

УДК 621.311

DOI: 10.17212/1814-1196-2020-2-3-123-138

Поагрегатная оценка капиталовложений в энергоблоки электростанций с использованием параметрической степенной функции*

П.А. ШИННИКОВ^a, А.А. ФРАНЦЕВА^b, И.С. САДКИН^c

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет

^a shchinnikov@corp.nstu.ru ^b frantsevaalina@gmail.ru ^c sadkinvanya@mail.ru

При проектировании нового генерирующего оборудования энергоблоков электростанций и их тепловых схем в условиях отсутствия информации о их стоимости в практике проектирования используют показатели аналогов и/или экспертные оценки. Такой подход позволяет вести сравнение при возможности приведения вариантов к сопоставимому виду и при использовании однотипного оборудования. В том случае, когда необходимо сравнить варианты, отличающиеся не только установленными мощностями, но и составом оборудования, требуется более точная оценка капиталовложений.

В статье предлагается подход для оценки капиталовложений в энергоблоки электростанций при использовании степенной параметрической функции. Оценку капиталовложений ведут по каждому агрегату энергоблока и его технической системе. Особенностью подхода является положение о том, что стоимость агрегата тем выше, чем выше его параметры в виде мощности, термодинамических характеристик, времени использования на нагрузке и других. Эти факторы учитываются показателем степени в уравнении приведения. Кроме того, поправочными коэффициентами учитывают состав оборудования, его климатическое исполнение, особенности монтажа. Совокупность учитываемых факторов позволяет получать оценку стоимости оборудования в разных вариантах исполнения. Единообразие постановки задачи позволяет применять подход как в задачах проектирования, так и в научно-прикладных задачах сравнения действующих и вновь разрабатываемых и перспективных технологий.

В настоящей работе предлагается актуализация и развитие способа, разработанного в прежние годы на кафедре ТЭС НГТУ НЭТИ. Здесь представлены уравнения для определения капиталовложений в основные агрегаты и технические системы энергоблоков электростанций. Проведены оценки капиталовложений в энергоблоки, строящиеся в России в настоящее время. Показано, что капиталовложения в энергоблоки в России на 20...50 % ниже, чем в США и Европе, и на 20...30 % выше, чем в Китае.

Ключевые слова: капиталовложения в энергоблок, капиталовложения в ТЭС, способ оценки капиталовложений, метод оценки капиталовложений, параметрическая степенная функция, степенной метод оценки, стоимость электростанции

* Статья получена 27 марта 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ

При модернизации действующего и создании нового энергетического оборудования необходимо решать задачи технико-экономического сравнения различных вариантов [1–10]. Во всех случаях необходимо вести оценку капиталовложений в оборудование. В том случае, если новое оборудование коммерциализовано, то информацию о его стоимости можно получить у производителя и/или продавца. Задача осложняется существенным различием стоимости однотипных элементов у разных производителей, конъюнктурой фактических рынков энергетического машиностроения, политическими санкциями, пошлинами или субсидированием. Часто встречается задача, когда такой информации нет вовсе (например, при проектных оценках, при разработке новых технических решений или при известных, но ранее неприменяемых сочетаниях вариантов компоновок). Такая задача встает при проектировании нового генерирующего оборудования электростанций или самих ТЭС [11–19]. Приемы, применяемые в прежние годы (по укрупненным показателям удельных капиталовложений в основное оборудование и распределенным затратам в здания, сооружения и строительную часть) не могут применяться сегодня, так как современные пропорции между удельными затратами в основное оборудование, вспомогательные системы и инфраструктуру электростанций изменились по сравнению с прежними условиями хозяйствования. Это можно наблюдать на примере сравнения данных [20–23] и [24–27], и связано это с либерализацией рынков энергетического машиностроения, доступом к оборудованию любого мирового производителя [28] при формировании современных и перспективных энергоблоков ТЭС.

В этой связи разработка методов оценки капиталовложений в основное оборудование электростанций, а также в их строительство является актуальной задачей. В статье предлагается способ такой оценки на основе параметрической степенной функции. Способ разрабатывался в прежние годы на кафедре тепловых электрических станций НГТУ, и в его основе лежит представление о том, что с ростом термодинамических параметров растет стоимость оборудования [29]. В настоящей работе предлагается актуализация и развитие способа применительно к сложившейся сегодня практике проектирования энергоблоков электростанций.

1. МЕТОД ОЦЕНКИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ

Общий вид предлагаемого подхода представлен выражением

$$K_k = K_0 \prod_{i=1}^p c_i \prod_{j=1}^m \left(\frac{x_j}{x_j^0} \right)^{n_j}, \quad (1)$$

где K_k – капиталовложения в ту или иную техническую систему; K_0 – базовое значение капиталовложений; c_i – коэффициенты приведения, зависящие от технологической схемы, типа оборудования и региона строительства; x_j – определяющие параметры; x_j^0 – базовые значения определяющих параметров.

ров; n_j – показатель степени, отражающий увеличение стоимости в зависимости от роста значений определяющих параметров

Полные капиталовложения в энергоблок определяются как сумма капиталовложений в его основные элементы и технические схемы:

$$K = \sum_k K_k, \quad (2)$$

где K_k характеризует основные элементы и технические системы энергоблока.

Главным достоинством метода является возможность расчета стоимости различных типов энергоблоков, основанного не на конкретных образцах оборудования с привязкой к изготовителю, а на общих технологических схемах и компоновочных решениях, термодинамических параметрах, на основе которых проектируется энергоблок. Подобный подход применяется для научно-прикладных задач сравнения различных компоновочных вариантов энергоблока [30, 31], оценки стоимости как на этапе проектирования новых мощностей, так и при модернизации существующих [32].

В настоящем подходе затраты (в виде капиталовложений), связанные с инжинирингом, строительной частью электростанции и ее сопутствующей инфраструктурой, пропорционально разнесены между основными агрегатами и вспомогательными системами через базовые значения капиталовложений. Выделение агрегатов и систем энергоблоков осуществляют при помощи выражений, в которых используются индивидуальные поправочные коэффициенты и показатели степени.

