

УДК 621.311:338.48.001.57

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТОВ ЭКСПОРТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**А.В. Лагерев, К.С. Смирнов**

*Лагерев Анатолий Владимирович* – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Лермонтова, 130, Иркутск, Россия, 664033. E-mail: lagerev@isem.sei.irk.ru.

*Смирнов Константин Сергеевич* – младший научный сотрудник. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Лермонтова, 130, Иркутск, Россия, 664033. E-mail: k.smirnov@isem.sei.irk.ru.

Дается описание методического подхода, предназначенного для оценки сравнительной эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи в увязке с развитием электроэнергетики региона и в условиях неопределенности (неоднозначности) исходной информации. Показано применение этого подхода для выбора предпочтительного проекта для экспорта электроэнергии из Восточной Сибири в Китай.

*Эффективность, методический подход, неопределенность, критерии теории игр, экспорт электроэнергии, Восточная Сибирь, Китай.*

DOI: 10.14530/se.2014.2.093-105

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие межгосударственных связей в области электроэнергетики, несмотря на широкие возможности их реализации, отстает от других направлений сотрудничества России в области энергетики [1], в то время как в других странах это имеет приоритетное направление [9; 10]. В перспективе развитие этих связей предполагается за счет проектов широко-масштабного экспорта электроэнергии (в первую очередь из Восточной Сибири и Дальнего Востока в страны СВА) [3; 4].

Вместе с тем реализация крупномасштабных проектов экспорта электроэнергии связано, во-первых, с наличием сложных проблем, решение которых требует детального и всестороннего анализа и исследования большого количества факторов (внутренний и экспортный спрос на электроэнергию в регионе, рост цен на топливо и тарифов на экспортируемую электроэнергию,

стоимость строительства, экологическая политика и т. д.); во-вторых, с большой неопределенностью исследуемых факторов.

Принятие того или иного решения по реализации экспортных проектов сопряжено со значительными рисками, поэтому проблема минимизации рисков на основе изучения и учета различных факторов, влияющих на устойчивость принимаемых решений в рассматриваемых условиях, является важной исследовательской задачей.

Предлагаемый авторами методический подход позволяет произвести оценку сравнительной эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи в увязке с развитием электроэнергетики региона и в условиях неопределенности (неоднозначности) исходной информации. Применение этого подхода реализовано при выборе наиболее предпочтительного проекта для экспорта электроэнергии из Восточной Сибири в Китай.

Логика работы предполагала решение следующих научных задач:

- сформулировать принципы и предложить общую схему исследований для оценки сравнительной эффективности вариантов сооружения экспортных проектов в увязке с развитием электроэнергетики региона;
- разработать методический подход и математические модели для оценки энергоэкономической и коммерческой эффективности вариантов сооружения экспортных проектов в условиях неоднозначности исходной информации;
- с использованием разработанного методического подхода выявить наиболее эффективные варианты сооружения экспортных проектов в Восточной Сибири для экспорта электроэнергии в Китай.

## ОПИСАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА

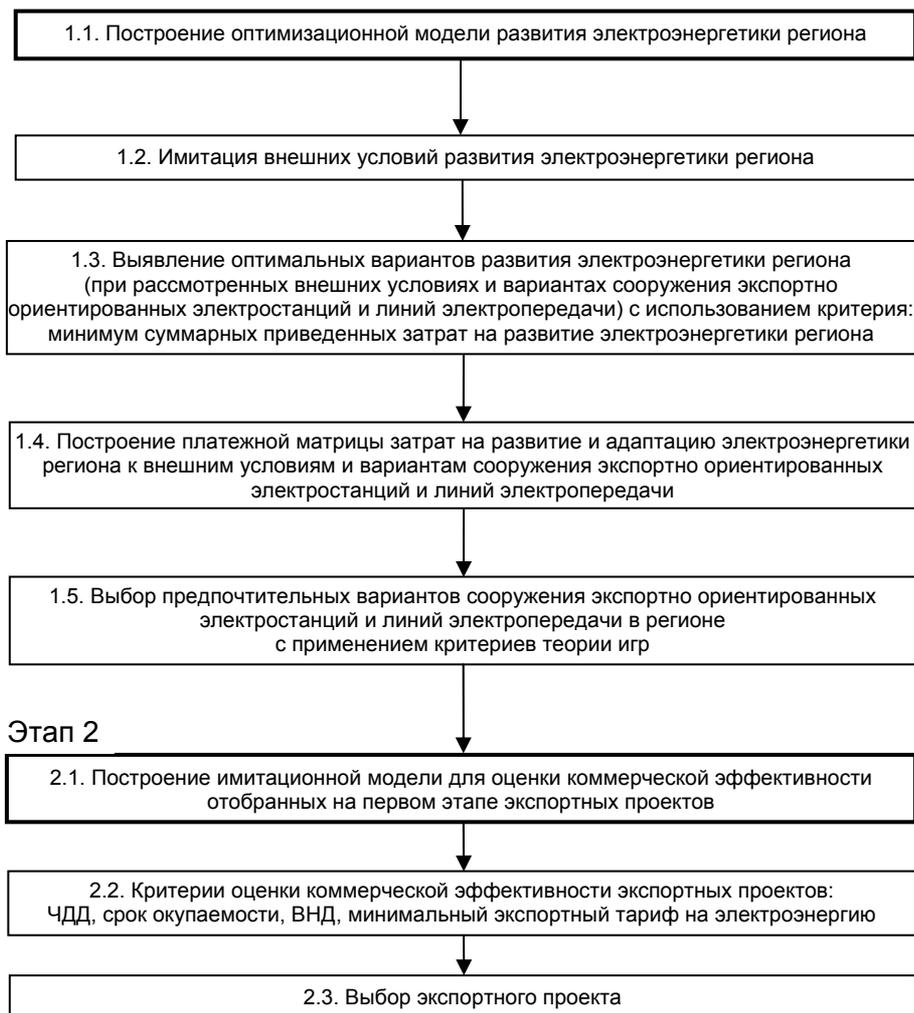
Предлагаемый методический подход включает два этапа исследований (рис. 1).

**Этап 1** предполагает:

1.1. Построение оптимизационной модели развития электроэнергетической системы региона с поочередным включением в нее рассматриваемых проектов сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи в регионе.

1.2. Имитацию внешних условий ( $C^n$ ) развития электроэнергетической системы региона (уровней электропотребления, цен на топливо и т. д.). При этом принимается, что неопределенность внешних условий можно задать приближенно, оценив лишь только нижнюю и верхнюю границы их возможного диапазона изменения (низкие и высокие прогнозируемые уровни электропотребления в регионе, низкие и высокие цены на топливо для электростанций).

## Этап 1



*Рис. 1.* Принципиальная схема методического подхода для оценки сравнительной эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи в регионе в условиях неоднозначности исходной информации

1.3. Выявление (с помощью оптимизационной модели) оптимальных вариантов развития электроэнергетической системы региона при рассмотренных внешних условиях  $C^n$  и проектах  $X_r^2$  сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи.

Это позволяет:

а) определить для каждого рассмотренного проекта  $X_r^2$  ( $r \in \overline{1, R}$ ) сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи оптимальный

состав энергетических объектов  $X_r (X_r^3 \in X_r)$  развития электроэнергетической системы региона, необходимый для ее приспособления к различным внешним условиям  $C^n (n \in \overline{1, N})$ , где:  $N$  – число внешних условий развития электроэнергетической системы региона,  $R$  – количество возможных проектов сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи в регионе;

б) получить значения связанных с этим суммарных приведенных затрат  $(\Phi_r^n)$  на развитие электроэнергетики региона.

1.4. Построение платежной матрицы затрат (рис. 2) выявленных вариантов  $X_r$  развития электроэнергетической системы региона и соответствующих им проектов  $X_r^3$  сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи.

