

УДК 621.311

DOI 10.62595/1819-5245-2026-3-108-120

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. В. ГРУНТОВИЧ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Посвящена обзору проводимых исследований в области диагностирования текущего состояния и прогнозирования показателей энергетической эффективности промышленных комплексов. Указано, что качественные и количественные изменения в составе и сложности технологического оборудования требуют создания новых методов для выявления и оценки экономии топливно-энергетических ресурсов от мероприятий в технологических процессах промышленных предприятий, прогнозирования и нормирования общих и удельных расходов электрической энергии, природного газа. Рассмотрен пример научной работы по оценке влияния износа футеровки стекловаренной печи на удельный расход природного газа для различной производительности печи. Отмечено, что данная научная работа позволила предприятию избежать штрафных санкций.

Ключевые слова: энергоэффективность, промышленные предприятия, прогнозирование, система энергоснабжения, системный анализ, контроль энергоэффективности, энергетическая составляющая в себестоимости продукции, модели потребления ТЭР от влияющих факторов, печи листового стекла, износ, футеровка.

Для цитирования. Грунтович, Н. В. Некоторые аспекты особенностей развития научных исследований в энергетике промышленных предприятий / Н. В. Грунтович // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2026. – № 3 (106). – С. 108–120. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2026-3-108-120>

CERTAIN ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE ENERGY SECTOR OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

N. V. GRUNTOVICH

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

The paper provides an overview of ongoing research into diagnosing the current state and forecasting the energy efficiency indicators of industrial complexes. It is stated that qualitative and quantitative changes in the composition and complexity of process equipment require the creation of new methods to identify and evaluate fuel and energy savings resulting from interventions in the technological processes of industrial enterprises, as well as to forecast and normalize total and specific consumption of electrical energy and natural gas. An example of a scientific study evaluating the impact of glass melting furnace lining wear on specific natural gas consumption for various furnace capacities is considered. It is noted that this study enabled the enterprise to avoid financial penalties.

Keywords: energy efficiency, industrial enterprises, forecasting, power supply system, systems analysis, energy efficiency monitoring, energy component in production cost, models of fuel and energy resource consumption based on influencing factors, flat glass furnaces, wear, lining.

For citation. Gruntovich N. V. Certain aspects of the development of scientific research in the energy sector of industrial enterprises. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2026, no. 3 (106), pp. 108–120 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2026-3-108-120>

Введение

Роль науки в развитии производства и сопровождение в решении производственных задач была, есть и будет ключевой. Причем именно развитие производства дает толчок для формирования новых направлений в исследованиях ученых. Кафедра «Электроснабжение» под руководством доктора технических наук, профессора В. В. Прокопчика всегда тесно сотрудничала с промышленными предприятиями и энергетикой региона. Тематика научных исследований отличалась многообразием: это и проблемы самозапуска электродвигателей, и компенсация реактивной мощности, и качество электрической энергии (ЭЭ), и диагностика трансформаторов. Ключевой установкой для ученых кафедры были и остаются создание разработок, востребованных реальным сектором экономики, научное решение проблем производителей. Неслучайно с конца 80-х гг. на кафедре успешно подготовлены и защищены кандидатские диссертации Т. В. Алферовой, Н. В. Токочаковой (Грунтович), А. Г. Уса, О. Г. Широкова, А. В. Сычева, Д. И. Зализного и других членов кафедры. Подготовленные на кафедре диссертации носили прикладной характер и обеспечили серьезный экономический эффект для заказчиков научно-исследовательских работ. А вот формирование научной школы по технической диагностике и энергетической эффективности промышленных потребителей (ПП) в ГГТУ им. П. О. Сухого начало складываться активно с начала 90-х гг.

Цель данной публикации – показать, как изменившиеся условия работы промышленных предприятий в 90-х гг. и принятый страной курс на энергоэффективность и энергосбережение дали толчок новому направлению научно-исследовательских работ, посвященных оценке текущего состояния энергетической эффективности и прогнозированию показателей энергетической эффективности.