Для котлоагрегата (включая фундаменты, несущие конструкции, необходимые паропроводы, дымососы рециркуляции газов при их наличии, системы очистки дымовых газов и др.) уравнение имеет вид

$$K_{KA} = K_0^{KA} \prod_{i=1}^{11} c_i \prod_{j=1}^8 \left(\frac{x_j}{x_j^0} \right)^{n_j}, \quad (3)$$

Здесь K_{KA} – капиталовложения в котлоагрегат; $K_0^{KA} = 7 \cdot 10^6$ долл. – базовое значение капиталовложений в котлоагрегат; x_j, x_j^0 – текущие и базовые значения определяющих параметров; c_i, n_j – коэффициенты приведения и показатели степени (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Table 1

Коэффициенты приведения для котлоагрегата

Correction coefficients for a boiler

| Влияющий фактор | Характеристика фактора | | Обозначение | Значение |
|-----------------|------------------------|----------------|-------------|----------|
| Топливо | Камерная топка | Каменный уголь | C_1 | 1,10 |
| | | Бурый уголь | | 1,15 |
| | | Мазут, ВУТ | | 1,05 |
| | | Газ | | 1,0 |
| | Слоевая топка | Каменный уголь | | 1,05 |
| | | Бурый уголь | | 1,08 |

Окончание табл. 1

End of Tab. 1

| Влияющий фактор | Характеристика фактора | Обозначение | Значение |
|--|---|-------------|-------------|
| Тип котла | Прямоточный | C_2 | 1,0 |
| | Барабанный | | 1,05 |
| Перегрев пара | Без промперегрева | C_3 | 1,0 |
| | С промперегревом | | 1,16 |
| Профиль котла | Г- и П-образный | C_4 | 1,0 |
| | Т-образный | | 1,10 |
| Компоновка | Однокорпусная | C_5 | 1,0 |
| | Двухкорпусная | | 1,12 |
| Регион строительства | Европейская часть | C_6 | 1,0 |
| | Сибирь | | 1,05 |
| | Дальний Восток | | 1,1 |
| Вид очистных систем | Золоочистка (з/о) | C_7 | 1,23 |
| | З/о + реагент в топку | | 1,33 |
| | З/о + серо- или азотоочистка | | 1,57 |
| | З/о + серо- и азотоочистка | | 1,92 |
| Демонтаж | Выработка срока эксплуатации | C_8 | 1,5 |
| Тип топки | Камерная | C_9 | 1,0 |
| | Кипящий слой | | 1,45 |
| | Циркулирующий кипящий слой | | 1,72 |
| Технологические способы повышения эффективности сжигания | Ступенчатое сжигание и (или) рециркуляция дымовых газов | C_{10} | 1,07 (1,03) |
| | Термоподготовка топлива | | 1,06 |
| | Вихревые предтопки | | 1,10 |
| | | | |
| Вид шлакоудаления | Твердое | C_{11} | 1,0 |
| | Жидкое | | 1,1 |

Таблица 2

Table 2

Базовые параметры и показатели степени для котлоагрегата

Basic parameters and exponent indexes for a boiler

| Наименование | Параметры | | Показатель степени | |
|------------------------------------|-------------|----------|--------------------|-------------------------------------|
| | Обозначение | Значение | Обозначение | Значение |
| Производительность котла, т/ч | x_1^0 | 100 | n_1 | < 900 т/ч : 0,8 > 900 т/ч : 0,77 |
| Давление перегретого пара, МПа | x_2^0 | 17 | n_2 | 0,4 |
| Температура перегретого пара, °С | x_3^0 | 545 | n_3 | 0,9 |
| Температура пара промперегрева, °С | x_4^0 | 545 | n_4 | 1,3 |

Окончание табл. 2

End of Tab. 2

| Наименование | Параметры | | Показатель степени | |
|---|-------------|----------|--------------------|----------|
| | Обозначение | Значение | Обозначение | Значение |
| Температура уходящих газов, °С | x_5^0 | 130 | n_5 | -0,13 |
| Температура питательной воды, °С | x_6^0 | 230 | n_6 | 0,6 |
| Теплота сгорания топлива, ккал/кг | x_7^0 | 7000 | n_7 | -0,2 |
| Число часов использования установленной паропроизводительности, ч/год | x_8^0 | 6000 | n_8 | 0,2 |

Для парового турбоагрегата (с конденсатором и необходимыми паропроводами, без генератора и системы регенерации) уравнение имеет вид:

$$K_{\text{ТА}} = K_0^{\text{ТА}} \prod_{i=1}^3 c_i \prod_{j=1}^7 \left(\frac{x_j}{x_j^0} \right)^{n_j} . \quad (4)$$

Здесь $K_{\text{ТА}}$ – капиталовложения в паровой турбоагрегат; $K_0^{\text{ТА}} = 5,3 \cdot 10^6$ долл. – базовое значение капиталовложений в паровой турбоагрегат; x_j, x_j^0 – текущие и базовые значения определяющих параметров; c_i, n_j – коэффициенты приведения и показатели степени (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Table 3

Коэффициенты приведения для парового турбоагрегата**Correction coefficients for a steam turbine**

| Влияющий фактор | Характеристика фактора | Обозначение | Значение |
|-------------------------------|--|-------------|----------|
| Тип турбоагрегата | К-турбина | C_1 | 1,0 |
| | Т-турбина | | 1,3 |
| | ПТ-турбина | | 1,4 |
| | Р-турбина | | 0,6 |
| Регион строительства | Европейская часть | C_2 | 1,0 |
| | Сибирь | | 1,03 |
| | Дальний Восток | | 1,06 |
| Демонтаж и компенсация аварий | Демонтаж после выработки срока эксплуатации и компенсация аварий | C_3 | 1,2 |

