

Ставя вопрос о возможности успешной трансмутации нынешнего кризисного состояния нашей цивилизации, следует отметить, что одним из необходимых условий является расширение наших представлений о реальности, переосмысление и расширения существующей узко-материалистической научной парадигмы.

Современная наука, изучая свойства материи и энергии, практически обособила себя от оборотной стороны так называемой объективно существующей реальности или от области духовной, которая сегодня оказывает первостепенное

влияние на все жизненные процессы и физические проявления окружающей действительности.

Немногие попытки официальной науки, сделанные с целью проникновения в мир невидимый, как в настоящем, так и в прошлом, часто объявляются лженаучными. Кроме того, сами эти исследования обычно заходят в тупик, так как не учитывают этическую составляющую их участников.

Отстранение науки от познания тончайших, непроявленных высокочастотных энергий связано как с уклоном в область объективных физических исследований, так и с идеологией государственной власти различных стран.

Явление духовности в нашей научной идеологии часто отрицается, в лучшем случае и за редким исключением признаётся лишь при попытках объяснения парапсихических проявлений человека, ограничивается лишь так называемыми биофизическими и биохимическими процессами, происходящими в его организме. Такая крайность естественно отвращает внимание ученых от действительного посредника всех проявлений жизни - Всеначальной (психической, огненной) Энергии, которая в её высших аспектах может быть только сознательно воспринята, изучена и применена. До сих пор наука не знала об этих тонких энергиях, которые и определяют явления на более плотных планах материи. Теперь наступает период изучения тонких энергий, поэтому не случайно Новую Эпоху называют эпохой энергетического мировоззрения. (В скобках отметим, что большинство ученых не признают существование психической энергии, хотя давно создали психотронное оружие и «успешно» его применяют).

Современная наука не скрывает, что ей неизвестна сущность энергии, поэтому не существует и точного определения самого этого понятия. Известный физик Фейнман в своем 9-ти томном курсе отмечает: "Важно понимать, что физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия, хотя наука давно изучает свойства различных видов энергии, и они успешно используются в технике" [10].

Сегодня с гораздо большим правом, чем столетие назад, мы можем утверждать, что «Материя исчезла!» В самом деле: что мы сегодня ассоциируем с понятием материи? Вещество - то, что привычно «дано в ощущениях»? Но при углублении в структуру материи о веществе уже нет речи. Масса? Но масса, опять-таки, давно уже не определяется как «количество вещества», а всего лишь как мера — мера гравитационного взаимодействия, инертности. Энергия? Это, по определению, тоже общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Или, в классическом ее понимании, — способность совершать физическую работу. Но что такое энергия по самой своей сути? «...Энергия попросту лишена в физической теории какого-либо глубинного обоснования. Теория относительности, правда, показала, что энергия тела напрямую связана с его инертной массой, но это мало что прибавило к пониманию ее глубинной сути - масса и сама является пока сугубо математическим понятием с совершенно неизвестными внутренними причинами, так что сведение энергии к массе или наоборот равным счетом ничего не объясняет в отношении их внутренней сущности» [7]. Этот во-

прос был, похоже, «замолчан» в физике с самого начала: когда мы говорим о том, что энергия передается и совершает работу, то не хотим же сказать, что передается «мера», а работу совершает нечто нематериальное? Или, скажем, известно, что при столкновении позитрона и электрона они аннигилируются (то есть уничтожаются — куда?) и выделяется энергия в виде фотонов, — а значит, все-таки происходит именно превращение материи в энергию, как ни объявляй энергию чисто инструментальным понятием - «мерой».

Отметим, что и во многих древних системах, и в современном научно-философском учении Живой этики (Агни Йоге), не случайно изначальная энергия постулируется именно как субстанция. А если задать уже совершенно «некорректный» вопрос о том, «из чего» состоят сами элементарные частицы, то есть попробовать выяснить не структуру их, а «субстрат», вопрос, на который, разумеется, мы не получим ответа, — то материя уже предстанет совершенно бесплотной.

Постановка цели и задач исследования

Цель данной работы — проанализировать возможные представления о возникновении и превращениях различных нетрадиционных видов энергии и показать пути ее возможного использования.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить сущность тонких материй;
- познать огненное основание проявленного мира;
- определить понятие энергии и пути ее использования;
- показать типы и формы различных видов энергии.

Огненное основание явленного мира

С незапамятных времен все народы с уважением и торжественностью относились к огню, всё высшее связывали не с землей, не с воздухом, не с водой, а именно с огнем. С огнем у человечества связано всё - и очищение, и преображение, и наказание, и предупреждение о беде. Желая очиститься, люди прыгали через огонь, огнем скрепляли дружбу, защищались от злых сил. Знали, что внушенную мысль лучше всего передает огонь, огнем заклинали от болезней, недугов и очищались от скверны.

В Агни Йоге говорится о том, что Огонь - основа любой жизни, и он называется Единым Элементом (Единой Силой, Единой Всеначальной

Энергией), так как он содержит в себе все элементы, а огонь в человеке - его высший принцип - содержит в себе все его принципы. Огонь пронизывает каждый атом. Огонь есть жизнь, жизнь есть обмен энергий. Обмен энергий есть дыхание жизни [4].

Сочетания элемента Огня с различными качествами Единой Энергии дает всё неисчислимое число элементов. Всё разнообразие элементов, все виды энергии - все частицы, изотопы, ионы - только разные качества одной и той же Энергии. (Единую Силу Огня и ее преобразования в различные силы и энергии можно представить на примере множества электрических машин, выполняющих свою работу, преобразуя электрический ток по-своему: то нагревая металлы, то вращая валы, то преобразуя электрический ток в другие вибрации-частоты, то помогая проникнуть в недра материи с помощью ускорителей элементарных частиц, то создавая мощные электромагниты и т.д.).

Весь Космос, вся сложная и многообразная жизнь, сложены из дифференциаций и их сочетаний, или комбинаций Единого Элемента - Огня, то есть Единой Огненной Двухродной (полярной) Энергии, дифференцированной на бесчисленные жизни, которые собираются и комбинируются в более сложные организмы, молекулы, коллективы и другие сочетания. Например, - в человеческие тела, группы людей, коллективы, общины и пр. Так же, как и в химии, - все элементы состоят из различных комбинаций протонов, нейтронов, электронов и других микрочастиц, и в конечном итоге - из дифференциаций двухполюсной электрической энергии.

Всена начальная Энергия проявляется как психожизнь (то есть духовность, как жизнь разного уровня сознания) в каждом атоме, в каждой клеточке всего сущего. Всена начальная Энергия, как все связывающая мощь, - главный рычаг в процессе Мироздания. В человеке она, прежде всего, находится в центре сердца, это есть энергия сознания, энергия духа, энергия высокой мысли [5].

Огонь - основа мироздания, основа света, одна из семи стихий - всепроникающая, творящая, созидательная, утончающая, жизнедающая, пронизывающая все стихии, все вещества, все элементы, всё, что существует. Огонь есть Основа, Огонь есть Дух. Огненная Энергия при ее сочетании с организмом или организованным фокусом становится психической энергией (ПЭ). В сочетании с мыслью Огонь выявляет все качества ПЭ. Огненная Энергия проявляется как жизненная энергия во всем проявленном Бытии. Она вечна и неуничтожима, и переходит из одного состояния в другое. Эта Огненная Энергия насы-

щает беспредельное Пространство. При проявлении Огненная Энергия имеет два полюса. Именно на этой основе двухполюсности (при соединении, слиянии, взаимодействии двух противоположных начал) рождается всё сущее. Мироздание существует на сцеплении энергии, то есть на притяжении, на любви. Все Миры строятся под влиянием чувства любви, или сродства, или на сцеплении частиц энергии [1].

Электричество есть Огонь ближайших к плотному земному плану сфер, этот огонь лежит в основании материи современных ученых и имеет свои градации, как любая материя. Все металлы являются лучшими проводниками электрического тока, значит, все металлы связаны с Огнем определенного качества, с определенным Космическим центром этого Огня (с определенным Светилом). Уже сейчас ученые объявили микромир атома беспредельным, а микрочастицы атома - "сгустками энергии". Значит, их когда-то твердая, весома и зримая материя исчезла, то есть ученые доказали, что наш физический мир состоит и покоится не на материи, а на сгустках энергии, что космические энергии, или Пространственный Огонь, являются сущностью вещей, источником энергии любой материи, которая сама и является этой жизнью.

Материя и энергия: каждый кусок материи есть потенциальная энергия. (На физическом плане это выражается известным соотношением А. Эйнштейна $E = mc^2$). Корень материи есть Огонь, точнее - Огненная Энергия. Сейчас на Землю направляются мощные огненные энергии для ее очищения и повышения сознания людей. Чтобы эти мощные энергии не принесли тяжелых бед, прежде всего, их нужно осознать, понять, что они существуют и вне человека и внутри него. А внутреннее, человеческое, взаимодействует с внешним, планетарным и космическим! И чтобы Космический Огонь не сжег нас, а волна не смыла, Огонь нужно принять, как долгожданного доброго друга, дорогого человека, возлюбленного, которому хотелось бы самозабвенно посвятить свою жизнь и умереть, не задумываясь, за него.

"Ужасны Огненные волны, если о них не знать и не принять огнём своего сердца", сказано в Агни Йоге. Осознать, полюбить, принять, понять эту высшую стихию можно не рассудком, а только высшим сознанием, сердцем. Тогда Огонь будет не сжигать, а омыwać нас без опаления и уничтожающего жара, который свойственен только самому низшему аспекту Огня - земному. Самый сильный Пространственный Огонь не сожжет огненное сердце, пылающее самоотверженностью, состраданием и любовью» [4]. (Как из-

вестно, сердце Жанны д'Арк не сгорело на костре, а лишь обуглилось).

Сама по себе ПЭ нейтральна, один и тот же огонь может и спасти в стужу, и осветить путь во тьме, и не дать упасть в пропасть. Но в руках поджигателя может уничтожить города и леса. Даже речь человека должна быть насыщена высшей, духовной энергией, то есть огнем сердца. Сейчас это подтверждено научно: мертвые радиоактивные зерна облучали солитонами - энергетическими волнами, несущими информацию человеческих мыслей и слов, содержащими целительный приказ - приказ к восстановлению, к жизнелюбности. И хромосомы, разрушенные смертельной дозой радиации, восстали - 50% дали всходы.

Определение понятия энергия

Определения энергии обычно давались как следствия других понятий. Например: энергия - это общая мера различных форм движения материи. По форме этого движения различают энергию тепловую, механическую, ядерную и др. Поскольку часть энергии всегда может быть превращена в работу, энергию можно рассматривать, как способность тела совершать работу. Школьные учебники физики так и определяют энергию. Работа связана с механическим перемещением. Следовательно, энергия есть источник механического движения. В более общем смысле энергия есть источник всякого движения, всякого изменения. Тут энергия сходна с духом, можно сказать, что энергия - это Огонь, дух в Проявленном Мире, но здесь, в Проявленном Мире, дух не существует без материи, значит, энергия - это дух, орудуемый в материи (в определенной форме материи). Дух, орудуемый в материи, образует духоматерию. Значит, энергия и есть духоматерия, то есть материя, оплодотворенная духом. Понятия духа и материи относительны - для более тонких планов дух уже есть материя, а для нижележащих - материя является духом. Таким образом, энергия - это более тонкая форма материи, действующая на более грубую.

Энергия есть совокупная информация об объекте, отображающая его форму, процесс и качество, в виде излучения или поглощения по установленной для данной группы объектов процедуре. Интерес представляет характеристика энергии как посредника между духом и материей. В современной физике рассматривается класс частиц-переносчиков, посредством которых осуществляется взаимодействие между частицами физической материи - фермионами. Для сильного взаимодействия - это глюоны, для гравитационно-

го - гравитоны, для электромагнитного - фотоны. На физическом плане частицы-переносчики выполняют именно ту роль посредника, которая свойственна энергии как онтологической категории. Поэтому их можно назвать энергетическими квантами физического плана.

Ответственность за использование непознанных энергий

С начала 30-х годов XX века можно говорить об опасности, которой подвергло себя человечество, решая немедленно после открытия тонких энергий широко использовать их, даже не соизволив изучить их сущность. Немецкий физик Рентген открыл странные лучи, проникающие сквозь человеческое тело и позволяющие видеть внутренние органы. Они незаменимы при диагностике, но исследователи не знали о том, что это приведет к увеличению числа больных (особенно раковых) и негативно повлияет на окружающую среду! Никто не умел и защищаться от лучей, т. к. вначале от них не было неприятных ощущений. Открытие Рентгена в 1895 г. было лишь началом прорыва человека в тонкие энергии, в тонкий мир, предсказанное гениальной Е.П. Блаватской в то время, когда физика утверждала, что она уже всё постигла, и для нее нет никаких тайн в природе [1-3].

Бесконечно малые элементарные частицы и атомы, образующие пространство, приводятся в движение некой формой энергии, называемой на Востоке Фохатом. Каждый вид движения, или вибрации, в конечном счете проявляется, во-первых, как некая форма силы и, во-вторых, как некий вид материи; то есть он приводит к внешнему проявлению субстанции, которая уже была проявлена на внутреннем плане, и подразделяет эту субстанцию на группы, называемые Элементами.

На духовном плане звук, свет и движение взаимозаменяемы. Свет духовного плана может быть силой, или энергией, плана физического. Радиоактивность есть действие накопленной энергии света, так же как и отражающее свойство золота, придающее большую ценность этому металлу. Это свойство отражения есть *прана*, или жизненная сущность, пребывающая в плотной материи во взвешенном состоянии. Все формы материи, способные отражать свет, обладают гораздо более высокими вибрациями в сравнении с теми, которые его поглощают. Первые имеют одинаковую природу с той формой жизненной сущности, которая одушевляет ядра клеток в любой порождаемой материи. Ученый, который желает найти силу, созидательную материю,

должен прежде всего найти и выделить энергию, проявленную в такой субстанции, как вышеназванный радиий, окружить ее тем протоплазматическим веществом, которое всегда предусматривается природой в качестве защиты, или проводника, для пранической энергии, и, наконец, заключить ее в оболочку [9].

Ученые открывают многие Законы Бытия. Они уже коснулись тонких, высокочастотных энергий – атомной и ядерной. Однако, многие не знают, что на Земле атомные взрывы создают недостаток праны в воздухе, что является причиной эпидемий, которые не может объяснить современная наука. Кроме того, ядерные взрывы, испытания атомных бомб сильно повлияли на радиоактивный фон Земли, что может способствовать планетарной катастрофе. Ортодоксальные ученые не знают, что при этом ухудшается качество человечества, происходит отемнение его сознания и духовно-нравственная деградация – но многие ученые не связывают эти явления. Более того, каждый ядерный взрыв делает дыру, создаёт брешь в газоплазменных оболочках планеты – в ее защитной сети. Но в XXI веке этими исследованиями уже начали заниматься ученые сразу в нескольких странах мира.

Исследование тонких энергий иных состояний материи – одна из важнейших задач новой науки. Эти исследования приведут к познанию Высших миров и установят связи с ними. Научные факты, полученные в исследованиях, уже свидетельствуют о существовании таких миров. «...Пора от грубых слоев материи перейти к исследованию тончайшей энергии». И еще: «Творчество, – отмечают авторы Живой Этики, – нужно понять как соединение различных энергий, явленных Огнем пространства и духом человека». Чем выше духовность самого исследователя и уровень его сознания, а нередко и присутствия в нем способности чувствования, тем ближе к реальности результаты исследования. «...Для значительных опытов должен быть особый подбор лиц, обладающих высоким духовным синтезом» [4]. Дух человека, его уровень является решающим моментом в тонких исследованиях. Если на эту сторону в науке никто не обращал внимания и дух как явление просто отрицался, то духовность исследователя в новой системе познания уже играет важнейшую роль.

Впервые в истории науки в систему научного познания включили человека, его энергетику, его взаимодействие с окружающим нас микро- и макрокосмом. Согласно Живой Этике, человек является носителем высшей энергии, имеющей огненный характер, которая не только ведет его по пути

космической эволюции, но и необходима в процессе познания им особенностей и тайн Мироздания. Известно, что эта высшая энергия называется психической и является важнейшим условием любого творчества человека. Авторы Живой Этики считают, что потенциал такой энергии выше энергии расщепленного атома. «Без психической энергии не разглядеть пространственных путей. То же самое происходит во всех областях науки. Неразумно пренебрегать высшей энергией. Точно во времена религиозных войн и гонений, смелые и прозорливые познаватели должны прятаться, как алхимики от инквизиции. Такое позорное положение недопустимо».

И еще: «Действительно, давно пора изучать огненную природу человека. Ее нужно изучать в лабораториях, но эти лаборатории должны отличаться от лабораторий почвенных удобрений. Пора ученым признать, что для тонких опытов нужны тонкие условия. Также пора признать, что эти условия не создаются механическими дезинфекциями. Каждый опыт требует духовного огненного очищения. Действительно, многое удастся в природе и в храмах, где эманации не так загрязнены. Но в случайных лабораториях, где даже воздух не всегда освежен и пыль полна ядовитых отложений, там удастся лишь немного» [5].

Из Живой Этики мы узнаем, что «Мысль есть энергия». Причем энергия очень высокая и тонкая, обладающая рядом важных свойств. Из тонкого состояния она может переходить в физическое, что крайне расширяет диапазон ее действия. Тонкая энергия мысли при определенных условиях может переходить в вещество. Таинственный этот процесс, происходящий в глубинах Космоса, связан с формообразовательной деятельностью, идущей в видимых и невидимых космических пространствах. Если мысль – энергия, то обмен между нею и человеком имеет двухстороннее движение – мысль человека идет в пространство, и ей откликается пространственная мысль. И наоборот, мысль пространственная идет к человеку, и он откликается на нее.

С точки зрения эволюционной, второй вариант более важный, нежели первый. В этом обмене особую роль играет огненная энергетика сердца. Если мысль человека послана не через сердце в пространство, то она будет пустой, или, иными словами, энергетически ослабленной, и, возможно, не достигнет Высшего Мира и не привлечет мыслей творческих. Это еще лишний раз доказывает необходимость синтеза энергетики интеллекта и сердца в процессе познания. «Расцвет страны, – отмечают авторы Живой Этики, – всегда творится с космическими воздействиями. Коллектив

устремленных мыслей притягивает из пространства нужные наслоения явленных посылок. Клише открытий великих носят в пространстве. Те, кто могут напрячь свою психическую энергию в ритм космических энергий, те примут в сознание сокровища. Расширение сознания направит к цепи соединения всех творческих сил Космоса» [6].

Согласно теории ноосферы В.И. Вернадского, обмен мыслями идет не только между пространством и Землей, то есть между мирами высшими и низшими, содействуя развитию низших, но и между людьми. В процессе обмена мысль может быть не только созидательной, но и разрушительной. «Каждой своей мыслью, положительной или отрицательной, человек открывает себя соответствующему влиянию – хорошему или плохому – и, в свою очередь, сам влияет таким же образом на других» [2].

Обращение с мыслью, заключающей в себе высоко-вибрационную энергию Огня, должно быть крайне осторожным, а дисциплина мышления должна сочетаться с этическими нормами и нравственными правилами. К сожалению, подобные установления соблюдаются редко, что приводит к различного рода взрывам хаоса в человеческих сообществах. И люди чаще используют, в силу своего невежества, разрушительную силу мысли, нежели созидательную.

XX–XXI века являются временем усиления самых разрушительных стихийных бедствий. Мы ищем их причины везде, но только не в собственной мысли. Последняя есть нередко первопричина таких событий. Газеты и радио сообщают, чуть ли не ежедневно, о наводнениях, землетрясениях, извержениях вулканов, о необычных природных явлениях. Мы слышим о множестве катастроф – гибели самолетов, разрушении домов, о бесчисленных автокатастрофах, затонувших кораблях, о пожарах и множестве других бед. Эти бедствия обретают техногенный характер и зависят полностью от человека, его сознания, его психической энергии, его неразвитого мышления. «Может ли быть потоп, смывающий целые области? Может ли быть землетрясение, разрушающее целые страны? Может ли быть вихрь, сметающий города? Может ли быть падение громадных метеоров? Все может быть, и качание маятника может увеличиться. Не имеет ли значения качество человеческой мысли? Так пусть подумают о сущности вещей. Она очень близка мысли, и много мыслей устремлено из разных миров. Не будем винить одни солнечные пятна» [4].

В наше время всё больше ученых, полагающих, что Вселенная не могла возникнуть из Большого Взрыва. Им неизвестно, кто его произ-

вел, куда делись осколки и что, собственно, взорвалось. Они своими публикациями поддерживают гипотезу о Сотворении Мироздания Высшим Разумом, или Космическим Сознанием, или Абсолютом, или Богом, Или Иерархией Светлых Сил Космоса – Их Высокими Энергиями и Мыслями. В таком представлении Вселенная уже не является холодным безжизненным монстром – она предстаёт одухотворенной, живой энергетической системой, в которой постоянно происходит энергетический обмен между всеми ее уровнями, измерениями, формами, сферами и направлениями, где Человек является одним из звеньев этого энергообмена.

Приведем выдержку из работы «Новый взгляд на Вселенную» известного ученого писателя, видного общественного деятеля Эрвина Ласло. «Новые открытия в области квантовой физики проливают свет на великую загадку космологии: почему Вселенная кажется столь удивительно приспособленной для жизни... Взгляд на само-созидающий и само-запоминающий космос, эволюционирующий в своем высоко дифференцированном движении от первоначального единения к его современному глубоко взаимосвязанному разнообразию, соответствует интуиции, которой человеческое сознание располагало с незапамятных времен. Мифы творения, представленные в разных культурах, согласуются в том, что все вещи и живые существа в наблюдаемой Вселенной произошли как воплощение мысли и воли Творца.

Наш физический (плотный) мир – это отражение энергетических колебаний более тонких миров, которые, в свою очередь, являются отражениями еще более тонких энергетических полей. (Этот лейтмотив проходит через все мистические учения). Когда мы вглядываемся вверх или внутрь, мы обнаруживаем, что физическая Вселенная – это отражение энерго-информационных спиралей, подобно тому, как все вещи возвратятся в Акашу. И более всего примечательно то, что последняя сохраняет след всего, что имело место во Вселенной. Это «протокол Акаши»: прочная память само-творящей и само-регистрирующей Вселенной энергетических вибраций более тонких миров, которые, в свою очередь, отражают колебания все более тонких миров или энергетических полей. Творение, существование – это продвижение, идущее вниз и наружу из перво-зданного Источника.

В индийских Упанишадах таким Источником является насыщенное энергией пространство, которое начинает существовать вместе с космосом. Это Акаша. Согласно толкованию, принадлежащему Свами Вивекананде (Swami Vivekananda),

Акаша заполняет все пространство и вызывает появление всего, что в нем существует, она лежит в основе и пронизывает воздух, огонь, воду и землю. В самом начале была только Акаша и в конце останется только она. Акаша становится Солнцем, Землей, Луной, звездами и кометами; она становится также телом животных и людей, и растений, и всего, что существует. В конце каждой фазы всё снова расплавится в Акаше, чтобы дать начало следующему циклу...

Прана, в свою очередь, есть бесконечная и вездесущая энергия, которая воздействует на Акашу. Прана – это движение, гравитация и магнетизм, она присутствует в действиях человека, в нервной системе тела и даже в силе мысли. В конце очередного цикла все силы вернутся назад в Прану. На лидирующем участке физической космологии возрождается также древний образ Вишны – явленного мира, который, подобно цветку лотоса, разворачивается вновь и вновь, начиная с хаотической жидкой созидающей субстанции, с моря энергий, которые творят и питают все вещи сквозь пространство и время. Во многом это то же самое, как и сказать, что Вселенная происходит от сверхпроводящего квантового вакуума и развивается в пространстве и времени, чтобы снова и снова возвращаться назад в исходное состояние, а затем вновь и вновь возрождаться в огненных циклах космического творения.

Гостеприимство, которое Вселенная оказывает жизни, обусловлено не особым актом творения и не слепой удачей, оно явилось следствием прогрессивной космической эволюции, включающей длинный ряд взаимосвязанных эволюционных циклов...» [8]. Подтверждение данных положений можно также найти и во многих других научных трудах и, в частности, в исследованиях группы ученых, пожелавших по определенным причинам не афишировать и не раскрывать своих имён. Приведем лишь некоторые выдержки из результатов их многолетних исследований, которые изложены в трёх объемных томах, касающихся темы данной статьи.

«Большая Вселенная включает семь вселенных, она является и механическим, и живым организмом, приводимым в движение Высшим Разумом, согласующимся с Высшим Духом и обретающим выражение на максимальных уровнях объединения энергии и личности в образе Высшего Существа и Его Иерархии – Строителей Вселенной. Отрицать механизм конечного творения – значит отрицать факт и игнорировать реальность...

В качестве Первого Источника и Энергетического Центра, Абсолют, Высший Разум (Бог) первичен по отношению ко всеобъемлющей реально-

сти – эта первичность безусловна. С помощью этого абсолютного гравитационного центра Вечный Он осуществляет космическое сверхуправление физическим уровнем, как в Центральной Вселенной, так и во всем пространстве.

Этот духовно-физический факт основывается на непостижимой истине: Первый Источник и Центр является первопричиной всех физических явлений пространства. В этой Разумной Иерархической деятельности берут свое начало все виды энергии и все проявления материи.

Абсолют контролирует всю энергию. Он определил «путь для молнии»; он предопределил все энергетические контуры. Им предписано время и способ проявления всех видов энергии-вещества. И всё это непрестанно удерживается вечной властью Высшего Разума – центральным гравитационным управлением. Так Его свет и энергия продолжают нескончаемое обращение по Его величественному контуру – бесконечная, но упорядоченная процессия звездных миров, образующих Вселенную вселенных. Всё творение вечно обращается вокруг Центра всех вещей и существ. Все контуры физической энергии и космической силы берут свое начало здесь...

Силовой Центр состоит из трёх концентрических зон. Внутренняя зона энергетического центра Вселенной действует, как гигантское Сердце, как Космический Магнит, чьи сокращения посылают потоки энергии к самым отдаленным границам физического пространства. Она направляет и модифицирует силы-энергии, но вряд ли приводит их в движение. Изначальная энергия пространства поступает на юге и истекает на севере благодаря действию неизвестной нашей науке циркуляционной системы, выполняющей функции распространения основного вида силы-энергии. Силы, исходящие из этой зоны, не реагируют на воздействие наблюдаемой физической гравитации, но всегда подчиняются первичной гравитации Центра.

Громадная внешняя зона – центр, где сходятся все излучающие контуры, устремляющиеся в пространство вплоть до внешнего космоса. Это зона – центр космического присутствия Безусловного Абсолюта. Внешняя зона является самым большим и наиболее активным из трех концентрических эллиптических поясов неотожествленного космического потенциала. Эта область – арена активной энергетической деятельности, центр, где сходятся все излучающие контуры, устремляющиеся в пространство по всем направлениям вплоть до внешних границ семи сверхвселенных и уходящих еще дальше,

пересекая колоссальные и непостижимые пространства внешнего космоса...

Все разновидности силы и все фазы энергии замкнуты; они циркулируют во вселенных и возвращаются по определенным маршрутам. Все виды физической силы, энергии и вещества едины. Вся сила-энергия истекает из нижнего сектора, куда ей предстоит вернуться по завершении своего обращения в пространстве. Пространство – это колыбель многих типов различных энергий, праматерии, вещества и предвещества...

Хотя внешняя зона силового центра является источником пространственных энергий, само пространство здесь не возникает. Пространство не является силой или энергией. Равным образом, расширение пространства не объясняется пульсациями этой зоны, однако чередующиеся в этой зоне фазы истечения и поступления энергии синхронизированы с двухмиллиардными циклами расширения и сжатия Большой Вселенной.

В течение одной фазы вселенные расширяются, в течение другой они сжимаются. В настоящее время насыщенное пространство подходит к середине фазы расширения, в то время как ненаасыщенное пространство приближается к середине фазы сжатия.

Модификация силового заряда пространства выполняется Иерархией Организаторов сил. Она свидетельствует о появлении энергетических систем, реагирующих только на воздействие абсолютной первичной гравитации.

Эта возникающая энергия первоначально является нейтральной, однако, претерпев ряд трансформаций, она начинает дифференцироваться и проявлять так называемые отрицательные и положительные свойства. Потом каждая дипольная энергия дифференцируется на семь составляющих, каждая из которых двунаичальна и т.д.

На постгравитационных стадиях энергия-вещество начинает подчиняться уже и линейной гравитации. В центральной вселенной такие физические системы представляют собой тройственные организации - сверхмощные системы - исходные по отношению к пространственно-временным творениям. Физические системы сверхвселенных формируются Иерархией Управляющих Вселенской Энергией. Эти материальные организации отличаются двойственным строением...

Всеобщее присутствие Безусловного Абсолюта представляется эквивалентным концепции потенциальной бесконечности гравитационного

охвата – эластичной упругости. Это представление помогает осознать тот факт, что всё притягивается к Центальному Фокусу. Данный пример объясняет, почему гравитация всегда действует преимущественно в плоскости, перпендикулярной массе, – это свидетельствует о различиях в размерах Центра и окружающих его творений...»

Далее коротко покажем классификацию, типы и формы различных видов энергии.

«Физическая энергия является термином, обозначающим все стадии и формы ощущаемого движения, действия и потенциала...

При обсуждении проявлений физической энергии обычно используются термины: космическая сила, возникающая энергия и вселенская физическая энергия. Вселенская энергия включает все формы энергии, которые, всё еще, реагируя на гравитацию Центра, непосредственно подчиняются линейной гравитации. Это электронный уровень энергии-вещества и всех последующих ее эволюций...

Ядром первой поддающейся измерению формой энергии является Женский Полночь Всеначальной Космической энергии-сустанции. Вся изначальная сила-энергия истекает из Центра, и вещество, необходимое для создания бесчисленных вселенных, обращается по всему мирозданию в виде сверхгравитационного присутствия, составляющего силовой заряд насыщенного пространства...

Какие бы превращения ни претерпевала сила в далеких вселенных, покинув Центр, она подчиняется нескончаемому, повсеместному, неизменному его притяжению, послушно и присущим ей образом продолжая свой путь в вечных просторах вселенных. Сила и энергия являются всеобщим свидетельством стабильности, постоянства и вечности этого Центра (Фокуса, Ядра Мироздания, Космического Магнита)...

Многочисленные непостижимые и непредсказуемые явления первичной силы и разума объясняются активностью Иерарха, называемого Предельным, и деятельностью Строителей Вселенной...

Существует две энергии, излучаемые Фокусом – космическая энергия Главных Духов и силовые функции Безусловного Абсолюта.

Энергия вечна, но не бесконечна. Сила и энергия находятся в непрерывном движении. Покинув Центр, они должны вернуться туда, даже если на завершение predeterminedного кругооборота потребуются многие эпохи.

Сила, исходящая из Центра, сама по себе является вечно существующей. Сила-энергия нетленна и нерушима. Эти проявления Вечного Аб-

солюта могут подвергаться неограниченным преобразованиям, бесконечным превращениям и вечным видоизменениям; но ни в каком смысле и ни в какой степени они не могут и никогда не смогут подвергнуться уничтожению. Но, несмотря на то, что энергия истекает от Бесконечного, она не обладает бесконечностью проявления. Существуют внешние пределы того, что воспринимается сегодня как Мироздание...

Иерархия Главных Организаторов занимается дифференциацией и преобразованием Единой Всеначальной Энергии. Возникающие при этом различные виды энергии достаточны для преобразования пространственного потенциала в изначальную силу, эта сила должна пройти через два отдельных уровня в сферах проявления энергии, до того как проявиться в качестве вселенской энергии. Этими уровнями являются: силовая энергия и гравитационная.

Силовая энергия - могущественная, направленная, связанная с перемещением массы и высокой напряженностью и проявляющаяся в принудительных реакциях энергии - это гигантские энергетические системы, приводимые в движение действиями Первичными Организаторами Сил. Когда энергия достигает уровня начального реагирования на круговой охват абсолютной гравитации Центра, первичные организаторы сил уступают место своим вторичным партнерам.

Появляющаяся теперь энергия, реагирующая на гравитацию, несет в себе потенциал вселенской энергии и становится активной предшественницей всего вселенского вещества... С появлением реакции на гравитацию, Объединенные Главные Организаторы Сил могут покинуть энергетические циклоны пространства, если существует возможность назначать в эту область деятельности Управляющих Вселенской Энергией.

Вселенская энергия. Пространственная сила превращена в энергию пространства, а вслед за этим - в энергию гравитационного контроля. Так физическая энергия достигла в своем развитии того состояния, когда ее можно направить по энергетическим каналам и заставить служить разнообразным целям вселенских Создателей и Строителей. Это осуществляется многочисленными Управляющими, центрами и Регуляторами физической энергии Большой Вселенной - организованных и населенных творений. Эти Управляющие Вселенской Энергией принимают на себя почти полное управление двадцатью одной из тридцати разновидностей энергии, составляющих нынешнюю энергетическую систему семи сверхвселенных. Данная область энергии-вещества является сферой разумной деятельности Семича-

стного, который подчиняется пространственно-временному сверхуправлению Высшего...

Энергетическая активность препятствует появлению абсолютного нуля межзвездного пространства. Всё многомерное Пространство не является пустым - это океан различных видов силы-энергии. Именно присутствие и действие гравитации препятствуют появлению теоретического абсолютного нуля, ибо температура межзвездного пространства не равна абсолютному нулю.

Во всём организованном пространстве есть реагирующие на гравитацию энергетические потоки и силовые контуры, а также возникающие электронные энергии. В сущности, пространство не является пустым. Так и атмосфера Земли становится всё более разреженной и на определенной высоте начинает переходить в пространственное вещество, обычное для данного региона вселенной...

В периоды возрастания энергии наблюдаются энергетические возмущения и тепловые флуктуации, сопровождаемые проявлениями электрической активности.

В периоды убывания энергии возрастают тенденции вещества к накоплению, уплотнению и выходу из-под контроля в контурах с менее устойчивым балансом сил; возникающие вследствие этого приливные или коллизионные коррекции быстро восстанавливают баланс между циркулирующей энергией и более стабилизированным веществом.

Одна из задач Небесных Астрономов - прогнозирование и понимание возможного аналогичного поведения пылающих светил и темных островов пространства...»

Существуют и другие виды и формы энергии, на которых мы не имеем возможности и права останавливаться.

Заключение

Наиболее развитые в духовном отношении ученые уже начинают все чаще улавливать пространственные мысли, необходимые для дальнейшей эволюции человечества и сохранения нашей планеты, и при помощи современных научных методов доказывать истинность того, что давно запечатлено народами Земли в древнейших сокровенных манускриптах различных культур планеты.

Вопреки рассуждениям о классическом пятом поле, нам нет нужды предполагать, что это сверхъестественное или эзотерическое явление. Недавние, хотя и не получившие широкой известности исследования на переднем крае науки,

показывают, что это поле создаётся взаимодействием квантового вакуума - бездонного энергетического моря во Вселенной - с вещами и событиями в наблюдаемом мире. Открытие этого поля и его включение в состав физически реальных событий приведет к фундаментальному сдвигу в научной картине мира.

Список литературы

1. Акчурин И.А. Концептуальные основания новой топологической физики.// Философские проблемы физики элементарных частиц. — М, 1998.
2. Абрамов Б.Н. Грани Агни Йоги. Новосибирск, Цэрис, 1991 -1998 гг.
3. Блаватская Е.П. Тайная доктрина: синтез науки, религии философии. Т.1. -Новосибирск, 1992.
4. Живая Этика. В 12-ти томах. - МЦР, Москва, 1994 – 2006. - 1923 с.
5. Елена Рерих. Письма. М., МЦР, 1999. - 894 с.
6. Уранов Н.А. Размышляя над Беспредельностью. Вып. 7. М., МЦР, Москва, 2007 - 480 с.
7. Львов И.Г. Что такое энергия? (Натурфилософский анализ базовых начал термодинамики и обусловленных их нерациональностью коренных проблем всего естествознания). — Электронный ресурс:
// <http://ilvov.narod.ru/philosophiya2.html>
8. Brian R. Greene The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality. Random House, Inc., New York, 2004. — Электронный ресурс:
//<http://books64.ru/nauka-i-ucheba/3835-tkan-kosmosa.-prostranstvo-vremya-i-tekstura.html>
9. Учение Храма. Published by THE TEMPLE OF THE PEOPLE Halcyon, California, 1985. — 472 с.
10. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. - М., Мир: 1966. - Т. 1 - 9. — 769 с.
6. Uranov N.A. *Rasmischlyayav nad Bespredelnostyu* [Reflecting over Boundlessness]. No 7, M.,MCR, Moskov, 2007. — 480 p.
7. Lvov I.G. *Chto takoe energiya? (Naturfilosovskiy analiz basovih nachal termodinamiki i obuslovlennih ih nepazionalnostj korennih problem vsego estestvosnaniya)*. [What is the energy? (The physiophilosophical analysis of the base beginnings of thermodynamics and the fundamental issues of all natural sciences caused by their irrationality)]. — Available at: <http://ilvov.narod.ru/philosophiya2.html>
8. Brian R. Greene The fabric of the cosmos: space, time and the texture of reality. Random House, Inc., New York, 2004. - Available at: <http://books64.ru/nauka-i-ucheba/3835-tkan-kosmosa.-prostranstvo-vremya-i-tekstura.html>
9. *Uchenie Hrama*. [The Temple Doctrine. Published by THE TEMPLE OF THE PEOPLE Halcyon, California, 1985. — 472 p.
10. Fejnman R., Lejton R. *Sends. Fejmanovskie lekcii po fizike*. [Sends. Fejmanovsky lectures on physics]. — Moskov, Mir, 1966. Vol 1- 9/ - 769 p.

References

1. Akchurin I.A. *Konctualnie osnovaniya novoj topologicheskoy fiziki*.// *Filosovskie pro,lemi fiziki elementarnih chastic* [The conceptual bases of new topological physics.// Philosophical problems of physics of elementary particles]. — Moskov, 1998
2. Abramov B.N *Grani Agni Yogi*. [Sides Agni of Yoga]. Novosibirsk, Ceris, 1991-1998.
3. Blavatskaya E.P. *Tajnya doktrina: sintes nauki, religii i filosofii*. [The secret doctrine: synthesis of a science, religion and philosophy]. Vol. 1, Novosibirsk, 1992.
4. *Zhivaya Etika.V12 tomah*. [Live Ethics. In 12 volumes]. — Moskov, MCR, 1994 - 2006. 1923 p.
5. *Elena Rerih. Pisma*. [Elena Roerich. Letters]. - Moskov, MCR, 1999. — 894 p.

УДК.621.039.586

Исследование нейтронно-физических характеристик органов регулирования СУЗ ВВЭР при различных состояниях активной зоны

Ю. В. Браславский¹, К. Б. Матузаев², Р. А. Гладущенко³

ФГАУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053, Россия.

¹alab67@yandex.ru, ²matuzaev@mail.ru, ³glad_ra@mail.ru

Статья поступила 01.11.2016 г.; после доработки 03.11.2016 г.

Аннотация

Нейтронно-физические измерения топливных загрузок ядерного реактора играют важную роль для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ядерной установки. При проведении измерений осуществляется непрерывный контроль ряда важнейших параметров реактора, в том числе, основных нейтронно-физических характеристик органов регулирования системы управления и защиты – интегральной и дифференциальной эффективности. Эти характеристики позволяют судить об эффективности групп органов регулирования в различных режимах, включая срабатывание аварийной защиты реактора. В статье рассматриваются особенности измерения эффективности органов регулирования реактора ВВЭР-1000, приводящие к некоторым отклонениям получаемых значений изменения реактивности от реальных величин. Исследуются интегральные и дифференциальные характеристики рабочей группы органов регулирования в зависимости от типа топливной загрузки и момента кампании реактора.

Ключевые слова: топливная загрузка, нейтронно-физические измерения, орган регулирования, интегральная эффективность, дифференциальная эффективность.

Control element neutronics research of PWR control and safety system under different core conditions

Yu.V. Braslavskiy¹, K.B. Matuzaev², R.A. Gladushhenko³

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.

¹alab67@yandex.ru, ²matuzaev@mail.ru, ³glad_ra@mail.ru

Received 01.11.2016 y.; received in final form 03.11.2016 y.

Abstract

Fuel kernel neutronics measurements play a critical part for sustainable and safe nuclear installation operation/. During measurements permanent monitoring of some most important reactor data is carried out which include main control element neutronics of control and safety system – integro-differential effectiveness. These data permit to estimate the effectiveness of control elements under different circumstances including scram. Special aspects of PWR-1000 control elements effectiveness measurements which lead to some departure of reactivity measurement from actual value are observed. Working group integro-differential features depending on fuel kernel type and reactor life time period are examined.

Keywords: fuel kernel, neutronics, control element, integral effectiveness, differential effectiveness

Введение

Проведение нейтронно-физических измерений (НФИ) топливных загрузок активных зон ядерных реакторов является одним из условий обеспечения безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС. Знание реальных ядерно- и нейтронно-физических свойств действующих топливных загрузок дает уверенность оперативному персоналу и сотрудникам подразделений инженерной поддержки в предсказуемости поведения ядерного реактора как в условиях нормальной эксплуатации, так и при различных нарушениях и авариях.

В процессе проведения НФИ осуществляется непрерывный контроль ряда важнейших параметров реактора: нейтронной мощности, периода, реактивности реактора, температуры теплоносителя и давления в первом контуре, величины аксиального офсета, коэффициентов неравномерности энерговыделения и т.д. Кроме того, проведение НФИ позволяют определить основные нейтронно-физические характеристики (НФХ) органов регулирования системы управления и защиты реактора (ОР СУЗ), в том числе, интегральную и дифференциальную эффективность. Указанные характеристики позволяют судить об эффективности групп ОР в различных режимах, включая срабатывание аварийной защиты реактора. НФХ органов регулирования зависят от многих факторов: концентрации борной кислоты в теплоносителе, типа топливной загрузки и ее картограммы, момента кампании, мощности реактора. Но какие либо не были факторы, влияющие на эффективность ОР СУЗ, все они сводятся к трем параметрам: относительной величине нейтронного потока в области ОР до и после его погружения и изменению локальных поглощающих свойств в этой области при погружении туда ОР [1].

Особенно важно знать НФХ управляющей группы ОР СУЗ, т.к. с помощью этой группы осуществляется оперативное управление реактором. В то же время, проведение НФИ имеет некоторые особенности, затрудняющие получение достоверных НФХ органов регулирования СУЗ.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является изучение нейтронно-физических характеристик управляющей группы ОР СУЗ при различных состояниях активной зоны реактора.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи:

- определить особенности измерения эффективности групп ОР СУЗ на ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000;
- используя компьютерную модель ядерной установки, сформировать различные варианты загрузки реактора ВВЭР-1000;
- исследовать эффективность управляющей группы ОР СУЗ в зависимости от мощности реактора, типа топливной загрузки, момента кампании, а также положения других групп органов регулирования.

Особенности измерения эффективности органов регулирования ВВЭР-1000

Измерения эффективности ОР СУЗ, как правило, осуществляются на минимально-контролируемом уровне (МКУ) мощности для каждой топливной загрузки при пуске очередной кампании реактора. При работе реактора на мощности измерения могут проводиться только при первом пуске энергоблока в ходе пусконаладочных работ.

Измерения характеристик органов регулирования необходимы, в первую очередь, для определения величины отрицательной реактивности, вносимой отдельными группами и всеми ОР СУЗ в баланс нейтронов по активной зоне и сопоставления полученных величин с проектными значениями. Поскольку на МКУ вес аварийной защиты минимален по сравнению с состояниями реактора на мощности, то данных измерений достаточно для проверки требований нормативных документов к характеристикам активной зоны и проверки превышения проектного веса АЗ измеренного веса. Только в случае подтверждения путем прямых измерений превышения (с учетом знака) проектного веса АЗ измеренного, все выводы о достаточном уровне безопасности для данного энергоблока остаются справедливыми.

Дополнительной целью данных экспериментов является верификация расчетных программ сопровождения эксплуатации и подтверждение их паспортных характеристик по точности расчетов дифференциального и интегрального веса ОР СУЗ.

Измерения эффективности групп ОР СУЗ проводятся с помощью регистрации тока в ионизационных камерах (ИК) и вычисления логарифмической производной по времени при конечном перемещении группы или всех ОР СУЗ. Данные результаты представляют последовательность временных измерений значений логарифмической производной от токов в БИК для

одного перемещения ОР СУЗ. Зная величины доли запаздывающих нейтронов от их предшественников и времена жизни каждого предшественника, можно, зафиксировав временную последовательность логарифмических производных от токов, определить реактивность активной зоны при данном перемещении ОР СУЗ.

Однако полученное значение реактивности не определяет истинную реактивность всей активной зоны. Для того, чтобы разобраться в рассогласовании между истинной и измеренной величиной реактивности отдельных групп ОР СУЗ, необходимо обратить внимание на особенности измерений эффективности ОР СУЗ на АЭС с реактором ВВЭР-1000. Ионизационные камеры располагаются на значительном расстоянии от активной зоны и поэтому регистрируют только нейтроны деления из двух периферийных рядов ТВС. При этом каждая камера «воспринимает» нейтронный поток от нескольких ТВС в этих рядах, ближайших к перпендикуляру, проведенному от точки расположения камеры к боковой поверхности активной зоны. Поэтому при больших изменениях в пространственной неравномерности распределении числа делений в данных областях активной зоны при погружении группы ОР измеренная реактивность может заметно отличаться от реальной реактивности, вносимой данной группой.

