

УДК 621.039

## ЯДЕРНЫЙ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС – ИНОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

**А.Г.Ишеков\*, Д.А.Клинов\*, С.А.Субботин\*\***

*\*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,  
г. Обнинск*

*\*\*Российский научный центр Курчатовский институт, г. Москва*



Предметом исследований данной работы являются ядерные энерготехнологические комплексы, представляющие собой симбиоз атомных станций малой мощности с различными типами сопряженных производств. Экономико-географические особенности России существенно расширяют условия применимости атомных станций малой мощности в составе ядерных энерготехнологических комплексов по сравнению с другими регионами мира. Посредством специально разработанной компьютерной модели для технико-экономических оценок проектов ядерных энерготехнологических комплексов показано, что их создание позволит существенно увеличить экономическую эффективность и конкурентоспособность атомных станций малой мощности.

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодняшнее состояние мировой экономики и ее перспективы в самых жизненно важных вопросах развития человечества заставляет большинство стран строить свою политику с учетом настоящих и будущих глобальных проблем в мировом энергетическом секторе. Практически вся хозяйственная деятельность человека основана на использовании возобновляемых и невозобновляемых энергетических ресурсов, вид и тип которых для различных государств определяется самыми разнообразными факторами, главным из которых, по-видимому, является геолого-географический. Среди возможных причин дефицита энергетических ресурсов можно выделить следующие:

- природные (отсутствие экономически эффективных ресурсов);
- внешнеполитические (эмбарго на поставку ресурсов);
- технические (нет технологий, обеспечивающих доступ к эффективным ресурсам);
- институционально-правовые (не разработана правовая база, охраняющая ресурсы от хищнического использования);
- экономические (неразвитость финансовых механизмов, затрудняющая инвестирование в поиск и освоение ресурсов).

В России для обеспечения энергетической стабильности и безопасности требуется в первую очередь решать текущие проблемы, связанные с быстрым старением основного энергетического оборудования, отсутствием необходимых инвестиций для обновления и строительства новых энергетических объектов и их ремонта, отстава-

нием воспроизводства ресурсной базы от темпов их расходования.

Учитывая огромную территорию РФ, недостаточную освоенность районов Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока, новые энергетические объекты следует распределять по территории, создавая относительно самостоятельные региональные системы, агрегирующиеся в свою очередь в единую централизованную энергетическую систему через снабжение топливом и через единый экономический механизм хозяйствования. Такой сетевой подход, использующий преимущества автономной адаптации к местным условиям и преимущества централизованной организации крупных систем, существенно повысит уровень энергетической надежности и безопасности страны.

Высокоэффективным он будет применительно к малым автономным энергообъектам (энергоисточники электрической мощностью от 0.5 до 100 МВт, которые, как правило, предназначены для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии). В удаленных и труднодоступных районах наиболее эффективными и надежными источниками энергии являются атомные станции малой мощности (АСММ). Несмотря на то, что их характеристики топливоиспользования несколько хуже, чем для тепловых реакторов большой и средней мощности, они практически не ограничивают развитие всей системы атомной энергетики, поскольку в общем топливном балансе их потребление урана незначительно.

### **ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ (ЯЭТК)**

Целесообразно использовать АСММ в системе с различными технологическими высокопродуктивными производствами [1], что связано с комплексностью использования тепловой и электрической энергии. Такие проекты называются ядерными энерготехнологическими комплексами (ЯЭТК). В этом случае снимается вопрос о низкой экономической эффективности АСММ, т.к. ЯЭТК вырабатывает энергию необходимых видов и в дополнении к этому производит продукцию, обладающую высокой потребительской ценностью в иных регионах, или являющуюся крайне необходимой для данного региона.

Прямые затраты на реализацию дополнительного когенерационного производства невелики, по сравнению со стоимостью всего ЯЭТК, а непосредственные доходы от выработки энергии будут дополняться выручкой от реализации произведенной с помощью нее продукции.

Если принять во внимание то, что ядерный энергоисточник благодаря длительной автономности может обеспечить в труднодоступном районе экологически безопасное, практически неограниченное по времени, надежное обеспечение энергией производство уникальной продукции, то проблема экономической эффективности АСММ определяется эффективностью всего ЯЭТК и слабо зависит от экономических показателей АСММ.

