

## **Оценка реализации программ повышения эффективности деятельности предприятий ядерной энергетики**

**Осецкая М.М.**, руководитель проекта центра компетенций по операционным процессам АНО ДПО «Техническая академия Росатома», г. Обнинск, Россия

**Аннотация.** Современные тенденции развития ядерных технологий формируют новые вызовы на мировых энергетических рынках. Разработана экономико-математическая модель планирования производства на АЭС, позволяющая определить направления оптимизации расходов: материальные и прочие расходы, в том числе на ядерное топливо, техническое обслуживание и ремонт, командировки. Выявлены направления совершенствования реализуемых программ оптимизации расходов ГК Росатом.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность, АЭС, оптимизация расходов, ядерное топливо, уран, ПСР, ПОРА.

## **Evaluation of implementation of efficiency increase programs of NPP activity**

**Osetskaya M.M.**, Project leader, the competence center operational processes  
Rosatom Technical Academy (RosatomTech), Obninsk, Russia

**Annotation.** The nuclear energy technology market trends are shaping new challenges in the conditions of rigid competitive struggle with the continuing non-market methods of regulation in Western markets. Despite the diversity of domestic and foreign research according to competitiveness, energy companies' cost optimization there is still an acute problem of the Russian nuclear energy technologies' portfolio expansion of foreign orders. There are identified Rosatom has considerable competencies such as reliable material and technical base, reference technology, a unique integrated offer. NPPs production planning economic-mathematical model, allowing to determine the cost optimization direction such as

management of material and other costs, including nuclear fuel, maintenance and repair, travel is determined. The improvements of Rosatom cost optimization programmes were identified.

**Key words:** competitiveness, nuclear power plants, cost optimization, nuclear fuel, uranium, Rosatom production system, cost optimization programme.

Потенциал развития ядерной энергетики на мировом и отечественном рынке инновационных технологий обусловлен стратегическими направлениями повышения конкурентоспособности АЭС российского дизайна, заключающимися в снижении себестоимости электроэнергии, сокращении сроков протекания процессов, создании новых ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Проблемы энергообеспечения и энергетической безопасности вызывают обеспокоенность мирового ядерного сообщества по причине истощения традиционных органических энергоносителей, обострения противоречий между странами-импортерами и экспортерами энергоресурсов, политической и экологической нестабильности (вредные выбросы, парниковые газы, захоронение отходов), усиления санкционного режима против ряда государств. В связи с происходящим формированием новых рынков, заинтересованных в перспективных разработках ядерных технологий, таких как Бангладеш, Бразилия, Египет, Китай, Индия, Индонезия, Иран, ЮАР и других, имеет место конкурентная борьба отечественных и зарубежных технологий, формируя новые требования ГК Росатом. Снижение себестоимости электроэнергии АЭС позволяет расширить использование внешнеэкономического потенциала России в сфере конверсии, обогащения, фабрикации ядерного топлива, переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), реакторостроения, технического обслуживания и ремонта (ТОиР), подготовки кадров. Таким образом, целью настоящего исследования является разработка мероприятий по совершенствованию положений программ оптимизации расходов как базового инструмента повышения конкурентоспособности российских технологий на мировом рынке. Методами

исследования были выбраны аналитический, корреляционный, регрессионный анализ, группировки данных и квантитативный методы.