Также следует учитывать, что при погружении групп ОР СУЗ, расположенных в центральной области активной зоны относительная мощность периферийных ТВС заметно увеличивается. Данное увеличение частично компенсирует интегральное уменьшение нейтронного потока в активной зоне, и измеряемая ИК реактивность оказывается больше полной реактивности, вносимой группой ОР СУЗ, погружаемой в центре зоны. В случае погружении периферийной группы ОР СУЗ относительная мощность периферийных ТВС заметно снижается. Данное снижение усиливает интегральное уменьшение нейтронного потока в активной зоне и измеряемая ИК реактивность оказывается меньше полной реактивности, вносимой периферийной группой ОР СУЗ.

К аналогичным выводам приводит сопоставление расчетных (выполненных по разным аттестованным программам) и измеренных данных. На мощности разница между эффективностью группы ОР СУЗ, измеренной с помощью ИК, и полной эффективностью этой группы может увеличиться или уменьшиться в зависимости от последовательности погружения и извлечения групп ОР СУЗ и длительности вре-

менных промежутков между экспериментами по измерению их характеристик. Это явление связано с нестационарным отравлением активной зоны ксеноном. Нестационарное отравление ксеноном может существенно перестроить объемное распределение энерговыделения и привести к еще большему рассогласованию величин истинной и измеренной реактивности, чем на МКУ [2].

Таким образом, величина отрицательной реактивности при перемещении группы ОР СУЗ вниз, полученная по показаниям ИК, может отличаться от реальной ввиду ряда сопутствующих факторов: способа измерения реактивности, положения остальных групп ОР, концентрации ядер ксенона.

Формирование топливных загрузок ВВЭР-1000

При проведении эксперимента использовалась учебно-научная лаборатория «Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация ЯЭУ», разработанная коллективом НИЯУ «Московский инженерно-физический институт» с применением интегрированной среды «Эникад», предназначенной для создания программно-аппаратных комплексов полномасштабных компьютерных анализаторов и тренажеров различного класса для атомных и тепловых электростанций. Данная лаборатория используется в Институте ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета для проведения учебных занятий и научных исследований. Важным преимуществом лабораторного комплекса является возможность наблюдения параметров, которые в реальности оператором реактора не контролируются, а также моделирования процессов, запрещенных на действующей ядерной энергетической установке.

Для проведения исследований были сформированы следующие типы топливных загрузок активной зоны ВВЭР-1000 (прототип 3-й блок Калининской АЭС):

- пусковая загрузка на начало кампании;
- стационарная загрузка на начало кампании;
- пусковая загрузка на конец кампании;
- стационарная загрузка на конец кампании.

При этом пусковая топливная загрузка представляет собой первую загрузку топлива при первом пуске энергоблока АЭС со средним обогащением топлива ураном-235 порядка 2,2 % (рис. 1).

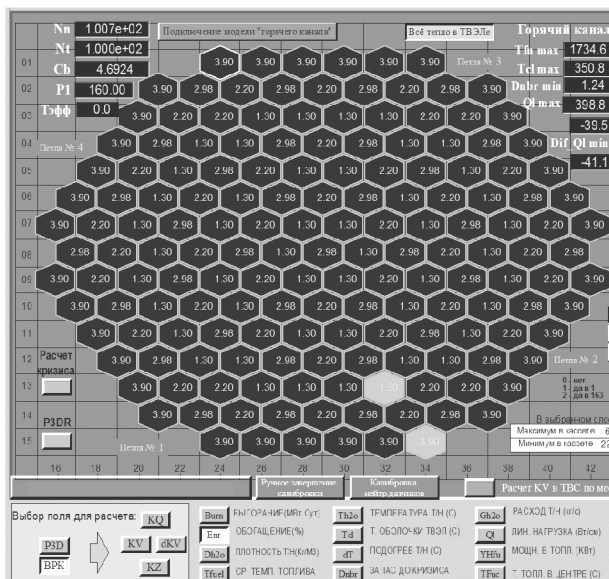


Рис 1. Картограмма топливной загрузки для начала пусковой кампании ВВЭР-1000

Выгоревшее топливо в активной зоне на начало работы топливной загрузки отсутствует. Стационарная топливная загрузка – топливная загрузка на стационарном режиме перегрузок топлива при использовании только базовых обогатителей топлива подпитки с присутствием в зоне в разной степени выгоревшего топлива на начало работы топливной загрузки (рис. 2).

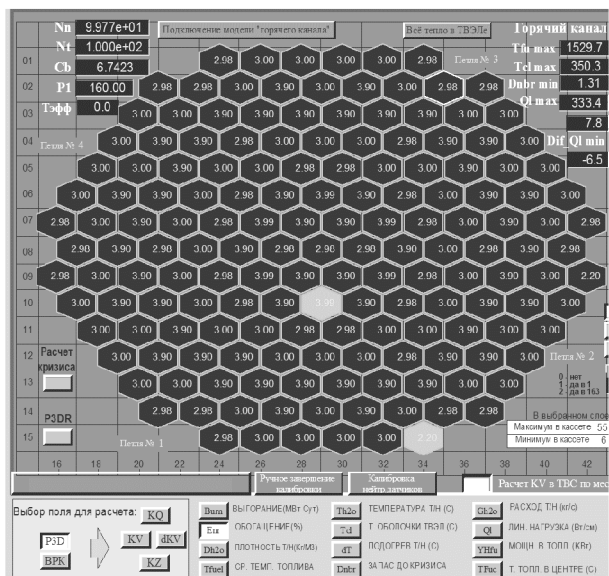


Рис 2. Картограмма топливной загрузки для начала стационарной кампании ВВЭР-1000

НФХ стационарной и пусковой топливных загрузок существенно отличаются друг от друга. Это обуславливает существенные различия в характерах протекания переходных процессов в

результате работы одних и тех же алгоритмов управления.

Исследование эффективности управляющей группы ОР СУЗ

Для проведения исследований была выбрана управляющая (рабочая) группа органов регулирования, как наиболее часто используемая системой управления и защиты реактора при нормальной эксплуатации установки. При этом измерения проводились при работе реактора на номинальной мощности.

В ходе исследований были получены интегральная и дифференциальная характеристики группы ОР СУЗ на начало и конец кампании (рис. 3-6).

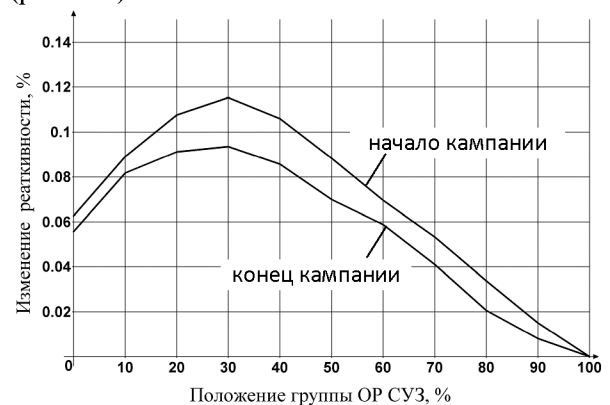


Рис 3. Дифференциальная характеристика рабочей группы ОР СУЗ для пусковой кампании ВВЭР-1000

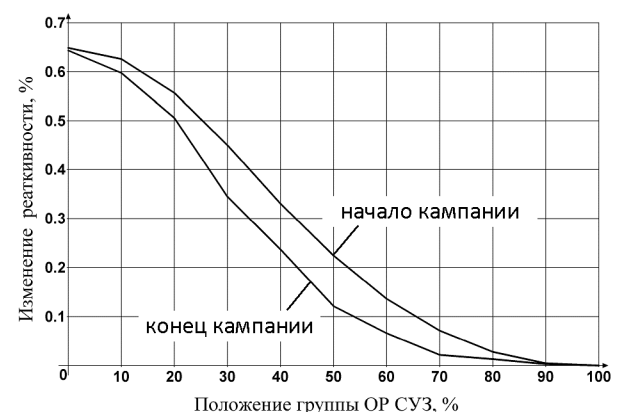


Рис 4. Интегральная характеристика рабочей группы ОР СУЗ для пусковой кампании ВВЭР-1000

Полученные зависимости показывают, что эффективность исследуемой группы органов регулирования в начале кампании выше, чем в конце, особенно при нахождении группы в положении 20...70 % от низа активной зоны.

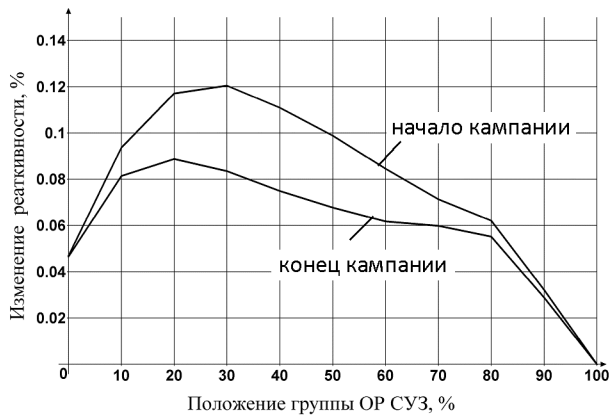


Рис 5. Дифференциальная характеристика рабочей группы ОР СУЗ для пусковой кампании ВВЭР-1000

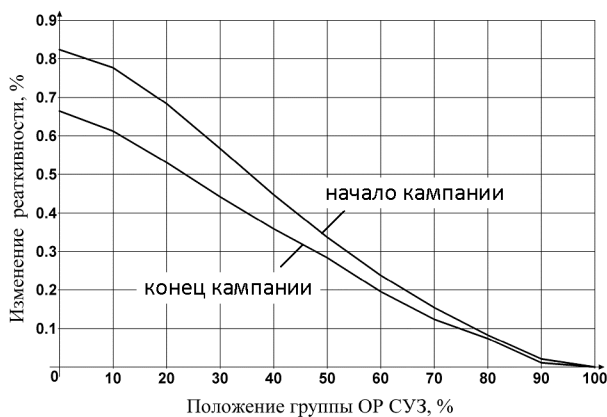


Рис 6. Интегральная характеристика рабочей группы ОР СУЗ для стационарной кампании ВВЭР-1000

При этом эффективность группы ОР для стационарной кампании превышает ее эффективность для пусковой.

Заключение

Проведенные исследования по определению влияния состояния активной зоны реактора ВВЭР-1000 на нейтронно-физические характеристики рабочей группы ОР СУЗ показали следующие результаты:

- величина отрицательной реактивности при перемещении группы ОР вниз, полученная по показаниям ионизационных камер, может отличаться от реальной ввиду ряда сопутствующих факторов: способа измерения реактивности, положения остальных групп ОР, концентрации ядер ксенона;
- эффективность исследуемой группы ОР в начале кампании выше, чем в конце, особенно при нахождении группы в положении 20...70 % от низа активной зоны;

- эффективность исследуемой группы ОР для стационарной кампании превышает ее эффективность для пусковой кампании.

Список литературы

1. Выговский С.Б. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР / С.Б. Выговский, Н.О. Рябов, А.А. Семенов, Е.В. Чернов, Л.Н. Богачек. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
2. Выговский С.Б. Опыт использования программного комплекса «ПРОСТОР» в расчетной поддержке эксплуатации АЭС с ВВЭР/ С.Б. Выговский, С.А. Королев, Е.В. Чернов, А.А. Семенов, В.А. Чернаков // Ядерная физика и инжиниринг. – Москва, 2014. – Т. 5, № 1 – С. 15 – 28.
3. Выговский С.Б. Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР / С.Б. Выговский, Н.О. Рябов, Е.В. Чернов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 304 с.

References

1. Vygovskiy S.B., Korolev S.A., Chernov E.V., Semenov A.A., Chernakov V.A. "PROSTOR" software user experience in NPP with PWR calculating holdback *Yadernaya fizika i inzhiniring*. Moscow Publ., 2015, Vol. 5, No 1, pp 15-28.
2. Vygovskiy S.B., Ryabov H.O., Semenov A.A., Chernov E.V., Bogachek. *Fizicheskie i konstruktivnye osobennosti yadernykh energeticheskikh ustanovok s VVER* [WWER nuclear installations physical and specific design features]. Moscow, NIYAU MEPI Publ., 2011, 376 p.
3. Vygovskiy S.B., Ryabov H.O., Chernov E.V. *Bezopasnost i zadachi inzhenernoy podderzhki ekspluatatsii yadernykh energeticheskikh ustanovok s VVER* [Safety and issues of the WWER nuclear installation operation engineer assistance]. Moscow, NIYAU MEPI Publ., 2013, 304 p.

УДК 62-55.004

Построение границ и области устойчивости цифровой системы автоматического регулирования

Ю.Г. Дикусар¹, М.Б. Сулейменова², В.Д. Богушева³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия. ¹dikusar@list.ru, ²miroslava13_03@mail.ru, ³bloodrain224@mail.ru

Статья поступила 25.11.2016 г.; после доработки 29.11.2016 г.

Аннотация

В статье рассматривается метод построения границ и области устойчивости цифровой системы автоматического регулирования, основанный на использовании критерия Гурвица и дробно-линейного преобразования. Получены аналитические зависимости для построения границ и области устойчивости систем первого, второго и третьего порядков. Выполнено построение границ и области устойчивости автоматической системы с ПИ-регулятором на плоскости параметров настройки.

Ключевые слова: граница устойчивости, область устойчивости, характеристический полином.

Creation of borders and area of stability digital system of automatic control

Yu.G. Dikusar¹, M.B. Suleimenova², V.D. Bogusheva³

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹dikusar@list.ru, ²miroslava13_03@mail.ru, ³bloodrain224@mail.ru

Received 25.11.2015 y.; received in final form 29.11.2016 y.

Abstract

In the article the method of constructing the boundaries of the field and the stability of the digital system of automatic control is based on using the Hurwitz criterion and linear fractional transformations of w . Analytical dependences for building borders and region of stability systems of the first, second and third order. Skill building borders and region of stability of the automatic system with PI on the plane adjustment parameters.

Keywords: border stability, area of stability, characteristic polynomial.

Введение

В процессе проектирования и расчета систем автоматического регулирования (САР) энергетических установок возникает необходимость исследования влияния параметров элементов на устойчивость системы.

Обычно задача ставится таким образом, что все параметры, кроме нескольких, заданы или фиксированы и требуется определить, при каких значениях этих изменяемых параметров САР будет устойчивой.

Для решения этой задачи служит построение границ и областей устойчивости, то

есть определение таких областей значений параметров, при которых система будет устойчивой [1-3].

Если изменяемых параметров два, граница и области устойчивости изображаются на плоскости. В случае, если САР в пространстве всех параметров элементов не имеет областей устойчивости, она является структурно-неустойчивой и необходимо изменить структурную схему системы.

Некоторые параметры автоматической системы с цифровым регулятором представляют собой числовые последовательности (дискретные сигналы). Это вызывает серьезные трудно-

сти при математическом описании и исследовании устойчивости цифровых систем.

Постановка цели научной работы

Задачами научного исследования является получение аналитических зависимостей и построения границ и областей устойчивости цифровой системы автоматического регулирования с помощью критерия Гурвица и дробно-линейного w -преобразования. Построение границ и областей устойчивости необходимо произвести на математической модели САР с цифровым ПИ-регулятором на плоскости параметров настройки регулятора.

Аналитические зависимости для построения границ и областей устойчивости цифровой системы автоматического регулирования

Для получения полной аналогии между распределением корней характеристического уравнения на комплексной плоскости аналоговой цифровой САР используется дробно-линейное (билинейное) w -преобразование

$$w = \frac{z-1}{z+1} \quad \text{или} \quad z = \frac{1+w}{1-w}.$$

С помощью w -преобразования можно перейти от z -характеристического полинома цифровой САР $D(z)$ к w -характеристическому полиному $D(w)$. Поэтому аналитические критерии устойчивости, например критерий Гурвица, в котором используются коэффициенты полинома функции $D(w)$, позволяют исследовать устойчивость исходной дискретной системы. Поскольку коэффициенты полинома числителя функции $D(w)$ есть известная функция коэффициентов исходного полинома $D(z)$, то условия, входящие в w -аналог критерия устойчивости Гурвица, могут быть выражены через коэффициенты исходного полинома $D(z)$, после чего он станет z -аналогом этого критерия.

Для систем первого порядка при $n=1$ z -характеристический полином имеет вид

$$D(z) = C_0 z + C_1.$$

Соответствующий w -характеристический полином

$$\begin{aligned} D(w) &= C_0 \frac{1+w}{1-w} + C_1 = \\ &= \frac{C_0 + C_0 w + C_1 - C_1 w}{1-w} = \\ &= \frac{(C_0 - C_1)w + (C_0 + C_1)}{1-w} = \frac{C'_0 w + C'_1}{1-w}, \end{aligned}$$

где $C'_0 = C_0 - C_1$; $C'_1 = C_0 + C_1$.

Согласно аналогу критерия Гурвица необходимым и достаточным условиями устойчивости цифровой САР являются неравенства

$$C'_0 > 0, C'_1 > 0.$$

Тогда для коэффициентов z -характеристического полинома условия устойчивости примут вид

$$\begin{cases} C_0 - C_1 > 0 \\ C_0 + C_1 > 0 \end{cases}$$

Для $n=2$ z -характеристический полином

$$D(z) = C_0 z^2 + C_1 z + C_2.$$

W -характеристический полином

$$\begin{aligned} D(w) &= C_0 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^2 + C_1 \left(\frac{1+w}{1-w} \right) + C_2 = \\ &= \frac{C_0(1+w)^2 + C_1(1+w)(1-w) + C_2(1-w)^2}{(1-w)^2} = \\ &= \frac{C_0(1+2w+w^2) + C_1(1-w^2) + C_2(1-2w+w^2)}{(1-w)^2} = \\ &= \frac{(C_0 - C_1 + C_2)w^2 + 2(C_0 - C_2)w + (C_0 + C_1 + C_2)}{(1-w)^2} = \\ &= \frac{C'_0 w^2 + C'_1 w + C'_2}{(1-w)^2}, \end{aligned}$$

где $C'_0 = C_0 - C_1 + C_2$; $C'_1 = C_0 - C_2$; $C'_2 = C_0 + C_1 + C_2$.

Условия устойчивости для коэффициентов z -характеристического полинома

$$\begin{cases} C_0 - C_1 + C_2 > 0 \\ C_0 - C_2 > 0 \\ C_0 + C_1 + C_2 > 0 \end{cases}$$

Для $n=3$ z -характеристический полином

$$D(z) = C_0 z^3 + C_1 z^2 + C_2 z + C_3.$$

W -характеристический полином

$$\begin{aligned} D(w) &= C_0 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^3 + C_1 \left(\frac{1+w}{1-w} \right)^2 + C_2 \left(\frac{1+w}{1-w} \right) + C_3 = \\ &= \frac{C_0(1+w)^3 + C_1(1+w)^2(1-w) + C_2(1+w)(1-w)^2 + C_3(1-w)^3}{(1-w)^3} = \\ &= \frac{C_0(1+3w+3w^2+w^3) + C_1(1+w-w^2-w^3)}{(1-w)^3} + \\ &+ \frac{C_2(w^3 - w^2 - w + 1) + C_3(1-3w+3w^2-w^3)}{(1-w)^3} = \\ &= \frac{(C_0 - C_1 + C_2 - C_3)w^3 + [3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2]w^2 +}{(1-w)^3} + \end{aligned}$$

$$+ \frac{[3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2]w + (C_0 + C_1 + C_2 + C_3)}{(1-w)^3} =$$

$$= \frac{C'_0 w^3 + C'_1 w^2 + C'_2 w + C'_3}{(1-w)^3},$$

где

$$C'_0 = C_0 - C_1 + C_2 - C_3;$$

$$C'_1 = 3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2;$$

$$C'_2 = 3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2;$$

$$C'_3 = C_0 + C_1 + C_2 + C_3.$$

Необходимые условия устойчивости для коэффициентов z-характеристического полинома

$$\begin{cases} C_0 - C_1 + C_2 - C_3 > 0 \\ 3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2 > 0 \\ 3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2 > 0 \\ C_0 + C_1 + C_2 + C_3 > 0 \end{cases}$$

Достаточное условие устойчивости

$$C'_1 \cdot C'_2 - C'_0 \cdot C'_3 > 0,$$

Тогда для коэффициентов z-характеристического полинома

$$\begin{aligned} & [3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2] \cdot [3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2] - \\ & - (C_0 - C_1 + C_2 - C_3)(C_0 + C_1 + C_2 + C_3) > 0; \\ & C_0(C_0 - C_2) - C_3(C_3 - C_1) > 0. \end{aligned}$$

Необходимые и достаточные условия устойчивости для коэффициентов z-характеристического полинома цифровой САР

$$\begin{cases} C_0 - C_1 + C_2 - C_3 > 0 \\ C_0 + C_1 + C_2 + C_3 > 0 \\ 3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2 > 0 \\ 3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2 > 0 \\ C_0(C_0 - C_2) - C_3(C_3 - C_1) > 0 \end{cases}$$

Полученные системы неравенств при замене в них знака неравенства на знак равенства соответствуют уравнениям границ устойчивости дискретной системы, а области, заключенные внутри границ, соответствуют областям устойчивости.

Математическая модель системы автоматического регулирования с цифровым регулятором

Для построения границ и областей устойчивости на основании полученных аналитических зависимостей рассмотрим САР с цифровым регулятором, структурная схема, которой представлена на рис.1.

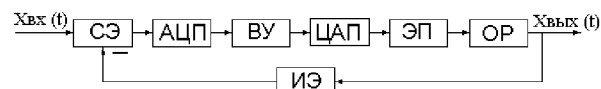


Рис.1. Структурная схема модели системы автоматического регулирования с цифровым регулятором.

В состав модели САР с цифровым регулятором входят: сравнивающий элемент (СЭ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), вычислительное устройство (ВУ), цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), электропривод (ЭП), измерительный элемент (ИЭ), объект регулирования (ОР).

Аналого-цифровой преобразователь представляется в виде идеального ключа (дискретизатора или простейшего импульсного элемента), способного мгновенно размыкаться и замыкаться с периодом T , генерируя на выходе последовательность импульсов типа δ -функций. Амплитуда импульсов при этом будет пропорциональна величине входного непрерывного сигнала в момент замыкания ключа. Передаточная функция АЦП

$$W_{АЦП}(S) = 1.$$

В вычислительном устройстве реализован заданный закон регулирования объектом и его передаточная функция равна передаточной функции закона регулирования

$$W_{ВУ}(S) = W_{ЗР}(S).$$

Цифро-аналоговый преобразователь представляется в виде формирующего элемента – экстраполятора нулевого порядка, который преобразовывает мгновенные импульсы на входе в последовательность прямоугольных импульсов на выходе. Передаточная функция экстраполятора нулевого порядка

$$W_{ФЭ}(S) = \frac{1 - e^{-TS}}{S}.$$

Передаточная функция электропривода и объекта регулирования

$$W_{ЭП}(S) = \frac{1}{T_1 S};$$

$$W_{ОР}(S) = \frac{k}{T_2 S + 1}.$$

Структурная схема с передаточными функциями математической модели САР с цифровым регулятором изображена на рис.2.

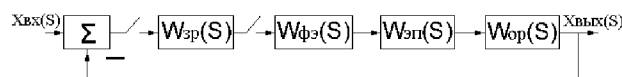


Рис.2. Структурная схема с передаточными функциями математической модели системы автоматического регулирования с цифровым регулятором.

Из структурной схемы с передаточными функциями (рис.2) z-передаточная функция ра-

замкнутой САР

$$\begin{aligned} W_{раз}(z) &= W_{3P}(z)z\{W_{\Phi\Delta}(S)W_{\Delta\Pi}(S)W_{OP}(S)\}= \\ &= W_{3P}(z)z\left\{\frac{1-e^{-TS}}{S}\cdot\frac{1}{T_1S}\cdot\frac{k}{T_2S+1}\right\}= \\ &= W_{3P}(z)z\cdot\frac{k_1}{T_1}\cdot\frac{z-1}{z}\cdot z\left\{\frac{1}{S^2(T^2S+1)}\right\}= \\ &= W_{3P}(z)z\cdot\frac{k_1}{T_1}\cdot\left(\frac{T}{z-1}-\frac{1-e^{-\frac{T}{T_2}}}{\frac{1}{T_2}(z-e^{-\frac{T}{T_2}})}\right). \end{aligned}$$

z-передаточная функция замкнутой САР

$$W_{зам}(z) = \frac{W_{раз}(z)}{1+W_{раз}(z)}.$$

Построение границ и областей устойчивости системы с цифровым ПИ-регулятором.

Вспомним построение границ и областей устойчивости системы с цифровым ПИ-регулятором. Z-передаточная функция ПИ-регулятора

$$W_{3P}^{ПИ}(z) = k_1 + k_2 \frac{z}{z-1} = \frac{k_1z - k_1 + k_2z}{z-1},$$

где k_1, k_2 – параметры настройки цифрового регулятора.

Зададимся значениями параметров элементов САР

$$T = 0,1; T_1 = 4; T_2 = 5; k = z.$$

Тогда z-передаточная функция разомкнутой САР

$$\begin{aligned} W_{раз}(z) &= \frac{k_1z - k_1 + k_2z}{z-1} \cdot 0,5 \left(\frac{0,1}{z-1} - \frac{0,1}{z-0,98} \right) = \\ &= \frac{0,001((k_1 + k_2)z - k_1)}{z^3 - 2,98z^2 + 2,96z - 0,98}. \end{aligned}$$

z-передаточная функция замкнутой САР

$$W_{зам}(z) = \frac{0,001((k_1 + k_2)z - k_1)}{z^3 - 2,98z^2 + 2,96z - 0,98 + 0,001((k_1 + k_2)z - k_1)}$$

z-характеристический полином САР

$$z^3 - 2,98z^2 + 2,96z - 0,98 + 0,001((k_1 + k_2)z - k_1)$$

Коэффициенты z-характеристического полинома

$$C_0 = 1;$$

$$C_1 = -2,98;$$

$$C_2 = 2,96 + 0,001(k_1 + k_2);$$

$$C_3 = -0,98 - 0,001k_1.$$

Рассмотрим условия устойчивости для ко-

эффициентов z-характеристического полинома

$$C_0 - C_1 + C_2 - C_3 > 0;$$

$$1) \quad 1 + 2,98 + 2,96 + 0,001(k_1 + k_2) + 0,98 + 0,001k_1 > 0;$$

$$7,92 + 0,002k_1 + 0,001k_2 > 0;$$

$$k_1 > 0; k_2 > 0.$$

$$C_0 + C_1 + C_2 + C_3 > 0;$$

$$2) \quad 1 - 2,98 + 2,96 + 0,001(k_1 + k_2) - 0,98 - 0,001k_1;$$

$$k_2 > 0.$$

$$3(C_0 + C_3) - C_1 - C_2 > 0$$

$$3) \quad 3(1 - 0,98 - 0,001k_1) + 2,98 - 2,96 - 0,001(k_1 + k_2) > 0;$$

$$0,08 - 0,004k_1 - 0,001k_2 > 0;$$

$$80 - 4k_1 > k_2.$$

$$3(C_0 - C_3) + C_1 - C_2 > 0$$

$$4) \quad 3(1 + 0,98 + 0,001k_1) - 2,98 - 2,96 - 0,001(k_1 + k_2) > 0;$$

$$2k_1 > k_2.$$

$$C_0(C_0 - C_2) - C_3(C_3 - C_1) > 0$$

$$5) \quad 1 - 2,96 - 0,001(k_1 + k_2) +$$

$$+ (0,98 + 0,001k_1)(-0,98 - 0,001k_1 + 2,98) > 0;$$

$$0,001k_1^2 + 0,02k_1 > k_2;$$

Поэтому граница устойчивости САР с цифровым регулятором определяется системой уравнений

$$\begin{cases} k_1 = 0; \\ k_2 = 0; \\ 80 - 4k_1 = k_2; \\ 2k_1 = k_2; \\ -0,001k_1^2 + 0,02k_1 = k_2, \end{cases} \quad (1)$$

А область устойчивости – системой неравенств

$$\begin{cases} k_1 > 0; \\ k_2 > 0; \\ 80 - 4k_1 > k_2; \\ 2k_1 > k_2; \\ 0,001k_1^2 + 0,02k_1 > k_2, \end{cases} \quad (2)$$

Граница и область устойчивости САР с цифровым регулятором на плоскость двух параметров k_1 и k_2 (параметры настройки регуляторов), построенная по системе уравнений (1) и системе неравенств (2), показана на рис.3.

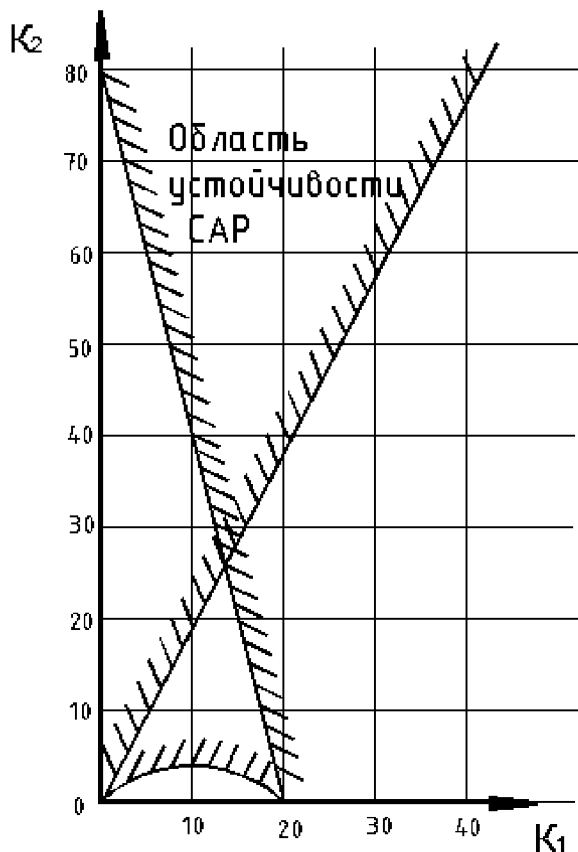


Рис.3. Граница и область устойчивости системы автоматического регулирования с цифровым регулятором.

Заключение

С помощью критерия Гурвица и дробно-линейного w -преобразования получены аналитические зависимости для построения границ и областей устойчивости цифровой САР первого, второго и третьего порядков.

Рассмотрена математическая модель САР с цифровым регулятором и экстраполятором нулевого порядка в виде структурной схемы с передаточными функциями.

Определены z -передаточные функции и z -характеристическое уравнение системы, построены граница и область устойчивости САР с цифровым ПИ-регулятором на плоскости параметров настройки регулятора.

Полученные графики позволяют выбрать значения параметров настройки, обеспечивающие устойчивость САР.

Список литературы

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления/В.А.Бесекерский, Е.П.Попов. – СПб.: Профессия, 2003. – 768 с.
2. Юревич Е.И. теория автоматического управле-

ния/Е.И.Юревич. - СПб.: БХВ-петербург, 2007. - 560 с.

3. Солодовников В.В. Микропроцессорные автоматические системы регулирования/ В.В.Солодовников, В.Г. Коньков, В.А.Суханов, О.В.Шевячев. - М: Высш.шк., 1991. -255 с.

References

1. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of systems of automatic control. - SPb.:Professiya, 2003, 768 p.
2. Yrevich E.I. Theory of automatic control.- SPb.:BHV-Peterburg, 2007, 560 p.
3. Konkov V.G., Solodovnikov V.V., Syhanov V.A., Shevyachev O.V Microprocessor automatic systems of regulation.-Moscow, 1991, 255 p.

УДК 621.039.56

Имитационное моделирование пространственного распределения энергии в активной зоне ядерных реакторов

С.А. Качур

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, kachur_62@mail.ru

Статья поступила 10.10.2016 г.; после доработки 14.10.2016 г.

Аннотация

Разработаны модели для имитационного моделирования тепловыделения в активной зоне больших ядерных реакторов. В основу моделей положено представление о распределении мощности как волновом процессе. Исходными данными для моделей являются результаты статистического метода диагностики деформации формы тепловыделения и параметры функции Бесселя

Ключевые слова: имитационное моделирование, модель, ядерный реактор, пространственное распределение, тепловыделение, статистические методы.

Simulation of Energy Spatial Distribution in Active Zone of Nuclear Reactors

S.A. Kachur

Sevastopol state university, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kachur_62@mail.ru

Received 10.10.2016 y.; received in final form 14.10.2016 y.

Abstract

Models for the simulation of heat rate in the active zone of large nuclear reactors are developed. The picture of distributing of energy as wave process is fixed in basis of models. For models the results of statistical method of diagnostics of deformation of form of heat rate are basic data and parameters of the Besselya function.

Keywords: simulation, model, nuclear reactor, spatial distribution, heat rate, statistical method.

Введение

Интенсивное развитие ядерной энергетики и стремление к увеличению единичной мощности ставят задачу безопасной, надежной и экономичной эксплуатации ядерных реакторов. Обеспечение «управляемости» процессов в ядерном реакторе и создание систем контроля, регулирования и защиты – важнейшие средства решения этой задачи [1].

Особенность ядерных реакторов – потенциальная возможность выделения огромной энергии за чрезвычайно малые промежутки времени. Такие аварийные режимы работы ядерного реактора

сопровождаются резким возрастанием интенсивности ионизирующих излучений [1,2].

Большие размеры активной зоны усложняют контроль и регулирование распределения плотности потока нейтронов и, следовательно, контроль и регулирование распределения мощности по объему активной зоны.

Процессы, происходящие в ядерном реакторе, являются пространственно распределенными и не поддаются точному расчету. Несмотря на использование вычислительной техники [1], невозможно избежать упрощений при математическом описании процессов в реакторе. Проблему аналитического исследования устой-

чивости решения нелинейных систем общего вида нельзя считать полностью решенной.

В больших реакторах в результате переходных процессов наряду с изменениями полной мощности могут возникать деформации распределения мощности по объему активной зоны. Известно, что распределение тепловыделения по высоте активной зоны следует закону синуса, а в радиальном направлении изменяется по функции Бесселя [3].

В настоящее время не существует быстродействующих аналитических моделей, дающих возможность прогнозировать кризис теплообмена, связанный с деформацией поля энерговыделения в активных зонах больших реакторов. Поэтому целесообразна разработка имитационных моделей, позволяющих в результате моделирования определить тенденцию развития теплофизического процесса, приводящего к кризису теплообмена.

Скорость физических процессов в активной зоне ядерного реактора определяет требования к простоте модели и ее адекватности в разумных пределах. Использование картограмм тепло- и энерговыделения не решают в полной мере проблему своевременного принятия решения при аварийных ситуациях. Визуализация результатов моделирования также является актуальной задачей.

Изменение динамических свойств реактора по мере изменения уровня мощности позволяют использовать различные модели реактора как объекта управления.

Предлагается совместное применение статистических методов обработки информации, полученной от систем внутриреакторного контроля, метода гармоник и имитационных моделей для выявления на ранних стадиях изменения формы поля тепловыделения. Данная статья является продолжением исследований, начатых в работе [4].

Постановка цели и задач научного исследования

Цель исследования – создание имитационных моделей, которые используются совместно со статистическими методами, для моделирования процессов тепловыделения в активных зонах больших ядерных реакторов.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1) определить способ применения статистических методов диагностики деформации форм тепловыделения в имитационных моделях;

2) разработать простые модели описания формы тепловыделения в активной зоне ядерного реактора;

3) провести имитационное моделирование на основе предложенных моделей и статистических методов диагностики.

Модели и моделирование деформации тепловыделения в активной зоне реактора

В работе [4] предложен статистический метод диагностики пространственного распределения энергии в активной зоне для больших ядерных реакторов типа ВВЭР. При использовании данного метода определяются на основе текущей информации СВРК параметры деформации поля энерговыделения в активной зоне.

Метод основывается на разбиении в радиальном направлении активной зоны на две области, а именно, центральную М1 с радиусом $1/3$ от радиуса зоны и периферийную область М2, лежащую за пределами области М1. Для каждой из областей определяют размах значений параметров, позволяющих прогнозировать кризис теплообмена. К таким параметрам относятся температура теплоносителя на выходе из технологических каналов и энерговыделение твэлов.

Отношение размаха одноименных параметров теплообмена для областей М1 и М2 задает коэффициент деформации соответствующего поля. В качестве эталона формы определена функция косинуса, которая задает допустимые пределы изменения коэффициентов деформации.

Для имитации процесса тепловыделения рассматривается температурный режим с коэффициентом деформации поля k_0 . Процессы изменения тепловыделения в активных зонах больших реакторов являются волновыми. Гармоники, описывающие такие волновые процессы, могут быть заданы параметрами функции Бесселя, а именно, нулями и амплитудами гармоник этой функции [1, 5].

В работе [5] представлены результаты моделирования в программной среде MATLAB функции Бесселя первого рода. Для нулевой и первых трех гармоник определены нули функции Бесселя $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и амплитуды $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что для всех приведенных гармоник, кроме нулевой гармоники, которые не являются исключением среди гармо-

ник более высокого порядка, полупериод с учетом угла (π рад) составляет $T=\pi[\text{рад}\cdot\text{с}]$.

Таблица 1. Результаты математического моделирования функции Бесселя

№ гармоники	Амплитуда гармоники (β_i)	Нули функции (α_i)
0	1	2,38
1	0,4	5,52
2	0,3	8,64
3	0,25	11,77

Для нулевой гармоники $T=3\pi/2[\text{рад}\cdot\text{с}]$. Зависимость значений амплитуд гармоник $\beta=\{1; 0,4; 0,3; 0,25\}$ относительно координат нулей функции является нелинейной.

Поэтому необходимо произвести нормирование амплитуды первой гармоники относительно величины ее полупериода. В результате нормирования получим значение:

$$\beta_0' = 2\beta_0/3 = 0,66 [5].$$

Данные таблицы будут ниже использованы при имитации деформаций поля тепловыделения в активной зоне реактора.

Для коррекции формы поля тепловыделения, полученного в результате имитации на основе гармоник, заданных параметрами функции Бесселя, используется следующий коэффициент

$$k_0 = \frac{T_{\max}^{(M1)} - T_{\min}^{(M1)}}{T_{\max}^{(M2)} - T_{\min}^{(M2)}}, \quad (1)$$

где k_0 – коэффициента формы тепловыделения;

$T_{\max}^{(M1)}$, $T_{\min}^{(M1)}$ – максимальная и минимальная температура теплоносителя на выходе для области M1;

$T_{\max}^{(M2)}$, $T_{\min}^{(M2)}$ – максимальная и минимальная температура теплоносителя на выходе для области M2.

Появление гармоники более высокого порядка определяется величиной k_0 , которая зависит от превышения тепловой мощности реактора относительно номинального.

Существенное влияние на процесс теплообмена оказывает первая гармоника, которая либо вызывает уменьшение ($pr=\langle - \rangle$) нейтронного потока в области M1 и усиление его в области M2, либо приводит к усилению ($pr=\langle + \rangle$) нейтронного потока в области M1 и соответственно его ослаблению в M2.

Поскольку разработка аналитической модели для подобных процессов затруднительна, получена имитационная модель деформации тепловыделения,

описанная с использованием программных средств среды MATLAB.

Предлагаются следующие зависимости для определения формы тепловыделения в активной зоне с учетом влияния i -й гармоники

$$Z(x, y) = z_0(x, y) + \sum_{i=1}^l z_i(x, y), \quad (2)$$

$$z_i(x, y) = \sin(r_i(x, y)) / r_i(x, y), \quad i = \overline{0, l},$$

$$r_0(x, y) = \frac{2}{3} \sqrt{\cos^2 x + \sin^2 y},$$

$$r_j(x, y) = \beta_j \sqrt{x^2 + y^2} + (1 + k_0) \alpha_{j-1},$$

$$j = \overline{1, l},$$

где Z – суммарная координата поверхности поля по высоте; x, y, z – координаты поверхности поля, создаваемого гармоникой;

α – нуль функции Бесселя;

β – амплитуда гармоники функции Бесселя;

k_0 – экспериментальный коэффициент формы поля, рассчитанный на основе статистических данных по формуле (1).

Фрагмент программы, учитывающей влияние первой гармоники с параметрами, определенными в таблице, при значении $k_0=0.7$ и радиусе активной зоны 15ед., приведен ниже.

Первая имитационная модель.

% сумма гармоник (pr= $\langle - \rangle$ 1) %

figure(1),

n=30;

k=0.7;

[X,Y]=meshgrid([-n:0.1:n]);

R0=0.66*sqrt(cos(X).^2+sin(Y).^2);

Z0=sin(R0)/R0;

R1=0.4*sqrt(X.^2+Y.^2)+2.38*(1+k);

Z1=sin(R1)/R1;

Z=Z0-Z1;

meshc(X,Y,Z);

% сумма гармоник (pr= $\langle + \rangle$ 1)%

figure(2),

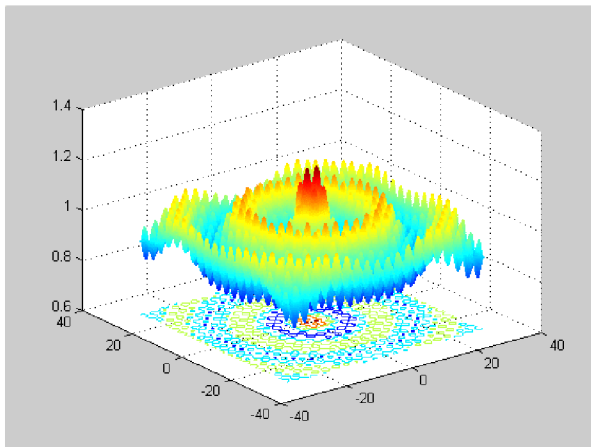
Z=Z0+Z1;

meshc(X,Y,Z);

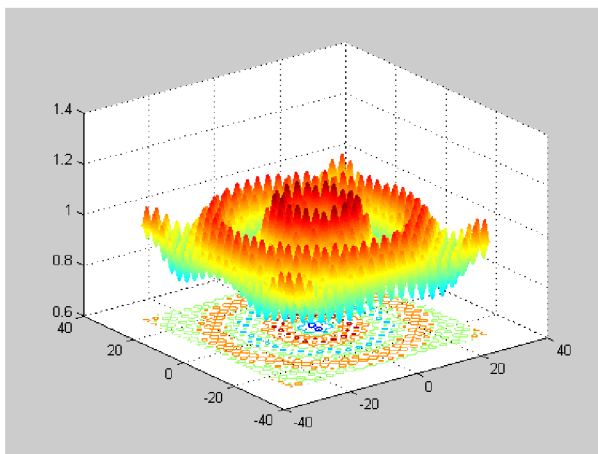
Результатом работы программы является нормированное распределение энергии по активной зоне относительно номинальной мощности. То есть для получения распределения реального тепловыделения по активной зоне на основе данной модели необходимо умножить результирующую функцию Z на величину номинальной мощности и выполнить приведение масштаба X, Y к реальным размерам активной зоны.

На рис. 1 представлены результаты имитационного моделирования для различных вариантов вли-

яния первой гармоники при отсутствии искривления поля энерговыделения.



а)



б)

Рис. 1. Результаты имитационного моделирования распределения мощности в активной зоне при наличии первой гармоники для случаев:
а – $pr = \langle - \rangle$, $k_0 = 0.7$; б – $pr = \langle + \rangle$, $k_0 = 0.7$.

Далее приведена имитационная модель, учитывающая влияние первой, второй и третьей гармоник при $k_0 = 1.4$. Результаты ее работы представлены на рис.2.

Вторая имитационная модель.

% сумма гармоник ($pr = \langle - \rangle$ 1)%

figure(3),

n=30;

k=1.4;

[X,Y]=meshgrid([-n:0.1:n]);

$R0 = 0.66 * \sqrt{\cos(X)^2 + \sin(Y)^2}$;

$Z0 = \sin(R0)/R0$;

$R1 = 0.4 * \sqrt{X.^2 + Y.^2} + 2.38 * (1+k)$;

$Z1 = \sin(R1)/R1$;

$R2 = 0.3 * \sqrt{X.^2 + Y.^2} + 5.52 * (1+k)$;

$Z2 = \sin(R2)/R2$;

$R3 = 0.25 * \sqrt{X.^2 + Y.^2} + 8.64 * (1+k)$;

$Z3 = \sin(R3)/R3$;

$Z = Z0 - Z1 + Z2 - Z3$;

meshc(X,Y,Z);

% сумма гармоник ($pr = \langle + \rangle$ 1)%

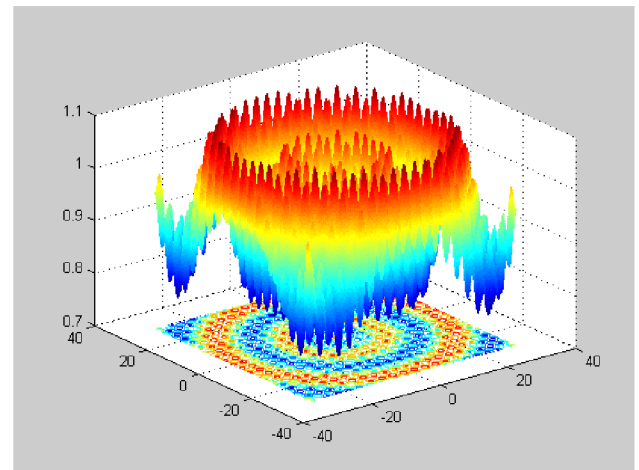
figure(4),

$Z = Z0 + Z1 - Z2 + Z3$;

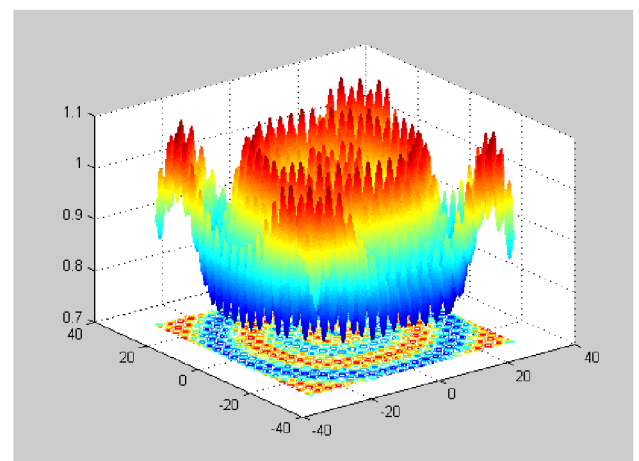
meshc(X,Y,Z);

Анализируя рис. 2, можно сделать заключение, что подобная ситуация является гипотетической, поскольку на практике в этом случае кризис теплообмена уже имеет место.