Вариант развития ЭЭС	Условия развития ЭЭС					
	$C^1$	$C^2$	$C^3$	$C^n$	–	$C^N$
$X_1$	$F_1^1$	$F_1^2$	$F_1^3$	$F_1^n$	–	$F_1^N$
$X_2$	$F_2^1$	$F_2^2$	$F_2^3$	$F_2^n$	–	$F_2^N$
$X_r$	$F_r^1$	$F_r^2$	$F_r^3$	$F_r^n$	–	$F_r^N$
–	–	–	–	–	–	–
$X_R$	$F_R^1$	$F_R^2$	$F_R^3$	$F_R^n$	–	$F_R^N$

Рис. 2. Платежная матрица затрат на развитие и адаптацию электроэнергетической системы региона

В общем виде показатель платежной матрицы  $F_r^n$  определяется разницей в суммарных приведенных затратах, которую может иметь электроэнергетика региона при рассмотренных внешних условиях ее развития ( $C^n$ ), при наличии  $(\Phi_r^n)$  и отсутствии  $(\overline{\Phi}_r^n)$  проектов сооружения экспортных электростанций в регионе:

$$F_r^n = \Phi_r^n - \overline{\Phi}_r^n$$

1.5. Выбор (с помощью критериев теории игр) наиболее экономически эффективных проектов сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи. Для этого предлагается применение двух критериев [5]:

- критерий Байеса (среднего риска), который учитывает все условия развития системы и рекомендует к реализации проект, обеспечивающий наименьшие затраты в среднем:

$$3_r = \min_i \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N F_i^n, \quad i = 1, 2, \dots, R, \quad n = 1, 2, \dots, N.$$

- критерий Сэвиджа (минимаксного риска), позволяющий застраховаться от наиболее неблагоприятных условий:

$$Z_r = \min_i \max_n F_i^n, i = 1, 2, \dots, R, n = 1, 2, \dots, N.$$

Применение формальных критериев теории игр, как правило, не обеспечивает выбор единственного проекта, а позволяет выявить два проекта практически неразличимых с точки зрения применяемых критериев.

**Этап 2** предполагает:

2.1. Построение имитационной модели, с помощью которой дается оценка коммерческой эффективности отобранных на первом этапе экспортных проектов (экспортных электростанций и линий электропередачи).

2.2. Определение критериев коммерческой эффективности экспортных проектов: чистый дисконтированный доход, срок окупаемости, внутренняя норма доходности, минимальный тариф на экспортную электроэнергию в местах перехода границы [6; 8].

2.3. Выбор проекта с точки зрения коммерческой эффективности, рекомендуемого для реализации.

Ниже даются содержательное описание и математическая формулировка моделей, предназначенных для оценки эффективности проектов сооружения в регионе экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи.

**Оптимизационная модель развития электроэнергетики региона.** Для оценки на первом этапе энергоэкономической (системной) эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи предлагается условно-динамическая, оптимизационная, многоузловая модель развития электроэнергетической системы региона.

Электроэнергетика региона в модели описывается в разрезе территориальных энергосистем (краев, областей), входящих в рассматриваемый регион – территориальный аспект, с детализацией по отдельным крупным действующим и перспективным электростанциям с делением по типам (ГЭС, КЭС, ТЭЦ) и видам используемого топлива (газ, уголь, мазут, прочие) – технологический аспект; при этом в отдельные 2 группы по единичной мощности выделяются действующие ТЭЦ: 1 группа – ТЭЦ  $\geq 300$  МВт, 2 группа – ТЭЦ  $< 300$  МВт. Учет в модели межтерриториальных электрических связей позволяет: оценить передачу электроэнергии из территориальных энергосистем, более обеспеченных энергетическими ресурсами, в территориальные энергосистемы, менее обеспеченные; выработать требования к пропускной способности межтерриториальных электрических связей и экспортных линий электропередачи.

Для действующих электростанций и линий электропередачи задается динамика выбытия мощностей с возможностью их восстановления и технического перевооружения.

В общем случае объект электроэнергетики (электростанция, ЛЭП) описывается в модели следующими показателями: коэффициентами, определяющими число часов использования установленной мощности; коэффициентами, задающими отпуск тепла; удельными расходами топлива на выработку электроэнергии и отпуск тепла; удельными капиталовложениями, требуемыми на реконструкцию и ввод новых мощностей; удельными постоянными эксплуатационными затратами, связанными с поддержанием единицы мощности; пропускными способностями линий электропередачи.