Конечно, выбор того или иного производства, сочетающегося с АСММ, зависит в основном от места базирования ЯЭТК и определяется природными условиями и ресурсами данной местности.

Если говорить о РФ, то ее территория по своей площади и разнообразию позволяет рассмотреть всевозможные варианты комбинаций технологий когенерации энергии и продукции, включая, как это может показаться на первый взгляд, экзотические. Особенно это актуально для Российского Севера (2/3 территории, 8% населения, 25% наполнения бюджета), где сосредоточены уникальные стратегические запасы минеральных ресурсов (в том числе около 70% нефти и 90% газа) [2]. При небольшой доле зоны Севера в валовой продукции страны ее удельный вес по отраслям добывающей промышленности более 15%, а по отдельным видам – 50% и более.

На данный момент наибольший интерес для многих государств, испытывающих дефицит в пресной воде (регионы Северной Африки и Азии), вызывают проекты *ядерных энергоопреснительных комплексов*. Реакторы малой мощности наилучшим образом подходят для целей обессоливания, особенно при когенерации тепла и электричества, используя низкопотенциальный пар из турбин и теплую морскую воду из систем охлаждения конденсаторов. Наиболее предпочтительные производительные мощности составляют 80–100 м<sup>3</sup>/день и 200–500 м<sup>3</sup>/день. Основными компонентами такого ЯЭТК являются ПЭБ (плавучий энергоблок), по составу аналогичный АТЭС, и плавучий опреснительный блок (ПОБ), в состав которого и входит опреснительная установка [3]. Тепловая энергия и часть электрической энергии, вырабатываемой на ПЭБ, используется для осуществления процесса опреснения, остальная электроэнергия отпускается потребителям. В проектах используются наиболее развитые и экономичные технологии опреснения с использованием обратноосмотических и дистилляционных опреснительных установок. При этом может производиться широкий набор химической продукции, минеральных удобрений и «кондиционеров почв» для тепличных хозяйств, а также восстановления опустыненных земель.

В России в городе Северодвинске Архангельской области идут работы по строительству АТЭС на базе ПЭБ с реакторными установками КЛТ-40С. Успешность этого проекта позволит во многом оценить его коммерческую привлекательность и возможность экспортных поставок в заинтересованные данным проектом страны.

Еще одной из когенеративных технологий может стать **наработка водорода** с помощью ядерной энергии. Водород как продукт, использующийся в химической, металлургической и другой промышленности, существует на рынке давно (в крупных промышленных масштабах водород стали производить почти 80 лет назад) [4]. Технологии, связанные с его использованием, развиваются и появляются качественно новые. Водород предполагается получать из воды термохимическим и электролитическим методами с использованием технологического тепла и электроэнергии от АСММ. Применение водорода в качестве горючего для автотранспорта принято считать одним из важных перспективных направлений, поскольку расход энергоресурсов на транспортные цели весьма велик (от 20 до 30%), особенно в развитых странах [5]. При этом остро стоит проблема загрязнения окружающей среды автотранспортом, работающем на жидком углеводородном горючем. Наиболее перспективной технологией энергетического использования водорода, как в автомобильном транспорте, так и в электроэнергетике являются топливные элементы, коэффициент полезного действия которых, как предполагается, может превышать 50%. Ядерная энергетика позволит решить проблему экологически чистого получения водорода в необходимых количествах (сотни млн. т.н.э).

На сегодняшний день уголь – самый распространенный и дешевый энергетический ресурс. Но, если учесть качество угля, стоимость его транспортировки, стоимость предварительной обработки и особенно отрицательное влияние на окружающую среду, то дальнейшее использование синтетического горючего на основе угля на ближайшее будущее не выдерживает конкуренции с жидким и газообразным органическим топливом и с атомной энергетикой. Поэтому необходимо внедрять технологии по *газификации угля* и производству жидкого и газообразного синтетического топлива.