Серьезную опасность представляет появление второй гармоники в волновом процессе теплового деления. Рассмотрение этого варианта возможно с помощью второй имитационной модели, исключив при этом последнее слагаемое $Z3$ из выражения для Z . Результат моделирования для разных значений коэффициента деформации формы представлен на рис. 3.

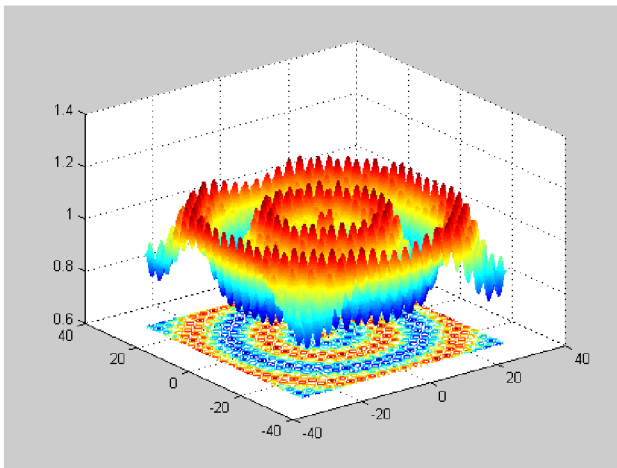


а)

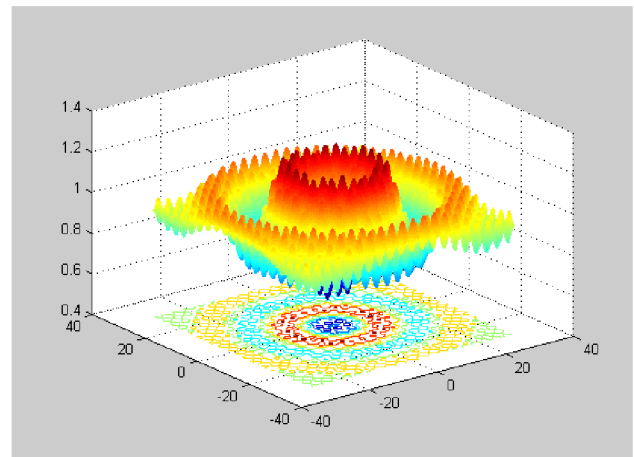


б)

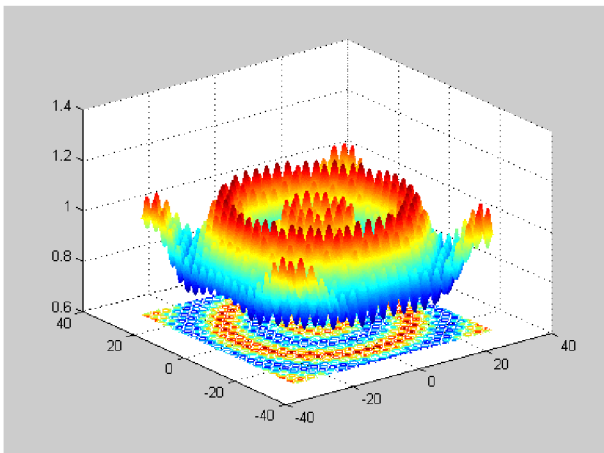
Рис. 2. Результаты имитационного моделирования распределения мощности в активной зоне при наличии второй и третьей гармоник:
а – $pr = \langle - \rangle$; б – $pr = \langle + \rangle$.



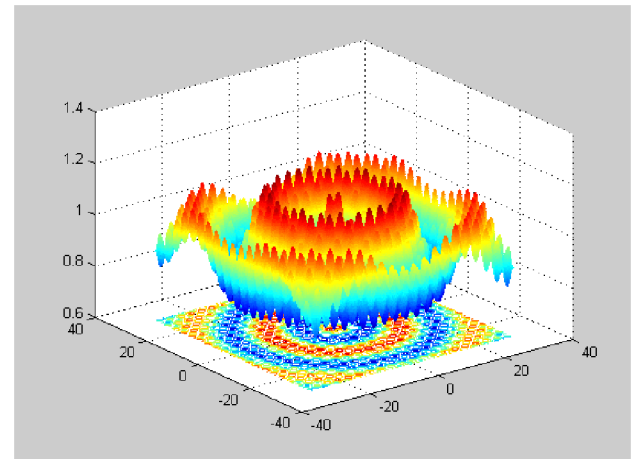
а)



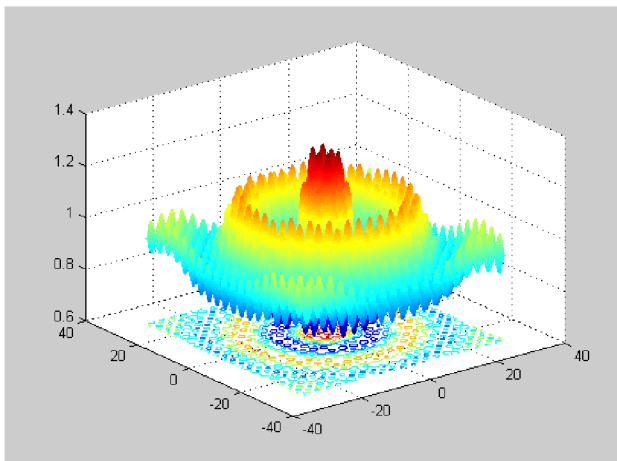
г)



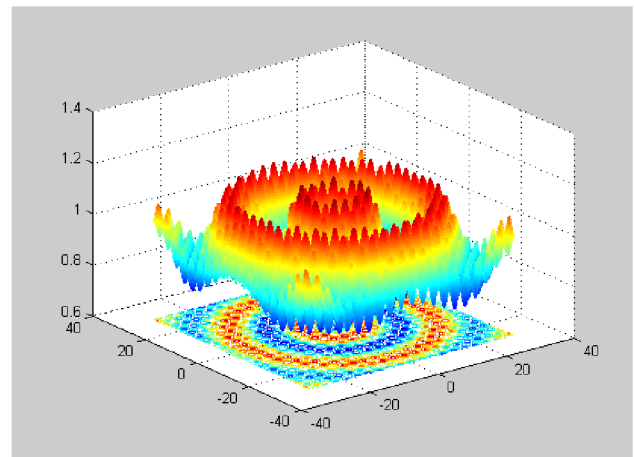
б)



д)



в)



е)

Рис. 3. Результаты имитационного моделирования распределения мощности в активной зоне при наличии второй гармоники:
а – $pr = \langle - \rangle$, $k_0 = 1$; б – $pr = \langle + \rangle$, $k_0 = 1$; в – $pr = \langle - \rangle$, $k_0 = 0.36$; г – $pr = \langle + \rangle$, $k_0 = 0.36$; д – $pr = \langle - \rangle$, $k_0 = 0.8$; е – $pr = \langle + \rangle$, $k_0 = 0.8$.

Разработанные имитационные модели могут быть применены для усовершенствования существующих СВРК с целью получения дополнительной визуальной информации для своевременного принятия решения, а так же использованы в системах тренинга операторов АЭС.

При использовании в качестве k_0 коэффициента деформации распределения нейтронной мощности [4] предложенные имитационные модели могут описывать поле энерговыделения. Поскольку соотношение нейтронной и тепловой мощностей через коэффициенты деформации может быть описано как осциллятор, причем тепловая мощность равна или превышает нейтронную, то при прогнозировании аварийных ситуаций достаточно проводить анализ формы поля тепловыделения.

Выбор имитационной модели определяется значением коэффициента деформации. Если коэффициент удовлетворяет следующим ограничениям [4]

$$0,414 \leq k_0 \leq 0,707,$$

то применяется первая модель, в противном случае используется вторая модель без учета третьей гармоники.

Полученные в результате имитационного моделирования распределение энергии в радиальном направлении согласуются с картограммами аварийных ситуаций, которые были проанализированы в [4].

Заключение

Разработаны простые имитационные модели, описывающие пространственное тепловыделение в активной зоне больших ядерных реакторов типа ВВЭР. В основу моделей положено представление о распределении мощности в активной зоне как волновом процессе.

Исходными данными для построения предложенных моделей являются результаты статистического метода диагностики деформации формы энерго- и тепловыделения и параметры гармоник функции Бесселя. Предложена графическая форма визуализации результатов моделирования.

Определен принцип выбора имитационной модели. Проведено имитационное моделирование для различных вариантов аварийных ситуаций, приводящих к кризису теплообмена.

Результаты исследования определяют новые возможности для развития систем контроля и управления АЭС с ядерными реакторами типа ВВЭР, а также позволяют усовершенствовать системы тренинга операторов АЭС.

Список литературы

1. Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В. Научно-технические основы управления ядерными реакторами. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360с.
2. Бахметьев А.М., Самойлов О.Б., Усынов А.М. Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ. – М.: Энергоиздат, 1988. – 136с.
3. Крамер Э.У. Ядерные реакторы с кипящей водой. – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1960. – 509с.
4. Качур С.А. Статистический метод диагностики пространственного распределения энергии в активной зоне ядерного реактора/ С.А. Качур, Е.М. Кошевская // Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ СевГУ, 2016. – Т.2. – №2. – С. 15-20 .
5. Качур С.А. Исследование управляемости ядерного реактора на основе анализа функции Бесселя/ С.А. Качур // Сб.науч.тр.СНУЯЭиП – Вып.2(46). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013. – С.36-45.

References

1. Emelyanov I.Ya., Efanov A.I., Konstantsnov L.V. *Nauchno-tehnicheskie osnovi upravleniya yadernimi reaktorami* [Scientific and technical control bases by nuclear reactors]. Moscow, Energoizdat, 1981, 360 p.
2. Bahmetev A.M., Samoylov O.B., Usinov A.M. *Metodi ochenki i obespecheniya bezopastnosti YaEU* [Methods of estimation and providing of the NPE safety]. Moscow, Energoizdat, 1988, 136 p.
3. Kramer E. Y. *Yadernie reaktori s kipyashey vodoy* [Nuclear reactors with boiling water]. Moscow, Izvo inostr. lit-ri, 1960, 509 p.
4. Kachur S.A., E.M. Koshevskya *Diagnostics Statistical Method of Energy Spatial Distribution in Active Zone of Nuclear Reactor Energeticheskie ustanovki i tekhnologii.* 2016, Vol. 2, No 2, pp. 15-20.
5. Kachur S.A. *Research of dirigibility of nuclear reactor on the basis of analysis of the Bessel function. Sb. nauch. tr. SNUYaE i P, Sevastopol, SNUYaE i P,* 2013, No. 2(46), pp. 36-45.

УДК 621.31.004.07

Пути превращения материи с целью создания волновой квантовой энергии

В.А. Коваль¹, С.Т. Мирошниченко², И.Ю. Софийский³, Н.В. Урикова⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹V.A.Koval@sevsu.ru ²miroshnichenkost@gmail.com, ³tdsev@yandex.ru,

Статья поступила 20.10.2016 г.; после доработки 25.10.2016 г.

Аннотация

Рассматриваются некоторые современные гипотезы возникновения и превращения материи и энергии на углубленном квантовом уровне.

Ключевые слова: энергии, материя, вакуум, уровни реальности, космология, вибрации, кванты.

Ways of Transformation of a Matter for the Purpose of Creation of Wave Quantum Energy

V.A. Koval¹, S.T.Miroshnichenko², I.J.Sofijsky³, N.V. Urikova⁴

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.

¹V.A.Koval@sevsu.ru, ²miroshnichenkost@gmail.com, ³tdsev@yandex.ru, Nadejda77777@yandex.ru,

Received 20.10.2016 y.; received in final form 25.10.2016 y.

Abstract

Some modern hypotheses of occurrence and transformation of a matter and energy at profound quantum level are considered.

Keywords: Energy, matter, vacuum, reality levels, cosmology, vibrations, quanta.

Введение

Каноническое определение физического, или квантового, вакуума гласит: это есть низшее энергетическое состояние квантованных полей, характеризующееся полным отсутствием реальных материальных частиц. В силу этого в физическом вакууме все квантовые числа, относящиеся к таким частицам (масса, импульс, электрический заряд и др.), равны нулю. В то же время квантовый вакуум нельзя считать абсолютной пустотой: из-за виртуальных процессов он способен создавать и взаимодействовать с миром реальных частиц. Поскольку эти виртуальные процессы, определяемые квантовым соотношением неопределенностей Гейзенберга, отличаются значительным разнообразием, теории говорят о многообразии разновидностей

физического вакуума - фермионном, бозонном, хиггсовском и др.

В физическом вакууме действительно не происходят энтропийные процессы, которые характеризуются ходом времени, но он буквально кипит, в нем постоянно происходят квантовые флуктуации. Считается, что энергия, необходимая для существования виртуальных частиц, берется из "ничего". Но такая позиция не может считаться вполне удовлетворительной. Раз мы знаем о заимствовании энергии, мы должны поинтересоваться, откуда она берется. Невозможно получить что-то из ничего. Поэтому за пределами вакуума должно быть НЕЧТО, рождающее виртуальные частицы, НЕЧТО, откуда берется энергия, необходимая для рождения, и куда она возвращается. Это НЕЧТО лежит вне пределов физической реальности, то есть представляет

собой состояние материи, неопределяемое современными физическими теориями. Значит, вакуум можно определить, как пограничное состояние материи, отделяющее физическую реальность от того мира, который лежит за ее пределами. Но за пределами физического мира начинается область тонких миров и тонких энергий.

Постановка цели и задач работы

Цель данной работы - показать современные представления о сущности материи и путях формирования волновой квантовой энергии.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- раскрыть возможности физического вакуума;
- показать уровни реальности человеческого познания;
- изучить пути взаимного превращения энергии;
- проанализировать возможности углубленной квантовой физики.

Однако, современной науке неизвестно, как, каким образом, по каким программам из этих тонких миров и энергий образуются элементарные частицы, поля, вещество, материя и те энергии, которые мы открываем и пользуемся ими не одно столетие. Каковы фундаментальные кирпичики («первичные элементы»), использованные для постройки нашего мира и какие силы связывают их и приводят в движение? В разные времена на эти вопросы поступали разные ответы. Рассмотрим коротко несколько современных гипотез, касающихся путей этих преобразований.

Сейчас такими первичными, фундаментальными объектами физики предлагают считать лептоны и кварки. Но, как постоянно выясняется, они тоже далеко не являются первичными элементами.

Академики Шипов Г.И. и Акимов А.Е. предложили «новую теорию физического вакуума». Их теория торсионных полей выделяет семь уровней реальности [2]:

- 1) твердые тела;
- 2) жидкости;
- 3) газы;
- 4) плазма (элементарные частицы);
- 5) физический вакуум;
- 6) первичные торсионные поля;
- 7) Абсолютное "Ничто".

Физика разделяет Материю вообще на вещество, - это первые четыре уровня реальности по Г. И. Шипову, и поля - это 5, 6 и 7-й уровни реальности (Уровни "Субъективной физики"). В действительности эти три уровня являются с физической точки зрения более широкой категорией, чем поля. Так, физический вакуум (5-й уровень реальности) является самостоятельной категорией материи, хотя в определенных поляризованных состояниях он проявляет себя как универсальные поля — электромагнитное, гравитационное и торсионное. В данном случае имеется в виду торсионное поле, порождаемое вращением вещества, - спином на квантовом уровне или вращением массивных тел.

Возможности физического вакуума

Существуют теоретические и экспериментальные основания считать, что торсионные поля на уровне вещества и первичные торсионные поля являются физической основой Сознания, Мышления и Памяти.

Особый интерес представляет иерархия уровней реальности Субъективной физики. Абсолютное "Ничто" порождает первичное торсионное поле, первичное торсионное поле задаёт матрицу и порождает Физический Вакуум, в свою очередь порождающий элементарные частицы, из которых возникают атомы, составляющие основу мира вещества.

Если три уровня субъективной физики: Абсолютное "Ничто", первичное торсионное поле и Физический Вакуум рассматривать как обобщенное понятие Физического Вакуума, то следует признать, что Физический Вакуум в этом смысле является источником ВСЕГО. Если Абсолютное "Ничто" порождает первичное торсионное поле, то Абсолютное "Ничто" задает некий ПЛАН, физические законы, которые определяют его функционирование. Если первичное торсионное поле порождает Физический Вакуум, то оно задает физические законы, которые определяют его функционирование. Аналогично, Физический Вакуум определяет физические законы плазмы и мира вещества.

Следующая гипотеза касается космологии – возникновения Вселенных из флуктуирующего вакуума. До недавнего времени считалось, что галактики собраны в скопления; что скопления и сверхскопления галактик образуют крупномасштабную ячеистую структуру, что-то вроде гигантских пчелиных сот с размером ребра порядка 100 мегапарсек. Стенки ячеек образованы сверхскоплениями галактик, а внутри ячеек га-

лактик почти нет. На пересечении ячеек располагаются длинные волокна толщиной около 10 Мпк, представляющие собой наиболее мощные сверхскопления, а в вершинах ячеистой структуры располагаются самые крупные, богатые скопления галактик. Но на этом построение иерархической системы структур *заканчивается*. Ячеистая структура не собирается в более крупные образования, а равномерно заполняет пространство Метагалактики, так что средняя плотность вещества в масштабах ячейки остается одинаковой всюду в наблюдаемой области Вселенной и во Вселенной в целом. Однородность Вселенной в больших масштабах — это ее важнейшее свойство [5,6].

К концу XX века эта картина претерпела радикальные изменения. Оказалось, что Вселенная возникает из флуктуирующего вакуума, заполняющего всё бесконечное пространство. Причем из этой «вакуумной пены» рождается не одна, а множество мини-вселенных, образующих Большую Вселенную, которая существует вечно. Таким образом, современная космология пришла к картине Космоса, в которой наша Вселенная является одной из многих (скорее всего, бесконечного числа) вселенных, возникающих из вакуумно-подобного состояния. Это возвращает нас (конечно, на совершенно новом уровне) к представлениям древних философов о существовании бесконечного в пространстве и вечного во времени Универсума, в котором рождается множество миров-вселенных.

Более того, космология все более и более определенно приходит к представлению о *многомерности* Пространства, из которого возникают вселенные. Без введения дополнительных пространственных измерений, в рамках трехмерного мира, невозможно добиться объединения всех четырех физических взаимодействий в одну универсальную силу, действующую на самых ранних этапах возникновения вселенных. В *теории суперструн* число дополнительных пространственных измерений равно шести, то есть мы имеем девятимерное пространство или десятимерный пространственно-временной мир. Этот мир предшествует рождению нашей Вселенной. Когда она возникает из непроявленного состояния, дополнительные пространственные измерения свертываются, то есть их размер становится очень малым (физики называют этот процесс *компактификацией*). Протяженность свернутых измерений оценивается в пределах от 10^{-33} до 10^{-17} см, так что мы не можем их ни ощутить, ни измерить с помощью известных нам органов чувств и физических приборов. Все эти

новые представления открывают путь для проникновения в иные планы Бытия, в миры иных измерений, миры более тонких материй и энергий, лежащие за пределами физической плазмы и физического вакуума [4].

Уровни реальности познания

Вышеприведенные гипотезы хорошо известны в современной физике и космологии. Однако, есть и другие, имеющие право на существование, но пока не получившие широкого научного признания. Приведем некоторые из них.

Космические легенды Востока повествуют о том, что в начале Цикла Абсолют - Единый Элемент - эманерирует из себя двуначальную Энергию а сам остается неизменным. Луч Абсолюта (Дух, Огонь), касаясь Прегенетической Субстанции, образует Первичную Огненную Субстанцию – Духоматерию – Матерь Проявленного Мира. Вселенная или Материя безграничны в направлении четвертого измерения. Согласно Восточной философии, Первичная Материя, или *Materia Matrix* (Матерь Мира – Мулапракрити, Акаша), лежащая в основании вселенной, первоначальный проводник (или вместилище, Упадхи) Духа и есть Душа Мира – *Anima Mundi* – Алая)..

Она слоиста, каждый нижележащий слой будет материей по отношению к вышележащему слою и каждый вышележащий слой будет духом, т.е энергией, по отношению к нижележащему. Необходимо осознать Огненную Субстанцию как самый Высший Слой Единой Материи, который проникает все нижележащие слои. Он является основанием всех этих слоев. В то время, как ни один нижележащий слой не может проникнуть в вышележащие слои. Все нижележащие слои являются дифференциациями Первичной Огненной Субстанции.

Так, согласно Восточной Мудрости, Матерь Мира является Единым Началом ВСЕГО. Теоретически, Она – Душа Мира, за Которой еще находится ТО – Неизвестный, Неведомый Дух, но, практически, Она является Душою и Духом Мира – его Единым Высшим Началом, из которой путем дифференциации возникают все планы Бытия (путем сочетания дифференцированных частиц) все формы Проявленного Мира. Всё это – стадии дифференциации Духоматерии. В Проявленном Мире существует только Духоматерия в ее различных стадиях. После этапа дифференциации (во второй половине Цикла) начинается этап интеграции – собирание дифференцированных частиц, элементов, планов – возвращение их

в состояние всеединства, в состояние Первичной Огненной Субстанции, из которой они изошли.

Восточная философия признает семь Космических Элементов - четыре вполне физических и пятый (эфир) полуматериальный... Остальные два пока абсолютно вне человеческого познания. Эти семь Элементов с их бесчисленными суб-элементами, гораздо более многочисленными, нежели это известно науке, *являются просто условными изменениями и аспектами единого элемента*» [1].

Тут просматривается очевидная параллель с физикой микромира, когда частицы, различные при низких энергиях, при высоких энергиях оказываются на самом деле одной и той же частицей, но находящейся в разных состояниях. А на следующем, тонком уровне реальности, — при качественном скачке нашего восприятия! — очевидно, снова можно ожидать бесчисленного разнообразия элементов, которые, опять же, при дальнейшем углублении предстанут как вариации некоего единого элемента *очередного*, еще более высокого уровня и так далее.

Таким образом, углубляясь в материю, мы приближается к следующему, более высокому уровню реальности и фактически *сейчас уже подошли к пограничной области, где проявляют себя два соседних уровня реальности - привычный нам физический и следующий, «тонкий»*. Это явственно обнаруживается и в парадоксах квантовой механики, и в «виртуальном» (потенциальном) бытии частиц, и в радикальном разрушении привычных понятий о материи и энергии, времени и пространстве и т.д. А поскольку на этом уровне наши познавательные механизмы начинают «отказываться», мы вынуждены брести почти вслепую, так как этот уровень слишком «тонок», неуловим для наших механизмов восприятия и крайне сложен для осмысления нашим разумом.

Сразу же отметим, что своими прозрениями многие выдающиеся ученые обязаны *опережающе развившимся* (хотя бы отчасти) *новым способностям познания, элементам трансцендентного опыта*.

Пути взаимного превращения материи и энергии

Далее рассмотрим некоторые превращения материи в энергию и обратно, имеющиеся в традициях народов Европы [2]. В имеющихся источниках, в частности, говорится, что с помощью абсолютного гравитационного центра Высший Разум осуществляет космическое свер-

хуправление физическим уровнем во всем пространстве Вселенной. Фундамент Вселенной материален в том смысле, что основой всего бытия является Первичная Энергия Творца, поэтому вся материя является духоматерией. Как вселенский феномен, вещество – или энергия, ибо они являются всего лишь различными проявлениями одной и той же космической реальности, – заключены во Всеобщем Отце. «Всё существует в нем». Может казаться, что вещество обнаруживает внутреннюю энергию и демонстрирует собственную силу, но все эти физические явления связаны с энергией, которая предполагает наличие происходящих от Отца и зависящих от него гравитационных линий и полей.

После множества предварительных действий Руководителей Вселенной появляется определенная энергия, реагирующая на гравитацию, которая несет в себе потенциал вселенской энергии и становится активной предшественницей всего вселенского вещества. Эта вторичная, или гравитационная, энергия является продуктом эволюции энергии в результате «сдавливающего присутствия Вспомогательных Трансцендентальных Главных Организаторов Сил». В ответ на действия этих силовых управляющих, пространственная энергия быстро переходит из силовой в гравитационную стадию. Тем самым она начинает реагировать непосредственно на круговую первичную гравитации и одновременно обнаруживает некоторую ответную реакцию на воздействие линейной гравитации, присущей появляющейся вскоре материальной массе электронной и постэлектронной стадий энергии и вещества. С появлением реакции на гравитацию, Объединенные Главные Организаторы Сил могут покинуть энергетические циклоны пространства, если существует возможность назначать в эту область деятельности их Заместителей - Управляющих Вселенской Энергией.

Свет, теплота, электричество, магнетизм, химизм, энергия и вещество – по своему происхождению, природе и предназначению – суть одно и то же, равно как и другие вещественные реальности, пока не открытые современной наукой.

Физическая энергия может подвергаться бесчисленным изменениям. В одной из вселенных она проявляется в виде света, в другой – света и тепла, в третьей – в виде неизвестных нам форм энергии.

Через многие миллионы лет она может вновь появиться в виде радиоактивности, или нарастающей электрической энергии или магнетизма; а еще позже, в какой-то из последующих вселенных, она может снова стать одной из

форм изменчивого вещества, которое, претерпев ряд превращений, исчезает внешне, физически в одном из великих катаклизмов. А затем, по прошествии бесчисленных эпох и бесконечных скитаний по бесчисленным вселенным, та же энергия может проявиться вновь, неоднократно изменяя свою форму и потенциал.

И так продолжают эти видоизменения на протяжении сменяющихся эпох в неисчислимых мирах. Так вещество неуклонно движется вперед, эволюционирует, претерпевая превращения во времени, однако неизменно обращаясь по кругу вечности. Даже если в течение длительного времени что-то препятствует возвращению вещества к своему источнику, оно неизменно реагирует на него и продолжает свой путь, предопределенный пославшей его Бесконечной Личностью.

Энергетические Центры и их партнеры - Физические Регуляторы - контролируют и соединяют энергию благодаря умелому обращению с основными единицами овеществленной энергии – первичными элементами. Они распоряжаются энергией, циркулирующей в этом первичном состоянии.

Они способны эффективно контролировать и направлять энергию даже после того, как она переходит на электрический уровень, – в электронную стадию. Но масштаб их действий чрезвычайно сужается, когда электронно-организованная энергия попадает в водовороты атомных систем. После подобного овеществления эти энергии оказываются в полной зависимости от силы притяжения, создаваемой линейной гравитацией...

Гравитация оказывает позитивное воздействие на силовые трассы и энергетические каналы Энергетических Центров и Физических Регуляторов, но эти существа обладают только отрицательным отношением к гравитации, что является проявлением их антигравитационных свойств...

По всему пространству холод и прочие факторы участвуют в созидательной трансформации в электроны. Теплота является мерой электронной активности, в то время как холод просто означает отсутствие теплоты, относительный энергетический покой – статус всеобщего силового заряда пространства в случае, если бы ни возникающая энергия, ни организованное вещество не присутствовали и не реагировали на гравитацию...

Температура является вторым по значению фактором (после гравитации) в области эволюции энергии и вещества, уступая только гравитации. Первичные элементы послушно подчи-

няются экстремальным температурам. Низкие температуры благоприятны для некоторых форм электронного строительства и атомной сборки, в то время как высокие температуры упрощают всевозможные расщепления атомов и дезинтеграцию вещества.

Высокая температура солнца способна преодолеть гравитационную устойчивость, но не в состоянии вновь превратить элементы в силовую энергию.

Раскаленные солнца могут преобразовывать вещество в различные виды энергии, в то время как всё космическое пространство способно замедлять элементную и электронную активность до стадии превращения этих энергий в то вещество, из которого созданы миры.

Некоторые электронные ассоциации закрытого типа, равно как и многие из ассоциаций ядерного вещества, образуются при чрезвычайно низких температурах открытого космоса и позднее увеличиваются за счет объединений с более крупными скоплениями овеществляющейся энергии.

Во всех этих нескончаемых превращениях энергии и вещества необходимо учитывать воздействие гравитационного давления, а также антигравитационное свойство энергий первичных элементов (кирпичиков) при некоторых состояниях, определяемых температурой, скоростью и вращением. Температура, энергетические токи, расстояние, присутствие живых Организаторов Сил и Управляющих Энергией также влияют на все явления преобразования энергии и вещества...

Множественные атомные веса свидетельствуют о потере радиоактивной энергии...

В пользу относительной целостности вещества говорит и тот факт, что энергия может поглощаться или высвобождаться только в тех точных количествах, которые физики называют квантами. Это мудрое условие, существующее в материальных мирах, позволяет вселенным успешно функционировать.

Волнообразное поведение кванта зависит от многих факторов. Так количество связанной или освобожденной энергии при изменении электронных или иных состояний всегда равно «кванту» или кратной ему величине, однако колебательное или волнообразное поведение таких единиц энергии целиком определяется размерами соответствующих материальных структур. Подобные волнообразные энергетические пульсации в 860 раз превышают диаметр первичных элементов, электронов, атомов или других частиц, обнаруживающих такие свойства.

Для осуществления всеобщего плана по поддержанию равновесия между веществом и энергией необходимо постоянное создание и разрушение мелких материальных единиц. Управляющие Вселенской Энергией обладают способностью уплотнять и удерживать – или расширять и высвобождать – различные количества энергии.

Известны также факторы, препятствующие превращения всей энергии в вещество. При достаточно длительном замедляющем воздействии гравитации вся энергия могла бы превратиться в вещество, если бы не два обстоятельства. Первое заключается в антигравитационных воздействиях Регуляторов Энергии; второе – в том, что организованное вещество обнаруживает тенденцию к дезинтеграции при определенных условиях, существующих в раскаленных звездах, а также в особых условиях пространства вблизи холодных и плотных тел, обладающих огромным запасом энергии.

В нашей вселенной существует сто октав волновой энергии. Из этих ста групп проявления энергии, на Земле полностью или частично известны шестьдесят четыре.

На солнечные лучи приходится четыре октавы по Сверхвселенской шкале, причем видимые лучи охватывают одну октаву – сорок шестую из данного ряда. Вслед за ней идет ультрафиолетовая группа, далее, по возрастающей, десять октав соответствуют рентгеновским лучам, за которыми идут гамма-лучи.

Тридцать две октавы над видимым светом солнца приходится на лучевую энергию внешнего пространства, которую столь часто путают с сопутствующими, сильно возбужденными мельчайшими частицами вещества.

Спускаясь по шкале вниз, вслед за видимым светом идут инфракрасные лучи, а следующие тридцать октав представляют собой радиодиапазон.

Волнообразные проявления энергии могут классифицироваться по шестидесяти группам. Однако, с точки зрения земной научной мысли проявления энергии могут классифицироваться по десяти группам. Для краткости изложения просто перечислим их:

- 1) Инфраультиматонные лучи.
- 2) Ультиматонные лучи.
- 3) Короткие космические лучи.
- 4) Электронная стадия.
- 5) Гамма-лучи.
- 6) Группа рентгеновских лучей.

7) Ультрафиолетовые, или химические, лучи солнечного света и различной механической продукции.

8) Белый свет – весь видимый солнечный свет.

9) Инфракрасные лучи

10) Электромагнитные волны.

Свет и все другие формы ощущаемых проявлений энергии состоят из последовательности определенных энергетических частиц, которые перемещаются по прямым линиям, если не учитывать влияния гравитации и других привходящих сил...

Возникающая энергия обладает субстанцией; у нее есть вес, хотя вес всегда относителен и зависит от скорости вращения, массы и антигравитации.

В веществе масса проявляет тенденцию замедлять скорость энергии, и в любом месте скорость энергии выражает изначальную скорость, минус замедление, вызванное массой во время перемещения в пространстве, плюс регуляционная функция живых Управляющих Энергий Сверхвселенной и физическое воздействие находящихся по соседству высокотемпературных или высокозарядных тел...

Возможности квантовой физики

Заслуживает внимания и гипотеза, уже получившая и некоторое практическое применение, что позволит ей в будущем стать одной из новых ветвей квантовой механики - углубленной квантовой физики (УКФ) на уровне первичных процессов.

УКФ рассматривает происхождение и строение элементарных частиц, первоосновы, из которых состоит материя, раскрывает уникальную информацию об основах физики нейтрино, взаимосвязь элементарных частиц и космологии в свете теории единого поля, электромагнитные и гравитационные взаимодействия, нетрадиционных новых энергий и т.д. Она проливает свет знания на следующие вопросы: Что такое фундаментальные частицы? Из чего они состоят? Как ими управлять? Откуда появляется и куда исчезает видимая материя? На чём построены законы гравитационного взаимодействия? Из чего состоит тёмная материя? Как создать живой и неживой объект? Как обеспечить человечеству автономную жизнь в экстремальных экологических и климатических условиях на Земле и в космосе?

С помощью УКФ любые эксперименты можно просчитать с абсолютной точностью, а не

гадать и предсказывать, ссылаясь на неучтённые факторы.

Сегодня в мире колоссальные средства уходят на содержание разных научно-исследовательских лабораторий, в которых при помощи дорогостоящего оборудования и материалов учёные пытаются создать определённые условия для того, чтобы, по сути, проверить свои догадки, провести наблюдения, сделать предположения и вывести формулы... с погрешностями. Но изменятся условия, и появится новый результат!

Благодаря УКФ человечество, скорее всего, может совершить эволюционный скачок в науке, так как именно физика находится в основе естествознания, позволяет проводить качественно новые исследования и совершать открытия в разных научных областях, производить точные расчёты практически без затрат.

Сообщается, что исследования во многих научных областях на основе знаний УКФ уже дали прекрасные результаты, в том числе и в сфере изучения новых технологий производства и получения неиссякаемой энергии. Эти знания открывают доступ к неисчерпаемому источнику энергии, которая есть везде, в том числе и в космическом пространстве.

Это возобновляемая энергия, благодаря которой создаются элементарные частицы, происходит их движение и взаимодействие. Умение её получать и переводить из одного состояния в другое открывает новый, безопасный, легкодоступный для каждого человека источник альтернативной (нетрадиционной) энергии.

Потенциал данного нескончаемого источника энергии огромен и главное – безопасен. Ведь эта энергия есть повсюду, она может стать доступной здесь и сейчас каждому человеку, при любых условиях: как на Земле, так и в космосе.

Безусловно, это качественно изменит жизнь человеческой цивилизации в целом. Потребительский рынок исчезнет за ненадобностью, ведь любую вещь, еду, одежду, дом, машину каждый человек сможет производить самостоятельно, бесплатно и в необходимом количестве.

В таких условиях возможен качественно новый переход цивилизации в русло духовного саморазвития, масштабного научного познания мира и себя.

Но существует и опасность использования таких открытий в разрушительных, военных и эгоистических целях.

Как известно, вред или польза от любого эпохального открытия зиждется на чаше весов доминанции того или иного мировоззрения большинства: эгоистичного (потребительского) или

духовно-созидательного вектора мышления. Т.е. – от уровня сознания людей.

Всё в этом мире состоит из элементарных частиц. А когда есть знания о том, из чего именно состоят элементарные частицы и как этим управлять, то можно создавать любой «неживой» и живой объект, копировать и клонировать его (в том числе получать фенотипически и генетически идентичные организмы), другими словами, воспроизводить в необходимом качестве и количестве сколько угодно раз.

Уже сейчас, благодаря знаниям УКФ, определенной группой ученых ведутся научные исследования по многим направлениям, в том числе и в области новейших биотехнологий, которые позволяют воссоздавать разные живые организмы.

В перспективе можно улучшать и даже создавать совершенно новые живые организмы с заданными характеристиками и свойствами. Безусловно, это одно из магистральных направлений научно-технического прогресса будет способствовать ускорению решений многих задач, например, в области обеспечения продовольствием, улучшения экологии, качества медицины и медицинского обслуживания.

Под влиянием новейшей биотехнологии, основанной на знаниях УКФ, медицина может стать точной наукой. Причём с чётким пониманием процессов, происходящих в живом организме не только на уровне молекулярных и генетических процессов, но и на уровне взаимосвязи клеток, ДНК и элементарных частиц.

УКФ при её полноценном, ускоренном развитии позволит за короткие сроки решить ряд стратегических жизненно важных задач для человечества не только в области инновационной энергетики, жизнеобеспечения, но и в области климатического геоинжиниринга.

На сегодняшний день человечество имеет реальный шанс выжить в условиях глобальных климатических изменений на планете, которые, к сожалению, неизбежны в ближайшие десятилетия.

В области климатического геоинжиниринга уже проведён ряд успешных научных исследований. Уже сейчас можно сказать, что новые разработки в области климатического геоинжиниринга открывают широкие возможности и перспективы для дальнейшей научной деятельности в этом направлении.

Они позволяют проводить мониторинг климата, определять с учётом многофакторного анализа ход дальнейшего развития событий, связанных с климатическими изменениями, выяв-

лять компенсаторные механизмы природы и запустить необходимые локальные или общие адаптивные воздействия, направленные на коррекцию и изменения климатических условий [7].

Как известно, абсолютно все современные технологии базируются на фундаментальных научных исследованиях, где главенствующую роль играет физика. Ряд учёных с тревогой отмечают, что за последние 50 лет в мире почти не было эпохальных открытий в области естественных наук.

На то есть много причин, но основная кроется в интенсивном развитии потребительского общества. И это включает в себя многое, начиная от формирования у большинства людей эгоистического мировоззрения, духовно-нравственной деградации, изменения качества образования в худшую сторону и заканчивая балансированием многих стран на грани экономического и политического коллапса.

Подобная ситуация, плюс бесконечная национальная рознь и войны сказываются и на такой важной для человечества научной области как космические исследования. На сегодняшний день ведущие космические державы, которые ещё недавно являлись первооткрывателями космоса, не могут повторить даже своих грандиозных успехов полувековой давности.

Большинство пилотируемых полетов по-прежнему совершаются в пределах термосферы (на высотах не более 400 км от поверхности Земли, то есть в пространстве низкой околоземной орбиты) вследствие того, что наука пока ещё не нашла способы защиты от космической радиации. Да и сами проблемы космонавтики во многом остаются нерешёнными, начиная от фундаментальных исследований, технических вопросов, заканчивая сугубо прикладными. Те же космонавты по-прежнему нуждаются в улучшении гигиенических условий, в решении ряда элементарных бытовых проблем в процессе их пребывания на космической станции.

В условиях невесомости жидкая вода также остаётся проблемой, учитывая чувствительность электронного оборудования и приборов на борту космической станции. Люди по-прежнему не могут жить автономно в космосе, поскольку нуждаются в постоянном пополнении с Земли свежими запасами еды, воды, воздуха, запчастей для ремонта корабля и так далее.

УКФ способна решить не только данные проблемы. Это наука, приводящая к эволюционным космическим прорывам, это огромный потенциал для создания новых исследований и научных направлений. Знания УКФ дают принципиально но-

вое осознание ответов на вопросы: «На чём летать?», «Как далеко можно летать?», «В каких условиях летать и как создать искусственную гравитацию, приближенную к земным условиям, на борту космического корабля?», «Как автономно жить в космосе?», «Как защитить корабль от космической радиации?». Они также раскрывают понимание сути самой Вселенной, которая является естественной «лабораторией» элементарных частиц и ставит «эксперименты» в условиях, которые невозможны на Земле [8].

УКФ даёт более глубокое понимание происхождения и эволюции Вселенной. Она открывает новые вехи в области космологии, квантовой физики, космической биологии, гравитационной биологии и биотехнологии, планетологии, физики гелиосферы и околоземного космического пространства, физики космических лучей, внеатмосферной астрофизики. Эти знания позволяют человечеству преодолеть ионизирующую радиацию, УФ-радиацию, проблемы, связанные с вакуумом, преодолением метеоритной опасности, изменением магнитного поля, открывают возможности для существования человечества на других планетах в иных гравитационных условиях и так далее.

И это уже не фантастическая перспектива далекого будущего. Это реальное завтра, а во многом уже и сегодня. Ведь, имея универсальные ключи (знания об основах элементарных частиц), можно открыть любую дверь (микро- и макромира).

Рамки данной статьи не позволяют подробно раскрыть суть углубленной квантовой физики. Но имеется возможность привести несколько примеров формул ядерных и фотоядерных реакций и расчётов результатов с использованием УКФ.

Таблица 1. Формулы ядерных реакций с участием нейтронов

Реакция:	$Li_3^6 + n_0^1 \rightarrow He_2^4 + H_1^3$	${}^6Li + n = {}^4He + {}^3H$
Проверка:	$135 + 33 \rightarrow 90 + 78$ $168 \rightarrow 168$	
Реакция:	$Al_{13}^{27} + n_0^1 \rightarrow Mg_{12}^{27} + p_1^1$	${}^{27}Al + n = {}^{27}Mg + {}^1H$ ${}^{27}Al(n,p){}^{27}Mg$
Проверка:	$618 + 33 \rightarrow 639 + 12$ $651 = 651$	
Реакция:	$Zr_{40}^{90} + n_0^1 \rightarrow Zr_{40}^{89} + 2n_0^1$	${}^{90}Zr(n,2n){}^{89}Zr$
Проверка:	$2130 + 33 \rightarrow 2097 + 66$ $2163 = 2163$	

Таблица 2. Реакция с участием α -частиц

Реакция:	$F_9^{19} + He_2^4 \rightarrow Ne_{10}^{22} + p_1^1$	$^{19}_9F + ^4_2He \rightarrow$ $\rightarrow ^{22}_{10}Ne^* +$ 1_1H
Проверка:	$438 + 90 \rightarrow 516 + 12$ $528 = 528$	
Реакция:	$C_6^{12} + He_2^4 \rightarrow O_8^{15} + n_0^1$	$^{12}_6C + ^4_2He \rightarrow$ $\rightarrow ^{15}_8O + ^1_0n$
Проверка:	$270 + 90 \rightarrow 327 + 33$ $360 = 360$	
Реакция:	$U_{92}^{238} + He_2^4 \rightarrow Pu_{94}^{241} + n_0^1$	$^{238}_{92}U + ^4_2He \rightarrow$ $\rightarrow ^{241}_{94}Pu + ^1_0n$
Проверка:	$5922 + 90 \rightarrow 5979 + 33$ $6012 = 6012$	
Реакция:	$Pu_{94}^{239} + He_2^4 \rightarrow Cm_{98}^{242} + n_0^1$	$^{239}_{94}Pu + ^4_2He \rightarrow$ $\rightarrow ^{242}_{98}Cm + ^1_0n$
Проверка:	$5913 + 90 \rightarrow 5970 + 33$ $6003 = 6003$	
Реакция:	$Be_4^9 + He_2^4 \rightarrow C_6^{12} + n_0^1$	$^9_4Be + ^4_2He \rightarrow$ $\rightarrow ^{12}_6C + ^1_0n$
Проверка:	$213 + 90 \rightarrow 270 + 33$ $303 = 303$	

Таблица 3. Фотоядерные реакции.

Реакция:	$\gamma + H_1^2 \rightarrow n_0^1 + p_1^1$	$\gamma + ^2_1H \rightarrow$ $\rightarrow ^1_1H + ^1_0n$
Проверка:	$3 + 45 \rightarrow 33 + 12$ $43 \neq 45$	
Правильно:	$\gamma + H_1^2 \rightarrow n_0^1 + p_1^1 + \gamma$ $48 = 48$	
Реакция:	$\gamma + Be_4^9 \rightarrow 2He_2^4 + n_0^1$	$^9Be(\gamma, n)2\alpha$
Проверка:	$3 + 213 \rightarrow 180 + 33$ $216 \neq 213$	
Правильно:	$\gamma + Be_4^9 \rightarrow 2He_2^4 + n_0^1 +$ $216 = 216$	

Фотоядерными реакциями называются процессы взаимодействия высокоэнергетических фотонов с ядром, сопровождающиеся

испусканием одного или нескольких гамма-квантов, нейтронов, протонов и др.

За разъяснениями и более подробной информацией можно обращаться к авторам.

Заключение

Всё существующее в этом мире состоит из элементарных частиц. Поэтому знания о том, из чего именно состоят эти элементарные частицы и как этим управлять, дают возможность получать и преобразовывать различные виды и формы энергии, создавать любые «неживые» и живые объекты, копировать и клонировать их в любом количестве.

В перспективе можно улучшать и даже создавать совершенно новые живые организмы с заданными характеристиками и свойствами. Ускоренно решать многие задачи, например, в области обеспечения качественным продовольствием и водой, улучшения экологии, качества медицины и медицинского обслуживания.

Углубленная квантовая физика при её полноценном, ускоренном развитии позволит за короткие сроки решить ряд стратегических жизненно важных задач для человечества не только в области инновационной энергетики, жизнеобеспечения, но и в области астрономии, космологии и климатического геоинжиниринга.

Углубленная квантовая физика даёт понимание основ, благодаря которым можно вывести науку на невиданные рубежи и значительно облегчить жизнь человеческой цивилизации, направив её в русло духовно-нравственного развития. Но, несмотря на волнующие воображение достижения науки в исследовании микромира и безграничных пространств и глубин Вселенной, не следует слишком обольщаться этими успехами.

Мы познали (и притом не полностью!) ещё один срез, один слой окружающего нас беспредельного Мира.