Таблица 4

Table 4

Базовые параметры и показатели степени для парового турбоагрегата

Basic parameters and exponent indexes for a steam turbine

| Наименование | Параметры | | Показатель степени | |
|---|-------------|----------|--------------------|--|
| | Обозначение | Значение | Обозначение | Значение |
| Установленная мощность парового турбоагрегата, МВт (N – мощность, МВт) | x_1^0 | 30 | n_1 | < 330 МВт: 0,8 > 330 МВт: $0,94 \dots 4,24 \cdot 10^{-4} \cdot N$ |
| Давление перегретого пара, МПа | x_2^0 | 14 | n_2 | 0,22 |
| Температура перегретого пара, °С | x_3^0 | 545 | n_3 | 1,0 |
| Температура пара промпрегрева, °С | x_4^0 | 545 | n_4 | 1,3 |
| Количество ЦНД | x_5^0 | 1 | n_5 | 0,2 |
| Количество ЦСД + ЦВД | x_6^0 | 1 | n_6 | 0,3 |
| Число часов использования установленной мощности, ч/год | x_7^0 | 6000 | n_7 | 0,2 |

Выражение для определения капиталовложений в электрооборудование, включая электрогенератор, трансформатор, возбудитель генератора, автоматику и КИП, распредустройство, связь с энергосистемой, имеет вид

$$K_{\text{эл}} = K_0^{\text{эл}} C_1 \prod_{j=3}^7 \left(\frac{x_j}{x_j^0} \right)^{n_j} \quad (5)$$

Здесь $K_{\text{эл}}$ – капиталовложения в электрооборудование; $K_0^{\text{эл}} = 11,6 \cdot 10^6$ долл. – базовое значение капиталовложений в электрооборудование; c_1 – коэффициент приведения, учитывающий регион строительства (табл. 5); x_j, x_j^0, n_j – текущие и базовые значения определяющих параметров, показатели степени (табл. 6).

Таблица 5

Table 5

Коэффициент приведения для электрооборудования

Correction coefficients for electrical equipment

| Влияющий фактор | Характеристика фактора | Обозначение | Значение |
|----------------------|------------------------|-------------|----------|
| Регион строительства | Европейская часть | C_1 | 1,0 |
| | Сибирь | | 1,03 |
| | Дальний Восток | | 1,06 |

Таблица 6

Table 6

Базовые параметры и показатели степени для электрооборудования

Basic parameters and exponent indexes for electrical equipment

| Наименование | Параметры | | Показатель степени | |
|---|-------------|----------|--------------------|----------|
| | Обозначение | Значение | Обозначение | Значение |
| Установленная мощность электрогенератора, МВт | x_1^0 | 100 | n_1 | 0,9 |
| Собственные нужды энергоблока, % | x_2^0 | 5 | n_2 | 0,2 |
| Число часов использования установленной мощности, ч/год | x_3^0 | 6000 | n_3 | 0,2 |

Капиталовложения во вспомогательное оборудование определяются как

$$K_{\text{всп}} = K_{\text{НПГ}} + K_{\text{ТД}} + K_{\text{топл}} + K_{\text{ДТ}} + K_{\text{ЗШ}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{НПГ}}$, $K_{\text{ТД}}$, $K_{\text{топл}}$, $K_{\text{ДТ}}$, $K_{\text{ЗШ}}$ – соответственно капиталовложения в низкопотенциальную группу (подогреватели системы регенерации, трубопроводы, деаэратор, насосы, система технического водоснабжения и охлаждения, включая градирни), тягодутьевое оборудование, систему топливоподдачи и топливоподготовки, систему газоотвода и дымовую трубу, систему золошлакоудаления.

Для каждого слагаемого уравнение капиталовложений имеет вид (1) с индивидуальными значениями базовых капиталовложений, коэффициентов приведения и показателей степеней.

Для теплофикационных энергоблоков необходимо учитывать капиталовложения в сетевую установку ($K_{\text{СУ}}$), отвечающую за отпуск теплоты от энергоблока и включающую сетевые подогреватели, трубопроводы, арматуру и насосы:

$$K_{\text{СУ}} = K_0^{\text{СУ}} \prod_{i=1}^4 c_i \prod_{j=1}^6 \left(\frac{x_j}{x_j^0} \right)^{n_j}. \quad (7)$$

Здесь $K_{\text{СУ}}$ – капиталовложения в сетевую установку; $K_0^{\text{СУ}} = 1,4 \cdot 10^6$ долл. – базовое значение капиталовложений в сетевую установку; x_j , x_j^0 – текущие и базовые значения определяющих параметров; c_i , n_j – коэффициенты приведения и показатели степени (табл. 7 и 8).

Таблица 7

Table 7

Коэффициенты приведения для сетевой установки
Correction coefficients for the heating system equipment

| Влияющий фактор | Характеристика фактора | Обозначение | Значение |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------|----------|
| Регион строительства | Европейская часть | C_1 | 1,0 |
| | Сибирь | | 1,05 |
| | Дальний Восток | | 1,1 |
| Демонтаж, компенсация аварий | После выработки ресурса | C_2 | 1,3 |
| Вид сетевой установки | С одним подогревателем | C_3 | 1 |
| | С несколькими подогревателями | | 1,2 |
| | С подключением РОУ | | 1,1 |
| Схема сетевой установки | Блочная (на каждый турбоагрегат) | C_4 | 1,0 |
| | Неблочная (с параллельными связями) | | 1,2 |