Известен следующий процесс газификации угля и получения из него жидкого топлива для получения заменителя природного газа (ЗПГ) [6]: вначале уголь газифицируется паром, в результате эндотермической реакции образуются CO и H<sub>2</sub>; часть CO вступает в реакцию с паром и образуются H<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>; затем удаляются кислотообразующие газы, и в результате каталитической реакции образуется метан (ЗПГ).

Максимальная эффективность использования угля достигается при поступлении водорода от внешних источников и одновременном использовании высокотемпературных процессов с подводом тепла за счет подогрева реагирующих продуктов. Процесс газификации угля паром завершается почти полностью (образуется  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  при минимальном количестве  $\text{CO}_2$ ), если температура выше  $1000^\circ\text{C}$ . Потребление угля при этом сокращается на 70%, и почти полностью отсутствует выброс  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Кроме того, экономится электроэнергия, расходуемая на получение кислорода сжижением воздуха, приводящего к дополнительной потере КПД.

Роль АСММ состоит в том, чтобы обеспечить все процессы по газификации электроэнергией, а также взять на себя некоторую долю теплотрат при получении технологического пара, т.к. по традиционным технологиям 60–65 % исходного топлива расходуется на энергетическое обеспечение реакций газификации. Таким образом, АСММ способна вырабатывать пар «средних» параметров, а перегрев его уже до нужного состояния можно осуществить с помощью органического топлива («огневой перегрев»). В этом случае затраты органического топлива окажутся в несколько раз ниже, чем при обычном процессе, т.к. значительное количество тепла расходуется на подогрев и испарение воды.

Помимо газификации угля особенно перспективным является создание мини-заводов по *производству сжиженного природного газа (СПГ)*. Такие заводы уже давно функционируют за рубежом (300 таких установок работают в США и Канаде). В России данных технологий пока нет, но работы в этом направлении ведутся и они представляются достаточно перспективными. Первостепенной причиной производства СПГ является более экономичная транспортировка природного газа, но помимо этого СПГ обладает рядом экологических и экономических преимуществ. Сжижение почти в 600 раз уменьшает объем газа, занимаемый им в обычных условиях, что приводит к уменьшению веса конструкций для хранения природного газа на автомобиле в 3–4 раза [7]. С экологической точки зрения СПГ по сравнению с традиционным нефтяным топливом понижает содержание вредных компонентов сгорания: окиси углерода, окислов азота и углеводородов соответственно до 80, 70, 45%. По оценкам специалистов, использование самого газа как энергоносителя для целей сжижения поглотит от 20 до 30% исходного топлива – экспортируемого продукта. В связи с этим экономически перспективно рассмотреть производство СПГ в тандеме с ядерным энергоисточником малой мощности, что позволит высвободить сжигаемое сырье для продажи, создав заводы по производству СПГ на новых высокопродуктивных и труднодоступных месторождениях.

В наиболее удаленных от «жизни», но стратегически важных районах необходима не только энергия, но и пищевая продукция, поэтому разрабатываются проекты ЯЭТК, включающие в себя сельскохозяйственные (с/х) комплексы, вобравшие в себя последние научные достижения в данной области (гидропонные установки, фитодромы) [8]. Такие комплексы практически автономны и безотходны, не потребляют дефицитных природных ресурсов, а также не требуют использования традиционной сельхозтехники и расходования жидкого топлива. Помимо сельскохозяйственных комплексов в таких изолированных, но богатых ценными природными ресурсами районах, стабильное энергоснабжение от ядерного энергоисточника способствовало бы извлечению золота, платины и других редких металлов с одновременной организацией обогащения руд.

В прибрежных районах, акваториях Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского морей перспективным видится создание морских ферм по интенсивному разведению гидробионтов. На морских фермах Северного Приморья можно ежегодно получать до 700 тыс. т биопродуктов. В частности, по мнению специалистов, под морские фермы

может быть использовано все побережье Лазовского, Ольгинского, Кавалеровского, Дальнегорского и Тернейского районов [9]. В пользу этого говорят и местные климатические условия, и береговой рельеф, а главное – многообразие видового состава здешних гидробионтов. Такое предприятие, учитывая конъюнктуру рынка, может стать высокорентабельным (мидии – 4 \$/кг; устрицы – 3 \$/кг). По оценкам [8] при затратах энергии около 12 тыс. кВт ч можно получить выход ~20 т биопродуктов в год.