Сегодня мы на пороге радикального изменения всей научной картины мира. Об этом свидетельствует не только состояние физики, космологии, но и других, далеких от них наук, таких как биология, психология, генетика, химия.

Об этом говорят и возникшие в них кризисные явления, невозможность объяснить некоторые экспериментальные и наблюдательные данные. Похоже, что и естествознание, и весь комплекс наук о человеке вплот-

ную подошел к тому порогу, за которым сияет Беспредельный Космос.

Главная сила человека – его духовное начало, его сознание и возвышенные ясно-сияющие мысли, ибо любое преобразование в этом мире зависит от силы внутреннего потенциала и точки его приложения.

Список литературы

1. Безант А. Древняя Мудрость. Самара: Сила Света. - 1997. – 97 с.
2. Шипов Г.И. Теория физического вакуума. М: НТ-Центр. 1993. – 362 с.
3. Евразийская мудрость от А до Я: философский толковый словарь / Зорин В. И. — Алматы: Создик-Словарь, 2002).
4. Брайан Грин. Элегантная вселенная (суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории). Электронный ресурс. Орифламма. 2009.
5. Каку Митио. Физика невозможного. - Альпина нон-фикшн. - 2008. – 187 с.
6. Уранов Н.А. Размышляя над Беспредельностью. Вып. 7. М., МЦР, Москва, 2007 - 480 с.
7. Byrne, James. Neutrons, Nuclei and Matter: An Exploration of the Physics of Slow Neutrons. Dover Publications, 2011.P. 17.
8. Lieser, Karl Heinrich. Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, 2008.P

References

1. Besant A. *Drevnyaya Mudrost* [Ancient Wisdom]. Samara: Sila Sveta. 1997. – 97 p.
2. Schipov G.I. *Teorij fizicheskogo vakuuma* [The theory of physical vacuum]. Moskov, NT-Zentr. 1993. – 362 p.
3. *Evrasiiskaj mudrost ot A do J: filosofskiy tolkovyy slovar* [The Euroasian wisdom from And to I: a philosophical explanatory dictionary] / Sorin V.I. – Almati: Sosdir-Slovar, 2002.
5. Bryan Grin. *Elegantnay vseleennyj (superstruni, skritie rasmernosti i poiski okonchatelnoy teorii)* [The elegant Universe (the superstrings, the latent dimensions and searches of the definitive theory). Oriflamma. 2009.
6. Kaku Mitio *Fizika nevosmozhnogo* [Physics impossible]. Alpina non-fikschn. – 2008. – 187 p.
7. Uranov N.A. *Rasmischlyayav nad Bespredelnostyu* [Reflecting over Boundlessness]. No 7, M.,MCR, Moskov, 2007. – 480 p.
8. Byrne, James. Neutrons, Nuclei and Matter: An Exploration of the Physics of Slow Neutrons. Dover Publications, 2011.P. 17.
9. Lieser, Karl Heinrich. Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, 2008.P

УДК.621.039.586

Обеспечение безопасности ВВЭР-1000 в случае его разгона на мгновенных нейтронах

Ю. А. Наточий¹, А. А. Никонов², Е. С. Семенов³, А. В. Сукрушев⁴

ФГАУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

ул. Университетская 33, г. Севастополь, 299053, Россия.

¹julianatochey@mail.ru, ²nikomunedanoznat@mail.ru, ³Eugene_Semenov@mail.ru, ⁴Sukrushev@mail.ru

Статья поступила 14.12.2016 г.; после доработки 16.12.2016 г.

Аннотация

Эффекты реактивности играют определяющую роль в обеспечении безопасной эксплуатации ВВЭР. Знание величины и механизма влияния эффектов реактивности на динамику реактора упрощает его управление. В статье исследуется механизм обеспечения безопасности ВВЭР-1000 в случае его разгона на мгновенных нейтронах. Используются пусковая и стационарная загрузки активной зоны на начало и конец кампании. Доказывается отсутствие негативного влияния нейтронной вспышки на теплофизическое состояние активной зоны.

Ключевые слова: водо-водяной реактор, активная зона, эффект реактивности, орган регулирования, топливная загрузка.

WWER-1000 safety precautions in case of its power excursion with the help of prompt neutrons

J. A. Natochey¹, A. A. Nikonov², E. S. Semenov³, A. V. Sukrushev⁴

FAEI HE «Sevastopol State University»,

33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia.

¹julianatochey@mail.ru, ²nikomunedanoznat@mail.ru, ³Eugene_Semenov@mail.ru, ⁴Sukrushev@mail.ru

Received 14.12.2016 y.; received in final form 16.12.2016 y.

Abstract

Reactivity effect is instrumental in WWER safety precautions. Knowledge of value and mechanism of reactivity effects over the reactor dynamics makes the reactor control easier. Mechanism of WWER-1000 safety precautions in case of its power excursion with the help of prompt neutrons is examined in the article. Startup and stationary core loading at the beginning and ending of campaign are used. Neutron burst negative influence absence over the thermophysical core condition is shown.

Keywords: pressurized water reactor, reactor core, reactivity effect, regulating unit, fuel element column.

Введение

Для безопасной эксплуатации реакторной установки необходимо знать динамические и статические характеристики самого реактора. Основными характеристиками реактора являются различные эффекты реактивности, определяющие в совокупности баланс нейтронов в системе. При нахождении реактора в критическом состоянии сумма всех эффектов равна нулю. В то же время, важно иметь представление о величине каждого из эффектов реактивности и о том, за какое время он проявляется. Для

оперативного управления (в течение секунд или минут) особое значение имеют температурный и мощностной эффекты реактивности, а также эффективности управляющих групп органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ) реактора (в основном, интегральная и дифференциальная характеристики). Кроме указанных эффектов на управление реактором существенно влияет эффект ксенонового отравления, что особенно важно при пуске энергоблока и для продления топливного цикла за счет мощностного эффекта реактивности [1].

Важной особенностью анализа характеристик реактора является необходимость знания не только величин эффектов реактивности, но и того, как эти эффекты влияют на динамику реактора, а также воздействия состояния активной зоны на значения эффектов реактивности в целом. При этом моделирование динамических режимов должно проводиться с достаточной точностью, чтобы избежать неточностей в вычислении временного поведения нейтронной и тепловой мощности.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является определение поведения нейтронной мощности реактора и основных параметров безопасности в активной зоне во времени в зависимости от типа топливной загрузки и момента кампании при введении одной и той же величины положительной реактивности. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи:

- определить условия, при которых будет происходить разгон реактора на мгновенных нейтронах, а также динамику переходных процессов;
- используя компьютерную модель ядерной установки, сформировать различные варианты загрузки реактора ВВЭР-1000;
- определить основные характеристики нейтронной вспышки в разных состояниях активной зоны, а также ее последствия для теплофизического состояния активной зоны.

Условия возникновения разгона реактора на мгновенных нейтронах

Наиболее важной характеристикой, от которой зависит изменение нейтронной мощности реактора и его регулирование, является коэффициент размножения $K_{эфф}$. Однако гораздо чаще на практике для описания свойств среды и переходных процессов используется понятие «реактивность», которое, в простейшем случае, характеризует отклонение коэффициента размножения от его первоначального значения в случае внесения возмущения в систему.

Величина реактивности составляется из полного запаса реактивности на выгорание, мощностного и температурного эффектов реактивности, а также из эффектов отравления топлива ксеноном и самарием. Кроме того, в реактивность входят внешние воздействия, которые

приводят к ее изменению (изменение положения ОР СУЗ и концентрации борной кислоты в теплоносителе) и действия обратных отрицательных или положительных связей, обусловленных температурой и плотностью теплоносителя, температурой топлива, выгоранием топлива и отравлением ксеноном и самарием. Для стационарного состояния реактора баланс реактивности можно представить следующим образом [2]:

$$\rho(t) = \Delta\rho_{tot} - \Delta\rho_{rod} - \Delta\rho_{bor} - \Delta\rho_{Bn} - \Delta\rho_{Sm} - \Delta\rho_{Xe} - \Delta\rho_T - \Delta\rho_N, \quad (1)$$

где $\Delta\rho_{tot}$ – полный запас реактивности в «холодном» состоянии активной зоны при извлеченных ОР СУЗ, нулевой концентрации борной кислоты и отсутствии ксенона;

$\Delta\rho_{rod}$ – изменение реактивности, вносимое ОР СУЗ;

$\Delta\rho_{bor}$ – изменение реактивности, вносимое борной кислотой;

$\Delta\rho_{Bn}$ – изменение реактивности, вносимое выгоранием топлива и выгорающего поглотителя;

$\Delta\rho_{Sm}$ – изменение реактивности, вносимое самарием;

$\Delta\rho_{Xe}$ – изменение реактивности, вносимое ксеноном;

$\Delta\rho_T$ – изменение реактивности, вносимое разогревом теплоносителя до «горячего» состояния;

$\Delta\rho_N$ – изменение реактивности, вносимое выходом на номинальную мощность.

Реактивность, вносимая самарием и выгоранием топлива, меняется очень медленно и может компенсироваться снижением концентрации борной кислоты в теплоносителе. Хотя вывод бора из теплоносителя является внешним воздействием и может приводить к ядерно-опасной ситуации, процесс этот очень медленный и надежно контролируемый, поэтому его можно считать практически стационарным. Кроме того, ксеноновые процессы в активной зоне также являются достаточно медленными.

За начальное состояние реактора для рассмотрения быстрого процесса примем стационарное состояние с нулевой реактивностью. В этом случае выражение (1) примет вид

$$\rho(t) = \rho(0) - \Delta\rho_{rod}(t) - K_{N(0)} \cdot (N(t) - N(0)) - K_{T(0)} \cdot (T(t) - T(0)), \quad (2)$$

где $N(t)$ – тепловая мощность реактора;

$T(t)$ – температура теплоносителя;

$K_{N(0)}$ – мощностной коэффициент реактивности в начальный момент времени;

$K_{T(0)}$ – температурный коэффициент реактивности в начальный момент времени.

Внутренними параметрами безопасности и саморегулируемости ВВЭР являются два последних слагаемых в выражении (1) – мощностной и температурный коэффициенты реактивности, которые увеличиваются по модулю при возрастании мощности реактора, оставаясь при этом отрицательными.

Для исследования действия этих параметров можно инициировать аварийную ситуацию, обусловленную мгновенным извлечением из активной зоны некоторого количества ОР СУЗ от нижних концевых выключателей, а также управляющей группы ОР из рабочего положения. При этом реактивность, вносимая подобными действиями должна превышать долю запаздывающих нейтронов.

Подобная ситуация возможна в случае разрыва в чехле привода ОР СУЗ и возникновения значительного (порядка 150 кгс/см²) перепада давления на механизм отдельного органа СУЗ. Время извлечения ОР СУЗ в этом случае не превышает долей секунды, т. е. ситуация происходит практически мгновенно.

Принятое нами критическое (или близкое к нему) положение реактора в момент аварии повышает опасность ситуации с точки зрения неуправляемой цепной реакции на мгновенных нейтронах. В этом случае будет иметь место так называемая нейтронная вспышка, заключающаяся в резком увеличении нейтронной мощности реактора. Если величина вводимой положительной реактивности превышает β , то возникает разгон нейтронной мощности на мгновенных нейтронах.

Таким образом, для исследования действия коэффициентов реактивности обеспечивающих саморегулирование водо-водяного реактора в случае его разгона на мгновенных нейтронах необходимо сообщить реактору положительную реактивность, превышающую долю запаздывающих нейтронов.

Формирование топливных загрузок ВВЭР-1000

Для проведения исследований использовалась учебно-научная лаборатория «Реакторная физика, управление и безопасная эксплуатация

ЯЭУ», разработанная коллективом НИЯУ «Московский инженерно-физический институт» с применением интегрированной среды «Эникад», предназначенной для создания программно-аппаратных комплексов полномасштабных компьютерных анализаторов и тренажеров различного класса для атомных и тепловых электростанций. Данная лаборатория используется в Институте ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета для проведения учебных занятий и научных исследований.

Исследования проводились для пусковой и стационарной топливных загрузок для начала и конца кампании реактора ВВЭР-1000. При этом для пусковой топливной загрузки использовались ТВС с 3 % и 4 % обогащением топлива (меньше, чем выбранное обогащение топлива подпитки для стационарной загрузки – 4,4...4,8 %). Также в пусковой загрузке присутствовали ТВС с низким обогащением (1,3 %, 1,6 %, 2,0 % и 2,2 %), которые имитируют ТВС с выгоревшим топливом. Эти сборки использовались в таком количестве и такой расстановке в активной зоне, чтобы обеспечить минимальный температурный коэффициент реактивности на минимально-контролируемом уровне мощности.

Определение основных характеристик нейтронной вспышки

В ходе эксперимента в начальный момент времени реактор переводился на 40 % мощности срабатыванием ускоренной предупредительной защиты (УПЗ), вызывающим быстрое погружение одной группы ОР на нижние концевые выключатели. Кроме того, регулирующая группа погружалась до 60...70 %. Такая ситуация может быть вызвана нарушениями нормальной эксплуатации, такими, как отключение турбины или двух смежных ГЦН. Далее для указанных топливных загрузок инициировалась аварийная ситуация, приводящая к разгону реактора на мгновенных нейтронах (нейтронной вспышке).

Для этого из активной зоны мгновенно извлекалась группа ОР СУЗ, предназначенная для УПЗ, а регулирующая группа поднималась до разной величины извлечения так, чтобы обеспечить одно и то же значение вводимой положительной реактивности.

Последовавшая за этим нейтронная вспышка привела к резкому увеличению нейтронной мощности реактора (рис. 1).

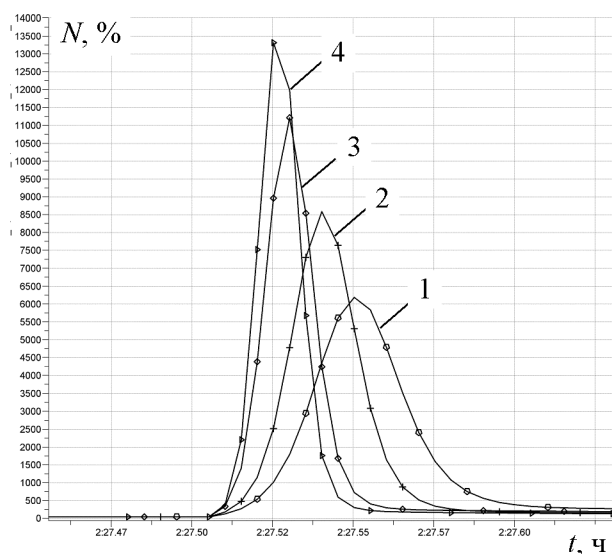


Рис. 1. Нейтронная мощность при разгоне реактора на запаздывающих нейтронах:

1 – пусковая загрузка на начало кампании; 2 – пусковая загрузка на конец кампании; 3 – стационарная загрузка на начало кампании; 4 – стационарная загрузка на конец кампании.

Максимальное значение нейтронной мощности составило 13285 %. Также были определены параметры, характеризующие целостность основных барьеров безопасности в реакторе. Полученные значения были сопоставлены с предельными величинами (таблица 1).

Таблица 1. Параметры, характеризующие целостность барьеров безопасности реактора.

Наименование	Полученное значение	Предельное значение
Температура топлива, град. С	1 – 1648	2800
	2 – 1142	
	3 – 1327	
	4 – 1124	
Температура оболочки ТВЭЛ, град. С	1 – 350	450
	2 – 338	
	3 – 344	
	4 – 337	
Теплосодержание, кДж/кг	1 – 423	890
	2 – 265	
	3 – 326	
	4 – 255	

Таким образом, максимальные значения параметров не превышают предельных значений, что характеризует сохранение целостности основных барьеров безопасности в реакторе в случае его разгона на мгновенных нейтронах.

Заключение

Проведенные исследования влияния эффектов реактивности в случае разгона реактора на мгновенных нейтронах показали следующие результаты:

- для исследования действия коэффициентов реактивности обеспечивающих саморегулирование ВВЭР в случае разгона нейтронной мощности на мгновенных нейтронах необходимо сообщить реактору положительную реактивность, превышающую долю запаздывающих нейтронов;
- нейтронная вспышка не оказывает негативных воздействий на теплофизическое состояние активной зоны, ввиду действия отрицательных коэффициентов реактивности.

Список литературы

1. Выговский С.Б. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР / С.Б. Выговский, Н.О. Рябов, А.А. Семенов, Е.В. Чернов, Л.Н. Богачек. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.
2. Выговский С.Б. Опыт использования программного комплекса «ПРОСТОР» в расчетной поддержке эксплуатации АЭС с ВВЭР/ С.Б. Выговский, С.А. Королев, Е.В. Чернов, А.А. Семенов, В.А. Чернаков // Ядерная физика и инжиниринг. – Москва, 2014. – Т. 5, № 1 – С. 15 – 28.
3. Выговский С.Б. Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР / С.Б. Выговский, Н.О. Рябов, Е.В. Чернов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 304 с.

References

1. Vygovskiy S.B., Korolev S.A., Chernov E.V., Semenov A.A., Chernakov V.A. "PROSTOR" software user experience in NPP with PWR calculating holdback *Yadernaya fizika i inzhiniring*. Moscow Publ., 2015, Vol. 5, No 1, pp 15-28.
2. Vygovskiy S.B., Ryabov H.O., Semenov A.A., Chernov E.V., Bogachek. *Fizicheskie i konstruktivnye osobennosti yadernykh energeticheskikh ustanovok s VVER* [WWER nuclear installations physical and specific design features]. Moscow, NIYAU MEPFI Publ., 2011, 376 p.
3. Vygovskiy S.B., Ryabov H.O., Chernov E.V. *Bezopasnost i zadachi inzhenernoy podderzhki ekspluatatsii yadernykh energeticheskikh ustanovok s VVER* [Safety and issues of the WWER nuclear installation operation engineer assistance]. Moscow, NIYAU MEPFI Publ., 2013, 304 p.

УДК 621.039.587

Особенности построения расчетной модели термосифонной СПОТ бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива ВВЭР

И.И. Свириденко¹, Д.В. Шевелев², А.В. Подопрigора³, С.С. Выборнов³¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, i.sviridenko@mail.ru

²АО «ВНИИАЭС», ул. Ферганская, 25, г. Москва, 109507, Россия, am5x86@mail.ru³ВАО АЭС-МЦ, ул. Ферганская 25, г. Москва, 109507, Россия, podoprygora@wanomc.ru

Статья поступила 14.11.2016 г.; после доработки 17.11.2016 г.

Аннотация

Представлена расчетная модель системы пассивного отвода остаточного тепловыделения отработавшего ядерного топлива, находящегося в бассейне выдержки (СПОТ БВ ОЯТ) реакторной установки АЭС с ВВЭР. СПОТ БВ ОЯТ представляет собой кольцевой двухфазный термосифон, включающий коллекторный теплообменник-испаритель, размещенный в бассейне, коллекторный теплообменник-конденсатор, расположенный за пределами гермообъема реакторного отделения, паровой и конденсатный транспортные трубопроводы. С использованием кода RELAP/Mod3.x разработана расчетная модель термосифонной СПОТ БВ ОЯТ. Рассмотрены особенности моделирования основных элементов СПОТ: испарителя, конденсатора, транспортных участков, режимов их работы. Приведены начальные условия модели СПОТ, обоснованы принятые при моделировании граничные условия на внешней поверхности испарителя и конденсатора кольцевого термосифона, а также использованные в модели искусственные регуляторы.

Ключевые слова: АЭС с ВВЭР, отвод остаточного тепловыделения, бассейн выдержки отработавшего ядерного топлива, СПОТ, расчетная модель, двухфазный термосифон.

The Features of Thermosiphon Based PRHR System Numerical Model for Spent Fuel Pool of NPP with WWER Type NSSS

I.I. Sviridenko¹, D.V. Shevelev², A.V. Pidipryhora³, S.S. Vybornov³¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russia, i.sviridenko@mail.ru²OJSC "VNIIAES", 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507, Russia, am5x86@mail.ru³WANO-MC, 25 Ferganskaya st., Moscow, 109507, Russia, podoprygora@wanomc.ru

Received 14.11.2016 y.; received in final form 17.11.2016 y.

Abstract

Passive residual heat removal system presented for spent fuel located in spent fuel storage pool (SFP PRHRS) of NPP with WWER type reactor. SFP PRHRS is a closed loop with natural circulation of two phase coolant and consists of the evaporator placed in SFP, the condenser placed outside the containment, and steam and condensate pipelines. SFP PRHRS operation based on the ring shaped two-phase thermosiphon principle. Using the RELAP/SCDAPSIM/Mod3.x code, the numerical model developed for the thermosiphon SFP PRHRS. The key features described of the basic elements of PRHRS model, namely, the evaporator, the condenser and the transporting pipelines, and also their modes of operation. The initial conditions for the PRHRS model given, the boundary conditions validated at the external surfaces of the evaporator and the condenser, and also described the artificial controller used in the model.

Keywords: NPP with WWER, residual heat removal, spent fuel storage pool, PRHRS, numerical model, two-phase thermosiphon.

Введение

Как показала авария на АЭС «Фукусима-1», полное длительное обесточивание с потерей всех аварийных источников электроснабжения собственных нужд является наиболее опасной причиной запроектной аварии и может иметь катастрофические последствия. Внешнее природное воздействие – мощное цунами, вызванное землетрясением, вывело из строя все аварийные дизельгенераторы АЭС. Это привело к нарушению отвода остаточного энерговыделения активных зон реакторов и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в приреакторных бассейнах выдержки (БВ). В результате – выкипание охлаждающей воды, перегрев и повреждение ядерного топлива.

Кроме того, пароциркониевая реакция на поверхности оболочек ТВЭЛ стала причиной образования и накопления водорода, с последующим его взрывом в реакторных отделениях. Причем, на поздней стадии аварии приоритетом в борьбе за смягчение ее последствий стала ситуация именно с БВ ОЯТ.

На эксплуатируемых сегодня энергоблоках АЭС с ВВЭР и PWR, а также в эволюционных проектах РУ с ВВЭР-1000/В-392 и ВВЭР-1200/АЭС-2006 специальных технических средств для предотвращения повреждения ОЯТ в БВ в условиях полного длительного обесточивания не предусмотрено.

Лишь в проекте ВВЭР-ТОИ принят гораздо больший по сравнению с ВВЭР-1000/В-320 объем БВ за счет увеличения глубины бассейна до 20 м. Подобное техническое решение позволяет увеличить продолжительность процесса испарения воды из БВ при полном обесточивании, однако, полностью проблемы обеспечения безопасности ОЯТ при продолжительной потере электроснабжения собственных нужд с отказом (потерей) аварийных источников электроснабжения не решает.

Разработка и внедрение новой пассивной системы, которая должна обеспечить надежный, эффективный и безопасный отвод остаточного энерговыделения размещенного в бассейне выдержки ОЯТ за счет естественных физических процессов переноса теплоты, причем в течение продолжительного времени, представляет собой сложную техническую задачу. В связи с этим создание системы пассивного отвода остаточных тепловыделений (СПОТ) ОЯТ в БВ и внедрение ее на действующих энергоблоках АЭС, а также в проектах перспективных РУ является весьма актуальным.

Техническому решению данной задачи предшествует этап расчетного моделирования, который должен учесть все возможные варианты компоновки, взаимосвязи с другими элементами и системами РУ, и самое главное, все вероятные и маловероятные режимные ситуации в рассматриваемом аварийном процессе.

Целью работы является разработка расчетной модели СПОТ БВ ОЯТ для РУ АЭС с ВВЭР. Расчетное моделирование СПОТ БВ ОЯТ проведено с использованием кода RELAP5/Mod3.x на верифицированных моделях серийных энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000/В-320. Отличительной особенностью рассматриваемой СПОТ является использование теплообменного оборудования на основе испарительно-конденсационных устройств замкнутого типа – кольцевых двухфазных термосифонов (ДТС), применение которых обеспечивает эффективность, надежность и безопасность отвода теплоты от ОЯТ.

Принцип действия и особенности функционирования термосифонной СПОТ БВ

СПОТ БВ ОЯТ представляет собой замкнутый контур с естественной циркуляцией двухфазного теплоносителя. В состав СПОТ входят испарительный, конденсационный и транспортные участки (рис. 1). Функционирование СПОТ основано на принципе действия кольцевого двухфазного термосифона, испаритель которого размещен в бассейне, а конденсатор – за пределами гермообъема (ГО). Испаритель и конденсатор кольцевого ДТС соединены паровым и конденсатным транспортными трубопроводами. Теплоноситель кольцевого ДТС – вода [1].

Остаточное тепловыделение от отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) отводится водой бассейна при ее естественной конвекции. От воды БВ теплота передается наружной поверхности испарителей кольцевого ДТС 4, а от нее – промежуточному теплоносителю кольцевого ДТС.

За счет внешнего теплоподвода промежуточный теплоноситель ДТС испаряется, его пар через сборный коллектор 5 поступает в паровой трубопровод 6, который через гермопроходки 12 выводится за пределы гермооболочки 13 реакторного отделения и соединяется с конденсатором ДТС 7.

В конденсаторе пар конденсируется при охлаждении потоком атмосферного воздуха 9. Из конденсатора 7 конденсат по конденсатному трубопроводу 10 и раздающему коллектору 11 за

счет гравитационных сил возвращается в испаритель ДТС 4.

Испаритель кольцевого ДТС, теплообменная поверхность которого сформирована из труб, либо плоских пластин, располагается в зазоре между боковой стенкой БВ и шестигранными

чехлами стеллажей ОТВС.

Испаритель практически не отбирает полезного объема отсеков бассейна, а следовательно, не оказывает влияния на количество размещаемых в нем ОТВС.

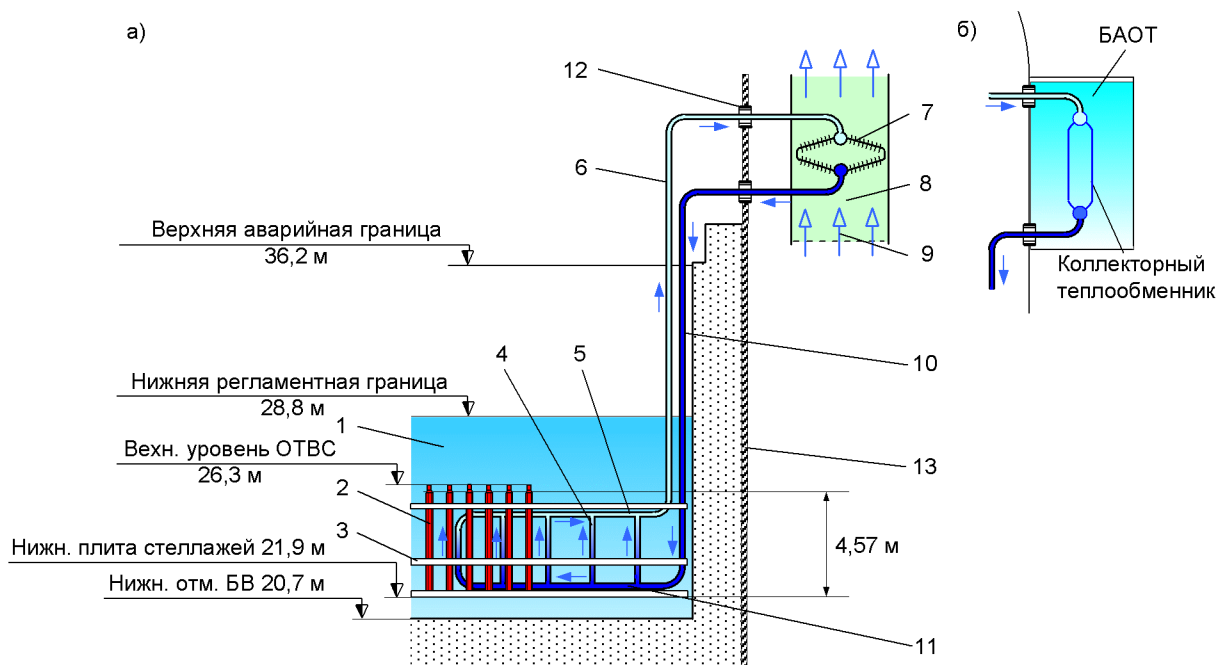


Рис. 1. Схема автономной СПОТ БВ ОЯТ на основе кольцевого ДТС – (а): 1 – БВ ОЯТ; 2 – ОТВС; 3 – стеллажи; 4 – испарители ДТС; 5 – сборный коллектор; 6 – паровой трубопровод ДТС; 7 – конденсатор ДТС; 8 – воздушный канал; 9 – поток охлаждающего атмосферного воздуха; 10 – конденсатный трубопровод ДТС; 11 – раздающий коллектор; 12 – гермопроходка; 13 – гермооболочка; (б) – вариант размещения конденсатора СПОТ в БАОТ

В качестве промежуточного теплоносителя ДТС может использоваться вода или жидкости с пониженной температурой замерзания. Использование последних позволило бы исключить замерзание промежуточного теплоносителя СПОТ в условиях низких температур окружающего воздуха.

Наряду с организацией отвода теплоты от БВ ОЯТ атмосферному воздуху может использоваться и вариант теплоотвода воде, размещаемой в баке аварийного отвода теплоты (БАОТ) (рис. 1, б). При этом теплоотвод в БАОТ снимает проблему замерзания промежуточного теплоносителя ДТС.

В то же время СПОТ БВ будет эффективно работать лишь до тех пор, пока вода в БАОТ существенно не нагреется (практически – не выше, чем до $+70^{\circ}\text{C}$, если исходить из требования, что температура воды в БВ не должна превышать значение $+90^{\circ}\text{C}$).

Поэтому вариант с воздушным теплообменником-конденсатором для СПОТ БВ является предпочтительным, а в условиях длительного

обесточивания станции – единственно возможным.

Перед заполнением промежуточным теплоносителем кольцевой ДТС вакуумируется для удаления неконденсирующихся газов. Давление в контуре СПОТ БВ будет определяться давлением насыщения водяного пара при температуре менее $+100^{\circ}\text{C}$ и оставаться ниже атмосферного. Поэтому при возможных течах в контуре СПОТ БВ не будет выхода радионуклидов в атмосферу, а также попадания чистого конденсата в БВ с ОЯТ, что исключает возможность реактивностных аварий.

СПОТ БВ строится по многоканальному принципу с резервированием основных элементов в пределах канала. При обнаружении течи (например, по факту снижения вакуума в контуре ДТС) в условиях нормальной эксплуатации персонал будет иметь возможность выявить и локализовать поврежденную теплообменную секцию. Поскольку теплообменная поверхность выбирается избыточной по отношению к максимально возможной тепловой нагрузке на каждый

отсек БВ, система будет продолжать теплоотвод в необходимом объеме.

Схема расположения испарителей СПОТ в БВ реакторного отделения АЭС с ВВЭР-1000/В-320 изображена на рис. 2. Для вывода транспортных трубопроводов через гермооболочку в существующих РУ с ВВЭР-1000/В-320 предлагается использовать две из имеющихся шести гермопроходок Ду 1600 мм системы вентиляции реакторного отделения [2].

В новых проектах РУ с ВВЭР для вывода транспортных трубопроводов кольцевого ДТС необходимо предусмотреть дополнительные гермопроходки.

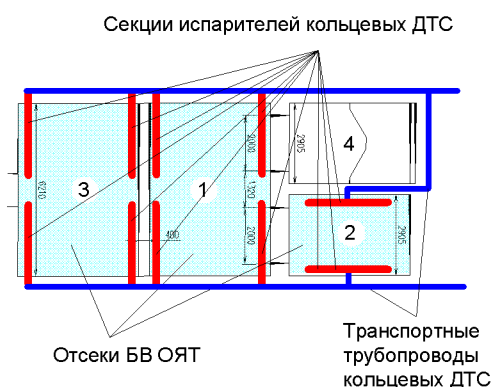


Рис. 2. Расположение элементов термосифонной СПОТ в отсеках БВ реакторного отделения АЭС с ВВЭР-1000/В-320

Применение кольцевого ДТС для формирования СПОТ БВ дает системе два существенных преимущества.

Первое преимущество заключается в отсутствии необходимости управления процессом теплоотвода от БВ, что обеспечивается достижением температуры воды в бассейне, необходимой для начала испарения промежуточного теплоносителя кольцевого ДТС, а также температурного напора между БВ и конечным поглотителем. Указанное преимущество позволяет использовать СПОТ на основе кольцевых ДТС не только в качестве аварийной системы, но и как систему нормальной эксплуатации, отказавшись от работы насосов для принудительного охлаждения бассейна.

Второе преимущество – исключение опасности байпасирования гермооболочки реакторного отделения при возможном аварийном возникновении течи в элементах СПОТ (как внутри ГО, так и за его пределами). Это преимущество обеспечивается применением замкнутого циркуляционного контура СПОТ.

Особенности применения кода RELAP для моделирования термосифонной СПОТ БВ

Расчетная модель СПОТ БВ разработана с помощью программного комплекса RELAP5/Mod3.x. Использование кода RELAP5 для моделирования процессов в СПОТ БВ ОЯТ на основе испарительно-конденсационных устройств – двухфазных термосифонов с водяным теплоносителем имеет ряд особенностей.

Изначально код разрабатывался для диапазона давлений и температур от 0,1-0,2 до 20 МПа (абс.) и от +100°C и выше. Это соответствует диапазону изменения параметров пароводяной смеси при проектных авариях с течами в установках с водо-водяными реакторами. В контуре СПОТ БВ пароводяная смесь находится в условиях разрежения: давление соответствует давлению насыщения водяных паров при температуре в диапазоне от +40°C до +90°C. При этом теплофизические свойства воды и водяного пара, встроенные в код, ограничиваются уровнем температуры 0°C. Иными словами, код используется вблизи некоторой абсолютной границы области применимости, что накладывает более строгие требования к устойчивости расчетной модели, чем при моделировании режимов типовых проектных и запроектных аварий РУ с ВВЭР.

Другой, не менее важной особенностью является формирование испарительных и конденсационных участков СПОТ в виде сотен практически идентичных параллельных каналов, выполненных в виде цилиндрических труб или плоских пластин. При этом расходы и скорости естественной циркуляции пароводяной смеси в контуре СПОТ достаточно малы. Наличие физической неустойчивости подобных систем было установлено еще в расчетах аварий и режимов естественной циркуляции теплоносителя для кипящих реакторов. При низких же параметрах эффекты неустойчивости еще более усугубляются из-за того, что характерные размеры парового пузыря в испарителе могут существенно превышать гидравлический диаметр самого канала.

Например, при вскипании воды в двух смежных расчетных участках происходит переход от течения однофазной недогретой жидкости сразу к снарядному течению пароводяной смеси в канале со скачкообразным ростом паросодержания, а промежуточный режим пузырькового кипения в объеме отсутствует. В результате, паросодержание в каждом канале, даже в установившемся режиме, может флуктуировать в широких пределах, практически от нуля до 100%. При

этом из-за малой плотности теплового потока и низкой температуры теплообменной поверхности кризис теплоотдачи не достигается. Также флуктуациям подвержены скорости фаз и перепады давлений по длине каждого отдельно взятого канала.

С другой стороны, сборный коллектор теплообменника-испарителя играет роль демпфера, в котором расходы по каждому из каналов суммируются. Поскольку объемы и проходные сечения коллекторов на 1-2 порядка больше, чем каждого теплообменного канала, корреляция нестационарных процессов между каналами оказывается пренебрежимо малой, а квазистохастические колебания в отдельных каналах – независимыми. В результате параметры усредняются и в остальной части контура СПОТ флуктуации параметров относительно установившихся значений оказываются сглаженными и несущественными. Практически остается постоянной и тепловая мощность, отводимая всей испарительной секцией в установившемся режиме.

Таким образом, стандартная практика моделирования в RELAP5, когда множество M геометрически идентичных каналов представляется одним общим (суммарного проходного сечения), привела бы к получению заведомо нефизичных решений. При таком подходе флуктуации во всех параллельных испарительных каналах искусственно оказались бы строго синхронизированными.

В то же время, моделирование системы по принципу «как есть», используя полное количество идентичных каналов, также является неоптимальным. Во-первых, при увеличении количества расчетных элементов в M раз ($M \gg 1$), расчетное время возрастает с хорошей степенью точности, пропорционально M^2 .

Вторая трудность более существенна и носит принципиальный характер, поскольку матрицы коэффициентов систем уравнений, которыми оперирует код, получаются практически вырожденными и притом высокой размерности. На практике это приводит к значительному дроблению расчетного шага и нередко – к аварийному завершению расчета. Но даже при нормальном завершении расчета накопление вычислительных погрешностей при решении плохо обусловленных систем уравнений оказывается неприемлемо высоким.

Таким образом, оптимальная расчетная схема содержит некоторое число m параллельных каналов, значение которого больше единицы, но существенно меньшее M . Суммарные проходное сечение и объем этих m каналов такие же, как у M

каналов реальной системы, гидравлические диаметры при этом соответствуют одному каналу.

Кроме того, для повышения устойчивости расчетных алгоритмов и снижения вычислительных погрешностей каналы выбираются не полностью идентичными по сечению, гидравлическим сопротивлениям и т.д., а с некоторым незначительным разбросом. Это соответствует реальным технологическим допускам при изготовлении трубчатки или теплообменных пластин и заделке их в раздаточный и сборный коллекторы, что снимает проблему вырожденности матриц и плохой обусловленности систем уравнений.

Но при этом возникает следующая задача: выбора оптимального значения M . Для ее решения на этапе разработки и отладки модели выполняются расчеты с $m = 1, 2, 3, \dots$, и так до тех пор, пока результаты моделирования не становятся практически нечувствительными к дальнейшему наращиванию m . На практике это достигается, начиная со значения $m = 5-7$. Определенное таким образом значение m в дальнейшем принимается в качестве оптимального. При изменении геометрических параметров реальной модели, процедура определения оптимального m повторяется.

Расчетная модель СПОТ БВ

Нодализация схема модели СПОТ БВ ОЯТ с обозначениями основных элементов изображена на рис. 3. Испаритель в модели СПОТ БВ представлен гидродинамическим элементом типа *pipe*. На схеме показан лишь один из m параллельных каналов *pipe-12*. Испарительному участку соответствуют элементарные объемы с номерами от 01 до 20.

Разбиение испарителя на достаточно большое количество расчетных участков по длине необходимо для корректного учета изменения паросодержания и скорости фаз по длине (высоте) испарительных каналов.

Предварительные расчеты показали, что минимально необходимое количество элементарных расчетных объемов составляет $N \sim 15-20$. Дальнейшая детализация испарительного участка не оказывает влияния на результаты, но приводит к существенному увеличению расчетного времени.

Длина расчетного участка испарителя принята равной 0,125 м, полная длина испарителя составляет 2,5 м. Такая длина позволяет разместить испаритель с коллекторами между нижней и верхней плитами стеллажей хранения ОТВС.

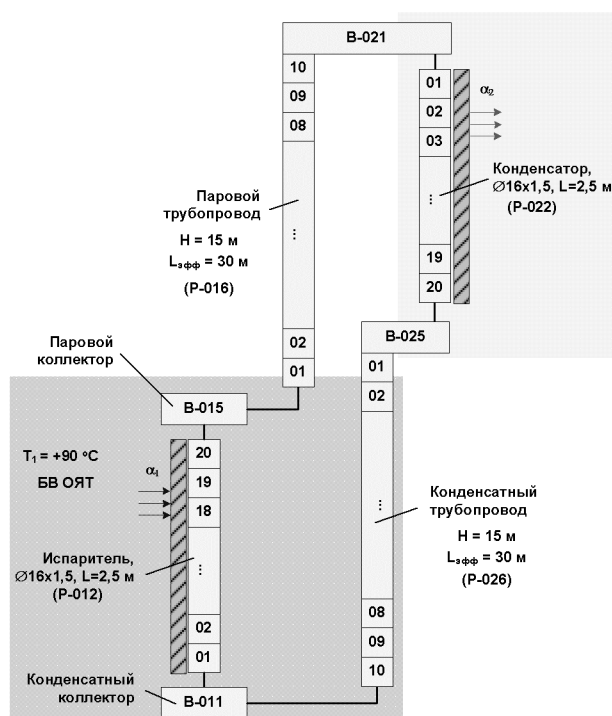


Рис. 3. Нодализационная схема контура СПОТ БВ.

Проходное сечение i -го участка (здесь и далее – без учета технологического разброса параметров) для варианта трубчатой конструкции испарителя вычисляется по формуле

$$S_i = \frac{M}{m} \times \pi \times d_i^2 / 4,$$

где $d_i = d$ – внутренний диаметр одной трубки;

M – действительное количество трубок испарителя (испарительных каналов);

m – количество параллельных испарительных каналов в расчетной модели.

Гидравлический диаметр каждого участка для трубчатого испарителя равен геометрическому внутреннему диаметру одной трубки d и при использовании трубного пучка из трубок размером $16 \times 1,5$ мм, составляет $0,013$ м.

Для участка некруглого сечения эквивалентный гидравлический диаметр элементарного расчетного объема вычисляется по формуле

$$D_{Hi} = 4 \times V_i / S_{wi},$$

где V_i – объем i -го расчетного элемента;

S_{wi} – площадь смоченной боковой поверхности i -го расчетного элемента.

Наклон теплообменных трубок задается величиной угла α относительно горизонтального положения.

Площади связей между участками по умолчанию принимаются равными минимальной из площадей проходных сечений смежных участ-

ков. Паропровод представлен гидродинамическими элементами типа *pipe* и *branch*. На рис. 3 паропроводу соответствуют участки *pipe-16*.

С варьированием длины и угла наклона участков *pipe-16* менялась общая длина паропровода и разность высотных отметок между испарителем и конденсатором, в соответствии с формулой

$$\Delta H = \sum_{i=1}^N L_i \times \sin(\alpha_i),$$

где L_i – длина i -го участка;

α_i – угол наклона i -го участка в градусах,

N – количество расчетных участков испарителя (испарительных каналов) по длине.

Элемент *branch* с номером 15 соответствует сборному (выходному) паровому коллектору испарителя, элемент *branch* с номером 21 – раздающему (входному) паровому коллектору конденсатора.

Конденсатор представлен гидродинамическим элементом типа *pipe*. На рис. 3 конденсационному участку соответствуют участки *pipe-22*. Как и в случае испарителя, на рис. 3 показан лишь один из m расчетных параллельных каналов модели.

Оптимальное количество элементарных расчетных объемов конденсатора по длине выбрано из тех же соображений, что и для испарителя. В окончательном варианте модели число элементарных расчетных объемов конденсатора было принято равным 20. Длина каждого расчетного участка составляет $0,125$ м, полная длина конденсатора – $2,5$ м.

Проходное сечение i -го участка для трубчатого конденсатора вычисляется по формуле

$$S_i = k \times \frac{M}{m} \times \pi \times d_i^2 / 4,$$

где $d_i = d$ – внутренний диаметр одной трубки конденсатора;

M – действительное количество трубок испарителя (испарительных каналов);

m – количество параллельных испарительных каналов в расчетной модели;

k – количество трубок конденсатора (конденсационных каналов), приходящихся на одну трубку испарителя (один испарительный канал).

Таким образом, геометрические характеристики испарителя и конденсатора, вообще говоря, могут быть различны.

Гидравлический диаметр каждого участка рассчитывался по тем же формулам, что и для элементарных расчетных объемов испарителя.

Наклон теплообменных трубок задается ве-

личиной угла α (в отдельности для каждого участка). Поскольку преобладающее течение предполагается нисходящим, вертикальному расположению соответствует значение $\alpha = -90^\circ$.

Площади связей между участками по умолчанию принимаются равными площадям проходных сечений смежных участков.

Модель конденсатного трубопровода представлена гидродинамическим элементом типа *pipe* (номер 26) и *branch* (с номерами 25 и 11). Она аналогична модели паропровода, описанной выше. Отличие заключается в величинах проходных сечений и гидравлических диаметров расчетных участков. Длины и разницы высотных отметок соответствующих расчетных участков рассчитывались так же, как и в модели паропровода. При задании высотных отметок было обеспечено замыкание циркуляционного контура по высоте.

Элемент *branch* с номером 25 соответствует сборному (выходному) коллектору конденсата, элемент *branch* с номером 11 – раздающему (входному) коллектору испарителя.

Теплообменные поверхности испарителя и конденсатора представлены тепловыми структурами (*heat structures*). Для удобства номера тепловых структур выбраны такими же, как и номера соответствующих гидродинамических элементов.

Для варианта трубчатых теплообменников тепловые структуры имеют цилиндрическую геометрию, в случае использования пластинчатых теплообменников – плоскую (в терминах программы RELAP5 – прямоугольную). Ввиду того, что толщина стенки теплообменных труб существенно меньше их внутреннего радиуса, условия теплообмена на внутренней поверхности тепловых структур для цилиндрической и плоской геометрии, при прочих равных условиях, отличаются несущественно. То же относится и к распределению температур внутри стенки. Поэтому выбор той или иной геометрии в данном случае определяется в основном удобством для пользователя при задании геометрических параметров.

Кроме того, для удобства обработки результатов в модель введены диагностические переменные, позволяющие вычислить «интегральные» параметры СПОТ и ее элементов. В соответствии с синтаксисом кода RELAP5 диагностическая переменная может быть обозначена мнемоническим символом *CV* (*Control Variable*) и идентифицируется уникальным трех- или четырехзначным номером. При разработке модели использовалась 4-значная нумерация.