Основная часть

Что представляло собой электрическое хозяйство ПП в 80–90-х гг.? Начавшееся в 50–60-х гг. качественное (по составу и сложности оборудования) и количественное изменение технологического оборудования привело к росту количества электроприемников (ЭП) от 10^2 до 10^5 по отдельным промышленным предприятиям (табл. 1) [1]. В условиях плановой экономики до кризиса 90-х гг. отмечался устойчивый рост количества ЭП производственных механизмов и установок, их средней установленной мощности ($P_{\text{ср}}$, кВт) и соответственно – электропотребления ПП. На кафедре были созданы программные комплексы, позволяющие выполнять среднесрочные прогнозы показателей функционирования и развития электрического хозяйства ПП, предложенных и обоснованных доцентом технических наук, профессором Б. И. Кудриным. Основными показателями, описывающими ПП, были: годовой расход ЭЭ (W , тыс. кВт · ч), получасовой максимум нагрузки предприятия (P_{max} , кВт), установленная мощность электродвигателей ($P_{\text{уст}}$, кВт) и их средняя мощность ($P_{\text{ср}}$, кВт), а также количество электрических двигателей (N , шт.) [2]. Так, диссертационная работа Т. В. Алферовой была посвящена вопросам прогнозирования показателей работы ПП на основе временных рядов [3].

Динамика основных показателей промышленных предприятий за 1983–1988 гг. представлена в табл. 2.

Еще в 90-х гг. отмечалось усложнение систем электроснабжения промышленных предприятий и в них теоретически и практически стали различать до 6 уровней [4].

Таблица 1

Данные по количеству электроприемников и их средней мощности в конце 80-х гг.
по некоторым промышленным предприятиям

Предприятие	Количество ЭП, $N_{\text{эл}}$, шт.	Средняя мощность ЭП, $P_{\text{ср}}$, кВт
Магистральный нефтепровод «Дружба»	1483	115,7
Завод сельскохозяйственных машин	43900	7,8
Нефтеперерабатывающий завод	4200	53,9
Завод искусственного волокна	12300	11
Фабрика по производству обоев	400	24,7
Газоперерабатывающий завод	2700	40,7

Таблица 2

Динамика основных показателей промышленных предприятий за 1983–1988 гг.

Показатели	1983 г.	1984 г.	1985 г.	1986 г.	1987 г.	1988 г.
<i>Бумажная фабрика</i>						
W , тыс. кВт · ч	8066	8118	8234	8478	9477	10473
$P_{\text{мах}}$, кВт	2520	2660	2760	2710	2800	2831
$P_{\text{уст}}$, кВт	14233	14109	14610	15556	15502	19936
$P_{\text{ср}}$, кВт	4,6	4,6	4,3	4,3	4,3	5,3
Количество ЭД, шт.	1220	1223	1319	1459	1492	1552
<i>Станкостроительный завод</i>						
W , тыс. кВт · ч	12299	12320	12422	12530	13468	14290
$P_{\text{мах}}$, кВт	4440	4920	4560	4820	5040	5040
$P_{\text{уст}}$, кВт	37212	38629	38868	39430	37778	39509
$P_{\text{ср}}$, кВт	6,8	6,7	6,5	6,3	6,3	6,3
Количество ЭД, шт.	3264	3429	3545	3742	3698	3783
<i>Завод сельскохозяйственного машиностроения</i>						
W , тыс. кВт · ч	280056	323026	362170	402647	410983	423649
$P_{\text{мах}}$, кВт	66080	69600	80260	66160	68040	68040
$P_{\text{уст}}$, кВт	412702	472621	543597	576509	650679	652183
$P_{\text{ср}}$, кВт	7,3	7,7	7,8	7,7	7,9	8,9
Количество ЭД, шт.	33867	39170	43964	47529	81335	73279