Оптимизация перспективного развития электроэнергетической системы региона предполагает решение следующих задач:

- выбор рационального сочетания мощности электростанций разного типа (ГЭС, КЭС, ТЭЦ) по территориальным энергосистемам и по региону в целом;
- определение рациональной структуры выработки электроэнергии по типам электростанций и видам топлива;
- определение необходимого развития межсистемных линий электропередачи (включая экспортные);
- выбор вида топлива и определение его расхода на электростанциях и на электроэнергетику региона в целом.

**Имитационная модель для оценки коммерческой эффективности экспортных проектов.** Для оценки коммерческой эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи, отобранных на первом этапе, и выбора рекомендуемого для реализации проекта используется имитационная модель (рис. 3).

В модели используются следующие исходные данные: проектная мощность экспортных электростанций; пропускная способность экспортных линий электропередачи; количество подстанций; срок реализации проекта; динамика вводов энергоблоков и линий электропередачи; динамика освоения капиталовложений; динамика эксплуатационных затрат; условия налогообложения.

Разработанная модель позволяет рассчитать минимальный тариф на производство и транспортировку электроэнергии при заданных критериях коммерческой эффективности (индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости) экспортных электростанций и линий электропередачи.

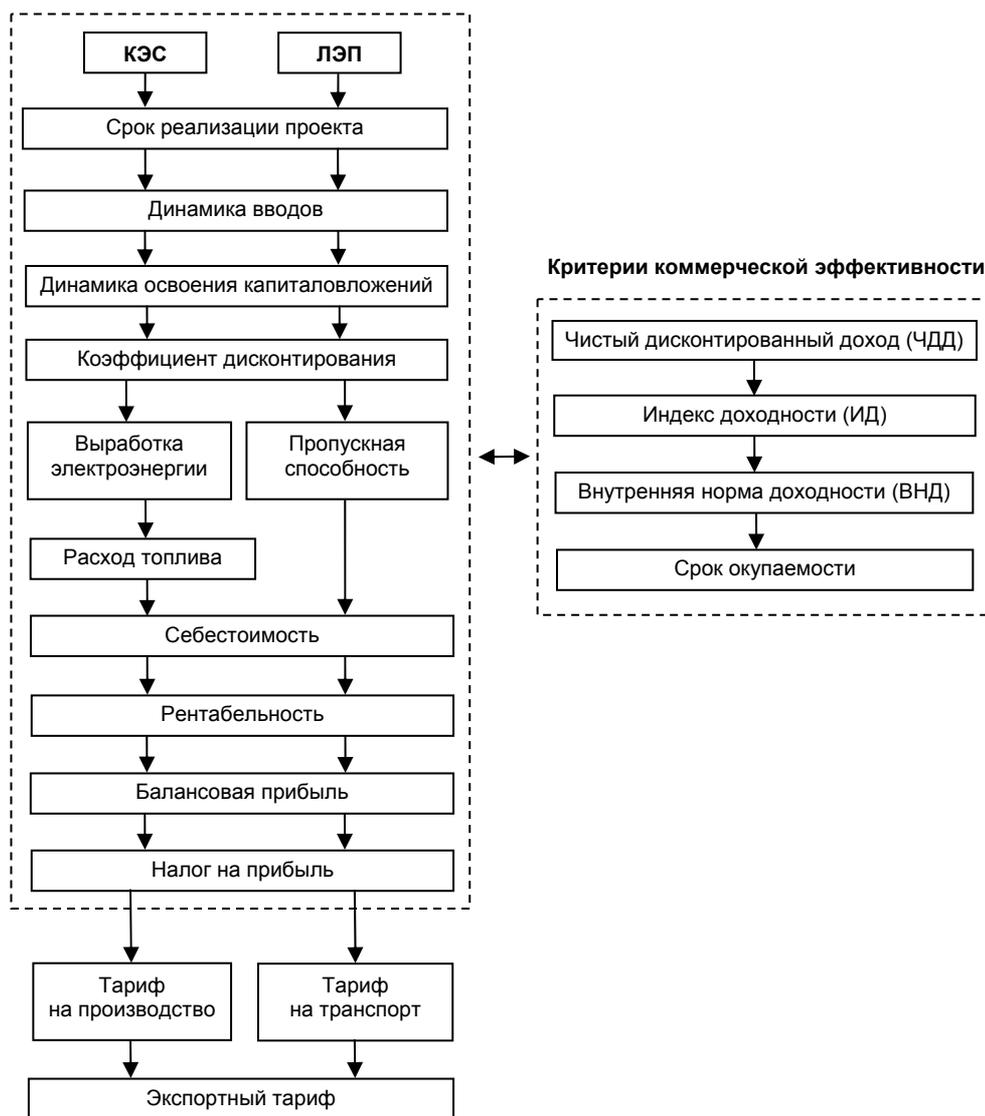


Рис. 3. Принципиальная схема имитационной модели для оценки коммерческой эффективности экспортных проектов

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Этап 1.** Для крупномасштабного экспорта электроэнергии из Восточной Сибири в Китай рассматривались четыре проекта сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи (табл. 1) [4; 7]:

- проект 1 – КЭС на ковыктинском газе на юге Иркутской области;

- проект 2 – КЭС на канско-ачинском угле (КАУ) в Красноярском крае;
- проект 3 – КЭС на угле в Республике Бурятия и Забайкальском крае (Олонь-Шибирская КЭС; Новая Харанорская КЭС);
- проект 4 – КЭС на мугунском угле в Иркутской области.