Таблица 8

Table 8

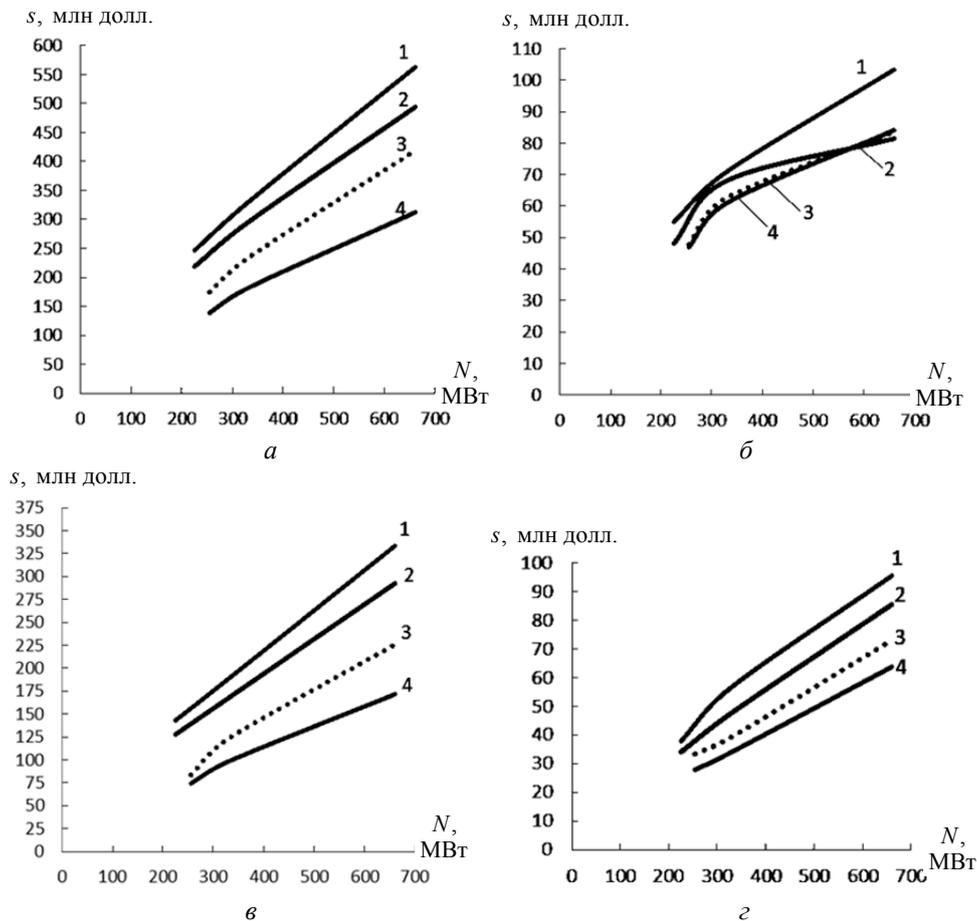
Базовые параметры и показатели степени для сетевой установки
Basic parameters and exponent indexes for the heating system equipment

| Наименование | Параметры | | Показатель степени | |
|--|-------------|----------|--------------------|----------|
| | Обозначение | Значение | Обозначение | Значение |
| Температурный напор, °С | x_1^0 | 50 | n_1 | 0,35 |
| Температура греющей среды, °С | x_2^0 | 100 | n_2 | 0,15 |
| Теплофикационная нагрузка, МВт | x_3^0 | 50 | n_3 | 0,45 |
| Мощность сетевых насосов, кВт | x_4^0 | 500 | n_4 | 0,2 |
| Расход сетевой воды, т/ч | x_5^0 | 1000 | n_5 | 0,3 |
| Продолжительность отопительного периода, ч/год | x_6^0 | 5000 | n_6 | 0,5 |

2. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Все значения базовых капиталовложений, поправочных коэффициентов и показателей степеней определены по известным соотношениям материалоемкости, затратности, технологической сложности различных технических систем [33–36] с использованием открытых заводских и проектных данных, аналитических материалов [27, 37], прайс-листов дилеров и поставщиков машин и механизмов с учетом их корректировки на современный уровень и прогнозной оценки [38–40].

С использованием настоящего подхода проведены оценки капиталовложений в энергоблоки электростанций, строящиеся в России в настоящее время. Результаты расчетов показывают хорошие совпадения с известными данными о капиталовложениях в новые электростанции [27] в разных регионах мира (рисунок).



Капиталовложения в агрегаты и системы паросилового энергоблока [27]:

a – котлоагрегат; $б$ – паровая турбина; $в$ – вспомогательное оборудование;
 $г$ – электрооборудование; 1 – Германия; 2 – США; 3 – расчет по степенной функции (РФ);
 4 – Китай

Investments in steam-power plant aggregates and systems [27]:

a is a boiler; $б$ is a steam turbine; $в$ is auxiliary equipment; $г$ is electrical equipment;
 1 is Germany; 2 is the USA; 3 is parametric power function calculation (Russia); 4 is China