В статье [4] отмечается, что электрическое хозяйство современного крупного металлургического комбината включает: две ТЭЦ; 18 ГПП с высшим напряжением 110–220 кВ; 92 трансформатора IV габарита и выше; 184 высоковольтных выключателя 35 кВ и выше; 281 км воздушных и кабельных линий 35 кВ и выше; 92 РП напряжением 6–10 кВ; 3500 км линий распределительной сети; 1160 цеховых ТП и преобразовательных подстанций, на которых установлено 2100 трансформаторов I–III габаритов; 2760 высоковольтных электродвигателей; 44000 км линий напряжением до 1 кВ; 109 000 электродвигателей различных типов напряжением до 1 кВ; 121 000 различных низковольтных коммутационно-защитных аппаратов; 1 600 000 источников света; 2280 электросварочных установок. Соответственно, современное промышленное предприятие, представляющее собой совокупность технологической системы и систем его энергоснабжения, было определено Б. И. Кудриным как техническая система кибернетического типа, для управления которой необходимо использовать теорию системного анализа. Использование системного подхода применительно к энергетике было заложено в 60-х гг. прошлого столетия академиком Л. А. Мелентьевым и развито в трудах его учеников и последователей. Системный подход или комплексность исследований предполагает всестороннее рассмотрение изучаемой системы или проблемы с учетом ее внешних и внутренних связей, всех возможных целей исследований или критериев управления, разнообразных ограничений и последствий от принимаемых решений [6]. Смысл и содержание системного подхода, предложенного академиком Л. А. Мелентьевым, конкретизируется путем выделения четырех компонент [6]: изучение и учет внешних связей рассматриваемой системы; иерархическое представление о внутренней структуре сложных объектов и процессах управления ими; учет неопределенностей, обусловленных неполнотой исходной информации, многокритериальностью и другими факторами; применение математических методов и ЭВМ. Выделяются два наиболее важных свойства системы [2, 3]. Одно из них характеризует качество системы как объекта исследования – это эмерджентность, а второе – инерционность системы (один из принципов развития). Эмерджентность является одной из форм проявления диалектического закона перехода количественных изменений в качественные. О том, что объединение элементов создает новое качество, человечество знало давно, еще со времен Аристотеля. Чем проще система, чем из меньшего числа элементов и связей она состоит, тем меньше проявляет она системное качество, и чем сложнее система, тем более непохожим является ее системный эффект по сравнению со свойствами каждого элемента. Для современных промышленных предприятий усложнение технологической, энергетической систем влечет за собой *невозможность использования классических законов электротехники*. Фактически невозможно, например, путем суммирования мощностей установленного оборудования определить максимальную нагрузку предприятия. Вторым важнейшим свойством системы является ее *инерционность (один из принципов развития)*. Принцип инерции системы – это способность системы изменять свой потенциал через некоторое время после начала воздействия на нее со стороны внутренней или внешней среды, а завершение изменений в системе будет происходить также через какое-то время после окончания воздействия. Очень важно знать факторы, влияющие на инерционность системы. Усложнение технологических систем и систем энергоснабжения современных промышленных предприятий потребовало от ученых-энергетиков разработки новых методов, позволяющих *выявлять и оценивать экономию топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) от мероприятий в технологических процессах ПП, прогнозировать и нормировать как общие, так и удельные расходы ТЭР с учетом изменения объемов производственной программы*.

В 90-х гг. после развала СССР молодая Республика Беларусь столкнулась с проблемой низкой обеспеченности собственными энергоресурсами. Статья заместителя председателя Комитета по энергосбережению и энергонадзору при Кабинете Министров Александра Савановича «Ежегодно 20 заводов-гигантов работают вхолостую» в центральной газете Республики Беларусь от 13 сентября 1994 г. поставила задачу активно начать заниматься энергосбережением и повышением энергетической эффективности. В статье отмечалось: «Из потребляемых в прошлом году (1993) 32,5 млн т у. т. неэффективно израсходовано 8 млн т у. т. Это 400 млн долл. по льготной цене 50 долл. за тонну, что эквивалентно годовому потреблению энергоресурсов на 20 заводах как МТЗ и в 4 раза больше ежегодной добычи нефти в Беларуси». Государство приняло контроль за эффективным использованием ТЭР, 85 % из которых Беларусь покупала за рубежом. В 1998 г. был принят Закон «Об энергосбережении» [9].

Государственный контроль в области эффективности расходования ТЭР фактически обусловлен тремя причинами:

- 1) низкой обеспеченностью Республики Беларусь собственными энергоресурсами;
- 2) неизбежным ростом стоимости энергоресурсов;
- 3) существенно высокой долей стоимости энергоресурсов в себестоимости продукции.

Необходимость *поиска новых подходов для оценки энергетической эффективности (ЭЭФ) определяется коренными изменениями условий функционирования промышленными предприятиями:*

- нестабильность производственной программы;
- увеличение энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции, что отразилось на ее конкурентной способности;
- сложность объектов управления.

