

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье проводится анализ эффективности использования ресурсосберегающих технологий на предприятиях машиностроительного комплекса. С переходом производственно-хозяйственных систем к работе в условиях формирования шестого технологического уклада вопросы повышения эффективности производственных процессов приобретают особую значимость и актуальность. Цель статьи заключается в обобщении основных тенденций по внедрению ресурсосберегающих технологий на предприятиях машиностроительного комплекса экономики и разработке математической модели, позволяющей оценить эффективность применения систем ресурсосбережения. Представленные результаты исследования имеют важное народнохозяйственное значение не только для машиностроительного комплекса в целом, но и могут быть использованы отдельными предприятиями реального сектора экономики для оценки уровня эффективности внедряемых и используемых ресурсосберегающих технологий, выраженного через прирост создаваемой добавленной стоимости.

**Ключевые слова:** снижение энергоёмкости ВВП, сокращение потерь в заводских электросетях, потребление электроэнергии на одного занятого, дескриптивная статистика энергоёмкости промышленного комплекса, структура потребления электроэнергии по электробалансу, доля потребления электроэнергии в общем объеме потребления электроэнергии.

*Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-2600.2020.6. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00655.*

**Введение.** С переходом производственно-хозяйственных систем к работе в условиях формирования шестого технологического уклада вопросы повышения эффективности производственных процессов приобретают особую значимость и актуальность. Конкурентоспособность секторов экономики как на мегауровне, так и на макроуровне производственной системы во многом определяется способностью субъектов промышленного производства обеспечить своевременное внедрение ресурсосберегающих технологий.

При этом сфера ресурсосбережения определяет использование возобновляемых источников энергии, уровень потребления топливно-энергетических ресурсов по всей технологической цепочке, производительность труда производственного персонала и т.п.

В этой связи полагаем, что вопросы оценки эффективности внедрения и использования ресурсосберегающих технологий в машиностроительном комплексе отличаются сложностью и актуально-

стью, что ставит их в разряд первоочередных при реализации промышленной политики на государственном уровне управления, а также при осуществлении стратегий развития машиностроительного производства на конкретных предприятиях.

**Постановка задачи.** Цель статьи заключается в обобщении основных тенденций по внедрению ресурсосберегающих технологий на предприятиях машиностроительного комплекса экономики и разработке математической модели, позволяющей оценить эффективность их применения. Исходя из цели, задачами статьи являются:

- оценить основные тенденции энергоёмкости машиностроительной промышленности и уровня потребления электроэнергии и топливно-энергетических ресурсов на машиностроительных предприятиях;
- проанализировать структуру потребления электроэнергии по электробалансу;
- разработать экономико-математическую модель, позволяющую оценить эффективность ис-

пользования ресурсосберегающих технологий в машиностроительной промышленности.

**Теория.** В соответствии с исследованиями Fotourehchi [1], энергия является ключевым компонентом формирования уровня технологичности производства и составляет основу построения современных производственно-экономических отношений. Тем не менее скорость истощения источников энергии сделала необходимостью прибегать к использованию возобновляемых источников энергии, которые также при этом являются чистыми, обходятся дешевле и оказывают устойчивое влияние на развитие производственных процессов [2]. Именно по этой причине все большее число эмпирических исследователей в последнее десятилетие посвящены исследованиям того, какую роль играет потребление возобновляемой энергии в машиностроительном комплексе.

Проблема влияния потребления ресурсосберегающих технологий на результаты производственно-хозяйственной деятельности в промышленности находила должное внимание на многих международных симпозиумах и форумах. В частности, данной проблеме уделяется пристальное внимание в странах Центральной и Восточной Европы, странах Ближнего Востока, Северной и Южной Америки, G7, в Организации экономического сотрудничества и развития стран и т.п. Исследования о влиянии потребления возобновляемых источников энергии на уровень развития промышленного производства также исследуется на уровне отдельных государств — например, Южной Кореи, Вьетнама, Туниса, Литвы, Индии, Бразилии, Индонезии и других. Еще одна большая группа стран, которая проводит исследования по данной проблематике, — это государства БРИКС: Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южная Африка [3]. Вопросы ресурсоэффективности и использования возобновляемых источников ресурсов подробно рассматриваются в работах зарубежных авторов: Choi D., Hwang T. [4]; Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M., Koh S. L., Rosa P. [5]; Dellano-Paz F., Calvo-Silvosa A., Iglesias Antelo S., Soares I. [6] и других.