Российскими и зарубежными учеными в области ядерной физики систематично исследуются вопросы точности нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов [2, 6, 9], проводится оценка влияния стадии жизненного цикла технологии на экономические показатели ЯЭУ [8], представляются результаты экспериментальных данных с использованием программного обеспечения MESSAGE, CYCLE, SCALE, MCNP, REPRORYV [4, 7, 9, 13], моделирующие технико-экономические показатели развивающейся ядерной энергетики с тепловыми и быстрыми реакторами [8], оценивается конкурентоспособность различных технологических решений проектирования ЯЭУ [10]. Влияние расходов на ядерное топливо на экономику ЯЭУ рассмотрены в работах [8, 10]. Технология проведения ТОиР, использование современных средств технического оснащения, развитие подходов к диагностированию систем и оборудования АЭС оказывает существенное влияние на эксплуатационные расходы АЭС [17, 18]. Нарращение компетенций персонала относится к фактору роста человеческого капитала Госкорпорации [5, с. 150]. В последнее время производительность штатных и сторонних работников сравнивалась, что объясняется рядом причин: уровнем заработной платы, изменением штатного коэффициента (чел./МВт), требований к подбору, отбору и подготовке персонала и другими [1, 3, 14]. В России и мире расходы на энергетику определяют уровень развития государства и его промышленно-производственный потенциал. Таким образом, во главу угла исследований становится эффективность процессов регулирования энергетики, планирования производства на электроэнергетических предприятиях и надежности новой техники [2], что способствует формированию оптимального энергетического баланса. Все большее распространение получает подход определения нормированной (дисконтированной) стоимости электроэнергии, суть которого сводится к сравнению различных альтернативных вариантов строительства объектов генерации электроэнергии [8, 17]. Выбор страной

технологии реакторостроения основывается именно на расчетах нормированной стоимости электроэнергии. Последняя включает капитальные и эксплуатационные расходы, налоги и сборы, проценты по кредитам и т.п., в целом называемые операционные расходы, что позволяет определить стоимость электроэнергии на всем жизненном цикле АЭС, т.е. цену «владельца», или цену окупаемости проекта строительства станции. Однако проблемы выхода на мировой рынок ядерных технологий компаний-аутсайдеров, передел рынка фабрикации топлива (так, Westinghouse предпринимает активные попытки выхода и закрепления в сегменте топлива для реакторов ВВЭР), ставит перед ГК Росатом новые стратегические цели, пути достижения которых в отечественных и зарубежных исследованиях не предложены. Таким образом, в условиях новой экономической реальности необходимо определить вектор направления развития российских ядерных технологий на мировом рынке и разработать ряд практических рекомендаций по повышению их конкурентных преимуществ в части снижения расходов в соответствии с моделью «Build-Own-Operate» [5].

Рассматривая проблемы конкуренции на глобальном рынке ядерных энергетических технологий необходимо уделять особое внимание оптимизации расходов. Руководители электроэнергетических предприятий сталкиваются с задачей выбора статей затрат, подлежащих сокращению при безусловном соблюдении принципов надежности и безопасности функционирования энергетического объекта. Казалось бы очевидным, что в виду относительно невысокой производительности труда в российской энергетической отрасли и высоким штатным коэффициентом работников по сравнению с мировыми показателями, наиболее оптимальным решением является снижение расходов на заработную плату. Однако предложенная автором экономико-математическая модель планирования производства на предприятиях электроэнергетической отрасли опровергает гипотезу о влиянии заработной платы и страховых взносов на изменение выручки и прибыли предприятия.

Автор предлагает рассматривать планирование производства

традиционно, исходя из определения целевой функции и уравнений ограничений. Так, функция выручки зависит от факторов производства нелинейно

$$Y = Q \times P, \quad (1)$$

где  $Y$  - зависимая (объясняемая) переменная, представляющая собой необходимую валовую выручку предприятия,  $Q$  – выработка, количество произведенной электроэнергии за календарный год,  $P$  – отпускная цена электроэнергии за календарный год, функция которой имеет вид

$$P = \frac{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5}{Q}, \quad (2)$$

где  $x = x(x_1, x_2, \dots, x_m)$  - вектор независимых (объясняющих) переменных;  $\beta$  - вектор параметров (подлежащих определению);  $\alpha$  – ценовая надбавка (прибыль). В качестве независимых переменных в уравнении множественной регрессии, сумма которых представляет собой себестоимость электроэнергии, выступают:  $x_1$  – материальные затраты, в том числе расходы на топливо;  $x_2$  – расходы на оплату труда;  $x_3$  – страховые взносы;  $x_4$  – амортизация,  $x_5$  – прочие затраты, включающие расходы на командировки, услуги сторонних организаций, отраслевые резервы. Производственную функцию можно рассматривать в линейном виде