Анализ структуры затрат на производство промышленной продукции по данным статистической отчетности СССР 1987 г. [2] показал, что с 1965 по 1987 г. доля ЭЭ в структуре затрат на производство продукции по стране составляла от 2,1 до 2,8 % за разные годы. В 1987 г. в химической и нефтехимической промышленности доля ЭЭ в структуре затрат на производство составляла 8,9 %, в машиностроительном комплексе – 2 %, в легкой промышленности – 0,7 %. Ранжирование энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции показало (рис. 1), что наиболее энергоемкими отраслями после электроэнергетики и ТЭК являются следующие отрасли: строительные материалы – 12,7 %, металлургический комплекс – 12,3 %, химическая и нефтехимическая отрасль – 10,6 %, химико-лесной комплекс – 8,9 %; тяжелая промышленность – 8,8 %.

Но уже за период с 1992 по 1996 г. энергетическая составляющая затрат в себестоимости продукции увеличилась в России – стране, обеспечивающей полностью себя ТЭР: в машиностроении – в 1,83 раза, легкой промышленности – в 3,44 раза, химической и нефтехимической промышленности – в 2,82 раза. Аналогичные проблемы появились и на предприятиях Беларуси. Приведем такой пример. У самого современного и молодого производства по выпуску беленой целлюлозы для предприятия по выпуску беленой целлюлозы суммарная доля денежных затрат на энергопотребление в общих объемах затрат производственной деятельности за 2020 г. в процентном соотношении составила 15,3 %. Из них: топливо – 6,4 %; электроэнергия – 5,2 %; тепловая энергия – 3,8 %.



Рис. 1. Ранжирование энергетической составляющей затрат в себестоимости продукции по отраслям промышленности СССР (1987 г.)

Проблема снижения энергетической составляющей затрат и повышения конкурентоспособности предприятий на внешних рынках – одна из актуальнейших задач экономической безопасности государства. А тогда, в 1994 г., к нам стали обращаться энергетики промышленных предприятий: почему в условиях снижения объемов выпуска продукции удельные расходы ТЭР на выпуск продукции возрастали в несколько раз? Ученые кафедры, которые уже активно помогали предприятиям решать вопросы нормирования расхода ТЭР, уже знали ответ на этот вопрос. И 24 февраля 1995 г. в газете «Гомельская правда» вышла статья-интервью «Куда прячем расточительность», где были изложены ответы на многие вопросы производителей.

Еще в 1947 г. было показано для промышленных предприятий, что в наиболее общем виде энергетическая характеристика может быть представлена уравнением [11]:

$$W = w_{\text{уд}} \cdot \Pi + W_{\text{усл.-пост}}, \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где W – расход ЭЭ за данный отрезок времени, зависящий от вида цеха, пролета и т. д.; $w_{\text{уд}}$ – переменная часть расхода ЭЭ на единицу продукции, в основном зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч; Π – размер продукции за соответствующее время, единица измерения продукции; $W_{\text{усл.-пост}}$ – постоянная часть расхода ЭЭ, в основном не зависящая от нагрузки, тыс. кВт · ч.

Из уравнения (1) удельный расход ЭЭ от объема выпуска продукции может быть определен как:

$$W_{\text{уд}} = w_{\text{уд.техн}} + W_{\text{усл.-пост}} / \Pi, \text{ кВт} \cdot \text{ч/единица продукции}. \quad (2)$$

Зависимость (2) имеет гиперболический вид и представлена на рис. 2.