В частности, текущее удельное объемное заполнение испарителя жидкой фазой теплоносителя определялось как

$$CV0014 = \frac{1}{NL} \sum_{i=1}^N L_i \times voidf_0120i0000,$$

где *voidf_0120i0000* – относительное объемное содержание жидкой фазы в *i*-м расчетном объеме элемента *pipe-12*;

N – количество расчетных объемов, из которых состоит *pipe-12* (на рис. 5 значение *N* = 20);

$$L_i - \text{длина } i\text{-го расчетного объема, } L = \sum_{i=1}^N L_i.$$

Аналогично удельное объемное заполнение конденсатора жидкостью может быть рассчитано как

$$CV0017 = \frac{1}{NL} \sum_{i=1}^N L_i \times voidf_0220i0000,$$

а относительное заполнение конденсатного трубопровода, как

$$CV0018 = \frac{1}{NL} \sum_{i=1}^N L_i \times voidf_0260i0000$$

и т.д.

В случае параллельных каналов можно ввести также средневзвешенное заполнение, определяемое как среднее заполнение отдельных каналов. В этом случае весовые коэффициенты пропорциональны площадям проходных сечений или объемам элементарных ячеек, а сумма всех весовых коэффициентов для параллельных каналов нормируется на единицу.

Тепловая мощность, отводимая СПОТ в стационарном режиме, определяется по формуле

$$CV0025 = 1.0 \times 10^{-3} \sum_{i=1}^N q_0120i0000,$$

где *q_0120i0000* – тепловая мощность, кВт, подводимая от тепловых структур к *i*-му расчетному объему гидравлического элемента с номером 012 (в данном случае *pipe-12*).

Граничные и начальные условия, искусственные регуляторы

СПОТ в аварийных условиях полного длительного обесточивания должна обеспечивать теплоотвод от БВ, не допуская кипения в нем воды, при температуре атмосферного воздуха до +40°C с учетом максимального заполнения отработавшими ТВС, включая аварийную выгрузку активной зоны после предшествующего останова РУ в момент, близкий к концу кампании.

С учетом неравномерности энерговыделения по объему температура воды в БВ в объеме над стеллажами не должна превысить величину

+90°C. В этом случае, независимо от продолжительности обесточивания, ОТВС в БВ останутся под уровнем воды, что обеспечит их надежное охлаждение и исключит риск повреждения тепловыделяющих элементов.

Для того, чтобы режим работы СПОТ был полностью определен, необходимо к модели СПОТ добавить расчетную модель БВ с ОЯТ со стороны теплообменника-испарителя, а также модель поглотителя (атмосферного воздуха или БАОТ) со стороны теплообменника-конденсатора, либо задать соответствующие граничные условия на внешней поверхности теплообменника-испарителя и теплообменника-конденсатора.

Первый вариант применим при проработке окончательного проекта системы. В то же время при расчете характеристик собственно СПОТ затраты вычислительных ресурсов оказываются неприемлемо большими, особенно учитывая необходимость выполнения значительного количества вариантных расчетов. Поэтому был применен второй вариант.

На внешних поверхностях задавались граничные условия третьего рода. Иными словами, для теплообменника-испарителя были заданы фиксированные для каждого расчета: температура охлаждающей среды в непосредственной близости от внешней теплообменной поверхности и значение коэффициента теплоотдачи от внешней теплообменной поверхности к охлаждающей среде. Для этого при помощи программ RELAP5 и MELCOR предварительно решалась вспомогательная задача о естественной конвекции в большом объеме (БВ ОЯТ, тяговая труба или БАОТ) с внешним омыванием воздухом или водой трубного пучка или набора пластин. Решение этой вспомогательной задачи в настоящей статье не рассматривается.

В результате, при помощи обеих программ были получены значения коэффициента теплоотдачи α на внешней поверхности испарителя в БВ ОЯТ в диапазоне 500-800 Вт/(м²·К). В расчетах величина α принималась равной меньшему полученному значению: 500 Вт/(м²·К), что является разумно-консервативным допущением.

Аналогичный подход применен и для оценки коэффициента теплоотдачи от поверхности теплообменника-конденсатора к охлаждающему атмосферному воздуху.

Учитывалось, что теплообменник-конденсатор расположен за пределами ГО и, следовательно, не имеет жестких массогабаритных ограничений. Кроме того, допускалось оребрение его наружной поверхности теплообмена.

Логика кода RELAP5 требует, чтобы площади тепловых структур (в плоской геометрии) или эффективные длины (в цилиндрической геометрии) были равны на обеих границах (внутренней и внешней), даже если с одной из сторон применено граничное условие. Исходя из этих соображений для внешней поверхности теплообменника-конденсатора было принято эффективное значение $\alpha \approx 500$ Вт/(м²·К), что достигается при коэффициенте оребрения 5-10.

Начальное заполнение испарителя СПОТ теплоносителем выбиралось близким к 80-100% по высоте. Расход среды в контуре в начальный момент расчета принимался равным нулю, начальная температура пароводяной смеси составляла +100°C, что диктовалось соображениями устойчивости расчетной схемы, реализованной в программе RELAP5. Затем система, предоставленная самой себе, приходила к стационарному состоянию в соответствии с заданными граничными условиями.

В начальный период времени включался «искусственный регулятор», позволявший корректировать заполнение контура теплоносителем. Работа регулятора основана на том, что в один из элементарных объемов конденсатного трубопровода (для определенности – в *branch-11*) подавался или отбирался теплоноситель. Параметры подаваемого теплоносителя соответствовали параметрам смеси в элементе *branch-11*, а расход ограничивался величиной, не превышающей по абсолютной величине 5% от расхода естественной циркуляции в контуре. После достижения заданной массы в контуре (внутренняя переменная *sysrms-1* программы RELAP5) искусственный регулятор отключался.

В дальнейшем расчет продолжался до достижения стационарного режима работы системы, то есть до полной стабилизации параметров тепломассопереноса, не считая короткопериодических флуктуаций, характерных для работы двухфазных термосифонных контуров.

После достижения стационарного режима определялись установившиеся значения степени заполнения расчетных элементов, параметры сред в них, передаваемая тепловая мощность, коэффициенты теплоотдачи от внутренних поверхностей теплообменных каналов к теплоносителю ДТС и др.

Выполнив серию расчетов для ряда фиксированных по массе заполнений контура СПОТ, устанавливалась связь между интересующими нас режимными параметрами.

В частности, определялись зависимости между разностью температур внешних тепло-

подводящей и охлаждающей сред, установившимся в испарителе паросодержанием и передаваемой СПОТ тепловой мощностью.

Заключение

Разработка расчетной модели СПОТ БВ ОЯТ выполнена на базе верифицированной модели РУ серийного энергоблока АЭС с ВВЭР-1000/В-320 с использованием кода RELAP5/Mod3.x.

Основной особенностью используемой в модели СПОТ БВ схемы теплоотвода является применение кольцевых ДТС, обеспечивающих высокую эффективность, надежность и безопасность отвода остаточного тепловыделения ОЯТ. Кроме того, применение кольцевых ДТС исключает необходимость управления процессом теплоотвода от БВ, что позволяет использовать термосифонную СПОТ не только в качестве аварийной системы, но и как пассивную систему нормальной эксплуатации.

Разработаны варианты модели, предусматривающие различное конструктивное исполнение теплообменника-испарителя кольцевого ДТС: с трубной и пластинчатой поверхностью теплообмена, а также с разной ее ориентацией в пространстве.

Рассмотрены особенности построения расчетной модели, позволяющие обеспечить физическую корректность результатов, устойчивость модели и минимизировать вычислительные погрешности в области низких параметров рабочих сред.

Предложен и обоснован алгоритм оптимизации расчетной модели. Приведены примеры зависимостей для расчета основных ее конструктивных и режимных параметров.

Обсуждены способы задания граничных условий для модели СПОТ со стороны БВ и конечного поглотителя теплоты. Определены граничные условия для случая, когда конечным поглотителем теплоты является атмосферный воздух. Рассмотрено и обосновано применение искусственных регуляторов для достижения начального состояния расчетной модели.

Разработанная модель позволяет выполнять расчетное моделирование режимных характеристик СПОТ БВ ОЯТ как при аварийном теплоотводе в условиях полного длительного обесточивания АЭС, так и при ее нормальной эксплуатации.

Направлением дальнейшей работы является рассмотрение режимных характеристик СПОТ БВ ОЯТ, полученных с помощью представленной расчетной модели, и их обсуждение.

Список литературы

1. Пат. № 83014 Україна, МПК⁸ G21C15/18. Басейн витримки відпрацьованого ядерного палива / Свириденко І.І., Москаленко О.Ю.; Заявник і патентовласник СевНТУ. – № а 2005 05436; заявл. 07.06.2005; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
2. Свириденко И.И. СПОТ бассейна выдержки ОЯТ / И.И. Свириденко, Д.В. Шевелев, Н.И. Власенко // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: Тез. докл. 8-й Межд. научн.-техн. конф. – М.: ОАО «Росэнергоатом», 23-25 мая 2012. – С. 234-235.

References

1. Patent # 83014 Ukrayina, MPK⁸ G21C15/18. Basejn vitrimki vidprac'ovanogo jadernogo paliva / Sviridenko I.I., Moskalenko O.Ju.; Zajavnik i patentovlasnik SevNTU. – # a 2005 05436; zajavl. 07.06.2005; opubl. 10.06.2008, Byul. # 11.
2. Sviridenko I.I. SPOT bassejna vyderzhki OJaT / I.I. Sviridenko, D.V. Shevelev, N.I. Vlasenko // Bezopasnost', jeffektivnost' i jekonomika atomnoj jenergetiki: Tez. dokl. 8-j Mezhd. nauchn.-tehn. konf. [Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Power Industry], Moscow, «Rosjenergoatom» Publ., 2012, pp. 234-235. (In Russ.).

УДК 621.039.56

Внедрение системы автоматизированного контроля остаточного ресурса совместно с системой контроля гидроамортизаторов на этапе продления срока службы энергоблока

Е.В. Шагов¹, А.В. Богачев¹, В.Я. Беркович¹, А.В. Меркун¹, Д.Б. Муравин¹,
А.О. Нагорный¹, В.П. Семишкин¹, А.В. Жуков², В.Н. Барков³

¹АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», ул. Орджоникидзе, 21, г. Подольск, Россия, grpress@grpress.podolsk.ru

²ООО «СНИИП-АСКУР», ул. Расплетина, 5, г. Москва, 123060, Россия, sniipasc@ascur.ru

³ФГУП ЭЗАН, пр. Ак. Семенова, 9, г. Черноголовка, 142432, Россия, info@ezan.ac.ru

Статья поступила 21.10.2016 г.; после доработки 24.10.2016 г.

Аннотация

При внедрении САКОР на работающих энергоблоках, подлежащих продлению ресурса, требуется учесть ряд особенностей, связанных с эволюцией требований к мониторингу технического состояния АЭС: объем современного контроля параметров эксплуатации на действующем энергоблоке является недостаточным; металл оборудования РУ частично выработал свой ресурс и необходимо количественно оценить величину накопленного повреждения; имеет место необходимость тщательного контролирования напряженного состояния и остаточного ресурса отдельных зон повреждения во время эксплуатации (например, зоны соединения №111); в отдельных компонентах присутствуют начальные несовершенства, выявленные методами неразрушающего контроля (НК) при техобслуживании (ТО).

Оценка остаточного ресурса в системе САКОР выполняется для представительного набора контрольных точек и зон для всех элементов РУ. Выбор контрольных точек осуществляется на основании доминирующего механизма повреждения для каждой контрольной точки и контрольной зоны. При эксплуатации последовательно выполняется расчет нагружающих факторов по показаниям датчиков и расчет по нагружающим факторам приведенных напряжений в контрольных точках и зонах. Для получения достоверных данных по эксплуатационному нагружению в САКОР учитываются все возможные нагружающие факторы. Также разработаны методы их определения по показаниям штатных датчиков. В случае недостаточного количества штатных датчиков предусматривается установка дополнительных датчиков на элементах РУ. В общем случае при расчете напряжений должны учитываться нагрузки от веса, давления в первом и втором контурах, температурная компенсация трубопроводов в условиях реального перемещения оборудования и стратификации теплоносителя, термопульсаций с учетом стратификации теплоносителя во всех эксплуатационных режимах.

Ключевые слова: продление срока службы, управлению ресурсными характеристиками, стратификация, оборудования и трубопроводы, реакторная установка, перемещение оборудования, контрольные точки.

Introduction of Residual Life Automatic Control System Jointly with the System of Shock Absorber Monitoring at the Stage of the Power Unit Service Life Extension

E. V. Shagov¹, A. V. Bogachev¹, V. Ya. Berkovich¹, A. V. Merkun¹, D. B. Muravin¹,
A. O. Nagorny¹, V. P. Semishkin¹, A. V. Zhukov², V. N. Barkov³

¹JSC OKB "GIDROPRESS", 21 Ordzhonikidze st., Podolsk, Russia, grpress@grpress.podolsk.ru

²JSC "SNIIP-ASKUR", 5 Raspletina st., Moscow, Russia, sniipasc@ascur.ru

³FSUE EZAN, 9 Acad. Semenov Ave., Chernogolovka, 142432, Russia, info@ezan.ac.ru

Received 21.10.2016 y.; received in final form 24.10.2016 y.

Abstract

When SACOR system is introduced at the power units in operation, that are subject to service life extension, it is necessary to take into account the following problems: the scope of the up-to-date instrumentation for the NPP operating pa-

parameter monitoring is insufficient at the power unit; metal of RP equipment and pipelines has partly run out of its service life and it is necessary to give a quantitative assessment of the cumulative damage for the previous term of operation; the necessity to monitor the stressed state and the residual service life of the areas damaged in the course of operation (for example, the area of the nozzle of connection of a collector to a steam generator); there are initial defects, detected of the in-service inspection (ISI).

The assessment of the residual service life is performed on the representative set of reference points on all the RP equipment according to the limiting states chosen on the basis of the prevailing mechanism of destruction for each reference point and area. For this purpose a calculation is performed on the basis of the readings of the loading factor sensors, calculation by the loading factors of the reduced stresses in the reference points and areas. To obtain the authentic results on the operational loading, SACOR takes into consideration all the possible loading factors. The methods of their determination by the readings of the standard pickups were developed. In case the number of the standard pickups is not enough, extra ones can be installed on the RP equipment. In the stress calculations loads shall be considered from the weight, primary and secondary circuits, temperature compensation of the pipes under the conditions of the actual movement of equipment and coolant stratification, thermopulsation with account for the coolant stratification in all the modes of operation.

Keywords: power unit service life, service life extension, stratification, equipment and pipelines, reactor plants, off-design displacement, the reference points.

Введение

Продление срока службы энергоблока связано с выполнением целого комплекса мероприятий для подготовки его к дальнейшей эксплуатации. Требования, по которым составляется программа модернизации энергоблока, зафиксированы в нормативных документах НП-017-2000 «Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции» и СТО 1.1.1.01.006.0327-2008 «Стандарт организации. Продление срока эксплуатации блока атомной станции». Среди них есть требование о необходимости разработки Программы по управлению ресурсными характеристиками, содержание которой регламентировано стандартом концерна «Росэнергоатом» «Управление ресурсными характеристиками элементов энергоблоков атомных станций». СТО 1.1.1.01.007.0281-2010. В настоящий момент разработаны и введены в действие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения» (НП-096-15).

Для того, что бы «управлять ресурсом», заранее предвидя возможность ремонта / замены / модернизации элемента, необходимо иметь прогноз остаточного ресурса, который можно получить, применяя методы непрерывной аналитической диагностики состояния металла, которые совместно с периодическим применением НК позволят управлять ресурсными характеристиками. Неразрушающий контроль (НК) является прямым физическим методом выявления повреждения металла оборудования и имеет ряд особенностей. НК выявляет уже последствие повре-

ждения металла в виде различного типа дефектов и не может дать количественную оценку приближения состояния к образованию дефекта. Кроме того НК можно проводить только во время ППР, а зоны концентрации напряжений для РУ типа ВВЭР расположены на внутренних поверхностях оборудования и трубопроводов, к которым доступ персонала ограничен и соответственно имеется большое количество непригодных для контроля мест. В качестве метода непрерывной аналитической диагностики состояния металла предлагается использовать систему автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР-320).

Энергоблоки, находящиеся в эксплуатации и подлежащие продлению ресурса, имеют следующие проблемы препятствующие управлению ресурсными характеристиками:

- металл оборудования РУ частично выработал свой ресурс и необходимо количественно оценить величину накопленного повреждения;
- имеются начальные несовершенства (язвы, коррозия, случай повреждения с последующим ремонтом и т. д.);
- на энергоблоке имеется недостаточный объем современного контроля параметров эксплуатации для полного расчета всех нагружающих факторов (нагрузок на оборудование);
- необходимость контролировать напряженное состояние и остаточный ресурс зон повреждения во время эксплуатации (например, зону с.с. №111).

Внедрение системы автоматизированного контроля остаточного ресурса (САКОР-320) совместно с системой контроля гидроамортизаторов (ГА) и дополнительных термометров сопротивления (ТСП) позволяет устранить эти

препятствия и реализовать полный расчет всех нагружающих факторов.

В процессе эксплуатации энергоблока на оборудование РУ могут воздействовать нагрузки, не предусмотренные в проекте. К этим нагрузкам в первую очередь следует отнести непроектное перемещение оборудования РУ, термопульсации и стратификация теплоносителя во всех эксплуатационных режимах.

Поэтому, в рамках управления ресурсом необходимо на ранней стадии выявить повышенные нагрузки на оборудования, предварительно разработав критерии повышенной нагрузки, принять меры по устранению данного воздействия с оценкой величины вклада данного воздействия в повреждение оборудования и трубопроводов.

Все эти функции выполняет различное программное обеспечение (ПО), входящее в состав САКОР-320, состав которого будет описан ниже.

Приведение объема термосилового контроля к требованиям САКОР

Для получения достоверных результатов по эксплуатационным нагрузкам необходимо выявить все возможные нагружающие факторы и разработать методы их определения по показаниям датчиков. Должны рассчитываться нагрузки от давлений первого и второго контуров, температурная компенсация трубопроводов в условиях реального перемещения оборудования и стратификации теплоносителя, термопульсации теплоносителя во всех эксплуатационных режимах.

Недостаточный объем современного контроля параметров эксплуатации можно устранить установкой дополнительных датчиков (в том числе датчиков линейного перемещения на ГА) или использованием имеющихся систем (ИВС, СВРК).

Использование датчиков от уже имеющихся на энергоблоке систем позволяет удешевить внедрение САКОР, уменьшив дозозатраты персонала АЭС при монтаже системы и дальнейшему ее обслуживанию в процессе эксплуатации.

На ГЦТ вопрос контроля стратификации теплоносителя в аварийных режимах при подаче холодного борного раствора и отключенных ГЦНА решен с использованием имеющихся штатных термопар и термометров сопротивления погружного типа, сигналы с которых передается от ИВС и СВРК.

На поверхности ПГ установлены по восемь ГА в два ряда по высоте, на каждом из которых имеется по одному датчику линейного перемещения (ДЛП), измеряющих перемещение в направлении оси ГА. На рис. 1 приведена схема расстановки ГА на ПГ. Это создает избыточность показаний датчиков линейного перемещения для расчета перемещений корпусов ПГ1-4, для которого нужно 4 датчика, что значительно повышает надежность функции расчета перемещений. Узел крепления датчика на ГА выполнен в варианте защищающим шток датчика от воздействия человека и выдерживающий весовую нагрузку более 100 кг.

В качестве ДЛП выбран индуктивный датчик, который по сравнению с применяемыми потенциометрическими штатными датчиками на РУ В-320 вновь пускаемых энергоблоков существенно улучшает качество собираемой информации.

По опыту эксплуатации потенциометрические датчики имеют множественные отказы, связанные с выбросами на величины до 30мм, зависание и пульсации показаний датчиков и просто отказы, что делает невозможным расчет перемещений. В настоящий момент в САКОР-320 новых АЭС с РУ В-320 функция учета реальных перемещений в повреждаемости выключена. Выполняется только расчет критериальных параметров перемещения патрубков ПГ с дальнейшим экспертным анализом входных и выходных данных ПО расчета перемещений САКОР-320.

Для реализации функции контроля перемещений необходима модернизация системы контроля гидроамортизаторов и доведения ее до современного уровня.

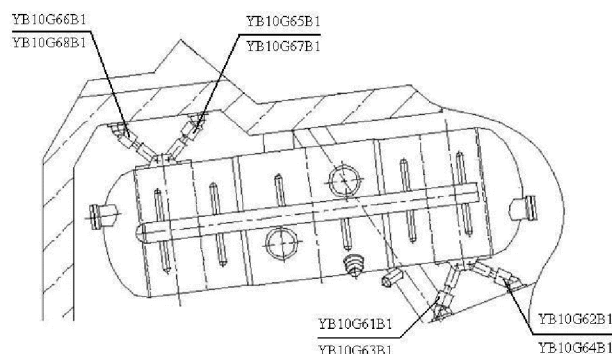


Рис. 1. Размещение ГА на корпусе ПГ-1 и места их крепления к стенам РО для РУ В-320.

Для контрольных точек в зонах смешения теплоносителей с различной температурой, связанных с возникновением термопульсаций и

стратификации теплоносителя предусматриваются дополнительные поверхностные ТСП, устанавливаемые по сечению трубопровода на съемных креплениях в виде хомутов:

- по два поверхностных ТСП, в верхней и нижней точке сечения, на трубопроводах питательной воды на расстоянии ~ 200 мм от патрубков ПГ 1–4;
- по два поверхностных ТСП, в верхней и нижней точке сечения, на трубопроводе впрыска системы компенсации давления на расстоянии ~ 200 мм от патрубка КД;
- поверхностный ТСП, в нижней точке сечения, на соединительном трубопроводе (СТ) системы компенсации давления (горизонтальный участок, ближайший к КД);
- поверхностные ТСП, в нижней точке сечения, на трубопроводах системы подпитки на расстоянии ~ 200 мм от патрубков врезки в холодную нитку ГЦТ 1 – ГЦТ 4.

Разработана специализированная конструкция хомута для исключения возможности провисания (неплотного контакта с трубопроводом) и закусывания разъемных элементов. Хомут выполнен в подпружиненном варианте, чтобы обеспечивать температурную компенсацию от термоударов во время эксплуатации при разнице температур между хомутом и трубой не менее выявленных по опыту эксплуатации, что подтверждено расчетом. Дополнительно выполнен расчет прочности хомута. В комплект поставки входит инструкция по монтажу, в которой предусматриваются выставление первоначальных усилий в холодном состоянии. Материалы и геометрия хомутов и трубопроводов, на которые они устанавливаются, выбраны, так чтобы уменьшить различие в коэффициентах температурного расширения.

Организация сбора информации по показаниям датчиков и вызова ПО

САКОР-320 применительно к РУ В-320 работает с использованием локальной вычислительной сети (ЛВС), которая соединена с ИВС, СВРК через ИВС, ВК СКТПГ и ПК БЩУ. Общая структура организации передачи информации на сервер САКОР-320 представлена на рис. 2. На схеме стрелками указаны кабели коммуникационной связи между системами. Серым цветом отмечены технические средства, входящие в состав САКОР-320. Прием информации по показаниям ДЛП, датчиков уровня и ТСП выполняет УИИ, которое производит оцифровку аналоговых и дискретных сигналов от этих датчи-

ков, а затем по двум каналам передает их в СКТП ПГ.



Рис. 2. Принципиальная схема функциональной структуры САКОР-320.

На УИИ установлено программное обеспечение для обслуживания УИИ состоит из программы функционирования (ПФ) УИИ, ПО технологического компьютера для проведения калибровки измерительных каналов УИИ и ПО технологического компьютера для настройки блоков ввода аналоговых сигналов УИИ.

ПО приема-передачи информации (ПО ППИ), размещенное на двух системных блоках СКТП ПГ, является основным «on-line» управляющим модулем САКОР-320. ПО ППИ осуществляет прием информации от УИИ по показаниям ДЛП, датчиков уровня и ТСП, а также вызывает видеокадр значений аналоговых сигналов датчиков перемещений ГА оборудования РУ и дискретных сигналов уровня масла в расширительных бачках ГА реализован на базе графических схем, подобных представленной на рис. 1.

ПО ППИ осуществляет прием информации от ЛВС также по двум параллельным каналам и формирует общий массив входных данных САКОР-320, необходимый для работы всех модулей ПО и видеокадров. ПО ППИ подает на вход «on-line» ПО расчета перемещений необходимые показания датчиков с частотой 10 с, которое рассчитывает критериальные параметры перемещения корпусов ПГ в виде перемещений патрубков ГЦТ на ПГ и угла поворота.

ПО ППИ также формирует входной файл структуры типа 1 [1] для ПО расчета остаточного ресурса. В дальнейшем планируется организовать автоматический периодический запуск ПО ППИ ПО расчета остаточного ресурса. Выходной информацией ПО расчета остаточного ресурса помимо протокола с результатами расчета остаточного ресурса являются файлы файловой структуры типа 2, содержащие значения показаний датчиков, нагружающих факторов и напряжений в зависимости от времени. ПО ППИ осуществляет передачу файлов файловой структуры типа 1 на ПК САКОР-320, необходимых в качестве входной базы данных для ПО «ДИАНА» и файлы файловой структуры типа 2 необходимых в качестве входной базы данных для сервисного ПО САКОР-320.

Выявление «on-line» непроектных перемещений по критерию нагруженности

ПО расчета перемещений выполняет функцию «on-line» расчета критериальных параметров перемещения корпусов ПГ, выбранных по критерию нагруженности.

Для того чтобы определить нагрузки в ГЦТ необходимо знать краевые условия, которыми являются перемещения в горизонтальной плос-

кости и угол поворота вокруг своей оси горячего и холодного патрубка ГЦТ на ПГ.

В качестве критериальных параметров (определяющих напряжения в горячей нитки ГЦТ) взяты перемещение поперек оси горячей нитки ГЦТ, угол поворота горячего патрубка ГЦТ на ПГ и перемещение вдоль оси горячей нитки ГЦТ без учета ее температурного удлинения.

Далее ПО расчета перемещений проводит выявление непроектных перемещений оборудования РУ с графическим представлением на сервере СКТП ПГ и на видеокadre ПК БЩУ этих критериальных параметров и их предельных значений. Вид графиков критериальных параметров выдаваемых «on-line» на монитор СКТП ПГ и ПК БЩУ представлен на рис. 3.

Красные линии обозначают предельно допустимые значения (на рис.3 обозначены цифрой 1).

Расчет проводится в соответствии с методикой изложенной в [2].

В дополнение к методике разработаны алгоритмы учета нелинейности расчета, связанной с большими углами поворота гидроамортизаторов, которая для РУ В-320 может составлять до 3 мм бокового отклонения от оси ГЦТ.

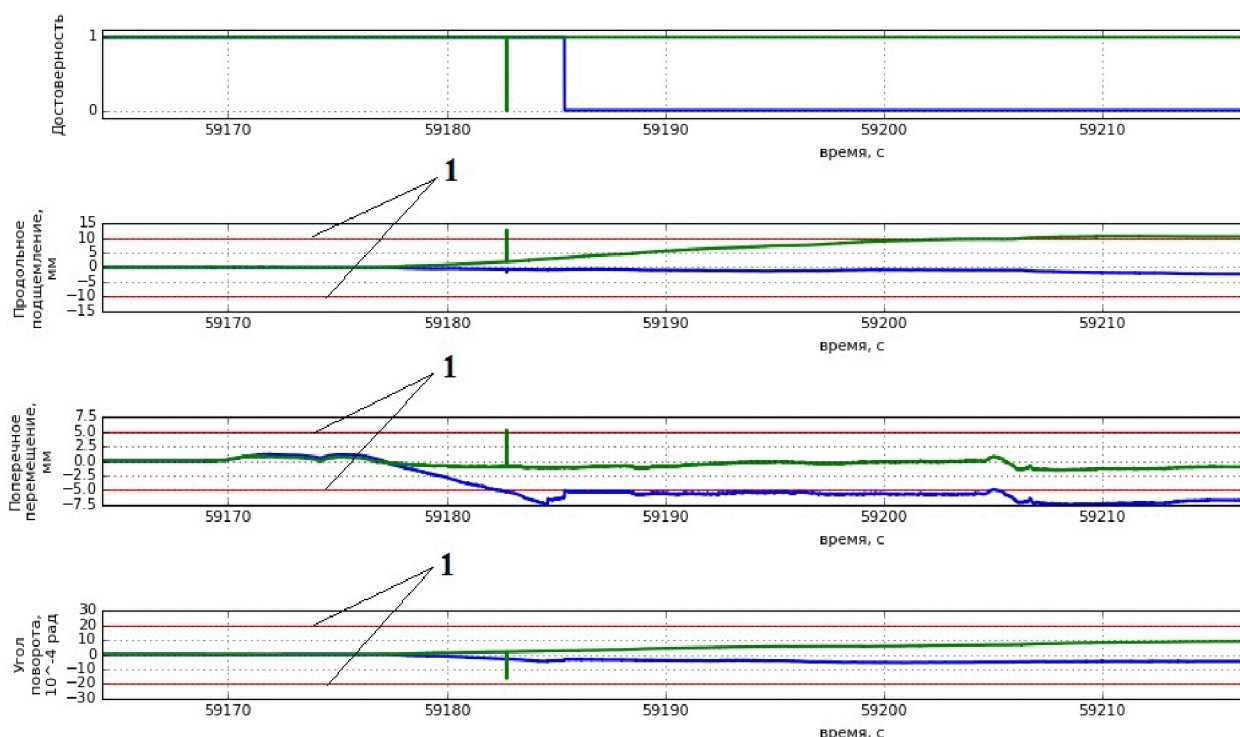


Рис. 3. Зависимости критериальных параметров от времени в процессе расхолаживания.

Дополнительно с целью повышения надежности расчет ведется по двум рядам ГА и дополнен функциями проверки достоверности полученных результатов и оценки погрешности. Также проводится проверка правильности расчета по перемещениям ГЦН, которые рассчитываются по пяти ДЛП на ГА каждого из ГЦН. При расчете температурного удлинения горячей и холодной нитки ГЦТ рассчитывается средняя температура металла трубопровода с использование интеграла Дюамеля, что позволяет в режимах с быстрым изменением температуры (более $0,04\text{ }^{\circ}\text{C/c}$) теплоносителя в ГЦТ отслеживать процесс запаздывания прогрева металла.

Выявление повышенных температурных нагрузок

Установленные в составе САКОР-320 поверхностные ТСП позволяют проводить выявление повышенных температурных нагрузок на трубопроводы и патрубки оборудования. Для этой цели используется ПО диагностики нагруженности (ПО «ДИАНА»).

На рис. 4 представлено главное окно сервисной части ПО «ДИАНА», появляющееся на мониторе ПК САКОР-320, после вызова исполняемого модуля.

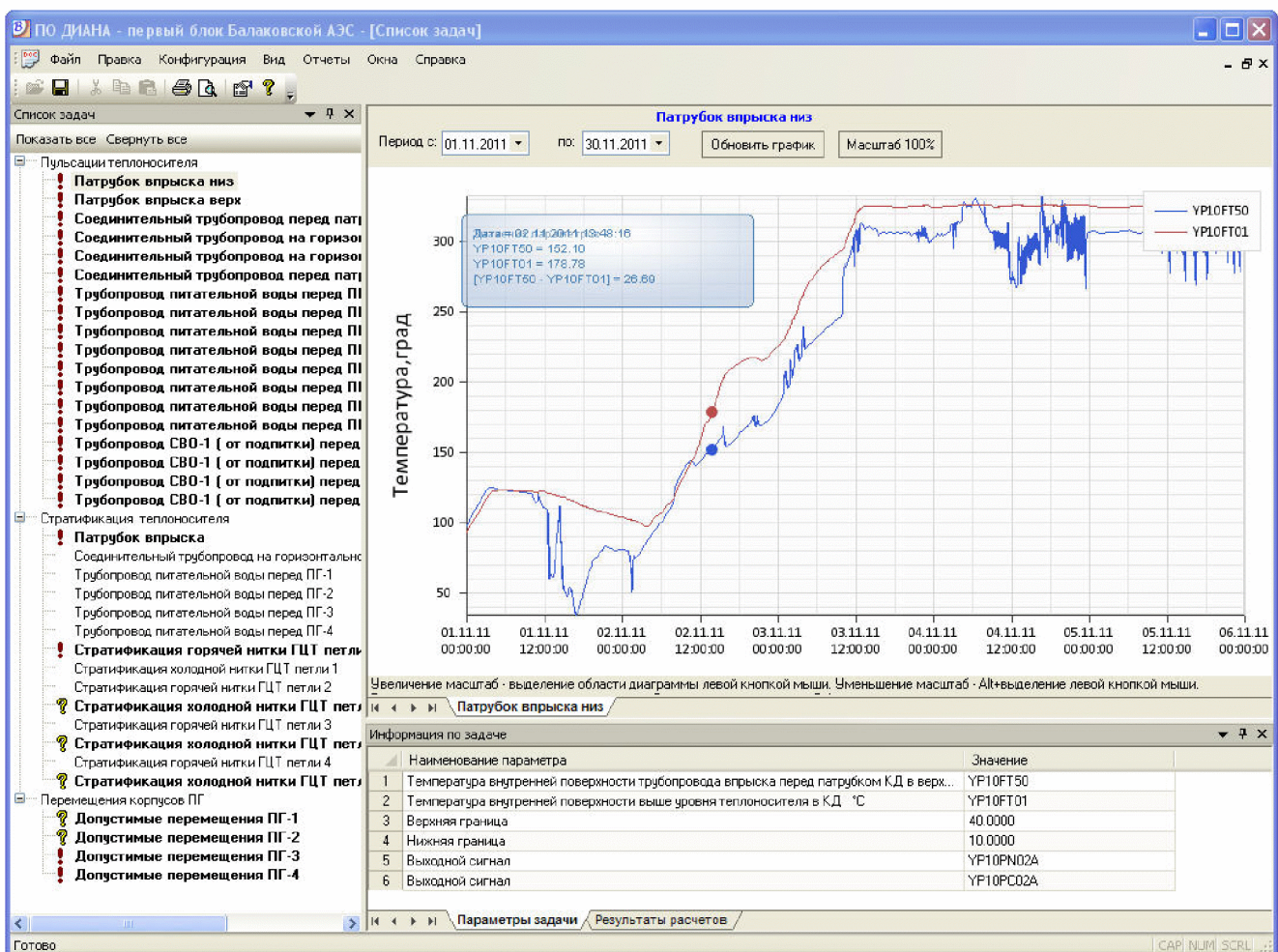


Рис. 4. Главное окно сервисной части ПО «ДИАНА».

ПО «ДИАНА» проводит выявление циклов изменения температуры теплоносителя с фиксацией их амплитуд и количества, а также с сохранением времени начала и окончания цикла на СТ возле патрубков КД и ГЦТ, в верхней и нижней точках сечения на горизонтальном участке ближнем к КД, в верхней и нижней точке сечения трубопроводов питательной воды

ПГ 1-4 возле патрубков, в верхней и нижней точке сечения трубопровода впрыска в КД возле патрубка, на трубопроводах подпитки возле патрубков приварки к ГЦТ 1-4 [3].

По окончании расчета формируется диагностический сигнал о превышении (не превышении) количества допустимых циклов по температурным пульсациям и термоударами, с выда-

чей его в протокол, размещаемый на ПК САКОР-320 ПО «ДИАНА» проводит выявление максимальных значений перепадов температур, распределенных по линейному закону для выяснения максимальной расчетной нагрузки от стратификации на СТ на горизонтальном участке ближнем к КД, на трубопроводе впрыска в КД, на трубопроводах питательной воды ПГ 1-4. По окончании расчета формируется диагностический сигнал о превышении максимальной величины стратификации теплоносителя, зафиксированной до этого, а значение максимальной величины стратификации теплоносителя заносится в протокол, размещаемый на жестком диске ПК САКОР-320.

Выбор контрольных точек на оборудовании, включая зоны начальных несовершенств

Следующей задачей, которую необходимо решить для управления ресурсными характеристиками является обеспечение полноты зон и точек контроля повреждения по различным механизмам.

Для контроля усталостного повреждения оборудования КД, ПГ и реактор составляется перечень критических элементов и узлов основного оборудования и трубопроводов первого контура РУ с точки зрения проектного усталостного циклического повреждения, и выбираются точки, подлежащие контролю в рамках определения остаточного ресурса. Первоначально выбор критических узлов и контрольных точек проводится на основе анализа результатов поверочных проектных расчетов.

В САКОР вносят контрольные точки в местах теплосмен, к которым относятся патрубки подачи теплоносителя в оборудование РУ из трубопроводов.

При этом подача теплоносителя может быть как активной, так и пассивной. Отдельно решен вопрос по количеству контрольных точек на патрубке впрыска в КД, патрубке питательной воды и патрубке соединительного трубопровода на КД, которые характеризуются возникновением стратификации.

Контрольные точки на сварных соединениях трубопроводов с обнаруженными несплошностями в процессе эксплуатационного контроля подлежат контролю по критерию усталостного роста дефектов.

В контролируемые зоны вносятся сварные соединения трубопроводов РУ для проверок

выполнения критериев «течь перед разрушением» в процессе эксплуатации.

Зоны возникновения повреждений по опыту эксплуатации также включаются в перечень контрольных точек.

К этим зонам относятся: зона радиусного перехода в кармане коллектора ПГ, сварные соединения с конструктивным несправом рубашки на патрубках СУЗ на крышке реактора, теплообменные трубки ПГ.

Для кармана коллектора в качестве нагружающих факторов учитываются непроектные перемещения ПГ.

Краткое описание ПО расчета остаточного ресурса САКОР-320

Оценку остаточного ресурса САКОР проводит в представительном наборе контрольных точек на всем оборудовании РУ, по предельным состояниям выбранных на основании доминирующего механизма разрушения для каждой контрольной точки и зоны.

ПО расчета остаточного ресурса САКОР-320 размещается на сервере ВК САКОР-320 и запускается по команде оператора, которое считывает накопленные входные файлы и по всем проводит расчет остаточного ресурса кроме текущей даты. Для этого проводится расчет по показаниям датчиков нагружающих факторов, расчет по нагружающим факторам приведенных напряжений в контрольных точках и зонах.

Для получения достоверных результатов по эксплуатационному нагружению, САКОР-320 учитывает все возможные нагружающие факторы, а также разработаны методы их определения по показаниям датчиков.

При расчете напряжений учитываются нагрузки от веса, давлений первого и второго контуров, температурная компенсация трубопроводов в условиях реального перемещения оборудования и стратификации теплоносителя, термопульсации с учетом стратификации теплоносителя во всех эксплуатационных режимах.

Схематизация циклов нагружения выполняется по методу «дождя» [4].

Определение условно-упругих напряжений по приведенным напряжениям, коэффициентов интенсивности напряжений, расчет накопленного усталостного повреждения и роста дефектов для каждого полуцикла, а также расчет предельных состояний по циклической, вязкой и хрупкой прочности, выбор коэффициентов запаса выполняется в соответствии с нормативными подходами.

Расчет усталостного подрастания дефектов, обнаруженных в процессе НК, по реальному эксплуатационному нагружению проводится за один день с добавлением результатов в соответствующие базы данных.

Расчет эквивалентных напряжений организуется во всех сварных соединениях, указанных в перечне контрольных точек, в котором указаны идентификаторы нагружающих параметров, используемых при расчете эквивалентных напряжений в данном сварном соединении.

Расчет коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) и подрастания дефектов организованы в виде циклической процедуры, где в каждом следующем расчете подрастания дефектов, используется с предыдущего шага КИН и размеры дефекта, по которым он вычислен.

При проверке выполнения критериев хрупкой и вязкой прочности сварных соединений с

имеющейся дефектностью оборудования и трубопроводов проводится оценка коэффициентов запаса с учетом подрастания дефектности.

Все расчеты ведутся в соответствии с [5].

Краткое описание сервисного ПО САКОР-320

Сервисные функции ПО САКОР-320, предназначенные для проверки правильности настройки ПО САКОР-320, позволяют оператору контролировать правильность использования баз данных информационного обеспечения САКОР.

На рис. 5 представлены показания ДЛП выдаваемых сервисным ПО САКОР-320.

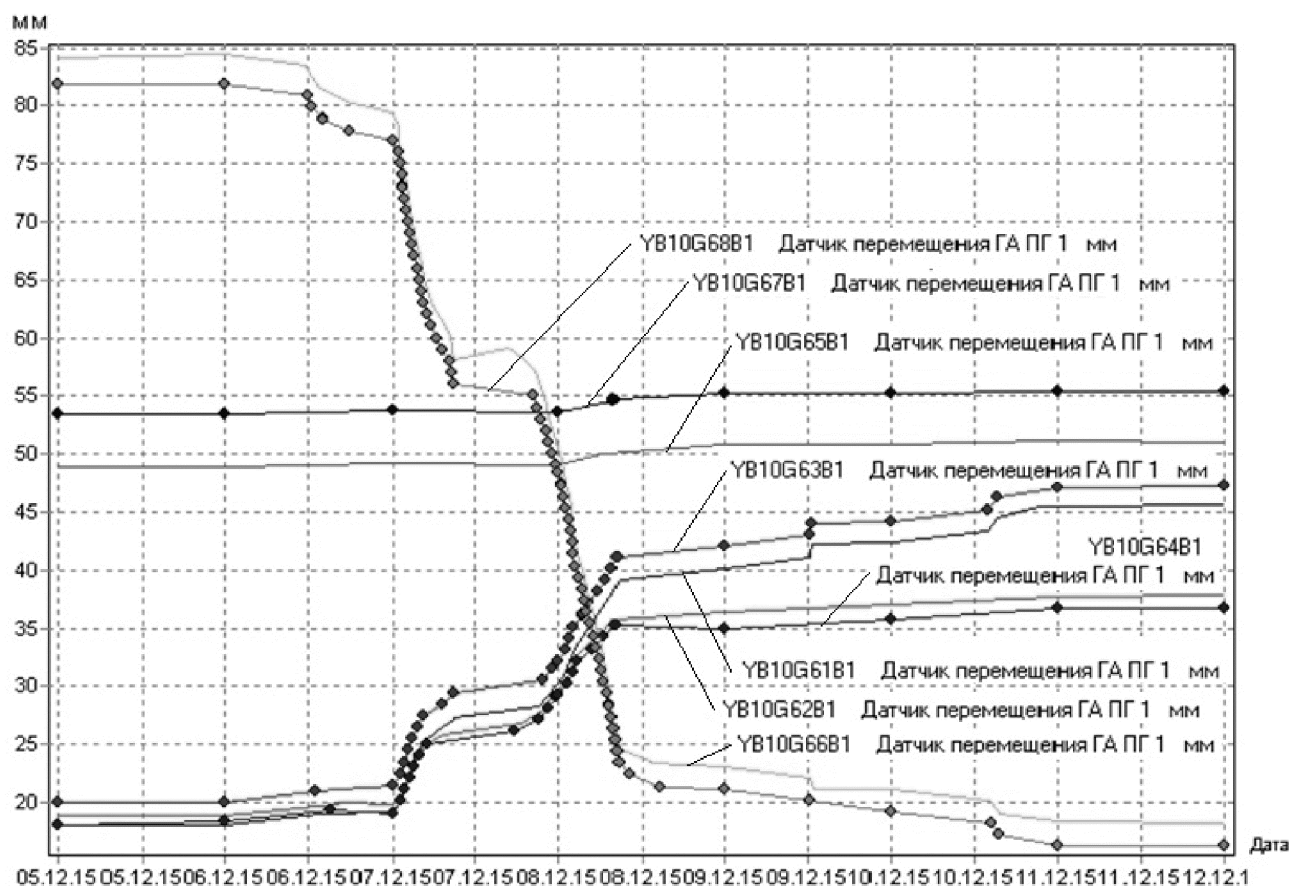


Рис. 5. Графики показаний ДЛП ПГ-1, выдаваемых сервисным ПО САКОР-320.

Как видно из графиков отсутствуют сбойные значения и показания ДЛП с двух уровней ГА практически совпадают.

Необходимо также отметить, что вовремя монтажа теплоизоляции не был поврежден ни один датчик и не потребовалось дополнитель-

ных мероприятий по восстановлению работоспособности ДЛП на ГА.

В качестве сервисных функций в программном обеспечении системы САКОР-320 предусмотрен просмотр баз данных информационной поддержки оператора.

К таким базам данных относятся: перечень контрольных точек, рисунки узлов с указанием на них контрольных точек, перечень штатных датчиков.

Данные сервисные функции имеются на прикладном ПО САКОР-320, установленном на сервере САКОР-320.

Контроль напряженного состояния зоны соединения горячего коллектора с ПГ

Для диагностики напряженного состояния зоны соединения горячего коллектора с ПГ в соответствии с [6] определены все нагружающие факторы, действующие на зону повреждения, и определена зависимость местных напряжений от нагружающих факторов.

Нагружающими факторами, действующим на зону соединения коллектора с патрубком ПГ являются следующие:

- давление первого и второго контуров;
- перемещение патрубка ГЦТ на ПГ поперек оси ГЦТ;
- подщемление в опорах при температурном расширении ГЦТ;
- поворот ПГ вокруг вертикальной оси;
- компенсационные усилия и моменты на патрубке ГЦТ от температурного расширения реактора и перепад температур между первым контуром, температурой воды в кармане ПГ и температурой металла вдоль нижней образующей парогенератора [7].

На рис. 6 представлено изменение осевых напряжений во времени на радиусном переходе в зоны соединения горячего коллектора с ПГ. Красные линии обозначают предельно допустимые значения (на рис.6 обозначены цифрой 1).