Среди российских ученых проблема использования ресурсосберегающих технологий нашла отражение в работах следующих авторов: В. П. Мешалкин рассматривает современные концепции интенсификации и оптимизации энергоресурсоэффективности производств и цепей поставок нефтегазохимического комплекса [7], В. А. Налетов

сосредотачивает внимание на оптимальной организации химико-технологических систем на примере технологий переработки природных энергоносителей [8], А. И. Шинкевич выявляет пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации [9]. Влияние научно-технического прогресса на уровень организации производственных и экономических процессов в различных секторах экономики рассмотрены в работах [10–12].

На сегодняшний день существующие литературные обзоры указывают на противоречивость результатов между потреблением возобновляемых ресурсов и эффективностью производства. В целом их можно резюмировать следующим образом. Во-первых, потребление возобновляемых ресурсов оказывает положительное влияние на результативность производственных процессов. Во-вторых, возобновляемые источники ресурсов могут негативно влиять на экономический рост. В-третьих, допускается взаимовлияние уровня организации производства и эффективности использования ресурсосберегающих технологий в промышленности. В-четвертых, экономический рост оказывает обратное воздействие на потребление возобновляемых ресурсов. В-пятых, не выявлено зависимости между уровнем потребления возобновляемых ресурсов и эффективностью производства. В-шестых, нелинейная функция описывает связь между потреблением возобновляемых ресурсов и экономическим ростом. Указанные противоречия свидетельствуют о том, что отношения между тремя переменными — ресурсосберегающими технологиями, эффективностью производства и экономическим ростом еще неубедительны и нуждаются в дальнейшем изучении. Данные аспекты имеют высокую значимость и для машиностроительной отрасли.

**Результаты экспериментов.** (Исследование выполнено по материалам Росстата [13].) Одним из основных показателей эффективности организации производственных процессов на макроуровне является уровень энергоёмкости экономики. В российском промышленном комплексе отмечается ежегодная тенденция снижения данного показателя, что свидетельствует о сокращении энергетической нагрузки на создаваемую добавленную стоимость (рис. 1)

Так, энергоёмкость ВВП сократилась с 129,62 в 2012 г. до 99,95 кг условного топлива на 10 тыс.

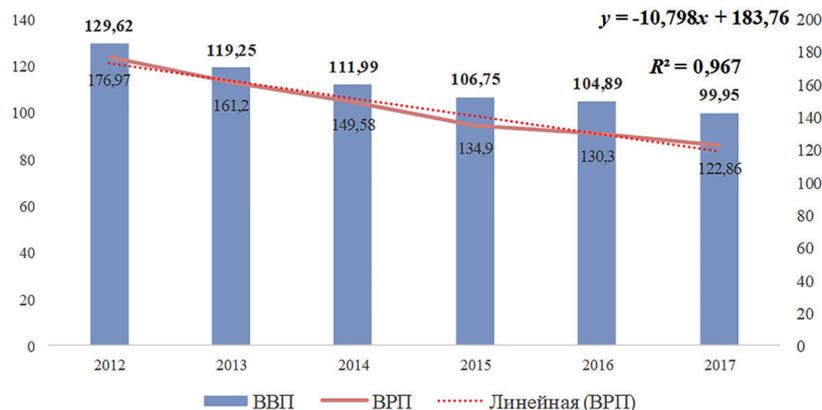


Рис. 1. Энергоёмкость ВВП (кг условного топлива на 10 тыс. рублей)