Поэтому существует перспектива создания симбиоза плавучей АСММ, морефермы и перерабатывающего предприятия (рыбозавод с холодильниками, консервированием и стерилизацией продукции), не только для извлечения финансовой выгоды, но и с целью воссоздания естественных экосистем, оживления и совершенствования российского рынка морепродуктов в перспективе с выходом на мировой рынок.

### **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯЭТК**

Специально для обоснования экономической эффективности, инвестиционной привлекательности и оценки конкурентоспособности проектов ЯЭТК, был разработан комплексный программный продукт NTC (Nuclear Technological Complex). Программа написана на языке C++, обладает вполне удобным и простым интерфейсом и работает как обычное Windows-приложение.

#### **Описание NTC**

Данный программный продукт моделирует создание и работу ядерного объекта на протяжении всех стадий жизни, начиная от научно-технических разработок и маркетинговых исследований и кончая выводом из эксплуатации.

Возможности программы позволяют в полной мере учитывать все операции с топливом за время эксплуатации установки. Пользователь может задать схему перегрузок, вариант закупки топлива, выбрать между частичными или полными перегрузками. С помощью моделирования каких-либо сопряженных производств можно оценить степень повышения экономической эффективности АСММ. При этом количество наименований вырабатываемой заданным когенерационным производством продукции не должно превышать десяти видов. Среднегодовой объем выпускаемой ЯЭТК продукции может изменяться во времени при включении пользователем соответствующей опции. Возможен широкий выбор условий изменения стоимости энергии и продукции.

Программный продукт NTC позволяет в полной мере задать финансово-экономическое окружение для реализации проекта ЯЭТК. Во-первых, можно выбрать одну из трех схем финансирования проекта:

- кредитная (задаются суммы и сроки по кредитам, ставка процента, вариант погашения кредитов);
- акционерная (задается величина частного инвестируемого капитала);
- кредитно-акционерная (учитываются кредиты и собственный капитал).

При кредитном займе предполагается, что кредит берется в самом начале организации проекта и за время строительства комплекса на сумму кредита начисляются проценты по заданной ставке. Возможен выбор одного из трех вариантов погашения кредита. Во-вторых, для оборудования АСММ и сопряженного с ней производства можно применить стандартную лизинговую операцию. В-третьих, у пользователя есть возможность ввести три вида фондов накопления денежных средств. Кроме того, финансово-экономическая часть программы позволяет учитывать все необходимые налоговые отчисления и проводить дисконтирование денежных потоков.

Для оценки региона внедрения ядерного комплекса предусмотрен специальный

блок, в котором вводятся данные по энергопотреблению. Для более детального сопоставления спроса и предложения в исследуемом регионе, можно задать темпы ежегодного прироста потребления тепла и электроэнергии.

Конечный этап топливного цикла анализируется в одном из двух направлений, либо оценивается вариант прямого захоронения отработавшего топлива, либо вариант его переработки. Оценка происходит с учетом стоимости, времени исполнения каждой стадии конечного этапа топливного цикла, также принимается во внимание рост цен на топливо. При варианте с переработкой топлива можно произвести учет экономии, полученной от рециклирования регенерированного урана и плутония.

Результаты работы программы по оценке проектов АСММ и ЯЭТК представлены, главным образом, в графическом и табличном видах. Наиболее значимые выходные данные отображаются в специальном текстовом файле для возможности их последующего детального анализа.

Расчет среднегодовой себестоимости энергии основан на определении пяти составляющих:

- материальные и эксплуатационные издержки;
- затраты на топливо;
- отчисления на заработную плату;
- фондовые отчисления;
- амортизационные отчисления.

В отдельном результирующем блоке в табличном виде определяются значения всех ежегодных доходов и расходов за все время эксплуатации ядерного энергетического комплекса и показана на основе полученных данных вся цепочка формирования чистой прибыли.

Одним из наиболее важных результатов расчета является графическая демонстрация погодного движения денежных потоков за весь цикл жизни АСММ. Динамика полученных потоков позволяет быстро оценить инвестиционную привлекательность и финансовую состоятельность исследуемого проекта.