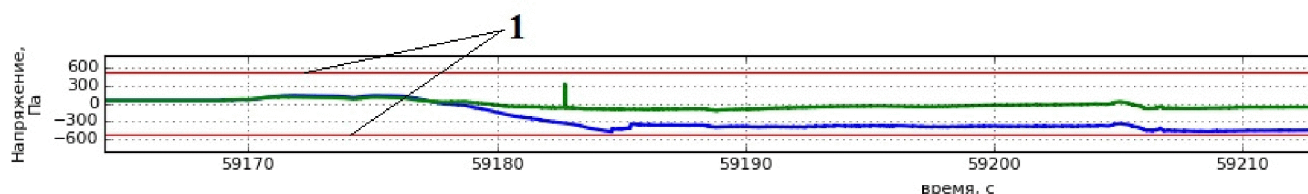


Рис. 6. Изменение осевых напряжений (МПа) во времени на радиусном переходе в зоны соединения горячего коллектора с ПГ

Список литературы

1. Беркович В.Я., Богачев А.В., Б.Н. Дранченко, Семишкин В.П.. Использование для решения эксплуатационных задач АЭС с ВВЭР системы автоматизированного контроля остаточного ресурса. Проблемы прочности. Межд. науч.-техн. журнал, 2010. – № 1. – С. 62-69.
2. Богачев А.В., Беркович В.Я., Дранченко Б.Н., Семишкин В.П.. Определение нагружающих факторов для расчета напряжений в САКОР применительно к проекту РУ АЭС-2006. 5-ая Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», г. Подольск. 29 мая –1 июня 2007 г.
3. Беркович В.Я., Богачев А.В., Семишкин В.П., Муравин Д.Б., Черняков А.И.. Результаты внедрения на 2-ом энергоблоке Ростовской АЭС системы автоматизированного контроля остаточного ресурса нового поколения (САКОР-320). МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев, Украина, 28-30 сентября 2010 г.
4. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статического представления результатов. ГОСТ 25.101-83.

5. Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации, включая эксплуатацию за пределами проектного срока службы, РД ЭО 1.1.2.05.0330-2012. – Москва, 2012.
6. Шарый Н.В., Семишкин В.П., Пиминов В.А., Драгунов Ю.Г. «Прочность основного оборудования и трубопроводов реакторных установок ВВЭР» М.: ИздАТ, 2004.
7. Богачев А.В., Дранченко Б.Н., Беркович В. Я. Контроль напряжений в зоне приварки коллектора к корпусу ПГВ-1000 в процессе эксплуатации системой САКОР. Серия «Обеспечение безопасности АЭС». Вопросы атомной науки и техники. Научно-технический сборник. Выпуск 19. Реакторные установки ВВЭР. Подольск, 2007. – С. 43-54.

References

1. V.Ya. Berkovich, A.V. Bogachev, B.N. Dranchenko, V.P. Semishkin. Application of the residual service life monitoring system to solve the operational problems at VVER NPPs / *Int.l scientific-and-engineering magazine. Problems of Strength*, No.1, 2010, p. 62-69

2. A.V. Bogachev, V.Ya. Berkovich, B.N. Dranchenko, V.P. Semishkin. Determination of the loading factors to calculate stresses in SAKOR applied for AES-2006 RP design. *5-th Int. scientific-and-technical conf. "Safety Assurance of NPP with VVER"*, Podolsk. May 29-June 1, 2007.
3. V.Ya. Berkovich, A.V. Bogachev, V.P. Semishkin, D.B. Muravin, A.I. Chernyakov. Results of introducing the new-generation system of automated residual service life monitoring (SAKOR-320) at Rostov NPP Unit 2. *Int. scientific-and-technical conf. "Strength of materials and structural components"*, Kiev, Ukraine, September 28-30, 2010.
4. Schematization methods of random processes of loading the components of machines and structures and statistical presentation of the results. GOST 25.101-83.
5. Quidelines for strength calculations of equipment and pipelines of reactor plants RBMK, VVER, EGP at the stage of operation including the operation beyond the limits of design service life, RD EO 1.1.2.05.0330-2012, Moscow, 2012.
6. N.V. Shary, V.P. Semishkin, V.A. Piminov, Ju. G. Dragunov. *"Strength of the main equipment and pipelines of VVER reactor plants"* M.: IzdAT, 2004.
7. Bogachev A.V., Dranchenko B.N., Berkovich V.Ya. In-service stress monitoring with SAKOR system in the area of collector-to-PGV-1000 vessel weld. Series "NPP safety assurance". *Issues of nuclear science and engineering. Collected papers*. Iss. No. 19. VVER reactor plants. Podolsk. 2007, p. 43-54.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.311.004.13(075.8)

Учет продольных параметров сети при исследовании процессов перемежающихся дуговых замыканий на землю**В.В. Колодяжный***ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия. kvvula@mail.ru*

Статья поступила 03.10.2016 г.; после доработки 06.10.2016 г.

Аннотация*В статье рассмотрен вопрос важности учета продольных параметров при исследовании процессов перемежающихся дуговых замыканий на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью.**Ключевые слова:* перемежающиеся дуговые замыкания, распределительная сеть с изолированной нейтралью.**Account of the longitudinal parameters in the equivalent circuit of the electrical grid in the study process intermittent arc earth fault****V. Kolodijny***Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, kvvula@mail.ru*

Received 03.10.2016 y.; received in final form 06.10.2016 y.

Abstract*The question of the importance of longitudinal parameters when modeling processes of intermittent arc short-circuits in distribution networks with insulated neutral considered in the article.**Keywords:* intermittent arc earth fault, distribution, networks, modeling processes.**Введение**

Как известно, в распределительных сетях с изолированной нейтралью замыкание одной фазы на землю не является коротким замыканием и принято считать, что его возникновение не требует немедленного отключения поврежденного присоединения и позволяет длительно сохранить работоспособность таких сетей в целом [1,2].

В то же время воздействие заземляющей дуги и возникающих перенапряжений, особенно при перемежающихся дуговых замыканиях (ПДЗ) фазы на землю, создаёт весьма тяжелые условия для работы изоляции. Термическое воздействие

дуги и перенапряжения зачастую переводят однофазные замыкания в многофазные короткие замыкания или многоместные пробой изоляции на поврежденной фазе. Помимо этого, при однофазных замыканиях происходит нарастание напряжения на «здоровых» фазах до значения линейного, что подвергает изоляцию чрезмерному воздействию и способствует ее ускоренному старению и снижению запланированного ресурса.

По данным опыта эксплуатации 60-80% однофазных замыканий в сетях 6-10 кВ развиваются в междуфазные короткие замыкания или в многоместные пробой изоляции, поэтому нельзя допускать ошибочной недооценки их опасности. Наибольшую опасность ПДЗ

представляют для распределительных сетей с большим числом присоединений, поскольку они могут вызывать групповой выход из работы подключенного к сборным шинам электрооборудования [2].

Для обеспечения надежной и безотказной работы электроустановок необходим правильный критерий для действия защит, устанавливаемых в электрических цепях. Несмотря на многочисленность работ, посвященных защите от однофазных замыканий в электрических системах, заложенные в действие принципы во многих случаях не удовлетворяют выдвинутым требованиям из-за отсутствия однозначного признака для определения поврежденного присоединения.

Этим объясняется недостаточно эффективная работа защит при перемежающихся дуговых замыканиях на землю, когда имеет место либо недостаточная чувствительность, либо неселективность действия применяемых в настоящее время устройств.

По мнению автора, в значительной степени это является следствием недостаточной изученности процессов изменения электрических величин при ПДЗ, а также, принимаемых допущений при их моделировании и исследовании.

Цель работы и задачи исследования

Целью данной работы является оценка влияния продольных параметров сети на процесс изменения электрических величин при ПДЗ.

Имеющиеся в настоящее время сведения о характере изменения электрических величин переходных процессов, вызванных горением перемежающейся дуги в сетях с изолированной нейтралью достаточно ограничены и явно недостаточны для практического использования при разработке устройств защиты от замыканий на землю [4,5].

Даже в работах, посвященных именно этому вопросу, как уже отмечалось выше, многие выводы и обобщения авторов основаны на рассмотрении частных случаев горения перемежающейся дуги. В особенности, вопросы влияния междупазных емкостей на свободную составляющую тока НП, обусловленную разрядом емкостей поврежденной фазы, требуют более глубокого изучения и уточнения.

В работах, посвященных исследованию переходных процессов при ПДЗ, авторы справедливо отмечают важность такого исходного момента, как принятая схема замещения электрической се-

ти, насколько точно, качественно и количественно, она может отразить процессы, происходящие в реальной сети в условиях принятых допущений и ограничений.

В [3], например, предпринята попытка анализа свободных емкостных токов ЗНЗ в сетях с изолированной нейтралью. Однако, одно-контурная схема замещения, принятая авторами, позволяет рассмотреть только одну свободную составляющую тока нулевой последовательности (НП), обусловленную лишь зарядом емкостей неповрежденных фаз. Вторая составляющая, вызванная разрядом емкостей поврежденной фазы, без должной на то аргументации остается без внимания. Такой подход к исследованию переходных процессов при ПДЗ представляется несколько некорректным, поскольку разрядная составляющая, определяемая параметрами поврежденной фазы присоединений и местом замыкания, вносит значительный вклад в ток НП и существенно влияет на общую картину переходного процесса.

Трудно согласиться и с утверждением авторов о распределении тока НП лишь пропорционально емкостям присоединений независимо от их продольных параметров, удаленности места замыкания от сборных шин и гармонического состава тока НП. Такое соотношение допустимо только при анализе однородных сетей с одинаковым распределением R , L , C - параметров по линиям.

В подавляющем большинстве сетей с изолированной нейтралью, к которым, в частности, относятся сети собственных нужд электростанций и распределительные сети различных крупных предприятий, индуктивности отдельных кабельных линий значительно меньше индуктивности питающего трансформатора.

Поэтому и частоты разрядных токов значительно превышают частоты токов дозаряда емкостей неповрежденных фаз. Частота и коэффициент затухания зарядного тока определяются, в основном, параметрами источника и распределение его между линиями происходит приблизительно пропорционально их емкостям относительно земли [4].

Для достижения указанной цели в работе поставлена задача изучения влияния продольных параметров распределительных сетей с изолированной нейтралью на процесс изменения электрических величин при ПДЗ.

Результаты исследования

Особенности изменения электрических величин при ПДЗ рассмотрим на основе анализа схемы замещения, изображенной на рис. 1, где

L_i , R_i – соответственно индуктивность и активное сопротивление источника питания сети (силовой понижающий трансформатор);

L_{Π} , R_{Π} , C_{Π} , C'_{Π} – соответственно индуктивность, фазная и междуфазная емкость поврежденного присоединения;

$L_1 \dots L_{\Pi}$, $R_1 \dots R_{\Pi}$, $C_1 \dots C_{\Pi}$, $C'_1 \dots C'_{\Pi}$ – соответственно индуктивности, активные сопротивления, фазные и междуфазные емкости неповрежденных присоединений.

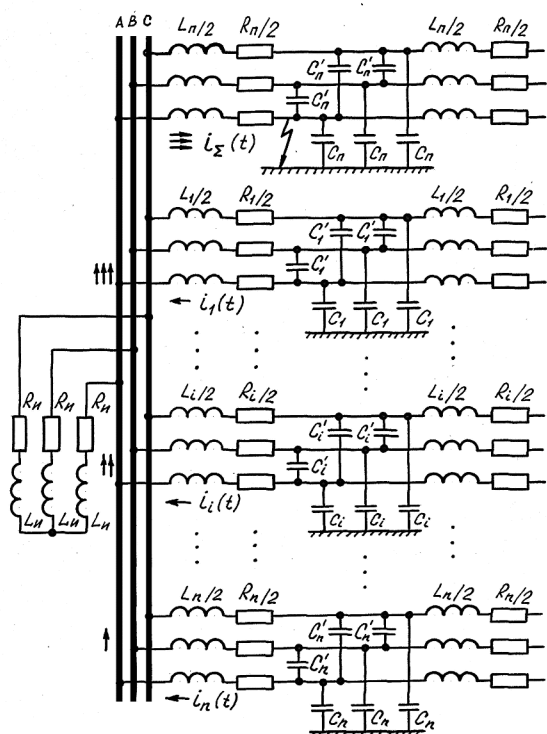


Рис. 1. Трехфазная схема замещения сети с изолированной нейтралью для исследования влияния междуфазных емкостей.

При рассмотрении схемы замещения полагаем, что значениями активных сопротивлений фаз по отношению к земле можно пренебречь, т.к. они мизерны и практически не оказывают влияния на разрядную составляющую тока замыкания.

Из схемы замещения на рис. 1 следует, что при замыкании на землю междуфазные емкости каждого из неповрежденных присоединений, включенные между поврежденной и неповрежденной фазами, получают связь с землей через собственные индуктивность и активное сопротивление и индуктивность и активное сопротивление поврежденной линии. Например, междуфазные емкости C'_1 , примыкающие к фазе А, получают связь с землей как через $L_1/2$, $R_1/2$, так и через $L_{\Pi}/2$, $R_{\Pi}/2$.

Учитывая, что разрядные токи протекают только по поврежденной фазе присоединений, трехфазную схему на рис. 1 можно преобразовать в однофазную схему (рис. 2), которая наглядно иллюстрирует роль междуфазных емкостей в формировании разрядного тока.

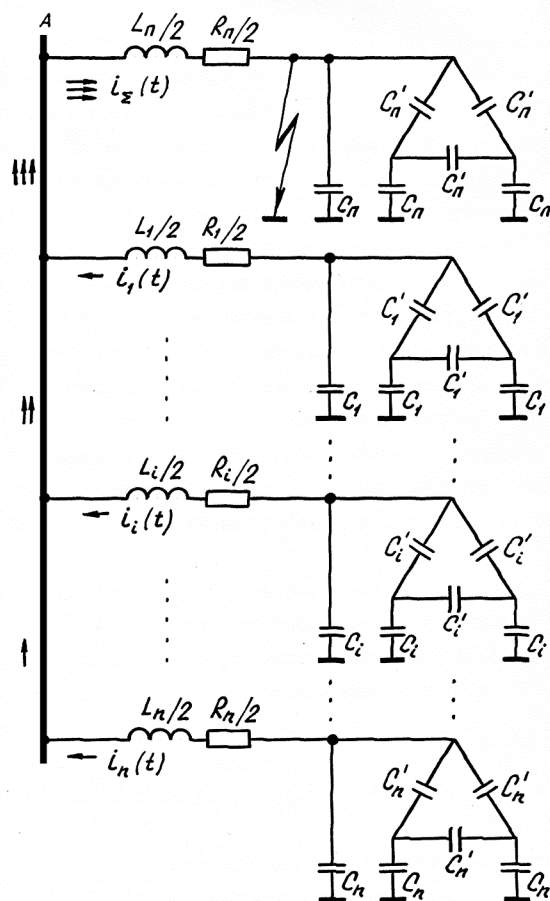


Рис. 2. Однофазная схема замещения сети с изолированной нейтралью для исследования влияния междуфазных емкостей.

Из рис. 2 видно, что разрядный ток в каждом присоединении обусловлен не только разрядом емкости поврежденной фазы, а также и перезарядом емкостей неповрежденных фаз и соответствующих междуфазных емкостей.

Иными словами разрядная стадия тока замыкания обусловлена эквивалентной емкостью поврежденной фазы по отношению к земле

$$C_{i3} = C_i + \Delta C_i.$$

Преобразовав треугольник междуфазных емкостей в звезду и сделав несложные упрощения, введя $k = C'_i/C_i + C'_i$ – коэффициент связи получим $\Delta C = C_i + 2k$ Тогда C_{i3} можно представить как

$$C_{i3} = C_i (1 + 2k).$$

Перейдя к эквивалентным емкостям, получим схему, показанную на рис. 3.

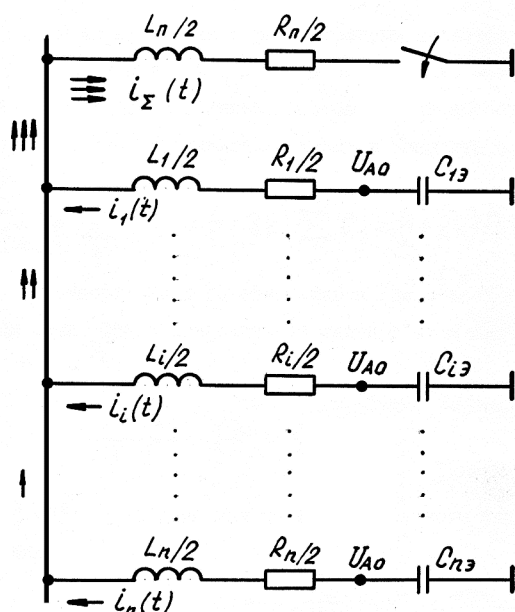


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения для исследования влияния междупазных емкостей.

Емкости поврежденного присоединения на этой схеме не учтены, так как обусловленный ими ток не попадает в фильтр токов нулевой последовательности и, следовательно, не влияет на работу защиты.

Расчет токов по схеме рис. 3. с учетом всех параметров требует решения системы из n дифференциальных уравнений второго порядка. При этом очевидно, что как в поврежденной, так и в неповрежденных линиях токи, контролируемые трансформаторами тока НП, являются суммой n составляющих, для которых собственная частота и коэффициент затухания определяются значениями корней характеристического уравнения.

При достаточно большом n решение этой системы является весьма сложной задачей. Однако для практических целей, по мнению автора, достаточным является рассмотрение двух крайних случаев, в одном из которых продольные параметры поврежденной линии оказывают наименьшее влияние, а в другом - наибольшее.

В первом случае неучет параметров $L_n/2$ и $R_n/2$ возможен, если $L_n \ll L_i/2$ и $R_n \ll R_i/2$, то есть при замыканиях на присоединении с короткой линией.

В этих случаях все неповрежденные линии оказываются связаны с землей практически накоротко, то есть образуют независимые друг от друга контуры, в которых токи определяются следующим выражением

$$i_i = \frac{-2U_{A0}}{\omega_i L_i} e^{-\delta_i t} \sin \omega_i t \quad (1)$$

где U_{A0} - напряжение на поврежденной фазе в момент замыкания;

$\omega_i = \sqrt{\omega_{0i}^2 - \delta_i^2}$ - собственная частота i -го присоединения.

$$\omega_{0i} = \frac{1}{\sqrt{(1+2k)C_i L_i / 2}} \quad - \text{резонансная}$$

частота i -го присоединения;

$$\delta_i = \frac{R_i}{2L_i} \quad - \text{коэффициент затухания } i\text{-го}$$

присоединения.

Тогда при замыкании на присоединении с короткой линией ток в поврежденной линии является суммой токов неповрежденных линий

$$i_\Sigma(t) = \sum_{i=1}^n \frac{-2U_{A0}}{\omega_i L_i} e^{-\delta_i t} \sin \omega_i t. \quad (2)$$

Противоположным по сравнению с рассмотренным является случай, когда $L_n \ll L_i/2$ и $R_n \ll R_i/2$, что может иметь место при замыкании на длинной линии. В этом случае емкости неповрежденных линий можно объединить на шинах и заменить одной суммарной

$$C_\Sigma = \sum_{i=1}^n C_{iE} = (1+2k) \sum_{i=1}^n C_i = (1+2k)C$$

где $C = \sum_{i=1}^n C_i$ - емкость фазы всех неповрежденных линий сети по отношению к земле.

Ток в поврежденной линии в этом случае является одночастотным и может быть представлен следующим выражением

$$i_\Sigma(t) = \frac{-2U_{A0}}{\omega_o L_n} e^{-\delta t} \sin \omega_o t \quad (3)$$

где $\omega_o = \sqrt{\omega_{0o}^2 - \delta^2}$ - собственная частота разрядного тока;

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{(1+2k)CL/2}} \quad - \text{частота тока в}$$

поврежденной линии;

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad - \text{коэффициент затухания тока в}$$

поврежденной линии.

Токи в неповрежденных линиях прямо пропорциональны их емкостям по отношению к земле и определяются выражением

$$i_i(t) = i_\Sigma(t) \frac{C_{iE}}{C_\Sigma} = i_\Sigma \frac{C_i}{C}. \quad (4)$$

Как правило, $\delta_i \ll \omega_{0i}$, $\delta \ll \omega_0$, и поэтому можно считать, что $\omega_0 \approx \omega_{0i}$. Тогда, с учетом принятого допущения для частот ω_i и ω выражения можно записать следующим образом

$$\omega_i = \frac{1}{\sqrt{(1+2k)C_i L_i/2}} = \frac{\omega_i^*}{\sqrt{1+2k}}; \quad (5)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(1+2k)C L_{\Pi}/2}} = \frac{\omega^*}{\sqrt{1+2k}}; \quad (6)$$

где $\omega^* = 1/\sqrt{C L_{\Pi}/2}$ и $\omega_i^* = 1/\sqrt{C_i L_i/2}$ - соответственно частоты разрядных токов в неповрежденных и в поврежденном присоединениях, подсчитанные без учета междуфазных емкостей.

Если принять, $m = \sqrt{1+2k}$, то, как следует из проведенного анализа, междуфазные емкости уменьшают частоту разрядных токов в m раз. В соответствии с выражениями (1) и (2) этому соответствует такое же увеличение амплитудных значений токов в m раз.

Изложенное выше в равной мере относится к сетям с компенсацией емкостного тока, так как дугогасящий реактор в силу большой индуктивности практически не влияет на рассматриваемые процессы.

Заключение

В количественном отношении влияние междуфазных емкостей на токи разряда емкостей поврежденной фазы отличается от их влияния на токи заряда емкостей неповрежденных фаз, поскольку частота тока заряда емкостей неповрежденных фаз снижается в $\sqrt{1/(1-k)}$ раз.

Установлено, что при разработке защиты от замыканий на землю принципиально важен учет продольных параметров линий, из-за которых распределение тока нулевой последовательности между линиями при перемежающемся дуговом замыкании может существенно отличаться от распределения пропорционально емкостям линий относительно земли.

Список литературы

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. - М.: Энергия, 1971. - 152 с.
2. Разновидности перемежающихся дуговых за-

мыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью / Р. А. Вайнштейн, В. В. Колодяжный; Томский политехн. институт (ТПИ). - Деп. в Информэнерго 16.09.85 № 1952.

3. Сирота И.М., Масляник В.В. Свободные емкостные токи замыкания на землю в электрических сетях с малым током замыкания на землю. - Электричество, 1977, №3, с. 38-43.
4. Головки С.И., Вайнштейн Р.А., Колодяжный В.В. О влиянии междуфазных емкостей на разрядную стадию токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостного тока. - Известия ВУЗов «Энергетика», 1983. №12, с.54-55
5. О распределении свободной емкостной составляющей тока замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостного тока/ Головки С.И., Вайнштейн Р.А. Колодяжный В.В.; Томский политехнический институт (ТПИ). - Деп. в ИНФОРМ-ЭНЕРГО, №2041 ЭН-Д85, БУ ВИНТИ 1986, №3.

References

1. Lihachev F.A. Zamiraniya na zemlu v setyax s izolirovannoy neytraliu i kompensaciey emkostnogo toka.-M.: Energia, 1971.- 152 s.
2. Raznovidnosti peremegaushihhsya dugovih zamikaniy na zemlu v setyax s izolirovannoy neytraliu/ Vaynstein R.A., Kolodijny V.V. - 5.s. Dep. v INFORMENERGO 16.09.85, № 1952.
3. Sirota I.M., Maslyanik V.V. Svobodnie emkostnie toki zamikaniya na zemlu v elektricheskikh setyax s malim tokom zamikaniya na zemlu. Elektrichestvo, 1977, №3, c. 38-43.
4. Golovko S.I., Vaynstein R.A., Kolodijny V.V. O vliyani megdufaznih emkostey na razryadnuyu stadiyu tokov zamikaniya na zemlu v setyax s izolirovannoy neytraliu i kompensaciey emkostnogo toka.- Izvestia VUZov Energetika, 1983. №12, c.54-55
5. O raspredelenii svobodnoy emkostnoy sostavlyaushey toka zamikaniya na zemlu v setyax s izolirovannoy neytraliu i kompensaciey emkostnogo toka / Golovko S.I., Vaynstein R.A., Kolo- diajny V.V. 4 s. - Dep. v INFORMENERGO №2041 EN-D85, BU VINITI 1986, №3.

УДК 620.92

К вопросу о создании маятниковых волновых энергоустановок большой мощности

В.В. Чебоксаров

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, 299015, Российская Федерация, E-mail: vchebox@gmail.com

Статья поступила 06.10.2016 г.; после доработки 10.10.2016 г.

Аннотация

Показано, что использование резонансных технологий, в особенности маятниковых, является наиболее перспективным для преобразователей энергии морских волн большой мощности. Проведен анализ научно-технической и патентной литературы в данной области. Выявлено, что область начинает интенсивно развиваться, но пока все известные решения обладают серьезными недостатками. Предложена перспективная схема резонансного преобразователя с крупногабаритным секторным маятником. Описан способ подстройки приведенной длины маятника к изменению характеристик волнения.

Ключевые слова: волновая энергетика, эффективность, резонанс, маятник, колебания, мощность.

On Development of High Capacity Pendulum-Type Wave Energy Converters

V.V. Cheboxarov

Department of Power Engineering, Sevastopol State University, 299015, Russian Federation E-mail: vchebox@gmail.com

Received 06.10.2016 y.; received in final form 10.10.2016 y.

Abstract

It is shown that resonance technologies and, in particular, pendulum-based ones will have good future for large-scale wave energy converters. Research publications at this field and patent databases have been analyzed. It was found that the field is fast growing but all existing solution have essential shortcomings. Highly promising schematic of new resonance converter with a large sector-shaped pendulum is suggested. Method of tuning of the equivalent length of the pendulum to variable wave parameters.

Keywords: wave energy, efficiency, resonance, pendulum, oscillations, power capacity.

Введение

Возобновляемая энергетика весьма разнообразна и охватывает технологии, основанные на совершенно разных физических процессах. Из них лучше всего известны и наиболее развиты энергокомплексы, относящиеся к ветроэнергетике или прямому преобразованию энергии Солнца. Причем, если на заре развития ветроэнергетики как отрасли мощность единичных ветроустановок не превышала нескольких кВт, то ныне испытываются ветротурбины мощностью 7 МВт [1]. Это уже позволяет при разум-

ном числе агрегатов получить ВЭС большой мощности, что необходимо для успеха в глобальной конкуренции с традиционной энергетикой на ископаемом топливе. Другим перспективным возобновляемым энергетическим ресурсом являются морские волны.

Морские волны представляют собой эллиптические движения частичек воды в приповерхностном слое, гребни и подошвы которых распространяются преимущественно в одном горизонтальном направлении. Волны преимущественно имеют ветровое происхождение, т.е. образуются в результате продолжительного движения

приводного слоя воздушных масс, в свою очередь возникающего из-за разности температур участков поверхности. Таким образом, энергия волн является лишь одним из этапов преобразования солнечной энергии, поглощаемой планетой Земля, а непосредственно - преобразования ветровой энергии. При этом, волновая энергетика имеет важное преимущество перед ветровой, основывающееся на увеличенной примерно в 820 раз плотности текучей среды, в результате чего размеры водяных энергетических установок уменьшаются по сравнению с ветровыми аналогичной мощности. Другим важным преимуществом волновой энергетики является относительно высокая стабильность волнового климата во многих прибрежных океанских зонах. Потенциал развития волновой энергетики поистине огромен. Согласно некоторым оценкам, см., например [2, 3], суммарная мощность волновых процессов на глубокой воде достигает 1 - 10 ТВт, а у берегов экономически эффективно извлекаемые ресурсы волн достигают 800 ГВт [4].

Первый известный патент по использованию энергии волн датируется 1799 годом. Впервые устройство, питаемое от энергии волн, было создано во Франции более 100 лет назад. Интенсивные научные исследования в области волновой энергетики проводятся уже в течение десятилетий в ряде стран, главным образом в Европе. Однако волновые энергоустановки, обладающие достаточной мощностью для передачи энергии в коммунальные сети, были созданы лишь совсем недавно. Первый коммерческий проект волновой энергетики, Pelamis Wave Power, был развернут у берегов Португалии только в 2008 году [5]. Причина столь большой длительности процесса разработки коммерческих энергоустановок, очевидно, носит объективный характер и связана, по-видимому, с трудностью эффективной утилизации волновой энергии из-за сложного характера движения частиц воды.

В то же время, в технике хорошо известно о высокой эффективности передачи энергии колебаний, если в преобразователе находится колебательное звено с низким импедансом на частоте колебаний. Гравитационные морские волны относятся к механическим колебаниям, поэтому очевидно минимизировать потери может настроенный механический резонатор одного из известных видов, типа «масса на пружине» или «физический маятник». Принципиально важным это требование становится для случая проектирования энергоустановки большой мощности.

Настоящая статья посвящена анализу места резонансных технологий в волновой энергетике и, в

особенности, подходов к проектированию мощных волновых электростанций маятникового типа.

Преобразование энергии волн с использованием явления механического резонанса

В отличие от ветроэнергетики, в волновой энергетике наблюдается очень большое разнообразие технологий, отличающихся методами утилизации энергии волн, а также глубиной и местом расположения преобразователя.

Наибольший научный интерес представляет их классификация по методу преобразования. В предыдущей статье автора [6] была предложена такая классификация и приведен сравнительный анализ методов. Было показано, что абсолютное большинство проектов и соответствующих им технологий включают непосредственную передачу энергии волн некоторой промежуточной колебательной системе.

Однако встает вопрос об условиях максимально эффективной передачи энергии от волн в колебательную систему. В работе [7] на примере системы «масса плавучего тела на пружине» показано, что таким условием является совпадение частоты регулярной волны (максимума энергетического спектра нерегулярного волнения) с резонансной частотой системы. В частности, для указанной системы резонансная частота рассчитывается с учетом присоединенных масс воды. Соблюдение данного условия на практике встречает следующие проблемы:

- сверхнизкая частота волн может привести к труднодостижимому сочетанию параметров элементов колебательной системы,
- непостоянство характеристик волнения приводит к снижению эффективности из-за ухода пика спектра от резонанса. Причем, при низком коэффициенте рассеяния зависимость снижения эффективности от рассогласования частот существенно увеличивается [7].

В работе [6] проанализированы возможности преодоления указанных проблем для основных типов механических колебательных систем. Первой была рассмотрена система «масса на пружине». Рассчитав достижимые параметры системы по известной формуле для типичного значения периода волн в океане $T_0 = 10$ с, показано, что популярность у специалистов технологии осциллирующего водяного столба имеет объективные основания. Здесь волна может войти в резонанс с колебаниями массы столба жидкости в объеме между стенками колонны на воздушной «пружине» низкой жесткости, получае-

мой при сжатии/разряджении воздуха в промежуток между поверхностью воды и турбиной Уэллса. При этом амплитуда колебаний уровня воды в столбе по сравнению с амплитудой свободной волны вырастает, соответственно повышается выработка энергии турбиной Уэллса. Однако вторая из упомянутых выше проблем с данной технологией решена быть не может, т.к. не представляется возможным кратно изменять объем сжимаемого водяного столба. Поэтому существенно положительный резонансный эффект у технологии осциллирующего водяного столба достигим лишь в районах с максимально стабильным волновым климатом.

Второй тип колебательной системы - физический маятник в условиях малого демпфирования, т.е. не погруженный в воду. Период его собственных колебаний T_0 определяется по известной формуле:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L_{пр}}{g}}, \quad (1)$$

где $L_{пр}$ – приведенная длина физического маятника, g – ускорение свободного падения.

При $T_0 = 10$ с из формулы (1) получаем $L_{пр} = 25$ м. Это примерно соответствует длине реального физического маятника $L = 35 - 40$ м. Следовательно, маятники значительно меньших размеров, устанавливаемые в плавучих волновых преобразователях средней и малой мощности (не более десятков кВт), например, в герметичных буюх, не будут работать в полноценном резонансном режиме на частоте, соответствующем максимуму спектральной плотности волнения. Тем не менее, и в таких преобразователях применение маятниковых механизмов получает в последнее время всё большую популярность, например, по схеме SEAREV [8] благодаря простоте отбора мощности с маятника и относительной низким потерям мощности при этом преобразовании. Во многих подобных устройствах гармонические колебания маятника заменяются нелинейным суб-оптимальным фазовым управлением (управлением с фиксацией) [9], повышающим эффективность преобразования для маятников с более коротким периодом собственных колебаний, чем у возбуждающей их волны.

Постановка задачи

Таким образом, маятниковые схемы уже нашли применение в преобразователях волновой энергии небольшой мощности, в частности, в источниках питания морских буюв.

В то же время, вопрос о возможности технической реализации полноценного резонансного режима в установках большой мощности (около 1 МВт и выше) пока остается открытым.

Необходимо проанализировать известные и предложить новые рациональные варианты размещения крупногабаритного маятника на плавучей платформе, схему отбора мощности с него и способы изменения приведенной длины маятника $L_{пр}$.

Обзор решений волновых преобразователей энергии с крупногабаритным маятником

Результаты поиска и анализа опубликованных источников в области преобразователей волновой энергии в научно-технической и патентной литературе показывают, что реализация полноценного настраиваемого резонанса в установках волновой энергетики большой мощности с малодемпфированными маятниками еще не стала предметом глубоких научных исследований. Пока она рассматривается только на уровне идей в патентной литературе. Над указанной тематикой работает лишь несколько групп исследователей.

Причем практически все изобретения сделаны в самые последние годы, а значит, здесь следует ожидать много новых прорывных идей.

Характерным является адаптивный преобразователь энергии волн по патенту [10] (см. рис. 1). Преобразователь содержит плавучее основание на понтонах 24, которые могут раздвигаться в зависимости от параметров волнения (длины волны на максимуме спектральной плотности) для увеличения амплитуды колебаний основания по углу крена.

Крупногабаритный маятник 300 подвешен на валу 304, установленного в опорах на основании. С вала 304 осуществляется отбор мощности. Собственная частота колебаний маятника 300 также настраивается путем изменения длины штанги 302 и массы подвешенного груза.

Недостатком данного преобразователя является высокая материалоемкость плавучего основания, несущего опоры вала маятника, механические передачи и генератор, которые в случае настройки собственной частоты колебаний маятника в резонанс с длинными морскими волнами в данном устройстве расположены на большой высоте.

Вторым недостатком является плохая остойчивость плавучего основания из-за верхнего расположения указанных элементов конструкции.

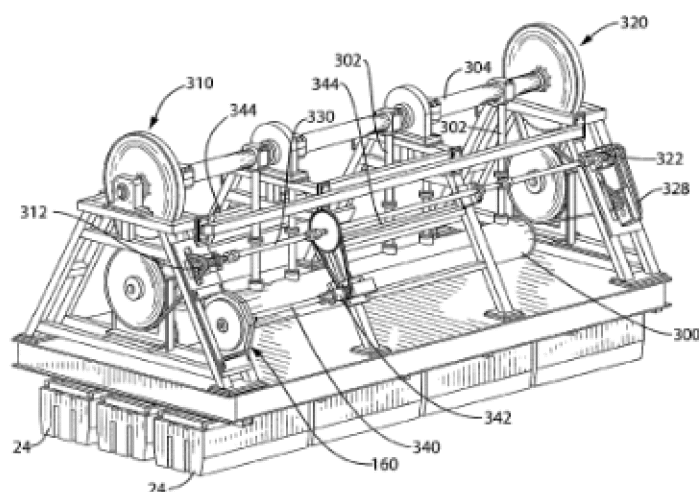


Рис. 1. Преобразователь энергии волн по патенту [10].

Другим характерным преобразователем с возможностью настройки резонанса является решение по патенту [11] (см. Рис.2). Здесь для изменения $L_{пр}$ маятник 62 может быть смещен по вертикали посредством некоего привода 59. Преобразователь также включает средство отбора мощности маятника, которое в одном из исполнений выполнено с возможностью взаимодействия с индукционным электрогенератором посредством промежуточного гидравлического привода, шарнирно связанного своим входом с маятником.

Недостатком этой схемы является очень высокая материалоёмкость при настройке собственной частоты колебаний маятника в резонанс с длинными морскими волнами, имеющими наибольшую энергию, из-за расположения крупногабаритного маятника (десятки метров) внутри герметичного плавучего основания и необходимости размещать входные элементы промежуточного гидравлического привода вблизи оси качения маятника. Кроме того, здесь есть повышенные потери мощности из-за наличия промежуточного гидравлического привода.

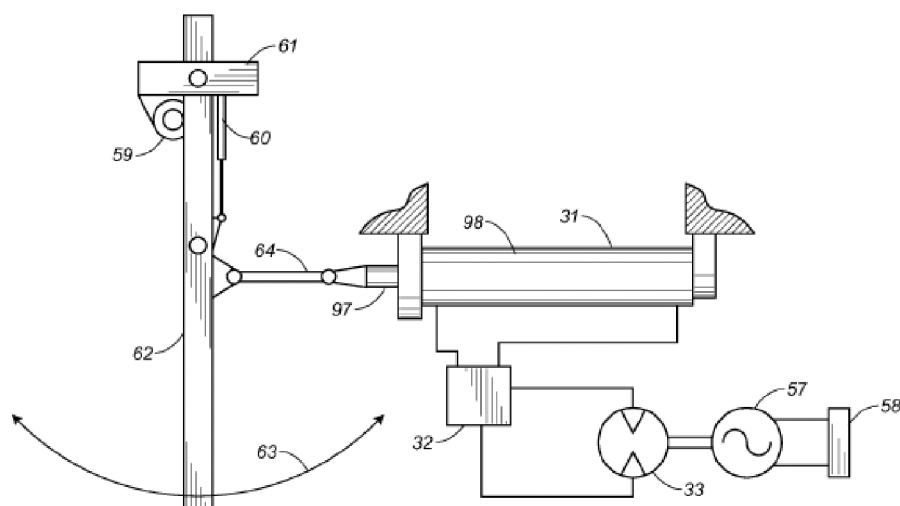


Рис. 2. Преобразователь энергии волн по патенту [11].

Интересным является преобразователь по патенту [12] (см. рис.3, 4). Здесь присутствуют два контура адаптации к параметрам волнения.

Во-первых, перераспределение балласта в крупногабаритном плавучем основании специальной формы 1, изменяя осадку, позволяет по-

высить амплитуду его колебаний по углу дифферента.

Во-вторых, маятник выполнен «складывающимся», с массивным подвижным блоком 38, размещенным на звене 45 двухзвенного шарнирного механизма 45-33, выполненного с возмож-

ностью качения тележки 54 в его конечной точке по криволинейным рельсам 52, жестко закрепленным на плавучем основании 1. Недостатками этого преобразователя являются крайне высокая материалоёмкость, генерация шума при качении тележки и низкая надежность из-за износа под действием больших боковых сил на звеньях

шарнирного механизма и криволинейных направляющих, возникающих при пространственных перемещениях массивного (по оценкам автора - до 1000 тонн!) подвижного блока, необходимого для достижения низкой собственной частоты колебаний маятника.

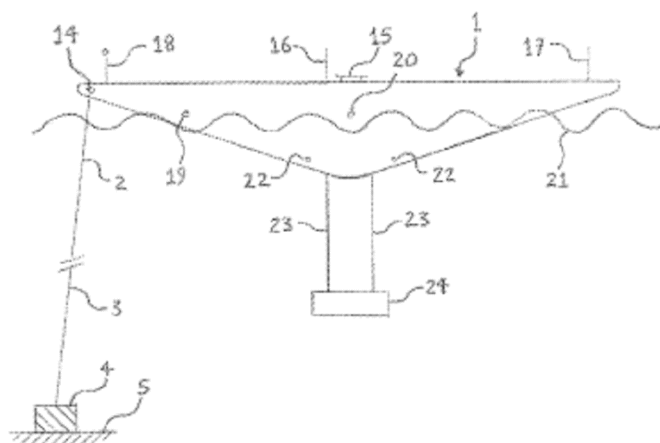


Рис. 3. Преобразователь энергии волн по патенту [12] с двумя контурами адаптации

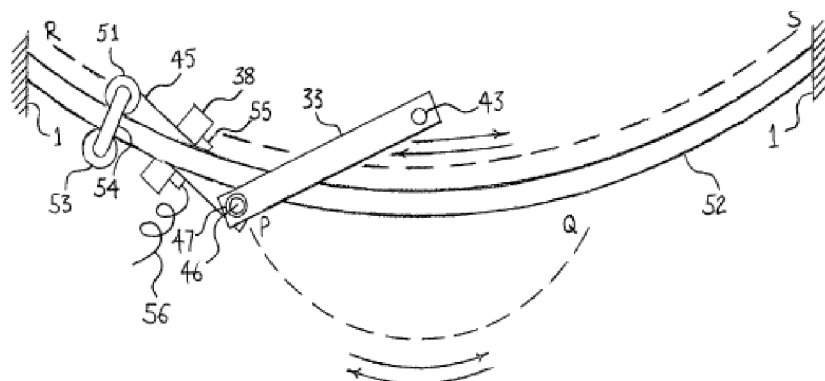


Рис. 4. Схема складывающегося маятника по патенту [12].

Схема со «складывающимся» маятником
выглядит нереализуемой.

Видимо понимая это, тот же автор в следующей заявке на патент [13] от нее отказался, а для уменьшения частоты собственных колебаний традиционного (вертикально подвешенного) маятника предложил получить ее путем увеличения момента инерции маятника без увеличения его длины (см. рис. 5).

Здесь кроме груза 1 на вертикальной штанге 4 присутствуют еще более массивные грузы 2 и 3, установленные на концах горизонтальных штанг 8 и 9 так, что все три груза образуют единый блок - маятник, шарнирно подвешенный на оси 5.

Очевидно, что при такой схеме маятника преобразователь будет иметь очень высокую ма-

териалоёмкость, во-первых, из-за наличия многотонных балансировочных грузов.

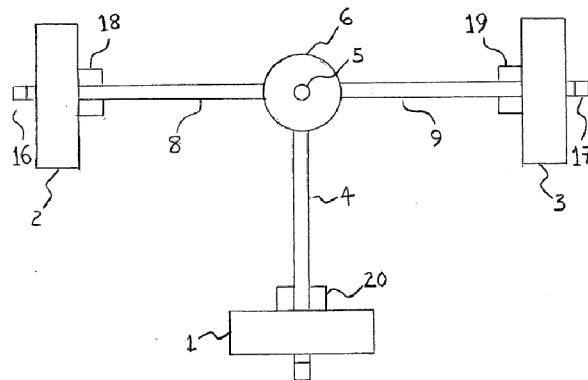


Рис. 5. Схема маятника с балансировочными массами по заявке на патент [13].

Во-вторых, грузы размещены на консольных горизонтальных штангах, обеспечение усталостной прочности которых от переменных изгибающих нагрузок проблематично и тоже увеличивает массу.

Таким образом, обеспечение и поддержание полноценного резонансного режима работы в преобразователях волновой энергии большой мощности с маятником теоретически возможно, но на практике встречает значительные трудности и приводит к большой материалоемкости. Анализ известных опубликованных в научнотехнической и патентной литературе решений показывает, что поставленная задача в целом до сих пор не решена.

Разработка нового варианта преобразователя

Для организации резонансной маятниковой колебательной системы в преобразователе волновой энергии предлагается использовать традиционный, вертикально подвешенный маятник.

В этом случае исключаются отмеченные выше существенные проблемы «складывающегося» маятника и маятника с балансировочными массами.

В зависимости от статистических характеристик волнения в предполагаемом месте базирования преобразователя из формулы (1) получаем диапазон значений приведенной длины физического маятника $L_{пр}$ в 15 ... 40 м.

Таким образом, маятник является относительно крупногабаритным, но его изготовление и эксплуатация не представляет технических сложностей.

Проблемой здесь является лишь обеспечение устойчивости плавучего преобразователя, которая резко ухудшается при организации отбора мощности по оси качания крупногабаритного маятника.

Гарантировать устойчивость можно лишь при организации отбора мощности с маятника в его нижней точке.

В известных схемах маятниковых преобразователей проблема решена не была. Так, в основном варианте преобразователя по патенту [11] присутствует индукционная связь нижней части маятника с катушками на основании, что очевидно приведет к существенным потерям в большом (не менее 100 мм) воздушном зазоре, который здесь необходим из-за больших габаритов нежесткого маятника.

Предлагается устройство отбора мощности маятника полностью разместить в нижней части

преобразователя, на плавучем основании, и выполнить его в виде механизма с зубчатыми передачами, находящегося в зацеплении с зубьями на маятнике (см. рис. 6, 7).

Здесь, однако, возникает задача, на первый взгляд неразрешимая, по обеспечению минимального гарантированного зазора в зубчатом зацеплении (по оценке, 1...2 мм), который меняется под действием тепловых и упругих деформаций маятника 5.

Тем не менее, непостоянство тепловых деформаций перестает быть проблемой, если зацепление осуществить не по радиусу маятника, а в перпендикулярном направлении, в котором маятника имеет многократно меньший размер.

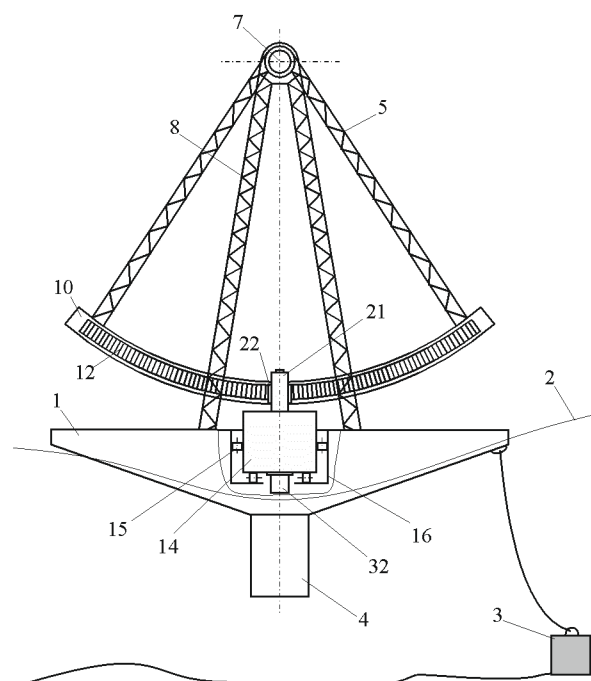


Рис. 6. Схема преобразователя с крупногабаритным секторным маятником (вид сбоку).