Таблица 1

**Технико-экономические показатели экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи**

Показатель	Проект				
	1	2	3		4
	Ковык-тинская КЭС	КЭС на КАУ	Олонь-Шибирская КЭС	Новая Харанорская КЭС	Мугунская КЭС
<b>Электростанции</b>					
Установленная мощность, млн кВт	3,2	3,2	2,4	0,8	3,3
Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч	20,8	20,8	14,4	4,8	21,5
Удельные капиталовложения*, долл./кВт	1000	1600	1500	1600	1600
Удельный расход топлива, т у. т./кВт·ч	209	276	276	276	276
Вид топлива	газ	уголь бурый	уголь каменный	уголь бурый	уголь бурый
<b>ЛЭП</b>					
Тип ЛЭП	±500 кВ	±500 кВ	±500 кВ		±500 кВ
Пропускная способность одной цепи, ГВт	3,3	3,3	3,3		3,3
Удельные капвложения в линейную часть, тыс. долл./км	600	600	600		600
Удельные капвложения в подстанцию, млн долл./шт.	100	100	100		100
Количество цепей, шт.	1	1	1		1
Количество подстанций, шт.	2	2	2		2
Длина трассы, км	1100	1860	380		1100

*Примечание.* \* Здесь и далее – в ценах 2010 г.  
*Источник:* [2].

Расчеты проводились для четырех вариантов сочетаний внешних условий развития электроэнергетики Восточной Сибири<sup>1</sup>: низкие и высокие прогнозируемые уровни электропотребления в регионе, низкие и высокие цены на

<sup>1</sup> Модель описывает электроэнергетику Восточной Сибири в разрезе 6 территориальных энергосистем (РЭС): Хакасская, Тывинская, Красноярская, Иркутская, Бурятская и Читинская. Временной срез, рассматриваемый в модели, охватывает период с 2010 по 2030 г.

топливо для электростанций. Прогнозируемые цены на топливо для электростанций по территориальным энергосистемам Восточной Сибири приведены в таблице 2.

Таблица 2

Прогнозируемые цены\* на газ и уголь в Восточной Сибири в 2030 г., долл./т у. т.

Территориальная энергосистема	Газ		Уголь	
	низкие цены	высокие цены	низкие цены	высокие цены
Хакасская, Тывинская	–	–	40	55
Красноярская	115	150	40	55
Иркутская	115	155	45	60
Бурятская, Читинская	–	–	55	75

*Примечание.* \* Без учета инфляции.

*Источник:* расчеты авторов.

Объем экспорта изначально задается в размере 16,5 млрд кВт·ч. Это зависит от пропускной способности ЛЭП (3,3 ГВт) и числа часов работы (5000).