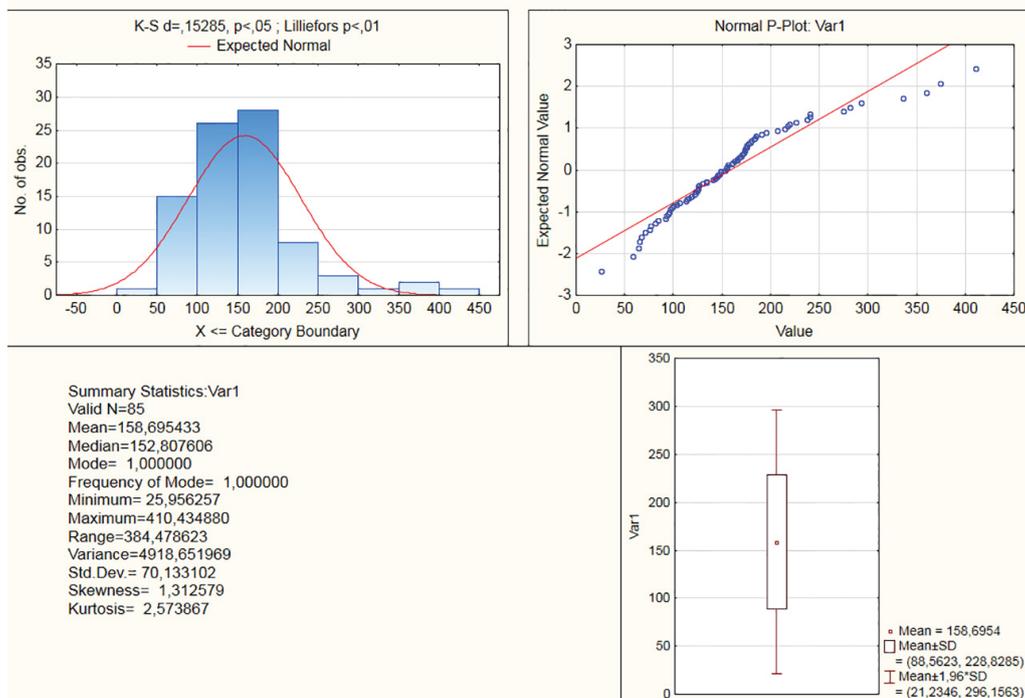


Рис. 2. Дескриптивная статистика энергоёмкости промышленного комплекса регионов РФ

рублей в 2018 г., темп снижения составил 22,9 %. На региональном уровне показатель энергоёмкости экономики был несколько выше, однако также характеризовался уменьшением — с 176,97 до 122,86 кг условного топлива на 10 тыс. рублей (темп снижения — 30,6 %). Среди субъектов Российской Федерации наибольший уровень энергоёмкости ВРП отмечался в таких регионах, как Вологодская (410,43 кг условного топлива на 10 тыс. рублей), Липецкая (374,04), Кемеровская области (360,48), Республика Хакасия (336,16) и Республика Тыва (292,93). В 2018 г. относительно 2012 г. уровень энергоёмкости промышленности в данных регионах сократился следующим образом: в Липецкой области на 37,6 %, в Республике Хакасия на 37,1 %, в Республике Тыва на 33,5 %, в Кемеровской области на 33,4 %, в Вологодской области — на 23,2 %.