А проблема упругих деформаций решается полным замыканием (компенсацией) силы, изгибающей маятник, прямо в устройстве отбора мощности 14.

Конкретнее, силовое замыкание осуществляется следующим образом. Устройство отбора мощности 14 содержит шестерни 22 и 23, которые находятся в зацеплении с зубчатыми рейками 12 и 13 на обоих торцах сегментного маятника 5 в его нижней дугообразной части.

Шестерни 22 и 23 имеют одинаковые параметры, поэтому при работе передачи они оказывают взаимно компенсирующее силовое воздействие на маятник 5 в поперечном к нему направлении.

Крутящий момент с указанных шестерен далее по двум кинематическим цепям параллельно передается на электрогенератор 32.

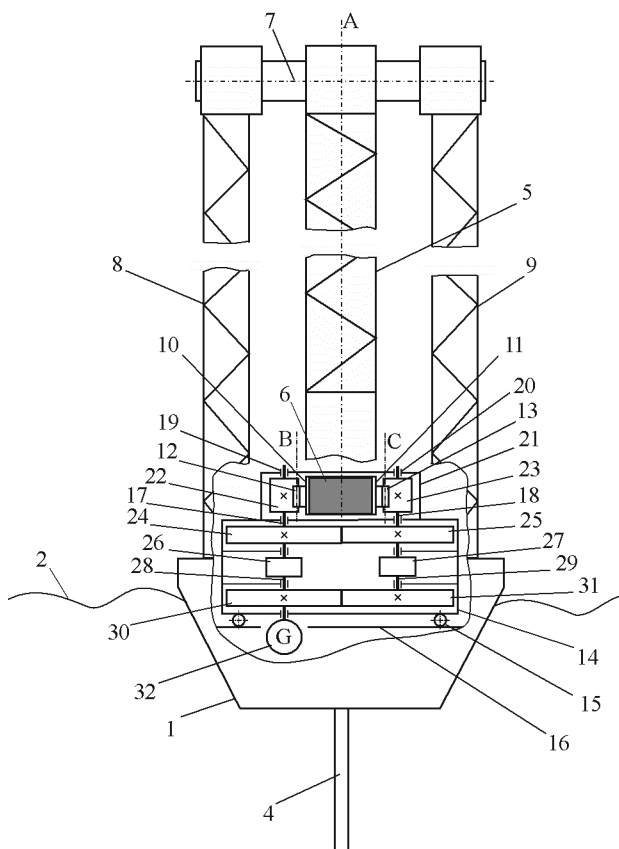


Рис. 7. Схема преобразователя с крупногабаритным секторным маятником (вид спереди).

Задача адаптации параметров колебаний маятника 5 к режиму волнения успешно решается с помощью перемещения балласта, находящегося на маятнике, в радиальном направлении (см. рис. 8).

Для этого маятник 5 оснащен несколькими баками 7 ... 10, перекачка рабочей жидкости между которыми осуществляется водяным насосом 21 с электроприводом под управлением от микропроцессорного вычислителя.

Например, на рис. 8 показан как заполненный нижний бак 7, что соответствует максимуму спектральной плотности волнения в области низких частот.

Здесь необходимо отметить, что уменьшение приведенной длины маятника $L_{пр}$ путем перекачки рабочей жидкости в верхние баки автоматически ведет к снижению метацентрической высоты плавучего тела, что несколько ухудшает устойчивость.

Однако минимальные значения $L_{пр}$ будут получены лишь при относительно слабом волне-

нии, в спектре которого преобладают короткие волны, не представляющие серьезной опасности для опрокидывания преобразователя.

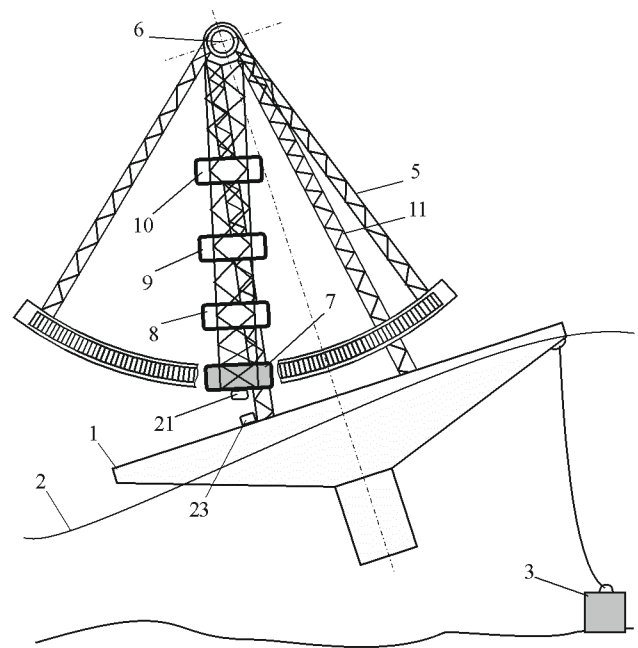


Рис. 8. Колебания крупногабаритного секторного маятника в преобразователе с настройкой приведенной длины $L_{пр}$ (вид сбоку).

Целесообразным представляется установка на маятнике баков равного объема и их полное заполнение. Хотя частичное наполнение баков позволяет обеспечить плавное изменения приведенной длины маятника $L_{пр}$, но при этом необходимо предотвратить появление нежелательных колебаний поверхности жидкости внутри баков.

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Среди разнообразных технологий преобразования энергии волн все большее распространение получают технологии, основанные на использовании механических резонансов. При этом, с учетом повышенной энергетической эффективности в широком диапазоне параметров волн для установок большой мощности наиболее перспективными являются маятниковые преобразователи. Однако задача создания таких преобразователей встречает на практике значительные трудности и, по опубликованным источникам, пока не решена.

Для решения проблемы была предложена принципиальная схема преобразователя энергии

волн с крупногабаритным секторным маятником, в котором, тем не менее, все элементы устройства отбора мощности располагаются в нижней части, на плавучем основании. Показано, что в предложенной схеме удастся исключить негативное влияние упругих и тепловых деформаций маятника.

Предметами дальнейших исследований должны стать рабочее проектирование маятника с расчетом основных конструктивных элементов по критерию усталостной прочности, цифровое моделирование движения плавучего основания на волнах с целью поиска его оптимальной конструкции и формы, а также расчет метацентрической высоты и моделирование поведения преобразователя по предложенной схеме при экстремальных нагрузках.

Список литературы

1. Fukushima Offshore Wind Consortium [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.fukushima-forward.jp/english/index.html>. (Доступ от 15.11.2016)
2. Panicker N.N. Power Resource Potential of Ocean Surface Waves// Proc. Wave and Salinity Gradient Workshop, Newark, Delaware, USA, 1976, pp. J1–J48.
3. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: уч. пос. Пер. с англ. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект»; М.: Изд. дом МЭИ; 2010. – 704 с.
4. Thorpe T. Wave Energy // 2010 Survey of Energy Resources, World Energy Council, 2010, pp. 562–587
5. Yemm R. Pelamis. / Cruz J, editor// Ocean wave energy. Berlin, Springer; 2008, pp 304–321.
6. Чебоксаров В.В. Сравнительный анализ эффективности двух схем маятниковых преобразователей энергии волн / В.В. Чебоксаров // Энергетические установки и технологии. – 2016.- Т.2, №1, - С. 68 – 75.
7. Falnes J. Ocean waves and oscillating systems: Linear interactions including wave-energy extraction. Cambridge University Press, 2nd ed., 2002, 275 p.
8. Ruellan M., et al. Design Methodology for a SEAREV Wave Energy Converter // Proc. IEEE IEMDC, Antalya, Turkey. 2007. pp.1384–1389.
9. Budal K. and Falnes J. Interacting point absorbers with controlled motion / Count B., editor // Power From Sea Waves, London, Academic Press, 1980. pp. 381–399.
10. Laz W., Sedler T., Tuned rolling wave energy extractor, US Patent No. 8198745, 2012.
11. Hobdy M., Wave energy converter, US Patent No. 8026620, 2011.
12. Gregory B., Dynamically tuned wave energy converter, US Patent No. 8713928, 2014.
13. Gregory B., Balanced and eccentric mass compact pendulum with dynamic tuning, US Patent Application No. 20120227485, 2012.

References

1. Fukushima Offshore Wind Consortium. Access by <http://www.fukushima-forward.jp/english/index.html>. (accessed 15.11.2016)
2. Panicker N.N. Power Resource Potential of Ocean Surface Waves// Proc. Wave and Salinity Gradient Workshop, Newark, Delaware, USA, 1976, pp. J1–J48.
3. da Rosa A.V. Fundamentals of renewable energy processes. 1st ed. Elsevier, 2005. 712 p. (Russ. ed.: da Rosa A. Vozobnovlyaemye istochniki energii. Dolgoprudnyi, Intellect Publ., MEI Publ., 2010. 704 p.)
4. Thorpe T. Wave Energy // 2010 Survey of Energy Resources, World Energy Council, 2010, pp. 562–587
5. Yemm R. Pelamis. / Cruz J, editor// Ocean wave energy. Berlin, Springer; 2008, pp 304–321.
6. Cheboxarov V.V. Comparative Analysis of Two Schematics of Pendulum-Type Wave Energy Converters. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*, 2016, Vol. 2, No. 1, pp. 68 – 75.
7. Falnes J. Ocean waves and oscillating systems: Linear interactions including wave-energy extraction. Cambridge University Press, 2nd ed., 2002, 275 p.
8. Ruellan M., et al. Design Methodology for a SEAREV Wave Energy Converter // Proc. IEEE IEMDC, Antalya, Turkey. 2007. pp.1384–1389.
9. Budal K. and Falnes J. Interacting point absorbers with controlled motion / Count B., editor // Power From Sea Waves, London, Academic Press, 1980. pp. 381–399.
10. Laz W., Sedler T., Tuned rolling wave energy extractor, US Patent No. 8198745, 2012.
11. Hobdy M., Wave energy converter, US Patent No. 8026620, 2011.
12. Gregory B., Dynamically tuned wave energy converter, US Patent No. 8713928, 2014.
13. Gregory B., Balanced and eccentric mass compact pendulum with dynamic tuning, US Patent Application No. 20120227485, 2012.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.039.73

Применение микробиологического выщелачивания для извлечения урана из отвалов

В.М. Гавриш¹, Г.А. Баранов², Е.А. Храброва³

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹5brachman5@gmail.com, ³Khrabrova81h@rambler.ru

Статья поступила 21.11.2016 г.; после доработки 25.11.2016 г.

Аннотация

Изучено микробиологическое выщелачивание урана из урансодержащего отвала. Определен химический состав проб до и после микробиологического выщелачивания, степень извлечения урана и активности проб отвала. Установлено, что степень извлечения урана из отвалов составляет 77,78%. Активность после выщелачивания 0,1174 кБк/кг, что позволяет отнести отвалы после выщелачивания к не радиоактивным материалам.

Ключевые слова: микробиологическое выщелачивание, урансодержащие отвалы, радиоактивность, *Thiobacillus ferrooxidans*.

Application of microbiological leaching for extraction of uranium from dumps

V.M. Gavrish¹, G.A. Baranov², E.A. Khrabrova³

Sevastopol State University 33 Universitetskaya st, Sevastopol, 299053, Russia,
¹5brachman5@gmail.com, ³Khrabrova81h@rambler.ru

Received 21.11.2016 y.; received in final form 25.11.2016 y.

Abstract

Microbiological leaching of uranium from an uraniferous dump is studied. The chemical composition of test before and after microbiological leaching, extent of uranium extraction, activity of tests of dump is defined. It was established that extent of extraction uranium makes 77,78% of dumps. The activity of dumps after leaching is 0,1174 kBq/kg that allows to refer them to not radioactive materials.

Keywords: microbiological leaching, uraniferous dumps, radioactivity, *Thiobacillus ferrooxidans*.

Введение

Исторически сложилось, что переработка урановых руд в целях получения урановых концентратов производилась и до настоящего времени производится гидрометаллургическими методами. Технологические ограничения гидро-

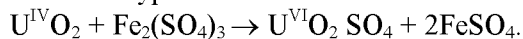
металлургических технологий не позволяют извлекать весь уран из руды, фактически в отвальные «хвосты» уходит до 5 – 15% всего урана. Постоянный рост спроса урана и выработка существующих месторождений, приводит к необходимости поиска и разработки новых технологий, которые бы могли использовать полученные

ранее урановые отвалы в качестве техногенных месторождений. Одним из таких способов может является бактериальное выщелачивание.

Несомненным плюсом данной технологии является то, что при любом существующем методе гидрометаллургии можно применять дополнительное бактериальное выщелачивание для повышения степени извлечения ценных элементов. При этом возможно совмещение бактериального выщелачивания с кучным выщелачиванием [1].

Для бактериального выщелачивания разных элементов из руд применяют огромное количество видов микроорганизмов. В промышленности особый интерес представляют тионовые железобактерии [1]. При помощи бактерий можно окислить кислородом воздуха в кислой среде Fe^{2+} до Fe^{3+} , в том числе и сульфидные минералы [2].

Совместное применение микроорганизмов и Fe^{3+} позволяет нерастворимый четырехвалентный уран окислять до водорастворимого шестивалентного по уравнению



Окисление четырехвалентного урана может производиться бактериями *At. ferrooxidans* путем окисления пирита, который постоянно появляется в урановых рудах. Кроме непрямого выщелачивания урана *At. ferrooxidans*, вероятно, способна окислять U^{IV} до U^{VI} ферментативно и использовать часть энергии этой реакции для ассимиляции CO_2 [3 – 5]. Таким образом, биовыщелачивание основывается на взаимодействии биологических и химических окислительных процессах [5].

Ряд работ [6 – 8] показывает принципиальную возможность использования микробиологического выщелачивания для добычи урана.

Например, объектом исследования работы [6] являются микроорганизмы и их роли в выщелачивании урана из руд месторождения «Восток».

В качестве опытно-производственной базы изучения и исследования был выбран участок кучного выщелачивания урановой руды рудоправления №1 Степногорского горно-химического комбината. Степень извлечения урана в обработанных образцах составила 70%.

Беспиридный биохимический вариант извлечения урана из рядовых и забалансовых руд украинских месторождений исследуется с помощью тионовых бактерий [7].

Использование микроорганизмов рода *Tiobacillus* и ацидофильных бактерий при незначительном изменении технологического процес-

са позволяет существенно снизить затраты на выщелачивание урана и решить вопросы по безопасному и экологическому пути утилизации отходов хвостохранилищ. Процессы перколяционного и пачукового выщелачивания урановых руд в опробованных условиях характеризуются высокой степенью извлечения урана (94 – 98%), что, вероятно, связано не только с действием бактерий, но и с высоким содержанием Fe^{3+} . Эффективность выщелачивания с использованием микроорганизмов рода *Tiobacillus* несколько выше, чем традиционное выщелачивание [8].

В тоже время вопросам переработки существующих урановых отвалов микробиологическими способами не уделяется должного внимания. В данной работе проведены исследования позволяющие сделать выводы о принципиальной возможности применения микробиологического выщелачивания для извлечения урана из накопленных ранее отходов.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы являлось применение метода микробиологического выщелачивания для извлечения урана из дробленого урансодержащего отвала Ингульской шахты, а также определения влияния микробиологического выщелачивания на альфа и бета-активность отвалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- экспериментально изучалось микробиологическое выщелачивание урана из проб дробленого урансодержащего отвала Ингульской шахты (Украина);
- определялись показатели выщелачивания, такие как pH, температура и динамика изменения железа 2+ и 3+;
- определялся химический состав проб до и после микробиологического выщелачивания;
- проводился анализ влияния микробиологического выщелачивания проб на радиоактивность твердой и жидкой фазы.

Экспериментальная часть

Исследования проводились на экспериментальной биохимической установке, разработанной в Научно-исследовательской лаборатории Биотехнологии и экологического мониторинга Севастопольского государственного университета. Экспериментальная установка представляющая собой цилиндрический сосуд, с непрерыв-

ной подачей воздуха, поддержанием постоянной температуры и перемешиванием среды, выполняет функции биохимического реактора, в котором протекают следующие процессы: бактериальное окисление урановых отвалов ассоциацией тионовых бактерий с одновременным химическим окислением и сопутствующими реакциями растворения металлов [9].

В качестве исходного образца руды были использованы гранулы дробленого урансодержащего отвала Ингульской шахты фракцией от 0,5 до 1,0 мм (рис. 1), массой 300 г.



Рис. 1. Гранулы дробленой урансодержащей руды до микробиологического выщелачивания.

В установке для осуществления микробиологического выщелачивания использовали раствор сернокислого железа, содержащий в себе популяцию микроорганизмов

Thiobacillus ferrooxidans, их спутники – ацидофильные бактерии и др.

Химический состав образца приведен в таблице 1, из которой видно, что исходное содержание урана - 0,027%. Исследования выполнялись на спектрометре ElvaX компании «Элватех».

Эксперимент проводился в 2 этапа. Объем биологического раствора сернокислого железа на первом этапе составлял 4840 мл (pH = 1,91, содержание Fe^{3+} = 17,75 г/л, содержание Fe^{2+} = 8,23 г/л). На втором - 5000 мл (pH = 1,77, содержание Fe^{3+} = 13,104 г/л, содержание Fe^{2+} = 8,288 г/л).

Анализируя состав гранулированной дробленой урансодержащей пробы (таблица 1), выявлено высокое содержание Ca (80,426%). Для увеличения эффективности биологического выщелачивания необходимо было снизить содержание кальция.

Для этого на первом этапе образец руды массой 300 г загружали в экспериментальную установку и подавали биораствор объемом 4840 мл.

Смесь перемешивали при одновременной принудительной подаче воздуха (режим аэрации), за счет воздушного компрессора с расходом 40 л/мин.

При проведении выщелачивания поддерживалась постоянная температура 35°C. Внутри биохимической установки работал эрлифт, который через внутреннюю трубу и гранулы дробленой урансодержащей руды прокачивал биораствор в постоянном круглосуточном режиме.

По окончании эксперимента проводили химический анализ элементного состава пробы.

Таблица 1. Состав гранулированной дробленой урансодержащей пробы руды до микробиологического выщелачивания.

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Si	10,877	Zn	0,450
S	0,011	Ga	0,016
Ca	80,426	Rb	0,055
Ti	2,281	Sr	0,588
V	0,049	Y	0,053
Cr	0,080	Zr	0,376
Mn	0,235	Nb	0,010
Fe	4,319	Pb	0,109
Cu	0,025	U	0,027

Для определения трехвалентного железа использовали комплексонометрический метод, согласно которого титрование проводили трило-

ном Б в присутствии сульфосалициловой кислоты [10], для определения содержания двухвалентного железа использовали окислительно-

восстановительное титрование перманганатом калия в присутствии серной и фосфорной кислот [11], pH раствора измеряли с помощью универсального иономера ЭВ-74. Химический анализ элементного состава пробы определяли с помощью рентгено-флуоресцентного спектрометра «ElvaX».

Полученные данные показывают, что содержание Fe^{2+} и Fe^{3+} незначительно изменялись и находились в оптимальных пределах жизнедеятельности микробиологической ассоциации. Зависимости изменения pH от времени протека-

ния процесса при микробиологическом выщелачивании варьировало в пределах $\text{pH} = 1,91 - 1,94$, что косвенно подтверждает активность биораствора.

Результаты исследования элементного состава пробы после проведения первого этапа микробиологического выщелачивания приведены в таблице 2.

Из данных, приведенных в таблице 2 видно существенное снижение Ca, и увеличение содержания железа за счет выпадения его в осадок.

Таблица 2. Состав гранулированной дробленой урансодержащей пробы руды после первого этапа микробиологического выщелачивания.

Элемент	Содержание, %	Степень извлечения, %	Элемент	Содержание, %	Степень извлечения, %
Si	10,877	0	Zn	0,373	17,110
S	0,010	9,091	Ga	0,014	12,500
Ca	48,644	39,520	Rb	0,054	1,818
Ti	2,281	0	Sr	0,588	0
V	0,044	10,200	Y	0,047	11,320
Cr	0,071	11,250	Zr	0,369	1,862
Mn	0,225	4,255	Nb	0,010	0
Fe	36,228	0	Pb	0,100	8,257
Cu	0,019	24	U	0,024	11,110

Это позволяет сделать вывод о возможности проведения второго этапа – непосредственно микробиологического выщелачивания урана.

На втором этапе образец руды, оставшийся после первого этапа, массой 287,3 г загружали в экспериментальную установку и подавали биораствор объемом 5000 мл.

Эксперимент проводили аналогично первому этапу. В ходе эксперимента измеряли содержание железа и pH по тем же методикам, что и на первом этапе. Дополнительно на втором этапе определяли активность гранул дробленой урансодержащей руды до и после выщелачивания на альфа-бета радиометре УМФ-2000 для измерения малых активностей.

Данные микробиологического выщелачивания за 14 суток непрерывной работы показали незначительные изменения концентрации Fe^{2+} , Fe^{3+} и pH.

После проведения эксперимента раствор из установки слили, выпарили и измельчили. Гранулы дробленого урана из отвала промыли дистиллированной водой и высушили. Полученные образцы (рис. 2) анализировали на элементный состав и активность. Результаты представлены в таблице 3 и 4.

Результаты показывают (таблица 3) преимущественное содержание урана в растворе,

при этом степень выщелачивания достигла 77,78%.

Из таблицы 4 следует, что радиоактивность твердой фазы после биовыщелачивания снижается в 2,44 раза по твердой фазе и в 1,38 раз по жидкой фазе для α -излучения.

Для β излучения в 1,63 раза по твердой фазе, по жидкой фазе изменяется незначительно в 1,04 раза.

Проведенные расчеты удельной радиоактивности для гранул дробленого урансодержащего отвала до и после, а также жидкой фазы после микробиологического выщелачивания представлены в таблице 5. Из таблицы 5 следует, что суммарная удельная радиоактивность твердой фазы после биовыщелачивания снижается в 5,5 раз по твердой фазе и в 3,24 раза по жидкой фазе.

В соответствии с требованием НРБ-99 суммарная удельная радиоактивность естественных радиоактивных веществ в любых материалах, применяемых в строительстве жилых и общественных зданий, не должна превышать 0,37 кБк/кг [12]. Из этого следует, что твердая фаза не относится к радиоактивным материалам, что позволяет ее широко использовать в качестве щебня при строительстве, как наполнитель бетона и т.д.

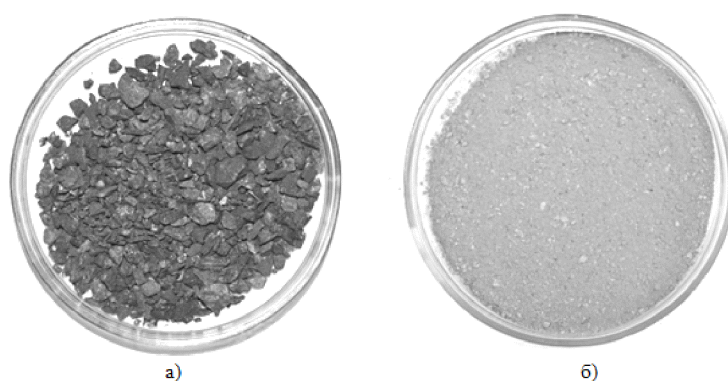


Рис. 2. Образцы проб после микробиологического выщелачивания: а – гранулы дробленой урансодержащей руды, б – выпаренный и измельченный раствор.

Таблица 3. Результаты исследования элементного состава проб на спектрометре после второго этапа биовыщелачивания.

Элемент	Содержание в гранулированной пробе после второго этапа, %	Степень извлечения после второго этапа, %	Суммарная степень извлечения после двух этапов, %	Содержание в растворе после выщелачивания, %	Содержание в выпаренной пробе после выщелачивания, %
Si	10,877	0	0	0	0
S	0,0089	11,00	20,09	0,0018	0,0021
Ca	48,486	0,325	39,84	30,300	31,94
Ti	2,281	0	0	0	0
V	0,042	4,545	14,75	0,006	0,007
Cr	0,068	4,225	15,48	0,012	0,012
Mn	0,198	12,00	16,26	0,032	0,037
Fe	36,21	0,050	0,050	67,60	67,7
Cu	0,015	21,05	45,05	0,009	0,01
Zn	0,245	34,32	51,43	0,200	0,205
Ga	0,013	7,143	19,64	0,003	0,003
Rb	0,053	1,852	3,67	0,002	0,002
Sr	0,588	0	0	0	0
Y	0,046	2,128	13,45	0,006	0,007
Zr	0,351	4,878	6,74	0,025	0,025
Nb	0,010	0	0	0	0
Pb	0,098	2,000	10,26	0,011	0,011
U	0,008	66,670	77,78	0,017	0,019

Таблица 4. Результаты измерения активности.

Радиоактивность исходных данных гранул дробленого урансодержащего отвала, Бк	Радиоактивность, Бк	
	твердая фаза	жидкая фаза
$\alpha = 7,33$	$\alpha = 3$	$\alpha = 5,3$
$\beta = 60$	$\beta = 36,8$	$\beta = 57,8$

Таблица 5. Результаты расчетов удельной радиоактивности.

Удельная радиоактивность исходных гранул дробленого урансодержащего отвала, кБк/кг	Удельная радиоактивность после выщелачивания, кБк/кг	
	твердая фаза	жидкая фаза
$A_{уд} \alpha = 0,0711$	$A_{уд} \alpha = 0,0088$	$A_{уд} \alpha = 0,0160$
$A_{уд} \beta = 0,5804$	$A_{уд} \beta = 0,1086$	$A_{уд} \beta = 0,1850$
$\Sigma A_{уд}(\alpha + \beta) = 0,6515$	$\Sigma A_{уд}(\alpha + \beta) = 0,1174$	$\Sigma A_{уд}(\alpha + \beta) = 0,2010$

Заключение

Результаты экспериментов показывают принципиальную возможность применения микробиологического выщелачивания для извлечения остаточного содержания урана из ураносодержащих отвалов.

При этом оптимальное время микробиологического выщелачивания в проведенных экспериментах составляет суммарно 22 суток, из них 8 суток для первого этапа и 14 суток для второго.

Полученные данные и проведенные по ним расчеты, показывают, что микробиологическое выщелачивание позволяет снизить суммарную удельную радиоактивность твердой фазы после биовыщелачивания в 5,5 раз по твердой фазе и 3,24 раза по жидкой фазе. При этом степень выщелачивания урана из отвалов достигает 77,78 %. В соответствии с нормами радиационной безопасности твердая фаза после выщелачивания не является радиоактивными материалами и может быть освобождена из под регулирующего контроля.

Использование микробиологического выщелачивания для ураносодержащих отвалов может позволить получить дополнительное количество урана из тех мест, где имеются «законсервированные» отработанные месторождения.

Работа выполнялась в рамках Госзадания №15.1.18.4388.01.

Список литературы

1. Тураев Н.С. Химия и технология урана / Н.С. Тураев, И.И. Жерин. – М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 407 с.
2. Лысак В.В. Микробиология / В.В. Лысак. – Минск: БГУ, 2007. – 430 с.
3. Logan T.C. Whole-Ore Heap Biooxidation of Sulfidic Gold-Bearing Ores / T.C. Logan, T. Seal, J.A. Brierley // *Biomining*. □ Ed. by Douglas E. Rawlings and D. Barrie Johnson. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – P. 113 – 138.
4. Mishra A. Microbiol recovery of uranium using native fundal strains / A. Mishra, N. Pradhan // *Bioresour. Technol.*, 2006. – Vol. 97. – P. 1876 – 1883.
5. Кузякина Т.И. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд / Т.И. Кузякина, Т.С. Хайнасова, О.О. Левенец // *Вестник КРАУНЦ Науки о Земле*, 2008. – №2, Вып. №12. – С.76 – 86.
6. Канаева З.К. Интенсификация процесса извлечения урана биотехнологическим способом из бедных руд месторождения «Восток» (промышленные испытания) / З.К. Канаева, А.Т. Канаев. – 10 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[http://portal.kazntu.kz/files/publicate/%203.K\(Алматы\)\).pdf](http://portal.kazntu.kz/files/publicate/%203.K(Алматы)).pdf)

7. Кузнецова Э.Г. Использование микроорганизмов в процессе извлечения металлов из руд. / Э.Г. Кузнецова, Н.А. Алмазова, Н.Г. Потапченко // *Реф-библ. Бюл. ВИМСа*, № 30, 1976. – С. 99.
8. Дербасова Н.М. Биологическое выщелачивание урана из отходов уранодобывающей промышленности / Н.М. Дербасова, М.В. Гавриш, С.Б. Смирнов, В.М. Гавриш // *Ядерна та радіаційна безпека*, 2011. – Вып. 2 (50). – С.52 – 55.
9. Гавриш В.М. Разработка модифицированной перколяционной установки для выщелачивания урановых отвалов / В.М. Гавриш, Л.И. Лукина, Н.В. Стригина // *Материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности»*, г. Севастополь, 15 – 18 июня 2016. □ Севастополь: СевГУ, 2016. – С.213 – 217.
10. Васильев В.П. Аналитическая химия в 2 ч: Гравиметрический и титриметрический методы анализа / В.П. Васильев. □ М.: Высш. шк., 1989. □ 320 с.
11. Васильев В.П. Практикум по аналитической химии / В.П. Васильев, Р.П. Морозова, Л.А. Кочергина. □ М.: Химия, 2000. □ 328 с.
12. Нормы радиационной безопасности: НРБ-99/2009 – [Действующий вид 2000-01-01/2009-07-07]. – М.: Минздрав России, 1999. – 225 с. – (Санитарные правила и нормы СанПин 2.6.1.2523-09).

References

1. Turaev N.S., Zherin I.I. *Khimiya i tekhnologiya urana* [Chemistry and technology of uranium]. Moscow, TSNIATOMINFORM Publ., 2005, 407 p.
2. Lusak V.V. *Mikrobiologiya* [Microbiology], Minsk, BSU publ., 2007, 430 p.
3. Logan T.C., Seal T., Brierley J.A. Whole-Ore Heap Biooxidation of Sulfidic Gold-Bearing Ores *Biomining*. Ed. by Douglas E. Rawlings and D. Barrie Johnson. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, pp. 113-138.
4. Mishra A., Pradhan N. Microbiol recovery of uranium using native fundal strains, *Bioresour. Technol.*, 2006, Vol. 97, pp. 1876-1883.
5. Kuzyakina T.I., Khainasova T.S., Levenets O.O. Biotechnology of extraction of metals from sulfidic ores. *Vestnik KRAUNTS Nayki o zemle*, 2008, №2, Vol.12, pp. 76-86.
6. Kanayeva Z.K., Kanayev A.T. Intensification of the uranium extraction processes from the poor ores of the east region of the republic of kazakhstan with the use of biotechnological methods.. Available at: [http://portal.kazntu.kz/files/publicate/%203.K\(Алматы\)\).pdf](http://portal.kazntu.kz/files/publicate/%203.K(Алматы)).pdf)
7. Kuznetsova E.G., Almazov N.A., Potapchenko N.G. Use of microorganisms during extraction of metals from ores., Referral Bible. Bull. VIMS, № 30, 1976, p. 99.

8. Derbasova N.M., Gavrish M.V., Smirnov S.B., V.M. Gavrish. Biological leaching of uranium from waste uranium industrial-ness. *Udernaya i radiatsiya bespeka*, 2011, Vol. 2 (50), P.52 - 55.
9. Gavrish M.V., L.I. Lukina, Strigina N.V.. The development of a modified installation for percolation leaching of uranium dumps. *Materialu naychno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy yadernno-himicheskikh tekhnologiy i ekologicheskoy bezopasnosti»*, 2016, pp. 313-217.
10. Vasilev V.P. *Analiticheskaya himiya v 2h ch.: Gravimetricheskiy i titrimetricheskiy metodu analiza* [Analytical chemistry in 2 parts: Gravimetric and titrimetric methods of analysis]. Moscow. High School Publ., 1989, 320 p.
11. Vasilev V.P., Morozova R.P., Kocherhin. L.A. *Praktikum po analiticheskoy khimii* [Workshop on Analytical Chemistry]. Moscow. Chemistry Publ., 2000, 328 p.
12. Radiation Safety Standards : NRB-99/2009 - [current view 2000-01-01 / 2009-07-07]. Moscow: Russian Ministry of Health, 1999, 225 p. - (Sanitary Rules and Norms SanPiN 2.6.1.2523-09).

УДК 621.039

Обеспечение радиационной безопасности при утилизации атомных подводных лодок

Т.С. Мауричева¹, С.Н. Долгобородова², А.А. Горбачев³¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Северодвинск, 164500, Россия, t.mauricheva@narfu.ru² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Северодвинск, 164500, Россия, s.dolgorodova@narfu.ru,³ АО ПО «Севмаш», г. Северодвинск, 164500, Россия, toxashtein@mail.ru

Статья поступила 07.11.2016 г.; после доработки 11.11.2016 г.

Аннотация

После окончания срока службы реакторная установка АПЛ должна быть переведена в ядерно-безопасное состояние и выведена из эксплуатации с целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды. Отличительной чертой предприятий судостроения и судоремонта, так же как и других объектов ядерно-топливного цикла является образование большого объема первичных форм радиоактивных отходов. В настоящее время актуальной проблемой является не только обеспечение радиационной безопасности при обращении с радиоактивными отходами, но и снижение стоимости данного процесса. Этому способствует разработка системы комплексного контроля физических и радиационных характеристик радиоактивных отходов. Для проведения характеристики радиоактивных отходов по степени активности предлагается в гамма-спектрометрах использовать современные типы детекторов на основе сжатого ксенона.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, стадии жизненного цикла ядерной энергетической установки, характеристика радиоактивных отходов, гамма-спектрометры, детекторы ионизирующих излучений.

The implementation of radiation safety in utilization of nuclear submarines

T.S. Mauricheva¹, S.N. Dolgorodova², A.A. Gorbachev³¹ Department of Physics and Engineering Protection of the Environment, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk, 164500, Russia, t.mauricheva@narfu.ru,² Department of Physics and Engineering Protection of the Environment, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severodvinsk, 164500, Russia, s.dolgorodova@narfu.ru,³ "Sevmash" Production Association JSC (Severodvinsk), 164500, Russia, toxashtein@mail.ru

Received 07.11.2016 y.; received in final form 11.11.2016 y.

Abstract

After the end of the service life of the reactor plant submarine needs to be converted to nuclear-safe condition and decommissioned with the objective of ensuring nuclear and radiation safety of personnel, population and the environment. A distinctive feature of the factories of shipbuilding and ship repair, as well as other objects of the nuclear fuel cycle is the formation of a large number of primary forms of radioactive waste. Currently topical issue is provision of radiation safety in radioactive waste, but also reducing the cost of the process. This contributes to the development of a system of integrated control of physical and radiological characteristics of radioactive waste. When conducting radioactive waste characterization gamma-ray spectrometers, is suggested to apply modern types of detectors based on compressed xenon.

Keywords: naval nuclear reactor, nuclear reactor lifecycle stages, radioactive waste characterization, gamma-ray spectrometers, ionising radiation detectors.

Введение

Полный жизненный цикл ядерной энергетической установки (ЯЭУ) включает в себя все технологические стадии от начала исследования и возможности ее создания до утилизации, таким образом, жизненный цикл любой ЯЭУ состоит из нескольких ключевых этапов: проектирование и строительство, эксплуатация, вывод из эксплуатации.

Несмотря на то, что каждая стадия характеризуется своей специфичностью и многообразием технологических операций, существует и их объединенная составляющая, так называемая отличительная особенность именно жизненного цикла ЯЭУ.

На каждой его стадии, в разных объемах и формах, но обязательно происходит образование радиоактивных отходов (РАО), которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и создавать дополнительную радиационную нагрузку на человека. А значит на всех стадиях жизненного цикла ЯЭУ необходима разработка мероприятий, обеспечивающих минимизацию данного воздействия, особенно это актуально на завершающих стадиях, когда образуется максимальное количество РАО.

После окончания срока службы реакторная установка не только должна быть переведена в ядерно-безопасное состояние и выведена из эксплуатации, но и параллельно на предприятии должна быть разработана комплексная система обращения с образующимися радиоактивными отходами.

Этап вывода из эксплуатации начинается с момента выгрузки и удаления отработавшего ядерного топлива.

Вывод из эксплуатации можно определить как стратегию, предпринимаемую после завершения эксплуатации установки с целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности населения и окружающей среды.

При выводе реакторных установок из эксплуатации возникает ряд специфических проблем, присущих объектам, использующим ядерную технологию.

Это, прежде всего, радиоактивное загрязнение продуктами деления и активированными продуктами коррозии части оборудования, боксов и помещений, а также навешенная активность конструкционных и защитных материалов.

Аналогичные проблемы возникают и при осуществлении ремонтных работ на объектах

с ЯЭУ. Следует еще раз подчеркнуть, что именно ремонты и вывод из эксплуатации являются теми стадиями жизненного цикла ЯЭУ, на которых происходит наиболее значимое образование РАО.

Таким образом, ремонтируемые и выводимые из эксплуатации реакторные установки представляют радиационную опасность для персонала, населения и окружающей среды.

Обеспечение радиационной безопасности при утилизации АПЛ

Вывод из эксплуатации реакторной установки представляет собой сложную оптимизационную задачу, целью которой является минимизация радиационного и экологического ущерба.

Снижение ущерба обеспечивается многофакторным анализом, в основе которого лежат три ключевых требования:

- обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды;
- уменьшение высвобождающейся радиоактивности и объемов (РАО);
- достижение высокой технико-экономической и социальной эффективности.

Практическое достижение минимизации ущерба при выводе из эксплуатации реакторных установок осуществляется путем использования ряда законодательных, технологических, методических, организационных и других мероприятий [1].

После окончания эксплуатации ядерная энергетическая установка АПЛ содержит радиоактивные материалы, которые можно, в основном, отнести к твердым РАО (ТРО), а также большое количество материалов, которые практически нерадиоактивны, или имеют допустимую удельную активность и могут быть утилизированы непосредственно после вывода субмарины из эксплуатации.

Например, при утилизации одной АПЛ класса «Виктор - II» образуется около 12 тыс. м³ низкоактивных жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и около 36 м³ низко и среднеактивных ТРО, из них около 7 м³ - это т.н. вторичные ТРО производственного происхождения (ЖРО - таблица 1, ТРО - таблица 2).

Кроме того, в результате выполнения операций по резке легкого и прочного корпусов АПЛ, демонтажа установленного оборудования происходит образование газообразных РАО [2].

Таблица 1. Номенклатура и характеристика ЖРО, образующихся при утилизации одной АПЛ класса «Виктор-II».

Наименование ЖРО	Объем, м ³	Категория
Растворы 1-го контура	35	Низкоактивные, бета-излучающие
Растворы бака ЖВЗ	30	Низкоактивные, бета-излучающие
Воды осушения ЦБЗ	32,8	Низкоактивные, бета-излучающие
Воды дезактивации средств технического обслуживания и СИЗ	25	Низкоактивные, бета-излучающие
Воды спецпрачечных	1000	Низкоактивные, бета-излучающие

Таблица 2. Номенклатура и характеристика ТРО, образующихся при утилизации одной АПЛ класса «Виктор-II».

Наименование	Объем, м ³	Природа образования	Категория
Металлические конструкции	6	Эксплуатация	Низкоактивные, бета-излучающие
Ветошь, одежда, СИЗ, доска, пробка, бумага и т.п.	3	Производственные	Низкоактивные, бета-излучающие
Пластикат, резина, кабель, шланги	20	Эксплуатация, производственные	Низкоактивные, бета-излучающие
Вторичные ТРО	7	Производственные	Низкоактивные, бета-излучающие

Отличительной чертой предприятий судостроения и судоремонта, так же как и других объектов ядерно-топливного цикла с ЯЭУ является образование большого объема первичных и вторичных форм радиоактивных отходов разного состава и как следствие большие финансовые затраты на реализацию системы обращения с ними.

Минимизация объемов всех образующихся РАО одна из важнейших задач в общей проблеме вывода из эксплуатации реакторных установок.

В связи с этим в настоящее время актуальной проблемой для предприятий является не только разработка комплексной системы обращения с РАО, но и снижение экономических затрат на ее реализацию.

На современном этапе развития науки и техники решение данной задачи возможно за счет внедрения на производстве технологий, обеспечивающих проведение достоверно значимой характеристики РАО.

Характеризация - это система комплексного контроля радиационных и физических характеристик РАО, которая может позволить выделить из производственных отходов низко-, средне- и высокоактивные и за счет этого сократить экономические затраты на подготовку меньшего объема отходов, требующих специальной переработки, длительного хранения с соблюдением особых мер радиационной безопасности.

Чтобы провести все необходимые этапы характеристики отходов, предприятие должно располагать современными техническими средствами, обеспечивающими оперативное и достоверное определение таких учетных характеристик отходов, как радионуклидный состав, суммарная активность, удельная активность каждого радионуклида, масса и объем РАО.

Для определения характеристик РАО типичного состава предпочтительно использовать экспрессные методы [3], которые позволяют проводить неразрушающие измерения, т.е. такие, которые не изменяют состояние, форму, физических и химических характеристик отходов, не требуют специальной пробоподготовки и хранения отобранных проб. Все это позволяет снизить экономические затраты на реализацию данных мероприятий.

Как правило, для осуществления таких исследований используют гамма-спектрометры на основе различных типов детекторов: сцинтилляционные (иодид натрия активированный таллием (ТИ), иодид цезия (ТИ), антрацен, пластмасса), полупроводниковые (германий, кремний, теллурид кадмия), газонаполненные (ксенон, криптон, аргон).

Наиболее распространенными типами детекторов применяемых в настоящее время на предприятиях для проведения паспортизации РАО являются сцинтилляционные (на основе иодида натрия) и полупроводниковые германиевые, однако и те и другие имеют ряд недостатков.

Относительно дешевый монокристаллический иодид натрия имеет недостаточно эффективное энергетическое разрешение, установки с данным типом детекторов имеют большие габаритные размеры и повышенную чувствительность к транспортировке, что в производственных условиях представляет повышенную технологическую сложность. Германиевые детек-

торы имеют высокое энергетическое разрешение, для характеристики первичных РАО это свойство не является остро необходимым, и при этом данные типы детекторов по-прежнему остаются дорогостоящими.

Кроме того германиевые детекторы являются очень чувствительными к внешним шумам, не могут быть использованы при вибрации, а также требуют специального охлаждения, что в условиях промышленных предприятий может создать дополнительные трудности в работе с данным оборудованием.

И это далеко не полный перечень больших и незначительных недостатков, которые были выявлены для детекторов уже длительное время использующихся на производстве.

Проведенный сравнительный анализ детекторов, применяемых на производстве для паспортизации РАО выявил острую необходимость в разработке новых установок для характеристики РАО с применением экспрессных методов с уже хорошо себя зарекомендовавшими гамма-спектрометрами, но на основе детекторов из других материалов. По результатам многолетних исследований проведенных в НИЯУ МИФИ г. Москва были разработаны ядерно-физические приборы на основе инертных газов [4].

На предприятиях, осуществляющих утилизацию АПЛ, при создании типовых установок для характеристики РАО предлагается использовать ксеноновые гамма-детекторы (Таблица 3).

Таблица 3. Характеристики ксенона как рабочего вещества гамма-спектрометров.

Параметр	Значение
Потенциал ионизации (эВ)	12,13
Стандартная плотность (кг/м ³)	5,851
Температура конденсации при нормальном давлении (°C)	-108,10
Температура замерзания (°C)	-111,85
Критическая температура (°C)	16,59
Теплоемкость при 0° C (J/(кг·моль·градус))	20808,4
Содержание ксенона в воздухе (%)	10 ⁻⁵

Как было показано в многочисленных исследованиях ксеноновые гамма-детекторы обладают более высокой устойчивостью к вибрации, что актуально для промышленных условий, они могут применяться в широком температурном диапазоне (10-200°C), не требуют дополнительных систем охлаждения, имеют высокое энергетическое разрешение (рис. 1) и при этом относительно невысокую стоимость.

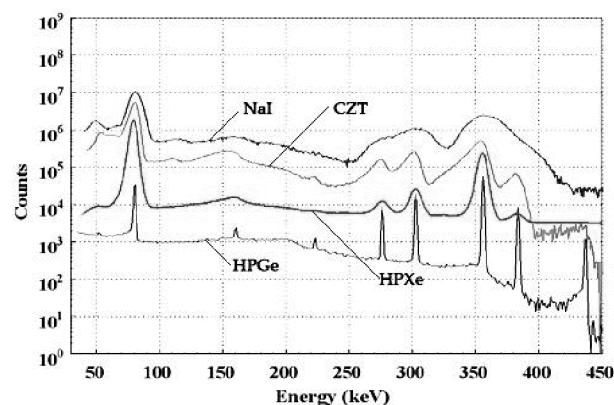


Рис. 1. Сравнение спектров ¹³³Ba, измеренных гамма-спектрометрами на основе разных типов детекторов (HPGe, CZT, NaI и HPGe).

Кроме того, предлагаемые детекторы не требуют сложных методик для обработки полученных данных, обладают большим ресурсом работы (несколько десятков лет), обладают минимальным временем для обнаружения радиоактивного источника (рис. 2) и могут иметь небольшие габаритные размеры.