Расчеты на оптимизационной модели развития электроэнергетической системы Восточной Сибири позволили для каждого экспортного проекта и под каждый из четырех вариантов сочетаний внешних условий определить оптимальный состав энергетических объектов развития электроэнергетики региона и связанные с этим суммарные затраты.

Исследования показали, что в зависимости от внешних условий сооружение экспортных электростанций и линий электропередачи может привести к заметному изменению структуры производства электроэнергии и затратам на развитие электроэнергетики региона. В результате либо электроэнергетическая система региона будет отдавать свои избытки электроэнергии на экспорт, либо экспортные электростанции – свои избытки в систему.

Далее в соответствии с предлагаемым методическим подходом строится платежная матрица затрат (табл. 3).

На основании полученной платежной матрицы производится выбор экспортных проектов, наиболее предпочтительных с точки зрения принятых в работе критериев теории игр (Байеса, Сэвиджа). В данном случае наиболее предпочтительными экспортными проектами являются: по критерию Байеса – проект 1, предполагающий сооружение Ковыктинской КЭС на газе, по критерию Сэвиджа – проект 4, предполагающий сооружение Мугунской КЭС на угле.

**Этап 2.** С использованием имитационной модели дается оценка коммерческой эффективности выбранных на первом этапе экспортных проектов и делается выбор проекта, предлагаемого к реализации. При этом

предпочтение отдается проекту, обеспечивающему минимальный тариф на экспортную электроэнергию в местах перехода границы экспортных линий электропередачи.

Таблица 3

**Матрица значений приведенных затрат (платежная матрица) на развитие электроэнергетики Восточной Сибири, млн долл.**

Проект	Условия развития электроэнергетической системы региона				Критерий*	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	Байеса	Сэвиджа
1	719	767	928	1084	<b>875</b>	1084
2	988	1021	1013	1078	1025	1078
3	1159	1225	1153	1226	1191	1226
4	775	720	990	1059	886	<b>1059</b>

*Примечание.* \* В столбце отмечен лучший проект по соответствующему критерию.

C<sub>1</sub> – низкие уровни электропотребления (195 млрд кВт·ч), низкие цены на топливо (табл. 2); C<sub>2</sub> – низкие уровни электропотребления, высокие цены на топливо; C<sub>3</sub> – высокие уровни электропотребления (245 млрд кВт·ч), низкие цены на топливо; C<sub>4</sub> – высокие уровни электропотребления, высокие цены на топливо.

*Источник:* расчеты авторов.

При расчетах тарифов приняты следующие исходные посылки:

- расчетный период службы электростанций составляет: для Ковыктинской КЭС на газе – 30 лет, для Мугунской КЭС на угле – 35 лет;
- расчетный период срока службы экспортной ЛЭП ±500 кВ – 25 лет;
- внутренняя норма доходности – 15%;
- источники финансирования – акционерный капитал;
- ставки налогов приняты по действующей в Российской Федерации системе налогообложения: налог на прибыль – 20%;
  - срок окупаемости: КЭС – 18 лет, ЛЭП – 15 лет;
  - прогнозируемая цена на ковыктинский газ – 130–175 долл./1000 м<sup>3</sup>, на мугунский уголь – 23–30 долл./т.

При принятых исходных посылках полученные с помощью имитационной модели расчетные экспортные тарифы (на границе) для отобранных на этапе 1 экспортных проектов показаны в таблице 4. Из таблицы видно, что проект сооружения экспортной КЭС на ковыктинском газе (на юге Иркутской области) с передачей электроэнергии по линии постоянного тока до границы с Китаем является более эффективным по сравнению с проектом сооружения Мугунской КЭС на угле в Иркутской области. Экспортный тариф на границе при сооружении Ковыктинской КЭС оценивается в 8–9 цент/кВт·ч, при сооружении Мугунской КЭС – 10–11 цент/кВт·ч.