Дескриптивный анализ уровня энергоёмкости промышленности в региональном разрезе показал незначительную правостороннюю асимметрию в ряду распределения, о чем свидетельствует значение коэффициента асимметрии, который составил 1,3. Значение медианы несколько меньше, чем ранее значение, что также подтверждает гипотезу о правосторонней асимметрии. Таким образом, ряд распределения незначительно отличается от закона нормального распределения величин, что также подтверждается тестом Колмогорова — Смирнова, где  $p$ -значение составило менее 0,05. Следовательно, для большей части регионов РФ было характерно превышение уровня энергоёмкости промышленного комплекса, нежели в целом по Российской Федерации. Размах вариации составил 384,47 кг условного топлива на 10 тыс. рублей; коэффициент осцилляции — 2,4, следовательно, разброс значений внутри ряда распределения от максимального до минимального в 2,4 раза превышал средний уровень по всем регионам РФ, что является существенным. Среднеквадратическое отклонение составило 70,13 кг условного топлива на 10 тыс. рублей; коэффициент вариации — 44,2 %, что также подтвержда-

ет гипотезу о высоком разбросе регионов по уровню энергоёмкости промышленности (рис. 2).

Анализ частот распределения регионов РФ по уровню энергоёмкости промышленности показал, что один субъект — г. Москва имеет самую низкую энергоёмкость — 25,96 кг условного топлива на 10 тыс. рублей. Наиболее многочисленные группы были представлены регионами с энергоёмкостью от 150–200 кг условного топлива на 10 тыс. рублей (28 республик и областей), от 100–150 кг условного топлива на 10 тыс. рублей (26 республик и областей) и от 50–100 кг условного топлива на 10 тыс. рублей (15 республик и областей) (табл. 1).

Аналогично положительная динамика фиксируется по доле энергетических ресурсов, производимых с использованием возобновляемых источников энергии, в общем объеме энергетических ресурсов на предприятиях машиностроительного комплекса, значение которых возросло с 15,5 % в 2012 г. до 17,3 % в 2018 г.

В структуре электропотребления машиностроительных предприятий более половины — 54,7 % по итогам 2018 г. приходилось на двигательную силу, при этом по сравнению с 2013 г. значение показателя увеличилось на 0,9 процентных пункта, максимальное значение фиксировалось в 2015 г. — 55,1 %. Около четверти (24,8 % в 2018 г.) приходилось на энергозатраты по технологическим нуждам, пятую часть (20,5 %) составляли потери в заводских электросетях (рис. 3). Таким образом, уровень энергозатрат, в том числе потери электроэнергии, остаются значительными в машиностроительном комплексе.

Примерно на одном уровне за период 2012–2017 г. остается потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого — 12,8 тонны условного топлива (т.у.т.), при этом наиболее энергетически емкими явились предприятия по добыче полезных ископаемых — 69,7 т.у.т., обеспечению электрической энергией и водоснабжением —

Таблица частот для регионов РФ по уровню энергоёмкости промышленности

Значение энергоёмкости	Число регионов	Процент	Накопленный процент
$0,000000 < x \leq 50,000000$	1	1,17647	1,1765
$50,000000 < x \leq 100,000000$	15	17,64706	18,8235
$100,000000 < x \leq 150,000000$	26	30,58824	49,4118
$150,000000 < x \leq 200,000000$	28	32,94118	82,3529
$200,000000 < x \leq 250,000000$	8	9,41176	91,7647
$250,000000 < x \leq 300,000000$	3	3,52941	95,2941
$300,000000 < x \leq 350,000000$	1	1,17647	96,4706
$350,000000 < x \leq 400,000000$	2	2,35294	98,8235
$400,000000 < x \leq 450,000000$	1	1,17647	100,0000