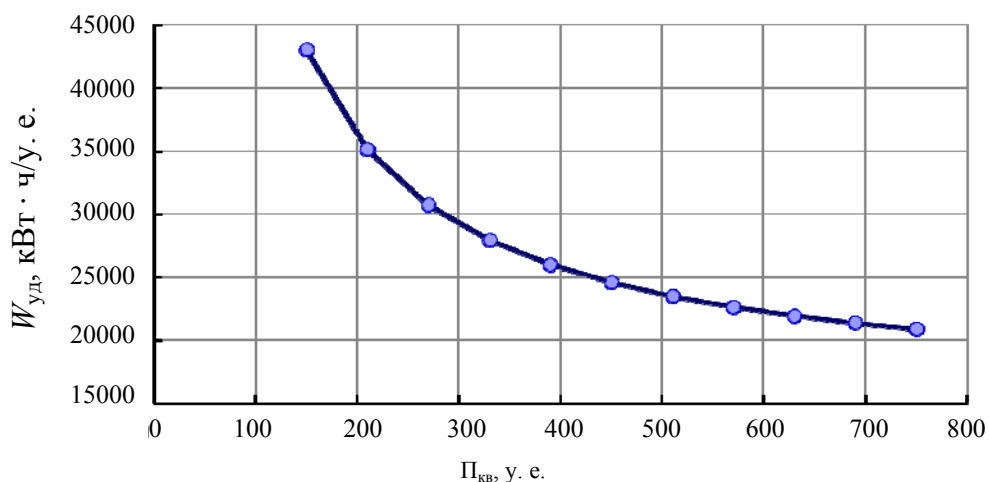


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электрической энергии от квартального объема выпуска продукции

Из зависимости (рис. 2) видно, что при повышении загрузки производства (наращивании объемов выпуска продукции), происходит снижение удельных расходов ТЭР на единицу выпускаемой продукции, а при снижении объемов выпуска продукции отмечается рост удельных расходов, т. е. снижение ЭЭФ производства. И причиной снижения ЭЭФ является условно-постоянная расхода ТЭР. Неслучайно на первых семинарах, которые проводили в нашей стране специалисты из Германии, Англии и других европейских государств, делался акцент на разработку моделей общего и удельного расхода энергоресурса от объемов выпуска продукции [12]. Однако, как строить модели, как по ним оценивать текущее состояние и прогнозировать ЭЭФ на перспективу, иностранные гости не рассказывали. Способы построения моделей и методы оценки текущего состояния показателей ЭЭФ разрабатывались на кафедре научной группой доктора технических наук, профессора Н. В. Грунтович. Были определены задачи, решаемые с использованием модели потребления ТЭР в зависимости от объема выпуска продукции:

- анализ энергоэффективности существующих режимов производства;
- расчет плановой потребности ТЭР в условиях изменяющейся производственной программы;
- оценка потенциала повышения ЭЭФ за счет роста загрузки технологического оборудования и наращивания объемов выпуска продукции;
- оценка эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий;
- расчет ЦП в сопоставимых условиях.

Таким образом, модели, представляющие собой зависимость расхода ТЭР или удельного расхода энергоресурса от объема выпуска продукции и других влияющих факторов, являются анализатором системы управления (энергоменеджмента) современного промышленного предприятия.

Известны интересные работы научной школы по энергетической эффективности с 2000-х гг. Проведенные на высоком научном уровне энергетические обследования, разработанные методики как по нормированию расхода ТЭР, так и по оценке показателей энергетической эффективности, позволили промышленным предприятиям различных отраслей промышленности решать текущие задачи:

– в 2009 г. Денис Равильевич Мороз подготовил диссертационную работу «Моделирование энергопотребления промышленных потребителей для прогнозирования показателей энергетической эффективности» на базе Светлогорского ПО «Химволокно» [13];

– в 2010 г. на базе двух предприятий транспорта нефти «Дружба» была защищена диссертационная работа Александра Станиславовича Фикова [14];

– с 2014 по 2016 г. Алексеем Александровичем Капанским проведена огромная научно-исследовательская работа для трех водоканалов Республики Беларусь. Тема кандидатской диссертации «Прогнозирование и оценка текущего состояния энергетической эффективности технологических систем водоснабжения и водоотведения» [15];

– в 2021 г. Евгений Леонидович Шенец защитил кандидатскую диссертацию на тему «Оценка и прогнозирование показателей энергоэффективности промышленных потребителей на основе статистических моделей потребления ТЭР от объема выпуска продукции» [16].

Хочется в качестве примера привести работу, которая была выполнена с 31 мая 2013 г. по 30 сентября 2013 г., – «Прогнозирование показателей энергоэффективности, оценка потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности ОАО «Гомельстекло».