Можно видеть, что капиталовложения в энергоагрегаты и системы электростанций в РФ на 20...50 % ниже, чем в США и Европе, и на 20...30 % выше, чем в Китае в зависимости от единичной мощности и вида оборудования. Расчетный показатель капиталовложений в турбоагрегаты для РФ совпадает со значением, характерным для Китая, в связи с тем, что в [27] в оценке для КНР приняты турбины Ленинградского металлического завода (ЛМЗ, Санкт-Петербург).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан способ оценки капиталовложений в основное оборудование энергоблоков электростанций и их вспомогательные системы на основе степенной параметрической функции. Способ может применяться в широком классе задач сравнения разных вариантов и тепловых схем энергоблоков: от научно-исследовательских до проектных. Показано, что капиталовложения в энергоблоки в России на 20...50 % ниже, чем в США и Европе, и на 20...30 % выше, чем в Китае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминов Р.З., Шкрет А.Ф., Гариевский М.В. Тепловые и атомные электростанции: конкурентоспособность в новых экономических условиях // Теплоэнергетика. – 2017. – № 5. – С. 5–15.
2. Хлебалин Ю.М. Модернизация промышленно-отопительных ТЭЦ со струйными компрессорами // Промышленная энергетика. – 2011. – № 2. – С. 2–5.
3. Клер Ф.М., Потанина Ю.М. Сопоставление эффективности перспективных теплоэнергетических установок на органическом топливе // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2004. – № 1. – С. 72.
4. Учет экономических показателей при переходе на высокое давление / Е.А. Кирсанова, В.А. Жила, А.К. Клочко, А.А. Малышева // Научное обозрение. – 2017. – № 5. – С. 38–41.
5. Щинников П.А. Мультиэнергоблок с комплексной переработкой твердого топлива // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2001. – № 3. – С. 83–89.
6. Щинников П.А. Многоцелевой энергоблок на твердом топливе // Российский национальный симпозиум по энергетике, 10–14 ноября 2001: материалы докладов. – Казань, 2001. – Т. 1. – С. 154–157.
7. Григорьева О.К., Францева А.А., Боруш О.В. Исследование технико-экономических показателей системы комбинированного теплоснабжения с фреоновыми термотрансформаторами // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 3 (72). – С. 145–156. – DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-145-156.
8. Морев В.Г. Влияние усреднения нагрузок на расчетный срок окупаемости капиталовложений при выборе мощности промышленной ТЭЦ 6 // Промышленная энергетика. – 2015. – № 12. – С. 6–12.
9. Юрин В.Е. Методология комплексной оценки путем совершенствования АЭС // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2019. – № 12. – С. 11–16. – DOI: 10.18635/2071-2219-2019-2-11-16.
10. Техничко-экономическая оценка получения водорода методом подземной газификации угля / Ю.В. Стефаник, В.Я. Шпет, Ю.В. Хоха, М.И. Дубына, В.М. Храмов, А.В. Волочий // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – № 4 (60). – С. 55–89.
11. Росляков П.В., Баранов В.В. Техничко-экономическая оценка перевода угольного блока мощностью 750 МВт на сухое золошлакоудаление // Энергетика и теплотехника: сборник научных трудов / под ред. П.А. Щинникова. – Новосибирск, 2019. – Вып. 22. – С. 20–32.
12. Повышение технико-экономической эффективности ТЭЦ путем перехода на новые режимы работы с внутриквартальными теплонасосными установками / В.Г. Томилов, П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, Ю.Л. Пугач // Теплофизика и аэромеханика. – 2000. – Т. 7, № 4. – С. 581–590.
13. Ноздренко Г.В., Русских Е.Е., Шепель В.С. Обоснование рационального профиля энергоблока с суперсверхкритическими параметрами пара и установками серо- и азотоочистки // Научный вестник НГТУ. – 2011. – № 1 (42). – С. 131–138.

14. Голубева Л.Ф., Григорьева О.К., Францева А.А. Применение фреоновых технологий на тепловых электрических станциях // Научный вестник НГТУ. – 2016. – № 4 (65). – С. 164–174. – DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-164-174.
15. Тугов А.Н., Родионов В.И. Возобновляемый источник энергии на основе экологически безопасного сжигания коммунальных отходов // Энергетика и теплотехника: сборник научных трудов / под ред. В.Е. Накорякова. – Новосибирск, 2017. – Вып. 21. – С. 105–112.
16. Оценка эффективности использования возобновляемых источников энергии и торфа в сельской коммунальной энергетике / Е.А. Медведева, И.Ю. Ряпин, И.В. Урванцев, В.Е. Цыба // Теплоэнергетика. – 2016. – № 9. – С. 9–19.
17. Илюшин П.В. Анализ опыта эксплуатации и причин возникновения аварий с повреждениями оборудования парогазовых установок // Энергоэксперт. – 2018. – № 3 (67). – С. 64–68.
18. Милев Р.Г., Серебрянский С.С. Техническое перевооружение энергоблока № 3 на Каширской ГРЭС – филиале ОАО «ОГК-1» // Электрические станции. – 2009. – № 6. – С. 33–37.
19. Жуков В.В., Михеев Д.В., Третьяков П.М. Оценка интегральной конкурентоспособности автономных систем энергоснабжения малой мощности по техническим, сервисным и экономическим показателям // Вестник МЭИ. – 2017. – № 3. – С. 20–27. – DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-20-27.
20. Тепловые и атомные электрические станции: справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
21. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 528 с.
22. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями: монография / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов, Ю.В. Овчинников, А.А. Ловцов, П.Ю. Коваленко, Н.Г. Зыкова, О.А. Вихман, И.В. Бородихин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 528 с.
23. Комплексный энергетический анализ энергоблоков ТЭС с новыми технологиями: монография / Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 190 с.
24. Ольховский Г.Г. Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор) // Теплоэнергетика. – 2015. – № 7. – С. 3–7.
25. Баторшин В.А. Пылеугольные энергоблоки Manjung 4 и RBK 8 // Энергетика за рубежом. – 2018. – № 2. – С. 30–39.
26. Газогенераторные технологии в энергетике: монография / А.В. Зайцев, А.Ф. Рыжков, В.Е. Силин, Р.Ш. Загруднинов, А.В. Попов, Т.Ф. Богатова. – Екатеринбург: Сократ, 2010. – 611 с.
27. Оценка стоимости строительства и эксплуатации электростанций: отчет LI 260610 / ООО «Ламайер Интернациональ Руссланд». – М.; Бад Фильбель, 2009. – URL: https://www.pr-sr.ru/ru/SR_0V001432 (дата обращения: 10.01.2020).
28. Щинников П.А., Боруш О.В. Современные и перспективные черты российского рынка энергетического машиностроения // Энергетика и теплотехника: сборник научных трудов / под ред. П.А. Щинникова. – Новосибирск, 2019. – Вып. 22. – С. 7–20.
29. Техничко-экономическая эффективность энергоблоков ТЭС / В.С. Ларионов, Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников, В.В. Зыков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 30 с.
30. Схемно-параметрическая оптимизация котлов ТЭС с кольцевой топкой / Н.Г. Зыкова, Ф.А. Серант, Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников // Теплофизика и аэромеханика. – 2003. – Т. 10, № 3. – С. 477–483.
31. Kumar R., Sharma A.Kr., Tewari P.C. Cost analysis of a coal-fired power plant using the NPV method // Journal of Industrial Engineering International. – 2015. – Vol. 11 (4). – P. 495–504. – DOI: 10.1007/s40092-015-0116-8.
32. Садкин И.С., Щинников П.А. Способ оценки капиталовложений в генерирующее оборудование при использовании газа подземной газификации угля // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов, Новосибирск, 2–6 дек. 2019 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – Ч. 4. – С. 262–264.