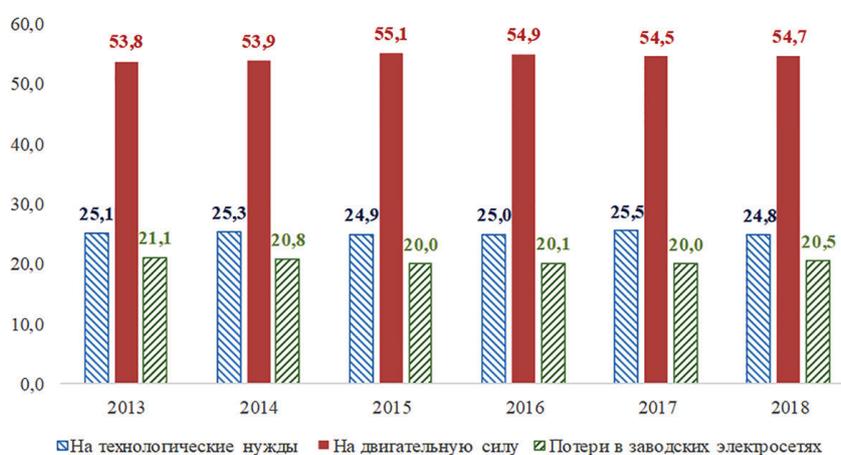


Рис. 3. Доля потребления электроэнергии в общем объеме потребления электроэнергетики машиностроительных предприятий (процент)

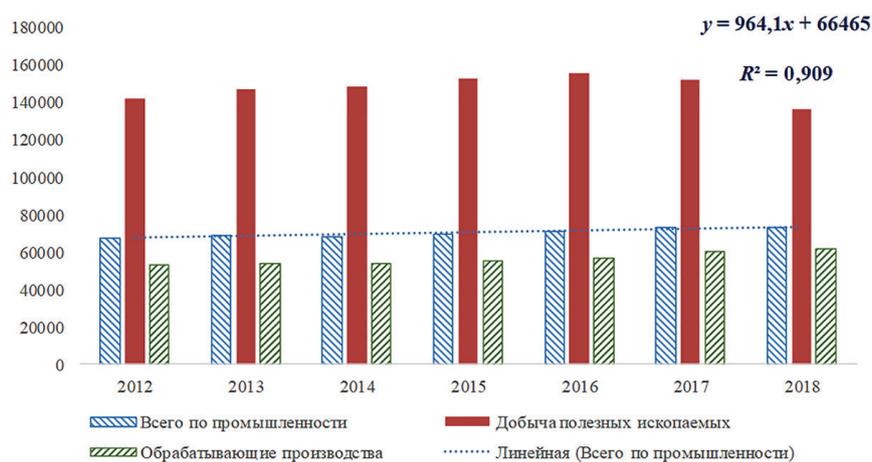


Рис. 4. Потребление электроэнергии на одного занятого в машиностроительном производстве (кВт·ч)

28,1 т.у.т., обрабатывающие производства (в том числе машиностроительный комплекс) — 28 т.у.т., транспортировка и хранение — 12,6 т.у.т.

На 8,2 % в 2018 г. по сравнению с 2012 г. увеличилось потребление электроэнергии в машиностроительном комплексе в расчете на одного занятого,

составив 72 955 кВт·ч, что также демонстрирует регрессионная модель тренда данного показателя — коэффициент эластичности модели составил 964,1, т.е. в среднем каждый год потребление электроэнергии возрастало на данную величину (рис. 4). Рост потребления электроэнергии был обуслов-

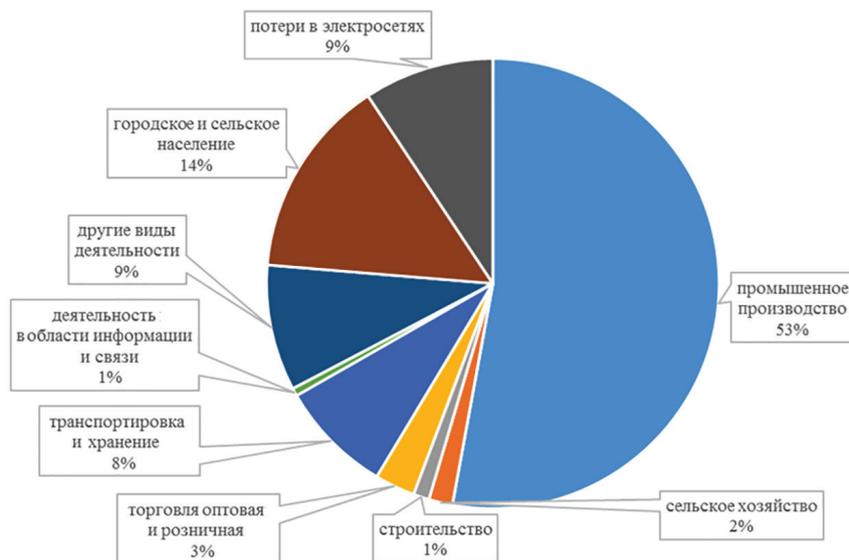


Рис. 5. Структура потребления электроэнергии по электробалансу в 2018 г. (процент)