Таблица 4

## Экспортный тариф на электроэнергию на границе с Китаем

Показатель	Проект	
	1	2
	КЭС на ковыктинском газе	КЭС на мугунском угле
Экспортный тариф, цент/кВт·ч	8,0–8,9	10,2–10,7
тариф на генерацию	6,5–7,4	8,7–9,2
себестоимость	3,2–4,1	3,0–3,4
эксплуатационные затраты	0,7	1,7
топливная составляющая	2,5–3,4	1,3–1,7
балансовая прибыль	2,9	4,9
удельная плата за выбросы CO <sub>2</sub>	0,4	0,8
тариф на передачу	1,5	1,5
себестоимость	0,5	0,5

Источник: расчеты авторов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагается двухэтапный методический подход для оценки сравнительной эффективности проектов экспорта электроэнергии в увязке с развитием электроэнергетики региона и в условиях неоднозначности исходной информации.

В соответствии с разработанным методическим подходом дается оценка сравнительной эффективности проектов сооружения экспортно ориентированных электростанций и линий электропередачи для поставок электроэнергии из Восточной Сибири в Китай. Для крупномасштабного экспорта электроэнергии из Восточной Сибири в Китай рассмотрены четыре возможных проекта сооружения экспортно ориентированных электростанций: КЭС на ковыктинском газе на юге Иркутской области; КЭС на канско-ачинском угле в Красноярском крае; КЭС на угле в Республике Бурятия и Забайкальском крае (Олонь-Шибирская КЭС; Новая Харанорская КЭС); КЭС на мугунском угле в Иркутской области. Исследования показали, что проект сооружения экспортной КЭС на ковыктинском газе с передачей электроэнергии по линии постоянного тока до границы Китая (район г. Забайкальска) является более предпочтительным по сравнению с другими рассмотренными проектами сооружения экспортных электростанций и линий электропередачи в Восточной Сибири.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев Л.С., Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Ю.* Эффективность межгосударственных электрических связей. Новосибирск: Наука, 2008. 239 с.
2. Комплексный технико-экономический анализ вариантов экспорта электроэнергии из России в Китай: отчет / ИСЭМ СО РАН. Иркутск, 2005. 186 с.
3. *Лагерев А.В., Ханаева В.Н., Смирнов К.С.* Перспективы развития электроэнергетики Дальнего Востока // Энергетик. 2011. № 11. С. 17–21.
4. *Лагерев А.В., Ханаева В.Н., Смирнов К.С.* Приоритеты и перспективы развития электроэнергетики Восточной Сибири // Энергетик. 2011. № 8. С. 2–7.
5. *Макаров А.А., Мелентьев Л.А.* Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. Новосибирск: Наука, 1973. 276 с.
6. *Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Музычук С.Ю.* Оценка экономической эффективности создания энергоугольных компаний: препринт / ИСЭМ СО РАН. Иркутск, 2000. 38 с.
7. *Смирнов К.С.* Методический подход для оценки сравнительной эффективности вариантов экспорта электроэнергии и результаты исследования // Системные исследования в энергетике: сб. трудов молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Вып. 42. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. С. 162–170.
8. *Шарнопольский Б.П.* Методические основы определения коммерческой эффективности инвестиционных проектов в реконструкцию и техническое перевооружение тепловых электростанций: учебно-методическое пособие. 2-е изд., стереотип. М.: ИУЭ ГУУ, ВМПКЭнерго, ИПКГосслужбы, 2004. 40 с.
9. *Chung K.-H., Kim B.H.* Economic Feasibility on the Interconnected Electric Power Systems in North-East Asia // Journal of Electrical Engineering & Technology. 2004. Vol. 2. No. 4. Pp. 452–460. URL: <http://www.jeet.or.kr/ltkpsweb/pub/pubfpfile.aspx?ppseq=367> (дата обращения: 25.09.2012).
10. *Yoon J.Y., Park D.W.* Economic Analysis Methodology of Power System Interconnections Considering Conventional Economic Benefits and Environmental Effects. URL: [http://www.icee-con.org/papers/2002/papers/Vol No.1/1\\_pso/pso50.pdf](http://www.icee-con.org/papers/2002/papers/Vol No.1/1_pso/pso50.pdf) (дата обращения: 10.10.2012).