$$Y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5, \quad (3)$$

где включенные в модель параметры также представляют собой материальные расходы, расходы на заработную плату и страховые взносы, амортизационные отчисления, прочие расходы, представленные в бухгалтерской отчетности за рассматриваемый период в абсолютных единицах. Исходными данными для построения экономико-математической модели планирования производства АЭС явились годовые отчеты и бухгалтерская отчетность АО «Концерн Росэнергоатом». Период наблюдения составил 25 лет – с 1992 г. по 2016 г. поквартально и три квартала 2017 г. В табл. 1 приведены исходные данные за 2009-2016 гг., используемые при построении модели.

Таблица 1

**Расходы и выручка (млн.рублей), выработка электроэнергии АО «Концерн Росэнергоатом» за период 2009-2016 гг.**

Год	Материальные затраты	Оплата труда и страховые взносы	Амортизация	Прочие расходы	Выручка	Выработка, млрд. кВтч
2009	40 861	18 847	10 912	25 812	184 233	163,3
2010	46 832	22 786	13 606	98 213	210 223	170,1
2011	55 788	26 733	20 148	89 905	201 405	172,7
2012	42 097	29 072	24 936	87 369	200 527	177,3
2013	44 146	29 662	30 661	110 041	232 857	172,2
2014	50 130	32 668	33 123	113 102	253 215	180,5
2015	56 130	33 755	38 353	113 279	263 757	195,2
2016	59 904	33 968	43 512	115 219	282 036	196,4

Источник: составлено автором по [5]

Получена регрессия вида

$$Y = 48\,652\,138 + 1,86x_1 + 1,79x_2 + 0,39x_3, \quad (4)$$

где  $x_1$  – материальные затраты, в том числе расходы на природный уран;  $x_2$  – амортизация;  $x_3$  – прочие затраты, в том числе услуги стороннего характера (ТОиР), командировки, отраслевые резервы и т.п. Проверка значимости модели и ее параметров показала их статистическую значимость. В соответствии с предложенной экономико-математической моделью планирования производства на АЭС определено, что

1) рост материальных расходов на 1% приведет к росту выручки на 0,39%, ЕВІТ – на 0,59%;

2) увеличение расходов на амортизацию на 1% приведет к росту выручки на 0,14%, ЕВІТ – на 0,21%;

3) рост прочих расходов на 1% приведет к увеличению выручки на 0,11%, но снижению ЕВІТ – на 0,56%.

Проведено сравнение линейной и нелинейной моделей планирования производства (АЭС), результаты которого свидетельствуют о том, что значения результирующего показателя более точно описывает линейная модель, что объясняется искусственным формированием тарифа (цены) на электроэнергию, обусловленным государственным регулированием, несмотря на декларируемые принципы свободного нерегулируемого рынка энергии и мощности. При

классическом рыночном формировании цены на электроэнергию, возможно, нелинейная модель более точно описывала бы значения результирующего показателя.

Следует отметить, что расходы на заработную плату и страховые взносы были исключены из модели после проверки полученных параметров (доверительные интервалы обоих факторов содержали нуль, что свидетельствует об отсутствии зависимости между переменными), что позволяет сделать вывод, что снижение расходов на заработную плату не приведет к ожидаемому экономическому эффекту в виде роста выручки и прибыли предприятия. Наибольший экономический эффект дает управление материальными расходами, в том числе расходами на ядерное топливо, а также прочими расходами, что подтверждает необходимость реализации программ оптимизации расходов ГК Росатом (ПСР и ПОРА), рассмотренных ниже.