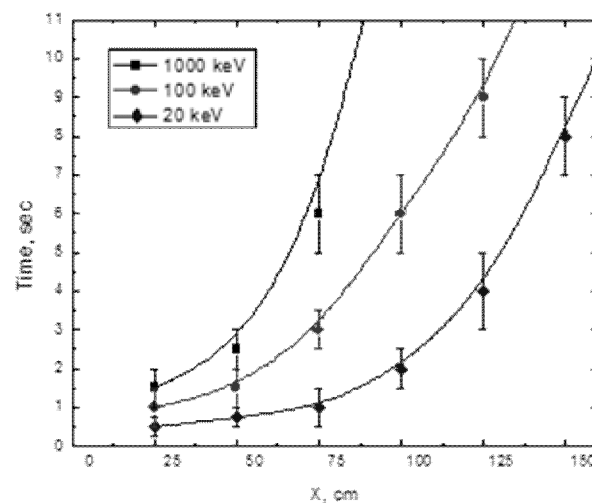


Рис. 2. Минимальное время обнаружения источника ¹³⁷Cs (75 кБк) в зависимости от расстояния до ксенонового гамма-спектрометра.

Ксеноновые гамма-детекторы меньше других активируются нейтронами, т.е. обладают высокой радиационной стойкостью, что особенно важно для предприятий осуществляющих вывод ядерных энергетических установок из эксплуатации. Предварительные расчеты по возможности применения ксенонового гамма-детектора (с S_{детектора} примерно 400 см²) в установках характеристики, для РАО, образующихся при утилизации АПЛ и далее поступающих на длительное хранение, показали, что на ана-

лиз стандартной 200-литровой бочки необходимо затратить не более нескольких секунд, что является высоким показателем при работе с большим объемом уже накопленных или вновь образующихся отходов.

Приоритетность применения для характеристики РАО именно гамма-спектрометров обусловлена возможностью современных измерительных систем не только проводить снятие показаний, но и с помощью набора типовых шаблонов осуществлять моделирование формы объекта, распределение активности и материала, поглощающего излучение.

После проведения паспортизации, характеристики РАО на предприятии проводится технико-экономическое обоснование и выбор технологии их утилизации, или переработки. В процессе выполнения всех этих мероприятий актуальным является обеспечение радиационной безопасности персонала. Это возлагается на отделы ядерной и радиационной безопасности, которые сопровождают все эти работы и проводят регулярный дозиметрический групповой и индивидуальный контроль.

В настоящее время наблюдается высокая трудоемкость данных процессов, т.к. с экономической точки зрения из-за нерегулярного и небольшого объема поступающих на переработку РАО применение автоматизированных установок сортировки не является целесообразным, и, как правило, для выполнения этих операций используется ручной труд, что приводит к увеличению числа лиц, оказывающихся под воздействием ионизирующего излучения при проведении работ. Кроме того с учетом всей выше изложенной информации на предприятии возникает необходимость складирования на специально оборудованных площадках уже прошедших характеристику РАО с целью накопления значимых для переработки объемов. Поэтому актуальным вопросом является также обустройство на объектах площадок временного хранения РАО, соответствующих всем современным нормам и правилам радиационной безопасности.

Заключение

Таким образом, вопрос обеспечения радиационной безопасности при утилизации АПЛ носит комплексный характер и предусматривает реализацию сразу нескольких направлений. С одной стороны следует предположить, что внедрение на предприятиях, занимающихся утилизацией АПЛ, установок для caracteriza-

ции РАО с применением детекторов на сжатом ксеноне позволит минимизировать объемы отходов, требующих специальной системы обращения, что в свою очередь создаст условия для более эффективного и наименее затратного решения вопросов обеспечения радиационной безопасности этого процесса.

С другой стороны, остро ощущается отсутствие промышленно изготовленных образцов таких гамма-спектрометров и установок характеристики на их основе.

Также актуальной проблемой является подготовка квалифицированных кадров для проведения паспортизации РАО на современном оборудовании с целью более широкого применения на различных предприятиях комплексной характеристики первичных РАО.

Также следует проводить прогрессивную политику по разработке и внедрению оптимизационных решений, позволяющих сократить объемы и активность вторичных РАО. В этом направлении, для большинства промышленных предприятий ядерно-топливного цикла, в том числе занимающихся строительством, ремонтом и утилизацией АПЛ особый интерес представляют мобильные установки по переработке ЖРО. Объемы образующихся отходов на этих объектах не являются сопоставимыми с объемами ЖРО АЭС, кроме того четко прослеживается специфичность их химического и радионуклидного состава в зависимости от источника (заказа) образования ЖРО.

Таким образом, широко распространенные, рассчитанные на большие объемы и постоянство состава перерабатываемых ЖРО, крупногабаритные и энергозатратные установки не могут быть эффективными на предприятиях по ремонту и утилизации АПЛ.

Для данных объектов интерес представляют небольшие стационарные модульные линии переработки ЖРО, дающими возможность осуществлять технологическое маневрирование в зависимости от конкретного состава ЖРО, а также небольшие мобильные модульные установки, которые могут быть задействованы сразу на нескольких радиационно-опасных объектах, расположенных в разных местах, например для переработки дезактивационных вод, ливневых стоков на площадках временного и длительного хранения РАО.

Это позволит наиболее эффективно их использовать, понизит срок окупаемости и позволит избежать дополнительных затрат, связанных с необходимостью перемещать собранные первичные ЖРО по территории предприятия

для дальнейшей переработки.

Такая проблема актуальна не только в связи с возможностью разгерметизации емкостей, в которых транспортируются первичные ЖРО, но и с особыми климатическими ограничениями, например не возможностью осуществлять данные операции в зимний период при минусовых температурах окружающей среды.

Следует отметить, что системы обращения с отработавшим ядерным топливом и РАО являются составными частями комплексной экологической оценки воздействия процесса утилизации АПЛ на окружающую среду, которая наряду с радиационным фактором и риском учитывает еще и расчет химического риска для персонала и населения при проведении данного вида работ.

Список литературы

1. Енговатов И.А., Машкович В.П., Орлов Ю.В., Пологих Б.Г., Хлопкин Н.С., Цыпин С.Г. Радиационная безопасность при выводе из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения. - М.: ПАИМС, 1999. - 300 с.
2. Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д., Никитин В.С. Экологическая безопасность объектов использования атомной энергии. - М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2010. - 852 с.
3. Долгих В.П., Вербицкий В.В., Волков А.С. и др. Проблемы паспортизации радиоактивных отходов // Безопасность окружающей среды, 2008. - № 1, С.54 - 59.
4. Дмитренко В.В. Шустов А.Е., Власик К.Ф., Грачев В.М. и др. Матрица приборных функций ксенонного гамма детектора // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2014. - Том 3, № 1, - С. 1–5.

References

1. Engovатов I.A., Mashkovich V.P., Orlov Yu.V., Pologih B.G., Hlopkin N.S. Tsypin S.G. *Radiation safety in decommissioning of reactor installations for civil and military purposes*, Moscow, PAIMS, 1999, 300 p.
2. Kuznetsov V.M., Chechenov H.D., Nikitin V.S. *Ecological safety of objects of use of atomic energy*, Moscow, NIPKC Voskhod-A, 2010, 852p.
3. Dolgih P.V., Verbitsky V.V., Volkov A.S., etc. Problems of certification of radioactive waste // *Safety of the environment*, 2008, No. 1, pp. 54-59.
4. Dmitrenko V.V., Shustov A.E., Vlasik K.F., Grachev V.M. etc. Matrix instrument functions of the xenon gamma detector // *Vestnik national research nuclear University "MEPhI"*, 2014, Vol. 3, No. 1, pp. 1-5.

УДК 536.46; 614.841.52

Определение категории взрывоопасности технологических блоков при очистке сточных вод от метанола и ацетона

В.А.Пухлий¹, А.А.Журавлев¹, П.В.Пухлий²ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», Университетская, 33
г.Севастополь, 299053, Россия¹, pu1611@rambler.ru²Предприятие «Аэротекс», г.Москва, ул.Мурановская, 17-147

Статья поступила 28.10.2016 г.; после доработки 01.11.2016 г.

Аннотация

Рассматриваются вопросы пожаровзрывоопасности технологического процесса производства диазолина и очистки сточных вод от метанола, ацетона, серной кислоты. Осуществляется определение категории взрывоопасности основных технологических блоков. Излагаются мероприятия по технике безопасности, в частности, «азотное дыхание».

Ключевые слова: Химическая промышленность, технологические блоки, категория взрывоопасности, очистка сточных вод, ректификация, «азотное дыхание»

Definition of category of potential of explosion of tehnologi-cheskih of blocks at sewage treatment from methanol and acetone

V.A.Pukhliy¹, A.A.Zhuravlev¹, P.V.Pukhliy²FGAOU "The Sevastopol state university", University, 33
Sevastopol, 299053, Rossiya¹, pu1611@rambler.ru²Aeroteks Enterprise, г.Москва, Muranovskaya St., 17-147

Received 28.10.2016 y.; received in final form 01.11.2016 y.

Abstract

Questions of fire-and-explosion hazard of technological process of production of a diazolin and sewage treatment from methanol, acetone, sulfuric acid are considered. Definition of category of potential of explosion of the main technological units is carried out. Actions for safety measures, in particular, "nitric breath" are stated.

Key words: Chemical industry, technological blocks, category of potential of explosion, sewage treatment, rectification, "nitric breath."

Введение

В вышедшей недавно работе [1] рассматривалась технология очистки сточных вод от метанола, серной кислоты и ацетона на одном из предприятий химической промышленности (рис.1). Для очистки многокомпонентных сред (метанола, ацетона, серной кислоты, диазолина) применяется процесс ректификации. При этом получались практически чистые компоненты, которые в дальнейшем использовали в качестве товарного продукта.

Следует особо подчеркнуть, что в целом, такое производство является взрывоопасным и

пожароопасным, ввиду чего требует при своей реализации соблюдения специальных мер пожаровзрывобезопасности.

В настоящей статье рассматриваются меры предупреждения пожаровзрывоопасности технологических блоков производства диазолина.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью научной работы является определение категории взрывоопасности технологических блоков при очистке сточных вод от метанола и ацетона. Данная задача решается на ос-

нове расчетного определения категории взрывоопасности технологических блоков в соответствии с «Общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных, химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

В качестве мероприятий по технике безопасности в процессе регистрации метанольных маточников производства диазолина применяется «азотное дыхание».

Определение категории взрывоопасности

Анализ осуществлен на основе результатов работы [1]. Расчетное определение категории взрывоопасности технологических блоков для схемы регенерации метанола производства диазолина производится по «Общим правилам взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» [2].

Блок №1. Сборник E1 [1].

Данные для расчета блока E1:

- объем сборника – 1,1 м³;
 - количество маточников диазолина - 830 л (737,82 кг).
- Состав маточников:
- вода – 36%;
 - метанол (CH₃OH) – 57%;
 - серная кислота (H₂SO₄) – 3,3%;
 - ацетон (CH₃COCH₃) – 0,8%;
 - 1,5 – нафталиндисульфокислота – 1,7%;
 - диазолин и примеси – 1,2%.

Аварийная разгерметизация блока происходит во время наполнения сборника E1.

Общий энергетический потенциал взрывоопасности блока равен:

$$E = E'_1 + E'_2 + E''_1 + E''_2 + E''_3 + E''_4, \quad (1)$$

где E'_1 – сумма энергии адиабатического расширения и сгорания ПГФ (парогазовая фракция), находящейся непосредственно в аварийном блоке.

E'_2 – энергия сгорания ПГФ, поступившей к разгерметизированному участку от смежных блоков.

E''_1 – энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет перегрева жидкой фазы рассматриваемого блока поступившей от смежных блоков за время ручного отключения аварийного блока.

$E''_1 = 0$, так как перегрев отсутствует и нет подачи ПГФ от смежных блоков.

E''_2 – энергия сгорания ПГФ, образующейся из ЖФ (жидкая фаза) за счет тепла экзотермических реакций, непрекращающихся при АРБ (аварийная разгерметизация блока).

$E''_2 = 0$, так как экзотермические реакции отсутствуют.

E''_3 – энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет теплопритока от внешних теплоносителей.

$E''_3 = 0$, так как внешние теплоносители отсутствуют.

E''_4 – энергия сгорания ПГФ, образующейся из пролитой на твердую поверхность пола (ЖФ) за счет теплоотдачи окружающей среды.

Таким образом в данном случае имеем:

$$E = E'_1 + E''_4.$$

Величина E'_1 определяется по формуле:

$$E'_1 = A + G'_1 q', \quad \text{где } A = 0. \quad (2)$$

Величина G'_1 определяется по формулам:

$$G'_1 = V'_o \cdot \rho'; \quad (3)$$

$$V'_o = P_{абс} \cdot V' T_o / P_o T. \quad (4)$$

В формуле (4) V – геометрический объем ПГФ в блоке: $V' = 1,1 - 0,83 = 0,27$ м³.

Вычислим $P_{абс}$:

$$P_{абс} = 0,101 + 0,013 = 0,113 \text{ МПа},$$

где 0,013 МПа – давление насыщенных паров метанола при $T = 21,2^\circ\text{C}$.

Подставляя значения величин в формулу (4), получим:

$$V'_o = 0,113 \cdot 0,27 \cdot 293 / 0,101 \cdot 293 = 0,3 \text{ м}^3.$$

Плотность ПГФ метанола: $\rho' = 1,43$ кг/м³.

Подставляя значения величин в формулу (3), получим:

$$G'_1 = 0,3 \cdot 1,43 = 0,429 \text{ кг}.$$

Теплота сгорания паров метанола: $q' = 22317$ кДж/кг.

Подставляя значения величин в формулу (2), получим:

$$E'_1 = 0,429 \cdot 22317 = 9573,993 \text{ кДж}.$$

Величина E''_4 определяется по формуле:

$$E''_4 = G''_\Sigma \cdot q' \text{ кДж}; \quad (5)$$

$$G''_\Sigma = G''_4 + G''_5 \text{ кг}. \quad (6)$$

Ориентировочно значение G''_Σ определяем по графику зависимости от температуры кипения жидкости при атмосферном давлении для условия $F_{II} = 50$ м²; $\tau_{ис} = 180$ с; $t_{ок.ср.} = 50^\circ\text{C}$.

Принимая твердую поверхность разлива бетонной, получим:

$$G_{\Sigma}'' = 10.$$

Так как в нашем случае твердая поверхность разлива $< 50 \text{ м}^2$, производим пересчет количества паров, взятых из таблицы №4 [2]:

$$G_{\Sigma} = G_{\Sigma}'' F_{\Pi} / 50 \text{ кг};$$

$$F_{\Pi} = 41,49 \text{ м}^2;$$

$$G_{\Sigma} = 10 \cdot 41,49 / 50 = 8,29 \text{ кг};$$

$$q' = 22317 \text{ кДж/кг};$$

$$E_4'' = 8,29 \cdot 22317 = 185007,93 \text{ кДж}.$$

Общий энергетический потенциал:

$$E = E_1' + E_4'' = 9573,993 + 185007,93 = 194581,92 \text{ кДж}.$$

Общая масса горючих паров взрывоопасного парогазового облака равна (приведенная масса):

$$m = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4} = \frac{194581,92}{4,6 \cdot 10^4} = 4,26 \text{ кг}.$$

Относительный энергетический потенциал взрывоопасности:

$$Q_B = \left(\frac{1}{16,534} \right) \sqrt[3]{E}. \quad (7)$$

Подставляя значения величин в формулу

(7), получим:

$$Q_B = \left(\frac{1}{16,534} \right) \sqrt[3]{194581,92} = 3,5.$$

Так как $m < 200 \text{ кг}$, а $Q_B < 27$ категория блока равна III согласно таблице №5, стр.69 [2].

Блок №2. Сборник дистиллята E2 [1].

Данные для расчета блока E2:

- объем сборника – $0,67 \text{ м}^3$;
- количество дистиллята – 530 л ($421,7 \text{ кг}$);
- плотность метанола – 795 кг/м^3 .

Состав дистиллята:

- вода – 1% ;
- метанол (CH_3OH) – 99% .

Аварийная разгерметизация блока происходит во время окончания процесса ректификации, когда сборник собрал весь дистиллят метанола.

Температура смеси: $T_{\text{см}} = 30^\circ\text{C}$.

Общий энергетический потенциал взрывоопасности блока равен:

$$E = E_1' + E_4'';$$

$$E_1' = A + G_1' q';$$

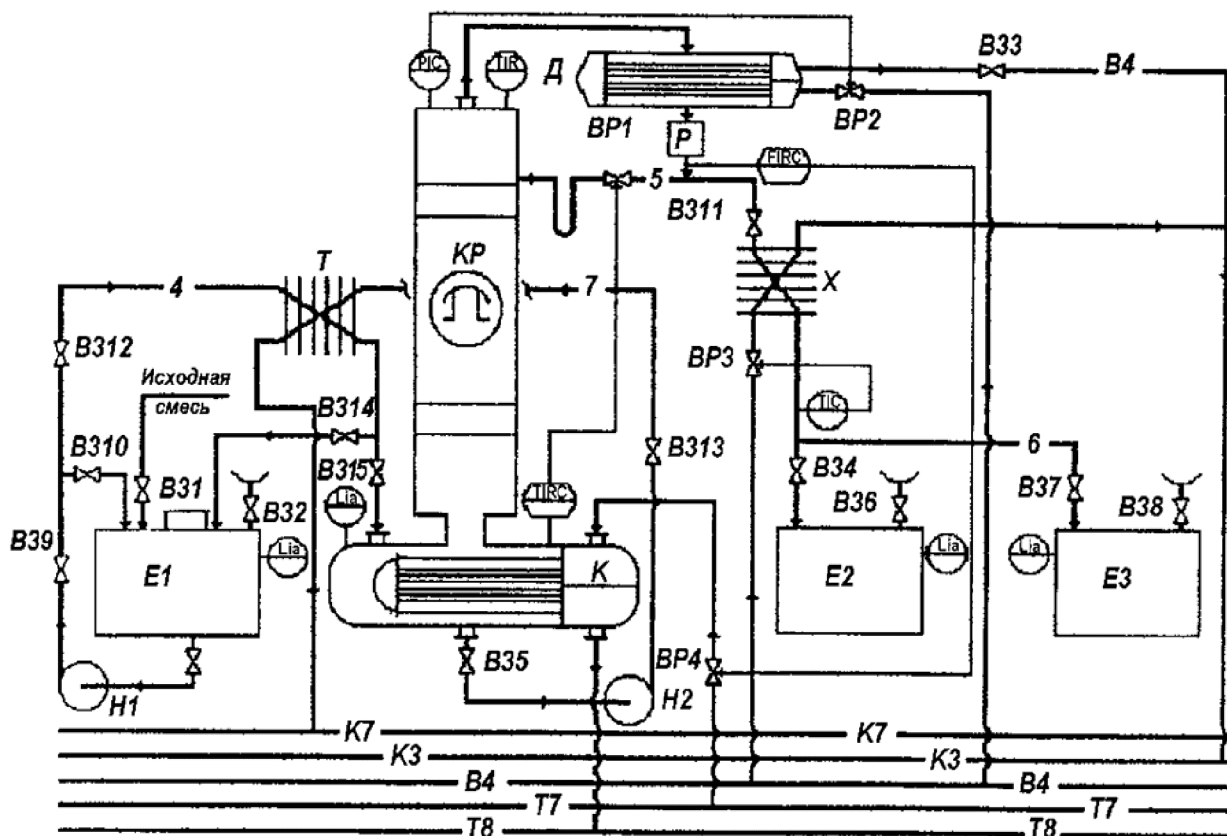


Рис.1. Технологическая схема очистки сточных вод от метанола, ацетона и серной кислоты [1].

$$A = 0;$$

$$G'_1 = V'_o \rho';$$

$$V'_o = P_{абс} V' T_o / P_o T,$$

где V' – геометрический объем ПГФ в блоке:

$$V' = 0,67 - 0,53 = 0,14 \text{ м}^3;$$

$$P_{абс} = 0,101 + 0,026 = 0,126 \text{ МПа.}$$

Здесь 0,026 МПа – давление насыщенных паров метанола при $T_{см} = 30^\circ \text{C}$.

$$T = 293^\circ \text{K} + 10^\circ \text{K} = 303^\circ \text{K}.$$

Подставляя значения величин в формулу, получим:

$$V'_o = 0,126 \cdot 0,14 \cdot 293 / (0,101 \cdot 303) = 0,16 \text{ м}^3.$$

$$\text{Плотность ПГФ метанола: } \rho' = 1,43 \text{ кг/м}^3.$$

Подставляя значения величин в формулу, получим:

$$G'_1 = 0,16 \cdot 1,43 = 0,228 \text{ кг.}$$

Для E'_1 имеем:

$$E'_1 = G'_1 q'.$$

Теплота сгорания паров метанола:
 $q' = 22317 \text{ кДж/кг.}$

Тогда получим:

$$E'_1 = 0,228 \cdot 22317 = 5088,276 \text{ кДж.}$$

Определяем E''_4 :

$$E''_4 = G''_{\Sigma} q' \text{ кДж;}$$

$$G''_{\Sigma} = G''_4 + G''_5 \text{ кг,}$$

где G''_4 – масса ЖФ, испарившейся за счет теплопритока от твердой поверхности (пола) к разлившейся по ней жидкости;

G''_5 – масса ЖФ, испарившейся за счет теплопередачи от окружающего воздуха к разлитой жидкости (по зеркалу испарения):

$$G''_5 = m_{и} F_{ж} \tau_{исп}, \quad (8)$$

где $m_{и}$ – интенсивность испарения;

$F_{ж}$ – площадь поверхность зеркала жидкости;

$\tau_{исп}$ – время контакта жидкости с поверхности разлива, принимаемое в расчет.

Интенсивность испарения определяется по формуле:

$$m_{и} = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_{н}, \quad (9)$$

где $\eta = 2,4$ (принимается по таблице №3, стр.66) [2];

$$M = 32,04;$$

$$P_{н} = 26,22 \text{ кПа (при температуре } T = 30^\circ \text{C}).$$

Подставляя значения величин в формулу (9), получим:

$$m_{и} = 10^{-6} \cdot 2,4 \sqrt{32,04} \cdot 22,6 = 307,019 \cdot 10^{-6}.$$

Для величин $F_{ж}$ и $\tau_{исп}$ имеем:

$$F_{ж} = 41,49 \text{ м}^2;$$

$$\tau_{исп} = 3600 \text{ с (ОНТП 24-86, стр.9).}$$

Подставляя значения величин в формулу (8), получим:

$$G''_5 = 307,019 \cdot 10^{-6} \cdot 41,49 \cdot 3600 = 45,8 \text{ кг.}$$

По формуле (5) определяем E''_4 :

$$E''_4 = 45,8 \cdot 22317 = 1022118,6 \text{ кДж.}$$

Далее вычисляем значения величин E и m :

$$E = E'_1 + E''_4 = 5088,276 + 1022118 = 1027206,276 \text{ кДж;}$$

$$m = E / 4,6 \cdot 10^4 = 1027206,276 / 4,6 \cdot 10^4 = 22,3 \text{ кг.}$$

По формуле (7) определяем относительный энергетический потенциал взрывоопасности:

$$Q_B = (1/16,534) \sqrt{1027206,276} = 6,18.$$

Так как $m < 2000 \text{ кг}$, а $Q_B < 27$ категория блока равна III (согласно таблице №5, стр.69 [2].

Блок №3 [1]. Блок состоит из кипятильника, ректификационной колонны и дефлегматора [1].

Данные для расчета блока ЕЗ:

- количество загружаемых метанольных маточников – 830 л (737,82 кг).

Состав маточников:

- вода – 36%;
- метанол (CH_3OH) – 57%;
- серная кислота (H_2SO_4) – 3,3%;
- ацетон (CH_3COCH_3) – 0,8%;
- 1,5-нафталиндисульфокислота – 1,7%;
- диазолин и примеси – 1,2%.

Аварийная разгерметизация блока происходит во время процесса ректификации, содержащее из блока выливается наружу.

Общий энергетический потенциал взрывоопасности блока равен:

$$E = E'_1 + E''_3 + E''_4;$$

$$E'_1 = A + G'_1 q'.$$

Так как давление в колонне атмосферное, т.е. $P < 0,07 \text{ МПа}$, энергия адиабатического расширения (A) ввиду малых ее значений в расчет не принимается.

$$G'_1 = V'_o \rho';$$

$$V'_o = P_{абс} V' T_o / P_o T.$$

V' – геометрический объем ПГФ в блоке определяется следующим образом:

$$V' = V'_{\text{колонны}} + V'_{\text{дефлег.}} + V'_{\text{кипят.}} = \\ = (9,76 \cdot 0,7) + 0,23 + (1,4 - 0,83) = 7,6 \text{ м}^3.$$

$$P_{\text{абс}} = 0,101 + 0,101 = 0,202 \text{ МПа},$$

где 0,101 МПа – давление насыщенных паров метанола при $T = 64,7^\circ\text{C}$.

$$T = 293^\circ\text{K} + 44,7^\circ\text{K} = 337,7^\circ\text{K}.$$

$$V'_o = 0,202 \cdot 7,6 \cdot 293 / (0,101 \cdot 337,7) = 13,18 \text{ нм}^3.$$

$$\text{Плотность ПГФ метанола: } \rho' = 1,43 \text{ кг/м}^3.$$

$$G'_1 = 13,18 \cdot 1,43 = 18,84 \text{ кг};$$

$$E'_1 = G'_1 \cdot q'.$$

Теплота сгорания паров метанола:
 $q' = 22317 \text{ кДж/кг}.$

Тогда для E'_1 получим:

$$E'_1 = 18,84 \cdot 22317 = 420452,28 \text{ кДж}.$$

Энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет теплопритока от внешних теплоносителей определяется по формуле:

$$E''_3 = (q'/r) \sum n_{i=1} \cdot \Pi_{\text{Тт}} \cdot \tau_{\text{Тт}}, \quad (10)$$

где q' – теплота сгорания паров метанола: $q' = 22317 \text{ кДж/кг};$

r – удельная теплота парообразования метанола: $r = 1101 \text{ кДж/кг};$

$\Pi_{\text{Тт}}$ – скорость теплопритока к ЖФ от внешних теплоносителей (кДж/с);

$\tau_{\text{Тт}}$ – время прекращения подачи теплоносителя к аварийному блоку.

Принимаем $\tau_{\text{Тт}} = 300 \text{ с} = 0,08 \text{ ч}$ (время ручного отключения).

Величина $\Pi_{\text{Тт}}$ определяется по формуле:

$$\Pi_{\text{Тт}} = W_{\text{Тт}} \cdot r_{\text{Тт}}, \quad (11)$$

где $W_{\text{Тт}}$ – часовой расход греющего теплоносителя, в данном случае 155,4 кг/ч;

$r_{\text{Тт}}$ – удельная теплота парообразования теплоносителя, для пара 2202 кДж/кг.

Подставляя значения величин в формулу (11), получим:

$$\Pi_{\text{Тт}} = 155,4 \cdot 2202 = 342190,8 \text{ кДж/ч}.$$

По значениям величин из формулы (10) получим:

$$E''_3 = (22317/1101) \cdot 342190,8 \cdot 0,08 = 554889,88 \text{ кДж}.$$

Определяем E''_4 по формуле:

$$E''_4 = G''_{\Sigma} q' \text{ кДж}, \quad (12)$$

где G''_{Σ} – суммарная масса жидкой фазы испарившаяся за счет теплопритока от окружающей

среды.

$$G''_{\Sigma} = G''_4 + G''_5 \text{ кг}.$$

Ориентировочно значение G''_{Σ} определяем по графику зависимости от температуры кипения жидкости при атмосферном давлении для условия $F_n = 50 \text{ м}^2$; $\tau_{\text{ИС}} = 180 \text{ с}$; $t_{\text{ОК,СР}} = 50^\circ\text{C}$.

Твердая поверхность разлива бетонная. Для нее имеем: $G''_{\Sigma} = 10$.

Так как в нашем случае твердая поверхность разлива $> 50 \text{ м}^2$, производим пересчет количества паров, взятых из таблицы №4 [2] по формуле:

$$G_{\Sigma} = G''_{\Sigma} F_{\Pi} / 50 \text{ кг}. \quad (13)$$

Площадь разлива F_{Π} согласно ОНТП 24-86 п.3.2 определяется из расчета, что 1 л смесей, содержащих 70% и меньше растворителей разливается на площадь 0,5 м².

В нашем случае 830 л разольются на площадь 415 м².

Запишем значения величин:

$$F_{\Pi} = 415 \text{ м}^2;$$

$$G_{\Sigma} = 10 \cdot 415/50 = 83 \text{ кг};$$

$$q' = 22317 \text{ кДж/кг}.$$

По формуле (12) вычисляем значение E''_4 :

$$E''_4 = 83 \cdot 22317 = 1852311 \text{ кДж}.$$

Определяем общий энергетический потенциал:

$$E = E'_1 + E''_3 + E''_4 = 420452,28 + 554889,88 + 1852311 = 2827653,16 \text{ кДж}.$$

Общая масса горючих паров взрывоопасного парогазового облака равна (приведенная масса):

$$m = E/4,6 \cdot 10^4 = 2827653,16/4,6 \cdot 10^4 = 61,4 \text{ кг}.$$

Вычисляем относительный энергетический потенциал взрывоопасности:

$$Q_B = (1/16,534) \sqrt[3]{2827653,16} = 140,41/16,534 = 8,4.$$

Так как $m < 2000 \text{ кг}$, а $Q_B < 27$ категория блока равна III (согласно таблице №5, стр.69 [2]).

Блок №4. Сборник ЕЗ [1]. Данные для расчета блока Е4:

- объем сборника – 0,03 м³;
- количество дистиллята – 27 л.
- Состав дистиллята:
- метанол (CH_3OH) – 50%;
- ацетон (CH_3COCH_3) – 50%;
- температура смеси – 30°C.

Аварийная разгерметизация блока наступит при окончании наполнения сборника ЕЗ.

Расчет будем вести по ацетону.

Общий энергетический потенциал взрывоопасности блока равен:

$$E = E'_1 + E'_2 + E''_1 + E''_2 + E''_3 + E''_4, \quad (14)$$

где E'_1 – сумма энергии адиабатического расширения и сгорания ПГФ, находящейся непосредственно в аварийном блоке.

E'_2 – энергия сгорания ПГФ, поступившей к разгерметизированному участку от смежных блоков. $E'_2 = 0$, так как подача ПГФ от смежных блоков отсутствует.

E''_1 – энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет перегрева жидкой фазы рассматриваемого блока и поступившей от смежных блоков за время ручного отключения аварийного блока. $E''_1 = 0$, так как перегрев отсутствует и нет подачи ПГФ от смежных блоков.

E''_2 – энергия сгорания ПГФ, образующейся из ЖФ за счет тепла экзотермических реакций, непрекращающихся при АРБ. $E''_2 = 0$, т.к. экзотермические реакции отсутствуют.

E''_3 – энергия сгорания ПГФ, образующейся за счет теплопритока от внешних теплоносителей. $E''_3 = 0$, так как внешние теплоносители отсутствуют.

E''_4 – энергия сгорания ПГФ, образующейся из пролитой на твердую поверхность пола (ЖФ) за счет теплоотдачи окружающей среды.

Таким образом, в данном случае имеем:

$$E = E'_1 + E''_4. \quad (15)$$

$$E'_1 = A + G'_1 \cdot q'. \quad (16)$$

В данной формуле (16) значения величин следующие:

$$A = 0; \quad G'_1 = V'_o \rho'.$$

Величина V'_o определяется по формуле:

$$V'_o = P_{абс} V' T_o / P_o T, \quad (17)$$

где V' – геометрический объем ПГФ в блоке:

$V' = 0,3 - 0,27 = 0,03 \text{ м}^3$ (коэффициент заполнения равен 0,9).

$$P_{абс} = 0,101 + 0,039 = 0,14 \text{ МПа},$$

где 0,013 МПа – давление насыщенных паров ацетона при $T = 30^\circ \text{C}$.

$$T = 293^\circ \text{K} + 10^\circ \text{K} = 303^\circ \text{K}.$$

Подставляя значения величин в формулу (17), получим:

$$V'_o = 0,14 \cdot 0,03 \cdot 293 / (0,101 \cdot 303) = 0,03 \text{ м}^3.$$

Плотность ПГФ ацетона $\rho' = 2,59 \text{ кг/м}^3$.

Тогда для G'_1 получим:

$$G'_1 = 0,04 \cdot 2,59 = 0,1 \text{ кг}.$$

Из формулы (16) получим значение E'_1 :

$$E'_1 = G'_1 q'. \quad (18)$$

Теплота сгорания паров ацетона: $q' = 30746 \text{ кДж/кг}$.

Подставляя значение величины в формулу (18), получим:

$$E'_1 = 0,1 \cdot 30746 = 3185 \text{ кДж}.$$

Определяем E''_4 .

$$E''_4 = G_\Sigma \cdot q' \text{ кДж}, \quad (19)$$

где G_Σ – масса ПГФ при температуре кипения ацетона ($t_{\text{кип}} = 58,08^\circ \text{C}$) и площади разлива $41,49 \text{ м}^2$:

$$G_\Sigma = G'_\Sigma F_\Pi / 50. \quad (20)$$

$$G'_\Sigma = 10 \text{ (из таблицы №4 [2])}.$$

Подставляя значения величин в формулу (20), получим:

$$G_\Sigma = 10 \cdot 41,49 / 50 = 8,29 \text{ кг}.$$

Теплота сгорания паров ацетона: $q' = 30746 \text{ кДж/кг}$.

Из формулы (19) получим значение E''_4 :

$$E = E'_1 + E''_4 = 3185 + 255130,3 = 258315,3 \text{ кДж}.$$

Общая масса горючих паров взрывоопасного парогазового облака равна (приведенная масса):

$$m = E / 4,6 \cdot 10^4 = 255130,3 / 4,6 \cdot 10^4 = 5,6 \text{ кг}.$$

Относительный энергетический потенциал взрывоопасности:

$$Q_B = (1/16,534) \sqrt[3]{258315,3} = 3,85.$$

Так как $m < 2000 \text{ кг}$, а $Q_B < 27$ категория блока равна III (согласно таблице №5, стр.69 [2]).

Мероприятия по технике безопасности. «Азотное дыхание»

Настоящие мероприятия по технике безопасности в процессе регенерации метанольных маточников производства диазолина разработаны на основе нормативных документов [2, 3] и справочных данных [4, 5].

Процесс ректификации метанола производится в герметическом оборудовании.

Герметизация оборудования и коммуникаций обеспечивается за счет применения фланцевых соединений типа «гладкая с уплотнительной

канавкой». Все оборудование с приводами укомплектовано двигателями во взрывоопасном исполнении в соответствии с ПУЭ [3] и категорий и группой взрывоопасных смесей [2].

Все аппараты, содержащие метанол, подключены к системе «азотного дыхания» с избыточным давлением $P = 0,03$ ати.

Технологическая схема установки «азотного дыхания» приведена на рис.2.

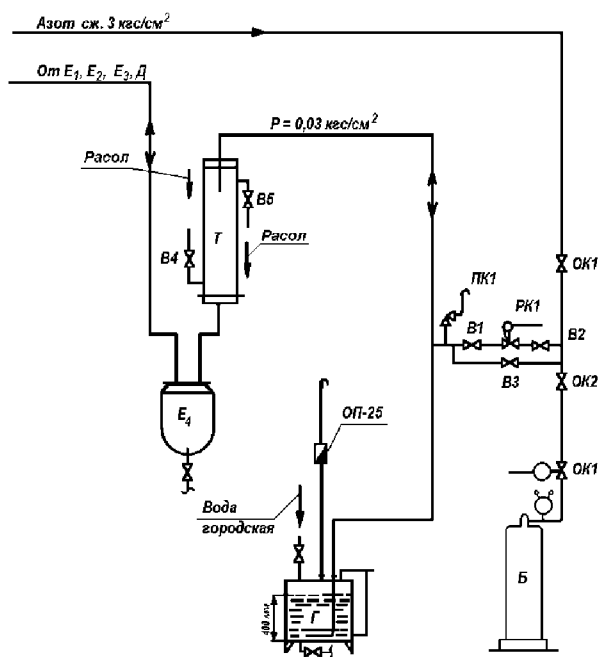


Рис.2. Технологическая схема установки «азотного дыхания».

На рис.2 обозначено:

- E_4 – сборник стальной с рубашкой объемом $V = 100$ л (завод-изготовитель «Карпаты», г. Черневец);
- T – теплообменник одноходовой, кожухотрубчатый, стальной поверхностью $F = 4$ м² (завод-изготовитель «Павлоградхиммаш»);
- B – баллоны с азотом емкостью $V = 40$ л, давлением $P = 150$ атм;
- ОП-25 – огнепреградитель марки ОП-25;
- Γ – гидрозатвор емкостью $V = 170$ л.

Установка «азотного дыхания» оснащается следующей арматурой:

- ПК-1 – предохранительный клапан полноподъемный универсальный $d_y = 25$ мм (завод-изготовитель «Киевпромарматура»);
- ОК-1 – отсечной клапан $d_y = 50$ мм (завод-изготовитель «Волгограднефтемаш»);
- ОК-1 – ОК-2 – обратный клапан $d_y = 25$ мм (завод-изготовитель «Армхиммаш»);

- РК1 – регулирующий клапан $d_y = 25$ мм (завод-изготовитель «Гусь-Хрустальный арматурный з-д»); В1-В5 – вентиль фланцевый проходной (завод-изготовитель «Курганхиммаш»).

Наличие «азотного дыхания» в аппаратах препятствует загоранию паров метанола и существенно снижает их концентрацию и потери за счет уменьшения парциального давления (рис.3).

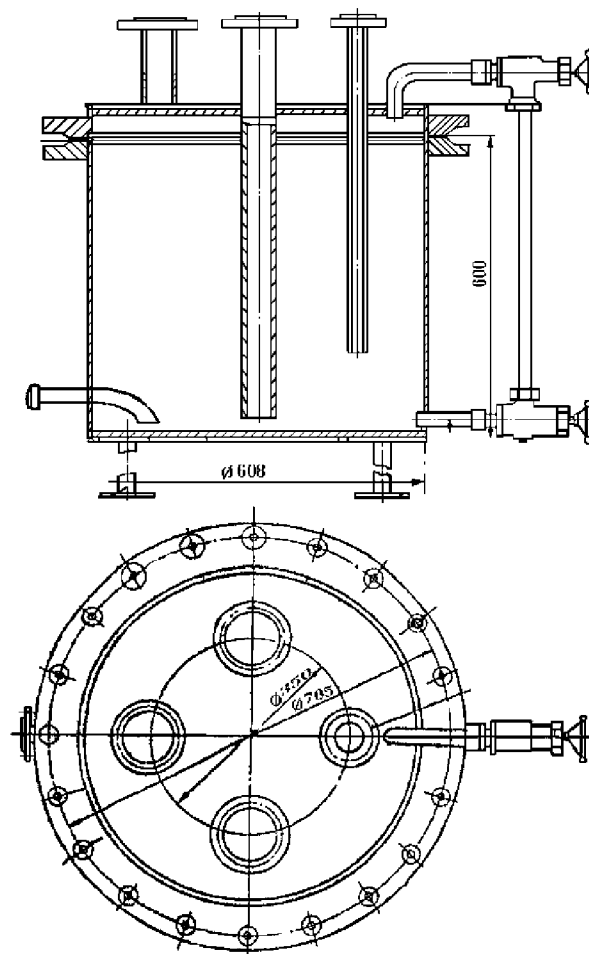


Рис.3. Гидрозатвор для системы «азотного дыхания».

В системе «азотного дыхания» перед выбросом в атмосферу установлен концевой конденсатор, охлаждаемый рассолом с температурой $T = 15^\circ\text{C}$ для уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу.

В системе «азотного дыхания» азот, редуцированный регулирующей системой до давления 0,03 ати, подается через гидрозатвор к аппаратам.

Огнепреградители (рис.4) выпускаются $D_o = 80, 100, 125, 150, 200$ мм [6, 7].

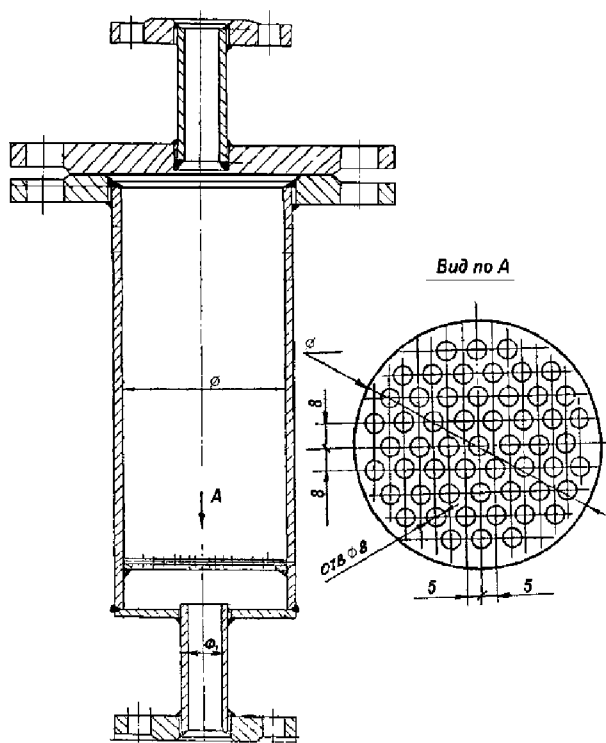


Рис.4. Огнепреградитель для установки «азотного дыхания».

В корпус огнепреградителя засыпается гравий или стеклянные шарики диаметром:

- 3 – 4 мм при применении огнепреградителя для метанола, водорода;
- 5 – 6 мм при применении огнепреградителя для остальных газов.

Слой засыпки: толщиной не менее 150 мм.

При давлении паров метанола в аппаратах более 0,04 ати азот вытесняется через гидрозатвор и воздушник, давление остается на уровне расчетного. Гидрозатвор заполнен жидкостью (в данном случае водой – нейтральной к парам метанола) на высоту 400 мм.

При удалении продукта из аппарата «азотное дыхание» предотвращает образование в нем вакуума и поддерживает заданное давление.

Таким образом, технологический процесс происходит при определенном давлении инертного газа.

Подпитка азота в систему «азотного дыхания» производится автоматически по падению в коллекторе от существующего азотопровода, в случае отсутствия азотопровода на предприятии осуществляется из баллонов с азотом через редуктор.

На вводе инертного газа обязательно устанавливается обратный клапан.

Поскольку давление инертного газа должно быть несколько более высоким, чем в аппара-

тах, эта система снабжается регулятором давления, поддерживающим давление на выходе из него до определенного допустимого предела.

Устройство имеет два манометра, показывающих давление до и после регулятора, предохранительный и обратный клапан.

Воздушная среда в помещении должна контролироваться сигнализаторами до взрывоопасных концентраций.

Заключение

Осуществлено расчетное определение категории взрывоопасности технологических блоков при очистке сточных вод от метанола, серной кислоты и ацетона.

Разработана технологическая схема безопасности в процессе регенерации метанольных источников производства диазолина на основе процесса «азотного дыхания».

Список литературы

1. Пухлий В.А., Журавлев А.А., Пухлий П.В. Очистка сточных вод от метанола и ацетона. – Энергетические установки и технологии: научн. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2016. – Т.2., №2, с.90-98.
2. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-170-97). – СПб.: Изд-во «ДЕАН», 2001. – 112 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Изд-во Минэнерго и электрофикации, 1980.
4. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: Справочник. Под ред. А.Н. Баратова. – М.: Химия, 1987. – 270 с.
5. Розловский А.Н. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. – М.: Химия, 1972. – 365 с.
6. Соловьев Н.В. Основы техники безопасности и противопожарной техники в химической промышленности. – М.: Химия, 1960. – 165 с.
7. Стрижевский И.И., Заказнов Н.Р. Промышленные огнепреградители. – М.: Химия, 1974. – 134 с.

References

1. Pukhly V.A., Zhuravlev A.A., Pukhly P. V. Sewage treatment from methanol and acetone. – Scientific magazine «Power plants and technologies», 2016. – Т.2., No. 2, page 90-98.
2. The general explosion safety rules for fire and explosion hazardous chemical, petrochemical and oil processing productions (PB 09-170-97). – SPb.:

- DEAN publishing house, 2001. - 112 pages.
3. Rule of the Device of Electric Units (RDEU). - M.: Minenergetiki's publishing house and electrification, 1980.
 4. Fire safety. Explosion safety; Reference book. Under the editorship of A. N. Baratov. - M.: Chemistry, 1987. - 270 pages.
 5. Rozlovsky A.N. Scientific bases of equipment of explosion safety during the work with combustible gases and couples. - M.: Chemistry, 1972. - 365 pages.
 6. Solovjov N. V. Bases of safety measures and fire-prevention equipment in chemical industry. - M.: Chemistry, 1960. - 165 pages.
 7. Strizhevsky I.I., Zakaznov N. R. Industrial fire prevention devices. - M.: Chemistry, 1974. - 134 pages.

ISSN 2413-5526

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 2 № 4**

**SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 2 No 4**

Учредитель и издатель:
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Адрес редколлегии:
ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация
E-mail sevsu.ru/l.v.litvinova@sevsu.ru
тел. +7(8692) 71-30-44, факс +7(8692) 71-01-38

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнения, высказываемые авторами в публикуемых статьях, не всегда совпадают с мнением редакции. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Научный журнал «Энергетические установки и технологии» издается в авторской редакции.

Компьютерная верстка *М.В. Тетаренко*

Подписано к печати 10.01.2017. Изд. № 13/17. Зак. 06/17. Тираж 65 экз.
Объем 12,5 п.л. Усл. печ. л. 11,62. Уч.-изд. л. 12,26. Формат бумаги 60 x 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»