33. Перспективы использования технологии ЦКС при техническом перевооружении ТЭС России / Г.А. Рябов, О.М. Фоломеев, Д.С. Литун, Д.А. Санкин, И.Г. Дмитрюкова // Теплоэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 28–36.

34. Шмиголь И.Н. Проблемы и перспективы сероочистки дымовых газов ТЭС в России // Экология в энергетике: труды II международной научно-практической конференции, 19–21 октября 2005 г. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – С. 107–114.

35. Зайченко В.М., Штильрайн Э.Э., Штеренберг В.Я. Экономические аспекты снижения потребления природного газа на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. – 2001. – № 7. – С. 15–18.

36. Тумановский А.Г., Котлер В.Р. Перспективы решения экологических проблем тепловых электростанций // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 5–11.

37. Black J. Cost and performance baseline for fossil energy plants. Vol. 1. Bituminous coal and natural gas to electricity: Final Report DOE/2010/1397 / National Energy Technology Laboratory. – Rev. 2. – Pittsburgh, PA, USA, 2010. – 626 p.

38. Комплексная оценка эффективных масштабов обновления тепловых электростанций при обосновании рациональной структуры генерирующих мощностей на перспективу до 2035 г. / Ф.В. Веселов, И.В. Ерохина, А.С. Макарова, А.А. Хоршев // Теплоэнергетика. – 2017. – № 3. – С. 5–14.

39. Тумановский А.Г. Перспективы развития угольных ТЭС России // Теплоэнергетика. – 2017. – № 6. – С. 3–13.

40. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года: утв. Министром энергетики Российской Федерации 14 октября 2016 года. – М.: Минэнерго России, 2016. – 106 с.

Щинников Павел Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – теплоэнергетика и теплотехника. Имеет более 260 публикаций. E-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

Францева Алина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – теплоэнергетика и теплотехника. Имеет более 30 публикаций. E-mail: frantsevaalina@gmail.com

Садкин Иван Сергеевич, студент кафедры тепловых электрических станций факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – теплоэнергетика и теплотехника. Имеет 5 публикаций. E-mail: sadkinvanya@mail.ru

Shchinnikov Pavel A., D.Sc. (Eng.), professor of the department of thermal power plants at the Faculty of Power Engineering of Novosibirsk State Technical University. The main area of his research is heat power engineering. He is the author of more than 260 publications. E-mail: shchinnikov@corp.nstu.ru

Frantseva Alina A., PhD (Eng.), associate professor at the department of thermal power plants at the Faculty of Power Engineering of Novosibirsk State Technical University. The main area of her research is heat power engineering. She is the author of more than 30 publications. E-mail: frantsevaalina@gmail.com

Sadkin Ivan S., student at the department of thermal power plants at the Faculty of Power Engineering of Novosibirsk State Technical University. The main field of his research is heat power engineering. He has 5 publications. E-mail: sadkinvanya@mail.ru

Aggregate estimation of investments in power plant units using a parametric power function*

P.A. SHCHINNIKOV^a, A.A. FRANTSEVA^b, I.S. SADKIN^c

Novosibirsk State Technical University, 20 K Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^a shchinnikov@corp.nstu.ru ^b frantsevaalina@gmail.ru ^c sadkinvanya@mail.ru

Abstract

In the course of designing new generating equipment for power plants and their thermal circuits, in the absence of information about their cost, analog indicators and/or expert assessments are used in the design practice. This approach allows us to compare various options if they can be brought to a comparable form and when the same type of equipment is used. When it is necessary to compare options that differ not only in the specified capacity, but also in the equipment configuration, a more accurate assessment of investment is required.

The article proposes a method for estimating capital investment in power plants using a power parametric function. Capital investment is assessed for each unit of the power plant and its engineering system. A special feature of the approach is that the higher the cost of the unit is, the higher its thermodynamic characteristics, power, time of load use, etc. These factors are taken into account by the exponent in the power function. In addition, the correction coefficients take into account the configuration of the equipment, its climatic design, and configuration features. The combination of factors that are taken into account in the power function makes it possible to obtain an estimate of the cost of equipment in different versions. The uniformity of the problem statement makes it possible to apply the approach both to design tasks and to scientific and applied tasks of comparing the existing, newly developed and promising technologies.

This paper presents the updating and development of the method developed in previous years at the department of thermal power plants of NSTU. Equations for determining investment in the main units and technical systems of power plants are presented. Estimates of investment in power plants currently under construction in Russia are made. It is shown that investment in power plants in Russia is 20-50% lower than in the USA and Europe, and 20-30% higher than in China.

Keywords: investments in a power unit; method of evaluating investments; parametric power function; power estimation method; cost of a power plant; capital investments in power engineering

REFERENCES

1. Aminov R.Z., Shkret A.F., Garievskii M.V. Thermal and nuclear power plants: Competitive-ness in the new economic conditions. *Thermal Engineering*, 2017. vol. 64, no. 5, pp. 319–328. DOI: 10.1134/S0040601517050019. Translated from *Teploenergetika*, 2017, no. 5, pp. 5–15.
2. Khlebalin Yu.M. Modernizatsiya promyshlennno-otopitel'nykh TETs so struinymi kompres-sorami [Modernization of industrial heating power plants with jet compressors]. *Promyshlennaya energetika = Industrial power engineering*, 2011, no. 2, pp. 2–5.
3. Kler F.M., Potanina Yu.M. Sopostavlenie effektivnosti perspektivnykh teploenergetich-eskikh ustanovok na organicheskom toplive [Comparison of efficiency of perspective fossil thermal power plants]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2004, no. 1, p. 72.

* Received 27 March 2020.