## THE COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF VARIANTS OF CONSTRUCTION OF ELECTRICITY EXPORT PROJECTS

**A.V. Lagerev, K.S. Smirnov**

*Lagerev Anatoly Vladimirovich* – Ph. D., lead researcher. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Lermontov 130, Irkutsk, Russia, 664033. Email: [lagerev@isem.sei.irk.ru](mailto:lagerev@isem.sei.irk.ru).

*Smirnov Konstantin Sergeevich* – junior researcher. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, st. Lermontov 130, Irkutsk, Russia, 664033. Email: [k.smirnov@isem.sei.irk.ru](mailto:k.smirnov@isem.sei.irk.ru).

The study describes a methodological approach that evaluates the comparative efficiency of construction of export-oriented power plants and transmission lines taking into account the development of power industry in the region and uncertainty (ambiguity) of initial information. At the first stage the authors determine socio-economic effects of each project of construction

of export-oriented power plants. With the help of optimization models they choose options that can guarantee the balanced and cost-effective development of the regional electric power system. Then using a simulation model the researchers assess commercial viability of previously selected projects. The article applies this approach for selecting the preferred option of electricity export from Eastern Siberia to China. This study shows that the project of CPP based on Kovykta natural gas with electricity transmission line to Chinese border (near Zabaikalsk) is more preferable one in comparison with other projects (CPP based on Kansk-Achinsk coal in Krasnoyarsky krai; CPP based on coal in the Republic of Buryatia and Zabaikalsky krai (Olon-Shibirskaya CPP; New Kharanorskaya CPP); CPP based on Mugunsky coal in Irkutskaya oblast).

*Keywords:* efficiency, methodical approach, uncertainty, game theory criteria, electricity export, Eastern Siberia, China.

## REFERENCES

1. Belyaev L.S., Podkovalnikov S.V., Savelyev V.A., Chudinova L.Yu. *The Effectiveness of Interstate Electric Ties*. Novosibirsk: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 2008, 239 p. (In Russian).
2. *Comprehensive Feasibility Analysis of Electricity Exports from Russia to China: Report*. Irkutsk: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 2005, 186 p. (In Russian).
3. Lagerev A.V., Hanaeva V.N., Smirnov K.S. Prospects of Development of Electric Power Industry of the Far East. *Energetik* [Power Engineer], 2011, no. 11, pp. 17–21. (In Russian).
4. Lagerev A.V., Hanaeva V.N., Smirnov K.S. Priorities and Prospects of Development of Electric Power Industry of Eastern Siberia. *Energetik* [Power Engineer], 2011, no. 8, pp. 2–7. (In Russian).
5. Makarov A.A., Melentiev L.A. *Research Methods and Optimization of the Energy Sector*. Novosibirsk, 1973, 276 p. (In Russian).
6. Saneyev B.G., Sokolov A.D., Muzychuk S.Y. *Assessment of Economic Efficiency of the Energy and Coal Companies: Preprint*. Irkutsk: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 2000, 38 p. (In Russian).
7. Smirnov K.S. Methodological Approach to Evaluate the Comparative Efficacy of Variants of Exporting Electricity and Results of Research. *Systematic Studies at the Energy Sector: a Collection of Papers by Young Scientists ESI SB RAS*. Vol. 42. Irkutsk: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 2012, pp. 162–170. (In Russian).
8. Sharnopolsky B.P. *Methodological Basis for Determining the Commercial Viability of Investment Projects in Reconstruction and Technical Re-Equipment of Thermal Power Plants: Educational-Methodical Manual*. Moscow, 2004, 40 p. (In Russian).
9. Chung K.-H., Kim B.H. Economic Feasibility on the Interconnected Electric Power Systems in North-East Asia. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 2004, vol. 2, no. 4, pp. 452–460. Available at: <http://www.jeet.or.kr/ltkpsweb/pub/pubfpfile.aspx?ppseq=367> (accessed 25 September 2012).
10. Yoon J.Y., Park D.W. *Economic Analysis Methodology of Power System Interconnections Considering Conventional Economic Benefits and Environmental Effects*. Available at: [http://www.icee-con.org/papers/2002/papers/Vol No.1/1\\_pso/pso50.pdf](http://www.icee-con.org/papers/2002/papers/Vol No.1/1_pso/pso50.pdf) (accessed 10 October 2012).