На отдельных графиках представлены: зависимость регионального предложения и спроса на вырабатываемую энергию; структура затрат на топливо, создание и оборудование ЯЭТК; распределение энерговыработок как тепла, так и электроэнергии; суммарные объемы накопленных фондовых средств; интегральные распределенные затраты на конечный этап топливного цикла, а также для представления наиболее полной картины потенциальных возможностей исследуемого проекта АСММ либо ЯЭТК и проведения его сравнительного анализа с другими проектами программой предусмотрен расчет ряда важных классических финансово-экономических показателей (чистый доход, чистый дисконтированный доход, средняя норма рентабельности, внутренняя норма рентабельности, период окупаемости и т.д.).

### **Оценка проекта ЯЭТК посредством программы NTC**

В качестве примера исследуем проект ЯЭТК, состоящий из АСММ на базе реакторной установки КЛТ-40С и морской фермы, а также отдельно оценим сам проект АСММ. В табл. 1 представлены основные технико-экономические показатели АСММ [8, 10, 11].

Параметры, характеризующие сопряженное с АСММ производство, представляющее собой морскую ферму, продемонстрированы в табл. 2.

При моделировании процесса эксплуатации рассматриваемых проектов предполагался учет следующих положений:

- индексация заработной платы работников 1% в год;
- годовой темп роста цен на топливо 0,2% в год;
- годовой темп инфляции 2% в год;

Таблица 1

**Технико-экономические характеристики проекта АСММ с РУ КЛТ-40С**

Наименование	Значение
Тепловая мощность реактора, (МВт)	2×150
КПД (%)	23
КИУМ (%)	84
Вид топлива	UO <sub>2</sub>
Масса загрузки топлива в активную зону (кг)	2200
Обогащение по <sup>235</sup> U (%)	20
Расход электроэнергии на с/н ЯЭУ (%)	7
Расход тепла на с/н ЯЭУ (%)	2
Количество перегрузок (шт.)	5
Начальные капитальные вложения (млн. \$)	259
Срок эксплуатации (лет)	40
Персонал АСММ (чел.)	50
Среднемесячная з/п персонала (\$/чел.)	800
Количество капитальных ремонтов (шт.)	4
Стоимость кап. ремонта (\$)	50000
Эксплуатационные издержки (\$/год)	36000
Простой (ч/год)	720

- закупка топлива происходит за год до очередной перегрузки;
- заемные финансовые ресурсы не используются;
- все налоговые выплаты учтены;
- ежегодные отчисления в фонды составляют 470 тыс.\$ (фондовая ставка 5% годовых);
- ставка дисконтирования 6%.

Себестоимость энергии, рассчитанная для рассматриваемого проекта АСММ, составила 0,03\$/кВт·ч. С помощью программного продукта NTC оценим эффективность исследуемых проектов ЯЭТК и АСММ. Для этого определим величины чистого дисконтированного дохода (ЧДД) при различных значениях тарифов на отпускаемую реги-

Таблица 2

**Технико-экономические показатели морефермы**

Наименование	Значение
Количество вырабатываемой продукции (кг/год)	$6,00 \cdot 10^7$
Отпускная цена производимой продукции (\$/кг)	2
Количество энергии, потребляемой сопряженным производством (кВт ч/год)	$7,20 \cdot 10^7$ (15,5% от общей выработки)
Суммарные капитальные вложения в сопряженное производство (млн.\$)	35
Количество работников на производстве (чел.)	100
Эксплуатационные затраты на производство (\$/год)	$4,5 \cdot 10^6$