Основанием для проведения данной работы на ОАО «Гомельстекло» является невозможность выполнения директивных заданий по экономии ТЭР (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2012 г. № 1261 «О некоторых вопросах потребления электрической энергии и природного газа в 2013 году»), несмотря на ввод в эксплуатацию новой технологической линии производства листового стекла (запущена в эксплуатацию 25.03.2010 г.) и модернизацию старой технологической линии (введена в эксплуатацию 13.07.2004 г., остановлена на холодный ремонт 16.06.2010 г., запущена в эксплуатацию после реконструкции 02.2013 г.). Проблемы управления ЭЭФ производства листового стекла обусловлены:

1) высокой долей расхода газа в общем расходе ТЭР производства (от 80 до 90 %). Причем технологическая составляющая газа (печи расплава стекла) достигает до 90 %;

2) единичными, но энергоемкими технологическими установками, что снижает способность производства осуществлять регулирование технологического процесса в условиях снижения объемов производства листового стекла;

3) высокими темпами старения технологического оборудования, влекущими за собой снижение ЭЭФ производства, даже в условиях максимальной производительности.

Научной группой было предложено два подхода:

1. Первый подход основан на построении многофакторной модели зависимости расхода газа от таких влияющих факторов, как производительность печи (P , т/сут), температура наружного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), содержание оксида железа в стекле, (FeO , %), номер суток эксплуатации печи с момента ее ввода. Многофакторная модель позволила определить влияние каждого из факторов на расход природного газа печью. Установлено, что на производство 1 т листового стекла ежедневно используется 164,4 кг у. т. Изменение температуры окружающей среды на 1°C приводит к изменению суточного расхода газа на 157,8 кг у. т. Изменение содержания FeO в стекле на 1 % приводит к изменению расхода газа на $8,05 \cdot 10^5$ кг у. т. Коэффициент регрессии перед фактором «количество суток эксплуатации печи» обозначает, что ежесу-

точно расход газа увеличивается на 14,6 кг у. т. То есть было доказано, что за счет старения футеровки печи и износа ограждающих конструкций **ежесуточно** расход природного газа на производство стекла увеличивался на 14,5 кг у.т. Это означало, что ежегодное снижение ЭЭФ производства листового стекла составляло в максимуме до 10 %.

2. Второй подход был основан на построении годовых моделей расхода газа от суточной загрузки печи. Поскольку износ футеровки печи приводит к росту потребления газа для компенсации потерь, то в модели следующего года должна расти условно-постоянная расхода газа. Рассматривался период работы печи за пятилетний период с момента ввода ее в эксплуатацию. На рис. 3 представлены модели с 2005 по 2009 г. Самые низкие значения удельного расхода газа отмечены в 2005 г. Как только печь отработала год, значения удельного расхода выросли (модель 2006). Однако после горячего ремонта печи предприятию удалось снизить значения удельного расхода газа по сравнению с 2006 (модель 2007 г.), но все равно значения удельного расхода выше, чем в 2005 г. В 2008 г. удельные расходы оказались самыми высокими из-за роста условно-постоянной расхода газа, в 2009 г. после ремонта опять удалось снизить условно-постоянную расхода газа. Как видно из рис. 4, при минимальной суточной производительности печи 400 т/сут результирующее изменение ЭЭФ за пятилетний период составило 18,4 %, а при производительности 750 т/сут результирующее изменение ЭЭФ составляет только 6,1 %, т. е. практически в 3 раза меньше. Это обуславливается снижением влияния условно-постоянной расхода газа при увеличении производительности печи. Соответственно, если проводить экспериментальную оценку старения футеровки печи при максимальной ее загрузке, то снижение ЭЭФ печи может быть оценено в 1,5–1 % в год, что подтверждает данные зарубежных ученых [17].