лен прежде всего увеличением данного показателя на предприятиях обрабатывающего сектора, где его значение возросло со 52 902 кВт·ч в 2012 г. до 61 624 кВт·ч в 2018 г. (прирост составил 16,5 %). На предприятиях по добыче полезных ископаемых, напротив, наблюдалось снижение со 142 054 до 136 435 кВт·ч (темп снижения — 4 %).

Немаловажное значение при оценке эффективности ресурсосберегающих технологий в промышленности имеет анализ структуры электробаланса. По итогам 2018 г. на территории Российской Федерации было произведено 1 115 087,6 млн кВт·ч электроэнергии, из которых 5 131,9 млн кВт·ч (0,5 %) было получено из-за пределов РФ; отпущено за пределы РФ 12 085,5 млн кВт·ч (1,1 %). Потребление электроэнергии составило 1 108 134 млн кВт·ч, из которых наибольшая доля приходилась на промышленные предприятия — 52,9 %, потери в электросетях — 9,3 %, транспортировку и хранение — 8,1 % (рис. 5).

**Обсуждение экспериментов.** В целях выявления ключевых факторов, демонстрирующих эффективность использования ресурсосберегающих технологий в машиностроительном комплексе представляется целесообразным на основе рассмотренных показателей оценить их вклад в динамику энергоёмкости ВВП. Для этого воспользуемся процедурой регрессионного анализа с методом пошагового включения переменных в модель для нахождения максимальной значимости статистических параметров. В качестве зависимой переменной ( $Y$ ) будет выступать энергоёмкость ВВП (кг условного топлива на 10 тыс. рублей); независимыми:

$X_1$  — доля потребления электроэнергии на технологические нужды в машиностроении (процент);

$X_2$  — доля потребления электроэнергии на двигательную силу в машиностроении (процент);

$X_3$  — потери в заводских электросетях в машиностроении (процент);

$X_4$  — потребление электроэнергии на одного занятого в машиностроении (кВт·ч).

Инструментом для анализа использован программный продукт Statistica.

В результате моделирования было получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$Y = 260 + 19,7X_3 + 0,07X_4.$$

Полученная модель является статистически значимой, т.к. коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил 0,97;  $p$ -значение коэффициентов модели меньше, чем 0,05; значимость критерия Фишера ( $F$ -критерий) менее 5 %; стандартная ошибка — 4 %; среднее значение остатков модели стремится к нулю. Об адекватности полученной модели также свидетельствует график исходных и предсказанных значения энергоёмкости ВВП (рис. 6).

Исходя из полученного уравнения регрессии, можно заключить, что снижение уровня энергоёмкости ВВП было обусловлено сокращением потерь в заводских электросетях, которые уменьшились с 21,1 % в 2013 г. до 20,5 % в 2018 г. — коэффициент эластичности модели составил 19,7, следовательно, сокращение потерь в заводских электросетях на 1 % приведет к уменьшению энергоёмкости экономики на 19,7 кг условного топлива на 10 тыс. рублей. При этом негативно повлияло на зависимую переменную потребление электроэнергии на одного занятого в машиностроительной промышленности, значение которого возросло с 67 488 кВт·ч в 2012 г. до 72 955 кВт·ч в 2018 г. — коэффициент эластичности модели составил «минус» 0,07, следовательно, сокращение потребления электроэнергии на одного занятого в машиностроительном комплексе на 1 кВт·ч приведет к уменьшению энергоёмкости экономики на 0,07 кг условного топлива на 10 тыс. рублей.