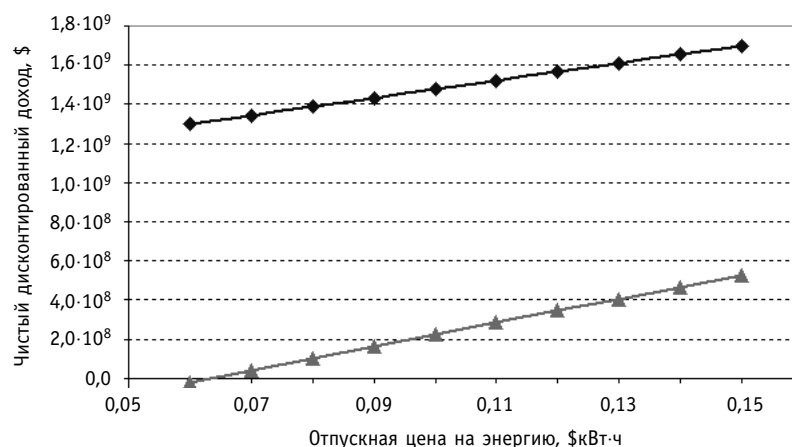


Рис.1. Зависимость чистого дисконтированного дохода от значения отпускной цены на энергию для проектов ЯЭТК и АСММ: —◆— ЯЭТК; —▲— АСММ

ональным потребителям энергии. Отметим, что в случае ЯЭТК, цена на энергию, направляемую на когенерационное производство, принята равной ее себестоимости. Зависимость ЧДД от значения отпускного тарифа на энергию представлена на рис.1.

Полученные результаты показывают значительный выигрыш в значениях ЧДД (практически на порядок) варианта моделирования ЯЭТК по сравнению с вариантом традиционного рассмотрения АСММ.

Исследуемый проект ЯЭТК способен отвечать требованиям не только коммерческой и инвестиционной привлекательности, отсутствие которой ставит под вопрос саму

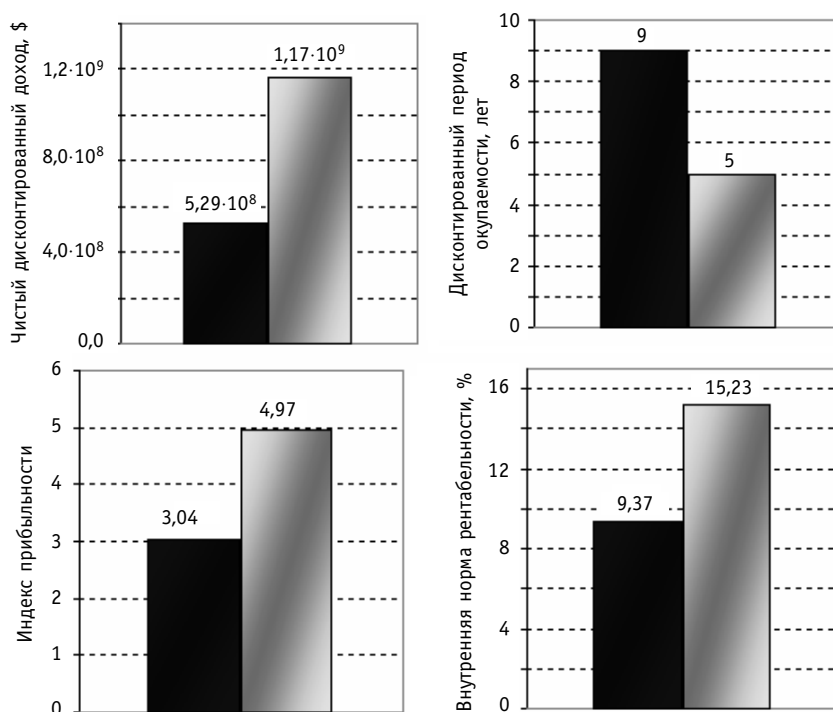


Рис.2. Значения экономических показателей проекта ЯЭТК и проекта АСММ, рассчитанные при различных ценах на отпускаемую энергию 0,03 и 0,15\$/кВт·ч соответственно: —■— АСММ; —□— ЯЭТК



возможность реализации проекта, но и что более важно, требованиям социального и экономического развития проблемных регионов посредством осуществления надежного и дешевого энергоснабжения. Потенциальным подтверждением этого являются результаты расчетов по определению экономической эффективности проекта ЯЭТК в аспекте рассмотрения минимально допустимого значения цены, по сути, равной себестоимости, на отпускаемую региональным потребителям энергию ( $0,03\$/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ ), которые представлены на рис. 2. Здесь же продемонстрированы значения инвестиционных показателей оценки экономической эффективности проекта АСММ при отпускной цене на энергию равной  $0,15\$/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ .

## ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволяют говорить не только о высокой степени экономической эффективности проекта ЯЭТК, но и подтвердить правильность подхода предполагающего рассмотрение АСММ в структуре рентабельных технологических комплексов. Из результатов, в частности, видно, что даже увеличение цены электроэнергии с 3 до 15 ценов за  $\text{кВт}\cdot\text{ч}$  не позволяет АСММ работать самостоятельно более эффективно, чем в рамках ЯЭТК.

Также из полученных результатов можно сделать вывод, что экономическая эффективность исследуемого проекта ЯЭТК практически не зависит от стоимости энергии, отпускаемой региональному потребителю (рис. 1), а определяется в основном степенью эффективности сопряженного с АСММ производства, т.е. морефермы. Так в приведенных расчетах при изменении стоимости электроэнергии почти в три раза, чистый дисконтированный доход изменился всего на 30%. Причем доля энергии ( $15,5\%$ ), расходуемой на хозяйственную часть комплекса, невелика (табл. 2), и остального ее количества будет вполне достаточно для решения региональных социально-экономических задач, особенно на начальных этапах развития, учитывая крайнюю малонаселенность и в основном полное отсутствие инфраструктурной составляющей, т.е. факторы, характерные для районов потенциального внедрения ЯЭТК.

Введение в энергетическую систему ЯЭТК позволит в некотором смысле дать новый импульс широкомасштабному развитию ядерной энергетики. Это связано с тем, что в этом случае экономическая эффективность самой АСММ во многом определяется востребованностью конечной продукции на рынке, а не только связана со стоимостью поставляемой энергии, что, в свою очередь, предоставляет широкие возможности для удовлетворения АСММ всем требованиям, которые только можно поставить перед автономными источниками энергии.

## Литература

1. Алексеев П.Н., Забудько А.Н., Ошейко Ю.В., Тревгода М.М., Субботин С.А., Щепетина Т.Д. Комплекс энерготехнологического обеспечения на основе автономных атомных энерготехнологических станций малой мощности (1–50 МВт эл.)/Международная научно-практическая конф. «Малая энергетика – 2001» (г. Москва, 10–11 октября 2001 г.). – С. 69–70.
2. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Попов С.П., Петров Н.А. Малая энергетика Севера: проблемы и пути развития. – Новосибирск: Наука, 2002. – 188 с.
3. Полушкин А.К., Кузин Е.А., Кривошеин А.С. Реализация проекта строительства АТЭС ММ с РУ КЛТ-40С в г. Северодвинске. Состояние. Проблемы. Перспективы/Международная научно-практическая конф. «Малая энергетика – 2002» (г. Москва, 19–20 ноября, 2002 г.). – С. 35–44.
4. Атомно-водородная энергетика и технология. – М.: ЭАИ, 1982. – Вып. 5. – 240 с.
5. Водород: свойства, получение, хранение, транспортирование, применение/Под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. – М.: Химия, 1989.
6. Технологические аспекты ядерных энергетических систем с воспроизводством топлива (пер. с англ.)/Под ред. Г.С. Бауэра, А. Макдоналда. – М.: ЭАИ, 1988. – 280 с.

7. Кириллов Н.Г. Сжиженный природный газ – универсальное энергетическое топливо 21 века//ТЭК. – 2002. – № 3.
8. Головин В.Н. Оценка перспектив малой атомной энергетики для децентрализованного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов: Отчет по гранту 39 РНЦ Курчатовский институт. Инв. № 200,7 от 14.01.94.
9. Арзамасцев И. Инвестиции в деликатесы. – № 52 от 11.07.2001. <http://www.zrpress.ru/2000/052/b001.htm>.
10. IAEA-TECDOC-881 "Design and development status of small and medium reactor systems 1995", IAEA May 1996.
11. Алексеев П.Н., Кухаркин Н.Е., Полисмаков А.А., Чибиняев А.В., Щепетина Т.Д. Перспективы, проблемы и возможности увеличения кампании ядерных «реакторов-батареек»/Международная научно-практическая конф. «Малая энергетика – 2005».

Поступила в редакцию 25.11.2005