4. Kirsanova E.A., Zhila V.A., Klochko A.K., Malysheva A.A. Uchet ekonomicheskikh pokazatelei pri perekhode na vysokoe davlenie [Consideration of economic indicators when switching to high pressure]. *Nauchnoe obozrenie = Scientific review*, 2017, no. 5, pp. 38–41.
5. Shchinnikov P.A. Mul'tienergoblok s kompleksnoi pererabotkoi tverdogo topliva [Multi-power unit with integrated solid fuel processing]. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*, 2001, no. 5, pp. 83–89.
6. Shchinnikov P.A. [Multi-purpose solid fuel power unit]. *Rossiiskii natsional'nyi simpozium po energetike* [Russian national Symposium on energy], November 10–14, 2001: Materials of reports. Kazan, 2001, vol. 1, pp. 154–157. (In Russian).
7. Grigorieva O.K., Frantseva A.A., Borush O.V. Issledovanie tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei sistemy kombinirovannogo teplosnabzheniya s freonovymi termotransformatorami [Study of technical and economic performance of the combined heat supply system with freon thermal transformers]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 3 (72), pp. 145–156. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-3-145-156.
8. Morev V.G. Vliyaniye usredneniya nagruzok na raschetnyi srok okupaemosti kapitalovlozhenii pri vybore moshchnosti promyshlennoi TETs 6 [Influence of load averaging on the estimated payback period of investments when choosing the capacity of an industrial CHPP 6]. *Promyshlennaya energetika = Industrial power engineering*, 2015, no. 12, pp. 6–12.
9. Yurin V.E. Metodologiya kompleksnoi otsenki putem sovershenstvovaniya AES [A comprehensive assessment methodology of nuclear power plant improvements]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Safety and Energy Economy*, 2019, no. 12, pp. 6–12. DOI: 10.18635/2071-2219-2019-2-11-16.
10. Stefanik Yu.V., Shpet V.Ya., Hoha Yu.V., Dubyna M.I., Hramov V.M., Volochij A.V. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka polucheniya vodoroda metodom podzemnoi gazifikatsii uglia [Technical and economic assessment of hydrogen production by underground coal gasification]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya = International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2008, no. 4 (60), pp. 55–89. (In Russian).
11. Roslyakov P.V., Baranov V.V. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka perevoda ugol'nogo bloka moshchnost'yu 750 MVt na sukhoe zoloshlakoudalenie [Technical and economic assessment of the transfer of a coal block with a capacity of 750 MW to dry ash and slag removal]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Ed. by P.A. Shchinnikov. Novosibirsk, 2019, vol. 22, pp. 20–32.
12. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Tomilov V.G., Pugach Yu.L. Povyshenie tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti TETs putem perekhoda na novye rezhimy raboty s vnutrikvartal'nymi teplonasosnymi ustanovkami [Improving the technical and economic efficiency of thermal power plants by switching to new modes of operation with intra-block heat pump installations]. *Teplofizika i aeromekhanika = Thermophysics and Aeromechanics*, 2000, vol. 7, no. 4, pp. 581–590. (In Russian).
13. Nozdrenko G.V., Russkikh E.E., Shepel' V.S. Obosnovanie ratsional'nogo profilya energobloka s supersverkhkriticheskimi parametrami para i ustanovkami sero- i azotoochistki [Rational profile substantiation for an ultra-supercritical power unit with desulphurization and denitrification systems]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2011, no. 1 (42), pp. 131–138.
14. Golubeva L.F., Grigoryeva O.K., Frantseva A.A. Primeneniye freonovykh tekhnologii na teplovykh elektricheskikh stantsiyakh [The application of Freon technologies at heat power stations]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 4 (65), pp. 164–174. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-164-174.
15. Tugov A.N., Rodionov V.I. Vozobnovlyayemyi istochnik energii na osnove ekologicheskoi bezopasnoy szhiganiya kommunal'nykh otkhodov [Renewable energy source based on environmentally safe combustion of municipal waste]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Ed. by V.E. Nakoryakov. Novosibirsk, 2017, vol. 21, pp. 105–112.
16. Medvedeva E.A., Ryapin I.Y., Urvatsev I.V., Tsyba V.Y. Evaluation of the use of renewable energy sources and peat in rural municipal economy. *Thermal Engineering*, 2016, vol. 63, no. 9, pp. 611–620. DOI: 10.1134/S0040601516090056. Translated from *Teploenergetika*, 2016, no. 9, pp. 9–19.
17. Ilyushin P.V. Analiz opyta ekspluatatsii i prichin vozniknoveniya avarii s povrezhdeniyami oborudovaniya parogazovykh ustanovok [Analysis of operational experience and causes of accidents

with damage to the equipment of steam and gas installations]. *Energoekspert = Energoexpert*, 2018, no. 3 (67), pp. 64–68.

18. Milyaev R.G., Serebryanskii S.S. Tekhnicheskoe perevooruzhenie energobloka № 3 na Kashirskoi GRES – filiale OAO "OGK-1" [Technical re-equipment of power unit №3 at Kashirskaya GRES- a branch of JSC 'OGK-1']. *Elektricheskie stantsii = Power Plants*, 2009, no. 6, pp. 33–37.

19. Zhukov V.V., Mikheev D.V., Tret'yakov P.M. Otsenka integral'noi konkurentosposobnosti avtonomnykh sistem energosnabzheniya maloi moshchnosti po tekhnicheskim, servisnym i ekonomicheskim pokazatelyam [Evaluating the integral competitiveness of small-capacity autonomous power supply systems in terms of technical, service and economic indicators]. *Vestnik MEI = MPEI Vestnik*, 2017, no. 3, pp. 20–27. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-3-20-27.

20. Grigoriev V.A., Zorin V.M., eds. *Teplovye i atomnye elektricheskie stantsii: spravochnik* [Thermal and nuclear power stations: the reference book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 608 p.

21. Klimenko A.V., Zorin V.M., eds. *Teploenergetika i teplotekhnika. Obshchie voprosy: spravochnik* [Heat power engineering and heat engineering. General questions: the reference book]. Moscow, MEI Publ., 1999. 528 p.

22. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Tomilov V.G., Ovchinnikov Yu.V., Lovtsov A.A., Kovalenko P.Yu., Zykova N.G., Vikhman O.A., Borodikhin I.V. *Kompleksnye issledovaniya TES s novymi tekhnologiyami* [Complex research of TPP with new technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2005. 528 p.

23. Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., eds. *Kompleksnyi eksergeticheskii analiz energoblokov TES s novymi tekhnologiyami* [Complex exergetic analysis of TPP power units with new technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2009. 190 p.

24. Ol'khovskii G.G. Solid fuel gasification in the global energy sector (A review). *Thermal Engineering*, 2015, vol. 62, no. 7, pp. 465–472. DOI: 10.1134/S0040601515070071. Translated from *Teploenergetika*, 2015, no. 7, pp. 3–7.

25. Batorshin V.A. Pyleugol'nye energobloki Manjung 4 i RBK 8 [Pulverized coal power units Manjung 4 and RBK 8]. *Energetika za rubezhom = Power engineering abroad*, 2018, no. 2, pp. 30–39.

26. Zaitsev A.V., Ryzhkov A.F., Silin V.E., Zagrutdinov R.Sh., Popov A.V., Bogatova T.F. *Gazogeneratornye tekhnologii v energetike* [Gas-generating technologies in power engineering]. Ekaterinburg, Sokrat Publ., 2010. 611 p.

27. *Otsenka stoimosti stroitel'stva i ekspluatatsii elektrostantsii* [Estimation of the cost of construction and operation of power plants]. Report LI 260610. Lahmeyer International Russland. Moscow, Bad Vilbel, 2009. (In Russian). Available at: https://www.np-sr.ru/ru/SR_0V001432 (accessed 17.10.2020).

28. Shchinnikov P.A., Borush O.V. Sovremennye i perspektivnye cherty rossiiskogo rynka energeticheskogo mashinostroeniya [Modern and promising features of the Russian power engineering market]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Ed. by P.A. Shchinnikov. Novosibirsk, NSTU Publ., 2019, vol. 22, pp. 7–20.

29. Larionov V.S., Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Zikov V.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' energoblokov TES* [Technical and economic efficiency of TPP power units]. Novosibirsk, NSTU Publ., 1998. 31 p.

30. Zykova N.G., Serant F.A., Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A. Skhemno-parametricheskaya optimizatsiya kotlov TES s kol'tsevoi topkoi [Scheme and parameter optimization of TEP boilers with an annular furnace]. *Teplofizika i aeromehanika = Thermophysics and Aeromechanics*, 2003, no. 3, pp. 477–483. (In Russian).

31. Kumar R., Sharma A.Kr., Tewari P.C. Cost analysis of a coal-fired power plant using the NPV method. *Journal of Industrial Engineering International*, 2015, vol. 11 (4), pp. 495–504. DOI: 10.1007/s40092-015-0116-8.

32. Sadkin I.S., Shchinnikov P.A. [Method for evaluating capital investment in generating equipment for using underground coal gasification gas]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii* [Science. Technologies. Innovation], Novosibirsk, December 2–6, 2019, pt. 4, pp. 262–264. (In Russian).

33. Ryabov G.A., Folomeev O.M., Litun D.S., Sankin D.A., Dmitriyukova I.G. Prospects for using the technology of circulating fluidized bed for technically refitting. *Thermal Engineering*, 2009, vol. 56, no. 1, pp. 31–40. DOI: 10.1134/S0040601509010066. Translated from *Teploenergetika*, 2009, no. 1, pp. 28–36.

34. Shmigol' I.N. [Problems and prospects of flue gas desulphurization at TPP in Russia]. *Ekologiya v energetike: trudy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Ecology in

energy: Proceedings of the II International scientific and practical conference], 19–21 October 2005, Moscow, pp. 107–114. (In Russian).

35. Zaichenko V.M., Shpil'rain E.E., Shterenberg V.Ya. Ekonomicheskie aspekty snizheniya potrebleniya prirodnogo gaza na teplovykh elektrostantsiyakh [Economic aspects of reducing natural gas consumption at thermal power plants]. *Teploenergetika* = *Thermal Engineering*, 2001, no. 7, pp. 15–18. (In Russian).

36. Tumanovskii A.G., Kotler V.R. Prospects for solving environmental problems pertinent to thermal power stations. *Thermal Engineering*, 2007, vol. 54, no. 6, pp. 424–431. DOI: 10.1134/S004060150706002X. Translated from *Teploenergetika*, 2007, no. 6, pp. 5–11.

37. Black J. *Cost and performance baseline for fossil energy plants. Vol. 1. Bituminous coal and natural gas to electricity*. Final Report DOE/2010/1397. National Energy Technology Laboratory. Rev. 2. Pittsburgh, PA, USA, 2010. 626 p.

38. Veselov F.V., Erokhina I.V., Makarova A.S., Khorshev A.A. Comprehensive assessment of the effective scope of modernization of thermal power plants to substantiate the rational structure of the generating capacities for the future until 2035. *Thermal Engineering*, 2017, vol. 64, no. 3, pp. 161–169. DOI: 10.1134/S0040601517030107. Translated from *Teploenergetika*, 2017, no. 3, pp. 5–14.

39. Tumanovskii A.G. Prospects for the development of coal-steam plants in Russia. *Thermal Engineering*, 2017, vol. 64, no. 6, pp. 399–407. DOI: 10.1134/S0040601517060088. Translated from *Teploenergetika*, 2017, no. 6, pp. 3–13.

40. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya otraslei toplivno-energeticheskogo kompleksa Rossii na period do 2035 goda* [Forecast of scientific and technological development of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2035]. Approved on October 14, 2016. Moscow, Ministry of Energy of Russia Publ., 2016. 106 p.

Для цитирования:

Щинников П.А., Францева А.А., Садкин И.С. Поагрегатная оценка капиталовложений в энергоблоки электростанций с использованием параметрической степенной функции // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 2–3 (79). – С. 123–138. – DOI: 10.17212/1814-1196-2020-2-3-123-138.

For citation:

Shchinnikov P.A., Frantseva A.A., Sadkin I.S. Poagregatnaya otsenka kapitalovlozhenii v energobloki elektrostantsii s ispol'zovaniem parametricheskoi stepennoi funktsii [Aggregate estimation of investments in power plant units using a parametric power function]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 2–3 (79), pp. 123–138. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-2-3-123-138.