В работе освещается проблема конкурентоспособности российских энергетических технологий на зарубежных рынках в условиях новой экономики: требований низкой нормированной стоимости электроэнергии при одновременном повышении показателей надежности, готовности, безопасности, удлинении времени жизненного цикла, сокращении сроков планово-предупредительных ремонтов (ППР), увеличении топливной кампании. Соблюдение баланса между перечисленными факторами производства электроэнергии на АЭС является крайне сложной задачей. Так, например, повышение уровня безопасности увеличивает капитальные расходы, удлинение сроков топливной кампании вызывает необходимость более высокого обогащения по  $^{235}\text{U}$ , что увеличивает материальные расходы, сокращение сроков ППР требует пересмотра системы регламентного ремонта и перехода на ремонт «по состоянию», что влечет за собой рост транзакционных издержек и т.д. ГК Росатом начиная с 1998 г. реализует ряд программ повышения конкурентоспособности российских АЭС и оптимизации расходов на производство:

- программу «повышения КИУМ» (коэффициента использования

установленной мощности), в том числе путем оптимизации технико-экономических характеристики ТООР (1998 г.);

– производственную систему «Росатом» (ПСР, 2010 г.), суть которой сводится к реализации пяти принципов бережливого производства: выполнение требований заказчиков на всех стадиях жизненного цикла продукта, решение проблем на месте их возникновения, соблюдение требований качества (TQM), выявление и устранение потерь (ненужные запасы, простои, лишние перемещения и т.п.), корпоративная и гражданская ответственность [11];

– программу энергосбережения и повышения эффективности (2015 г.), заключающуюся в экономии средств путем сокращения потребления энергоресурсов, в то числе коэффициента потребления электроэнергии на собственные нужды;

– программу оптимизации расходов (ПОРА, 2016 г.), заключающуюся в сокращении минимум на 10% расходов по ряду статей: командировки, услуги связи, транспорт, связь, консалтинг и другие [12, с. 101].

В целом ретроспективный анализ хода выполнения вышеперечисленных программ свидетельствует об успешной их реализации. Так, КИУМ за 25 лет работы АО «Концерн Росэнергоатом» увеличился с 52,6% до 85,95% [5, с. 14]

В 2016 г. путем применения инструментов ПСР сокращена длительность ППР на 107 суток, обеспечив дополнительную выработку 1030 млн. кВт×ч, повышена производительность труда в отрасли на 9%, снижены удельные постоянные затраты на 8%, сокращена оборачиваемость запасов на 27% (в днях) [12].

Реализация мероприятий, направленных на снижение потерь энергоресурсов и повышение энергоэффективности производства путем модернизации тепломеханического оборудования и систем освещения, внедрения системы учета энергоресурсов, сокращения потерь тепла в системах теплоснабжения, замены изношенной теплоизоляции, позволила сократить потребление электроэнергии на собственные нужды с 6,54% в 2015 г. до 6,48% в 2016 г.

Программа оптимизации непроизводственных расходов ПОРА в 2016 г. ознаменована сокращением затрат на 5,9 млрд.рублей. В рамках ее реализации были разработаны и внедрены мероприятия по пересмотру и установлению нормативов (например, по арендной плате, тарифов на связь, количеству автомобилей и пр.), выпуску отраслевых правил (например, travel-политика, методические указания по обеспечению автотранспортных перевозок и пр.), по консолидированию потребностей в товарах и услугах, проведению централизованных закупок. Реализовано направление оптимизации численности персонала путем автоматизации рабочих процессов, внедрения новых производственных и управленческих технологий, выведения ряда функций на аутсорсинг.

Результаты экономико-математического моделирования планирования производства на АЭС, представленные выше, подтверждают и доказывают необходимость управления именно материальными расходами (программы КИУМ, ПСР, энергосбережения и энергоэффективности) и прочими расходами (программы ПСР, ПОРА). Таким образом, эффективность направлений реализации программ ПСР и ПОРА математически подтверждены.