**Заключение.** Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, в российской машиностроительной промышленности отмечаются противоречивые тренды, характеризующие эффективность внедрения ресурсосберегающих технологий. С одной стороны, отмечается снижение энергоёмкости промышленного сектора экономики, потребления электроэнергии в общем объеме. С другой стороны, отсутствуют положительные изменения по потреблению топливно-энергетических ресурсов при росте потребления электроэнергии на одного занятого в машиностроительном производстве. Во-вторых, представленная экономико-математическая модель оценки эф-

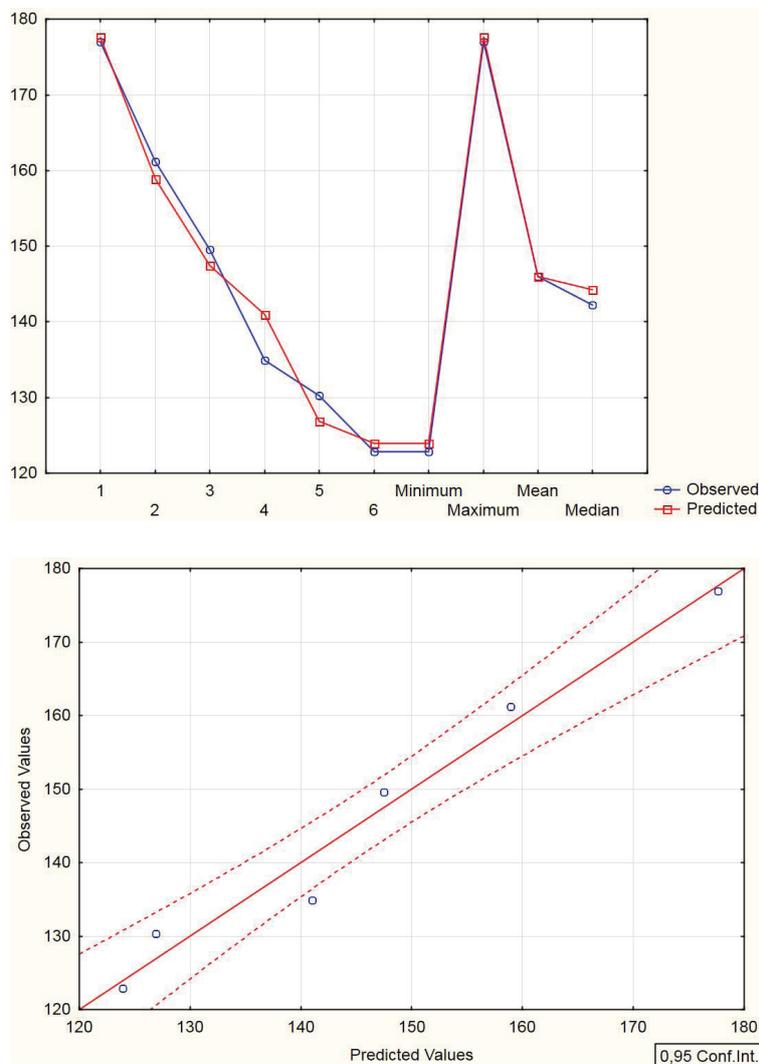


Рис. 6. Предсказанное и наблюдаемое значение зависимой переменной модели ( $\bar{Y}$  — энергоёмкость ВВП, кг условного топлива на 10 тыс. рублей)

фективности использования ресурсосберегающих технологий, выраженная через зависимую переменную — уровень энергоёмкости ВВП позволила установить, что на снижение данного показателя в большей степени оказывают влияние потери в заводских электросетях и потребление электроэнергии на одного занятого. Так, сокращение потерь в заводских электросетях на 1 % приведет к уменьшению энергоёмкости экономики на 19,7 кг условного топлива на 10 тыс. рублей и снижение потребления электроэнергии на одного занятого в машиностроительном комплексе на 1 кВт·ч, отразится на уменьшении энергоёмкости экономики на 0,07 кг условного топлива на 10 тыс. рублей. Представленные результаты исследования имеют важное народнохозяйственное значение не только для машиностроительного комплекса в целом, но и могут быть использованы отдельными предприятиями машиностроения для оценки уровня эффективности внедряемых и используемых ресурсосберегающих технологий, выраженного через прирост создаваемой добавленной стоимости.