Тем не менее, несмотря на декларируемые успехи реализации программ, по мнению авторов, необходимо разработать комплекс мероприятий по совершенствованию положений программ ПСР и ПОРА. Так, оптимизация складских запасов, в том числе хранение свежих тепловыделяющих сборок (ТВС) для перегрузки реактора, в программе ПСР предложено осуществлять в соответствии с принципами поставки точно-в-срок (JIT). Однако перегрузка топлива на реакторах типа ВВЭР привязана к ППР, следовательно, любые непредвиденные задержки увеличивают длительность ППР, время простоя оборудования, недовыработку электроэнергии и, как следствие, штрафные санкции от недопоставки электроэнергии и мощности на рынок. Таким образом, риски поставки ТВС по методу JIT экономически существенно выше, чем стоимость их хранения на складе. Удлинение топливной кампании объявляется одним из наиболее эффективных путей оптимизации топливных

расходов. Переход на 18-, 24-, 36- месячный топливный цикл действительно сокращает время простоя оборудования и количество требуемых на перегрузку ТВС, но при этом возрастает обогащение топлива по  $^{235}\text{U}$ . Аналогично можно рассматривать систему централизации закупок. С одной стороны, очевидны преимущества – сокращение времени и стоимости организации и проведения закупки. С другой стороны, в виду централизации происходит объединение в одну закупку однотипных наименований продукции (работ, услуг), требующихся различным предприятиям структуры ГК Росатом. Таким образом, возникают следующие риски: 1) победитель конкурса может не иметь на складе продукции в требуемом количестве, что вызывает удлинение времени процесса; 2) исполнитель может оказаться недобросовестным поставщиком, тогда пострадает не одно предприятие, а несколько, объединенных в одну закупку, что существенно увеличивает финансовые потери; 3) территориальная расположенность предприятий-заказчиков может привести к увеличению стоимости закупки (если стоимость доставки не входит в цену закупки) и т.п. Рассматривая аутсорсинг услуг по обеспечению ТОиР, можно выделить следующие пути совершенствования: снижение текучки кадров, повышение квалификации персонала, введение персональной ответственности за брак на АО «Атомэнергоремонт» – предприятии, оказывающем полное обслуживание всего энергоблока и выполняющем 70% ремонтных работ на АО «Концерн Росэнергоатом», что обуславливает новые вызовы на рынке сервисных услуг ядерного энергетического оборудования. Рекомендуется пересмотр методологии ТОиР, переход от регламентного обслуживания к обслуживанию корректирующему, по состоянию, отложенному, что позволяет повысить объемы выполнения ТОиР собственными силами. Последнее обусловлено необходимостью повышения качества ТОиР. Следует отметить, что производительность собственного и стороннего персонала сравнялась.

Озвучиваемым эффектом реализации программ является социально-экономическое развитие городов присутствия и ЗАТО (более семидесяти муниципальных образований). Следовательно, успешное функционирование

ГК Росатом определяет уровень благополучия в регионах (налоговые поступления, благотворительность, рост числа занятых в атомной и смежных отраслях и т.п.). В виду того, что ядерная энергетика является одной из наиболее развитых, инновационных, наукоемких отраслей народного хозяйства страны, устойчивое достижение ею конкурентных преимуществ не только в технике и технологии, но в экономике, является приоритетной задачей.

Реакторы ВВЭР и их зарубежные аналоги PWR занимают 65% мирового рынка технологий и продолжают активную экспансию на рынки Латинской Америки и Восточно-Азиатского региона [21]. Снижение операционных расходов, в том числе на топливо, повышает их конкурентные преимущества, что усиливается фактором референтности технологии. В табл. 2 представлены результаты оценки стоимости основных переделов начальной и заключительной стадий ЯТЦ, полученные авторами расчетным путем по данным финансовой и годовой отчетности АО «Атомредметзолото», АО «ТВЭЛ», ФГУП «ПО МАЯК», ГК Росатом, АО «Концерн Росэнергоатом», AREVA, Cameco, URENCO, официального сайта The UxConsulting Company.

Таблица 2

**Стоимость основных переделов ЯТЦ, долл. США/кг, долл. США/ЕРР**

Наименование		Цена в России	Цена мирового рынка
Уран		40	44,6
Конверсия		7-17	4,6
Обогащение		24	42
Изготовление топлива	Тепловые реакторы	168-200	90
	Быстрые реакторы	1800-2000	(...)
Прямое захоронение ОЯТ			
Транспортировка и промежуточное хранение		100	230
Инкапсулирование и прямое захоронение		400	610
Переработка ОЯТ			
Транспортировка и промежуточное хранение		25-40	60
Переработка ОЯТ		335-500	820
Остекловывание и захоронение РАО		40-60	100

Источник: составлено автором по данным [5, 12, 15, 16, 19, 20]

При этом следует отметить, что стоимость природного урана в топливной составляющей себестоимости электроэнергии составляет порядка 8-9 %, остальными составляющими являются конверсия – 5-6 %, обогащение – 75-78%, фабрикация топлива – 9-10%. Данные таблицы 2 неоспоримо

свидетельствуют о высоких конкурентных преимуществах российских технологий ЯТЦ, которые в случае снижения стоимости переделов на мировом рынке (на текущий момент имеет место быть) нивелируются.

Показано, экономика ЯТЦ предполагает значительный запас экономии на переделах топливного цикла: снижение технологических потерь, рециклирование топлива, развитие технологий добычи (подземного выщелачивания), конверсии, обогащения (лазерные и плазменные методы), использование современных с улучшенными техническими характеристиками конструкционных материалов, экономическая целесообразность переработки ОЯТ, в том числе зарубежных станций, пересмотр методологии ТОиР. Так, технологические потери на каждом переделе от итоговой себестоимости ТВС составляют: конверсия – 0,1-0,3%; обратная конверсия – 0,3-0,5%; обогащение – 0,6-1,2%; доля безвозвратных потерь регенерированного урана в ЯТЦ – примерно 0,02-0,05. Таким образом, в условиях новой экономики развитие российских ядерных энергетических технологий способствует расширению глобального присутствия России на мировом рынке наукоемких инновационных технологий. Повышение конкурентоспособности ответственных разработок ЯЭУ целесообразно осуществлять, оптимизируя расходы на ядерное топливо, прочие расходы.

В заключение, конкуренция на глобальном рынке ядерных энергетических технологий формирует новые вызовы развитию российских технологий. Современные тенденции на рынках начальной и заключительной стадий ЯТЦ свидетельствуют о переделе сфер влияния компаниями URENCO, AREVA, Westinghouse, CNNC, что создает потенциальные угрозы развитию ГК Росатом. Предложена экономико-математическая модель планирования производства на АЭС, результаты которой позволяют сделать вывод о необходимости управления материальными и прочими расходами, в том числе на ядерное топливо, отраслевые резервы, ТОиР, как факторами дающими наибольший экономический эффект в виде роста выручки и прибыли предприятия. Выявлены направления совершенствования реализуемых в

ГК Росатом программ оптимизации расходов (ПСР, ПОРА, повышение КИУМ, энергосбережение и энергоэффективность). Представлена оценка стоимости переделов ЯТЦ по российским и зарубежным ценам, которая позволяет аргументированно говорить о наличии конкурентных преимуществ российских предприятий ЯТЦ. Однако текущая негативная динамика на мировом рынке в скором времени может привести к потере лидерских позиций отечественных ядерных энергетических технологий. Таким образом, сформулированные направления совершенствования программ оптимизации расходов позволяют достичь существенных конкурентных преимуществ, а полученные результаты имеют практическую значимость при разработке программ оптимизации расходов ГК Росатом.

#### **Библиографический список**

1. Айрапетова Н.Г., Саакян С.П., Ткаченко В.В., Кутьков В.А. Подготовка специалистов и повышение квалификации работников атомной отрасли в ИАТЭ НИЯУ МИФИ // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: пленарные и секционные доклады X Международной научно-технической конференции (МНТК-2016), Москва, 25-27 мая 2016 г. – М.: АО «Концерн Росэнергоатом». 2016. С. 757-759
2. Антонов А.В., Чепурко В.А., Чехович В.Е., Украинцев В.Ф. К вопросу планирования объема испытаний образцов новой техники // Надежность. 2016. № 3 (58). С. 3-7.
3. Барбашина Н.С., Гераскин Н.И., Тихомиров Г.В. Ядерное образование в МИФИ // Высшее образование в России. 2017. № 6. С. 101-107.
4. Бок М.Н., Коробейников В.В., Югай С.В., Андрианов А.А., Коровин Ю., Федорова Е.В., Фесенко Г.А. Применение программного комплекса MESSAGE для задач оптимизации двухкомпонентной структуры крупномасштабной ядерной энергетики // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2007. № 3 (2). С. 20-25
5. Годовые отчеты. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа :

[http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/info\\_disclosure/god-otchet/](http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/info_disclosure/god-otchet/), свободный .  
– Загл. с экрана (дата обращения 27.09.2017 г.)