#### Библиографический список

1. Fotourehchi Z. Renewable energy consumption and economic growth: A case study for developing countries //

International Journal of Energy Economics and Policy. 2017. Vol. 7 (2). P. 61–64.

2. Apergis N., Danuletiu D. C. Renewable energy and economic growth: Evidence from the sign of panel long-run causality // International Journal of Energy Economics and Policy. 2014. Vol. 4 (4). P. 578–587.

3. Kunofiwa T., Lindiwe N. Renewable Energy Consumption, Education and Economic Growth in Brazil, Russia, India, China, South Africa // International Journal of Energy Economics and Policy. 2020. Vol. 10 (2). P. 26–34. DOI: 10.32479/ijeep.8497.

4. Choi D., Hwang T. The impact of green supply chain management practices on firm performance: the role of collaborative capability // Operations Management Research. 2015. Vol. 8 (3-4). P. 69–83. DOI: 10.1007/s12063-015-0100-x.

5. Cucchiella F., D'Adamo I., Gastaldi M. [et al.]. A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 78 (C). P. 401–413. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.077.

6. Dellano-Paz F., Calvo-Silvosa A., Iglesias Antelo S. [et al.]. The European low-carbon mix for 2030: the role of renewable energy sources in an environmentally and socially efficient approach // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 48 (C). P. 49–61. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.032.

7. Мешалкин В. П. Современные концепции интенсификации и оптимизации энергоресурсоэффективности производств и цепей поставок нефтегазохимического комплекса //

Первые международные Косыгинские чтения: сб. докл. М., 2017. С. 59–65.

8. Налетов В. И. Оптимальная организация химико-технологических систем на примере технологий переработки природных энергоносителей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2016. 32 с.

9. Шинкевич А. И., Барсегян Н. В. Пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации // Русский инженер. 2019. № 4 (65). С. 48–51.

10. Краснова О. М., Кудрявцева С. С. Транспортный комплекс в экономике Республики Татарстан // Экономический вестник Республики Татарстан. 2014. № 1. С. 27–37.

11. Кудрявцева С. С., Неганов К. К. Научно-технический потенциал России как фактор экономического роста в экономике знаний // Экономический вестник Республики Татарстан. 2016. № 2. С. 61–65.

12. Фахрутдинов Р. Р., Завьялов С. А., Косых А. В., Мурасов К. В. Анализ способов подстройки фазы в декартовых системах обратной связи усилителей мощности // Омский научный вестник. 2016. № 6 (150). С. 142–146.

13. Росстат. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 21.01.2020).

**КУДРЯВЦЕВА Светлана Сергеевна**, доктор экономических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Логистика и управление».

SPIN-код: 4414-4776

AuthorID (SCOPUS): 57038806400

ORCID: 0000-0002-2467-8874

ResearcherID: B-5316-2015

**ШИНКЕВИЧ Марина Владимировна**, доктор экономических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Логистика и управление».

SPIN-код: 7723-2865

AuthorID (РИНЦ): 691534

Адрес для переписки: sveta516@yandex.ru

#### Для цитирования

Кудрявцева С. С., Шинкевич М. В. Оценка эффективности ресурсосберегающих технологий в машиностроительной промышленности // Омский научный вестник. 2020. № 3 (171). С. 14–20. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-171-14-20.

Статья поступила в редакцию 14.02.2020 г.

© С. С. Кудрявцева, М. В. Шинкевич