6. Головки Ю.Е., Кошечев В.Н., Жердев Г.М. Применение метода наименьших квадратов для анализа непротиворечивости интегральных бенчмарк-экспериментов из справочника ICSBER Handbook и оценка константной погрешности расчетов критичности // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. 2015. Т. 3. С. 321.

7. Егоров А.Ф., Калашников А.Г., Коробейников В.В., Мосеев А.Л., Мосеев П.А. Сравнительный анализ результатов расчетов расчетного моделирования ЯЭ России и мира с помощью программных комплексов CYCLE и MESSAGE // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2014. № 4. С. 68-81.

8. Егоров А.Ф., Коробейников В.В. Применение многокритериального анализа для сравнения инновационных ядерно-энергетических систем // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2017. № 2. С.5–14

9. Жердев Г.М., Цибуля А.М. Аннотация комплекса WIMS-ABBN // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2000. № 2. С.79–84

10. Клименко А.В. Может ли ядерная энергетика стать конкурентоспособной на свободном рынке энергии // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2013. № 4. С.17-28

11. Производственная система «Росатом». [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.rosatom.ru/about/system/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 27.09.2017г.)

12. Публичная отчетность. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.rosatom.ru/about/publichnaya-otchetnost/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 17.07.2017 г.)

13. Сальдииков И.С., Тихомиров Г.В., Терновых М.Ю., Хомяков Ю.С., Суслов И.Р., Фомиченко П.А. Расчет нейтронно-физических характеристик

быстрого реактора в замкнутом топливном цикле с помощью кода REPRORYV // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2017. № 1. С. 5-18.

14. Селезнёв Ю., Аспидов В., Таиров Т., Кумков Л. Специалист тот, кто всегда учится // ТехНадзор. 2015. № 4 (101). С. 82-83.

15. Annual report and accounts. 2016. URL : <http://urencoco.com/investors/group-reports/annual-report-and-accounts-2016>

16. Annual Report. 2016. URL : <https://www.cameco.com/invest/financial-information/annual-reports/2016>

17. Carlo Mari. The costs of generating electricity and the competitiveness of nuclear power // Progress in Nuclear Energy 73 (2014) p. 153–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.005>

18. Khataba A., et al. Selective maintenance optimization for systems operating missions and scheduled breaks with stochastic durations // Journal of Manufacturing Systems. 2017. № 43. P. 168–177 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.03.005> [in English]

19. Regulated Information. 2016. URL : <http://www.aveva.com/EN/finance-1176/regulated-financial-information-from-the-world-leader-in-the-nuclear-industry.html>

20. Ux Consulting Company, LLC. Data Services. URL : <https://www.uxc.com/p/prices/UxCPrices.aspx> (дата обращения 06.10.2017)

21. World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. URL : <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/>

## Reference

1. Ajrapetova N.G., Saakjan S.P., Tkachenko V.V., Kut'kov V.A. Training and nuclear industry employees advanced training at IATE МЕРФИ // Bezopasnost', jeffektivnost' i jekonomika atomnoj jenergetiki: plenarnye i sekcionnye doklady X Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (MNTK-2016), Moskva, 25-27

may 2016 – M.: AO «Koncern Rosjenergoatom». 2016. PP. 757-759 [in Russian]

2. Antonov A.V., Chepurko V.A., Chekhovich V.E., Ukraintsev V.F. About planning extent of new equipment testing // *Nadezhnost'*. 2016. № 3 (58). PP. 3-7. [in Russian]

3. Barbashina N.S., Geraskin N.I., Tikhomirov G.V. Nuclear education in MEPHI // *Vysshee obrazovanie v Rossii*. 2017. № 6. S. 101-107. [in Russian]

4. Bok M.N., Korobeynikov V.V., Jugaj S.V., Andrianov A.A., Korovin Ju., Fedorova E.V., Fesenko G.A. MESSAGE software application for optimization problems large-scale nuclear power two-component structure // *Izvestija vuzov. Jadernaja jenergetika*. 2007. № 3 (2). PP. 20-25 [in Russian]

5. Rosenergoatom. Annual report. 2016. URL : [http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/info\\_disclosure/god-otchet/](http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/info_disclosure/god-otchet/) [in Russian]

6. Golovko Ju.E., Koshheev V.N., Zherdev G.M. Primenenie metoda naimen'shikh kvadratov dlja analiza neprotivorechivosti integral'nyh benchmark-jeksperimentov iz spravochnika ICSBEP Handbook i ocenka konstantnoj pogreshnosti raschetov kritichnosti // *Nauchnaja sessija NIJaU MIFI-2015. Annotacii dokladov*. 2015. T. 3. S. 321.

7. Egorov A.F., Kalashnikov A.G., Korobejnikov V.V., Moseev A.L., Moseev P.A. Comparative analysis of calculation results on modeling nuclear power in Russia and the world by means of software packages “CYCLE” and “MESSAGE” // *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Serija: Jaderno-reaktornye konstanty*. 2014. № 4. PP. 68-81. [in Russian]

8. Egorov A.F., Korobeynikov V.V. Multiple-criteria decision analysis application for comparison of innovative nuclear energy systems // *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Serija: Jaderno-reaktornye konstanty*. 2017. № 2. PP. 5-14.

9. Zherdev G.M., Tsibulja A.M. Notes on the WIMS/ABBN code // *Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Serija: Jaderno-reaktornye konstanty*. 2000. № 2. PP.79–84 [in Russian]

10. Klimenko A.V. Mozhet li jadernaja jenergetika stat' konkurentosposobnoj na svobodnom rynke jenergii // *Izvestija vuzov. Jadernaja*

jenergetika. 2013. № 4. S.17-28 [in Russian]

11. Proizvodstvennaja sistema «Rosatom». URL : <http://www.rosatom.ru/about/system/> [in Russian]

12. Rosatom. Annual Report. 2016. URL : <http://www.rosatom.ru/about/publicnaya-otchetnost/> [in Russian]

13. Saldikov I.S., Tikhomirov G.V., Ternovykh M.Yu., Khomyakov Y.S., Suslov I.R., Fomichenko P.A. The neutron-physical characteristics of fast reactors with a closed fuel cycle by using code REPRORYV// Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Serija: Jaderno-reaktornye konstanty. 2017. № 1. PP. 5-18. [in Russian]

14. Seleznjov Ju., Aspidov V., Tairov T., Kumkov L. Specialist tot, kto vseгда uchitsja // TehNadzor. 2015. № 4 (101). PP. 82-83. [in Russian]

15. Annual report and accounts. 2016. URL : <http://urencocom.com/investors/group-reports/annual-report-and-accounts-2016>

16. Annual Report. 2016. URL : <https://www.cameco.com/invest/financial-information/annual-reports/2016>

17. Carlo Mari. The costs of generating electricity and the competitiveness of nuclear power // Progress in Nuclear Energy 73 (2014) p. 153–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.02.005>

18. Khataba A., et al. Selective maintenance optimization for systems operating missions and scheduled breaks with stochastic durations // Journal of Manufacturing Systems. 2017. № 43. P. 168–177

19. Regulated Information. 2016. URL : <http://www.aveva.com/EN/finance-1176/regulated-financial-information-from-the-world-leader-in-the-nuclear-industry.html>

20. Ux Consulting Company, LLC. Data Services. URL : <https://www.uxc.com/p/prices/UxCPrices.aspx>

21. World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. URL : <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/>