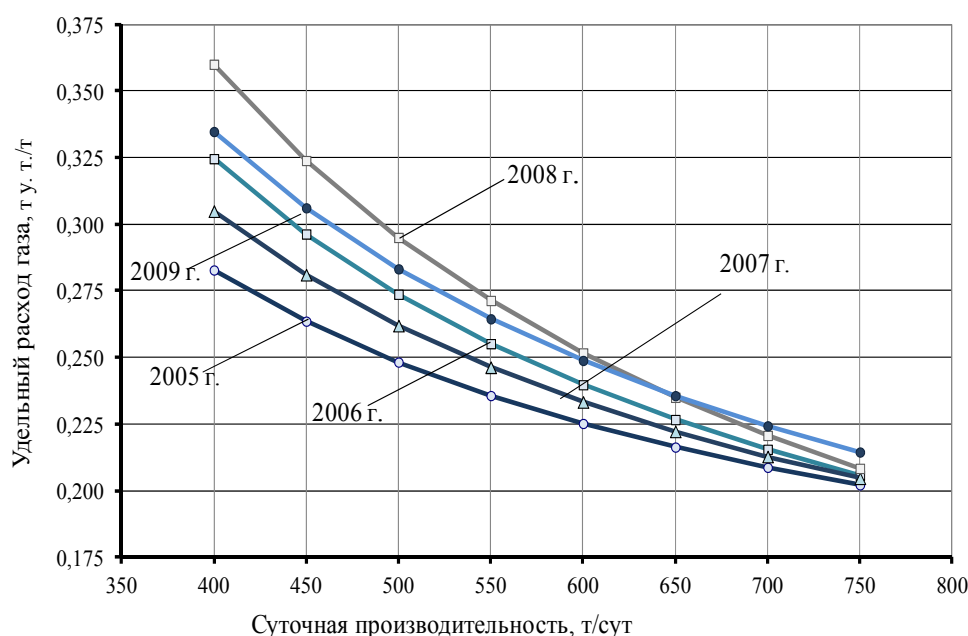


Рис. 3. Годовые модели удельного расхода газа производства листового стекла от суточной производительности печи за 2005–2009 гг.

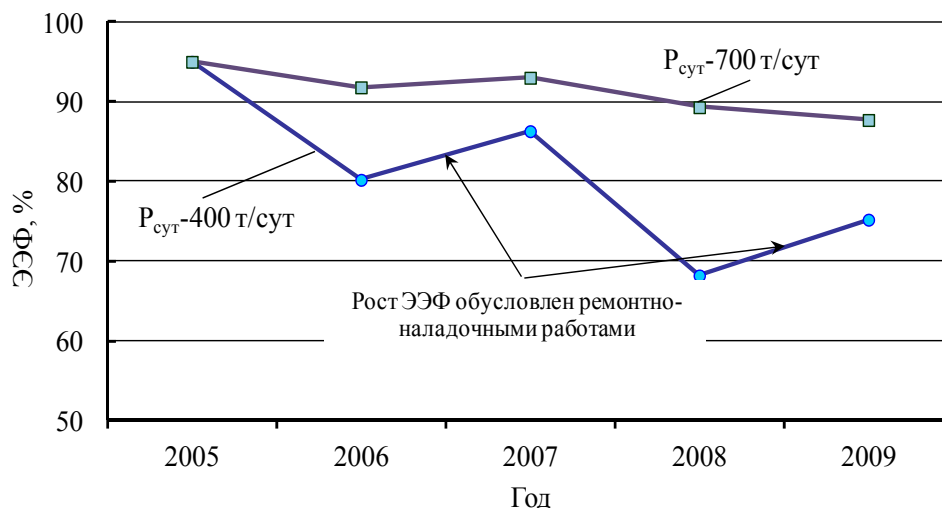


Рис. 4. Динамика изменения энергоэффективности печи за пятилетний период для различной производственной программы: $P_{\text{сут}} = 700 \text{ т/сут}$ и $P_{\text{сут}} = 400 \text{ т/сут}$

Заключение

Результаты работы докладывались в Правительстве Республики Беларусь. Представим основные выводы проделанной работы:

- В условиях непрерывного процесса старения футеровки стеклоплавильных печей, снижения характеристик сырья (использования белорусского доломита) предприятие не может обеспечивать 5%-го ежегодного снижения потребления энергоресурсов, в связи с этим выполнение задания по постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2012 г. № 1261 в настоящее время и в перспективе не представляется возможным.

- Для повышения конкурентоспособности предприятия на рынке СНГ необходимо снизить цену на технологический газ. При достигнутых значениях удельных расходов ТЭР это позволит снизить себестоимость продукции и успешно конкурировать с российскими производителями листового стекла, которые при более высоких удельных расходах ТЭР на выпуск продукции предлагают на рынке привлекательную цену на продукцию за счет более низкой цены на газ.

Проведенная работа позволила не только приобрести новые знания, изучить закономерности и выработать новые методы оценки влияния износа футеровки печи на ее ЭЭФ, но и защитить предприятие от уплаты штрафных санкций за невыполнение задания, который составил за август–сентябрь 2013 г. 136 316,6 долл. США.

Продолжение работы нашло отражение в заданиях ГПНИ:

- 2014–2015 гг. выполнялось задание 2.2.36 «Разработка методологических принципов управления энергоэффективностью основных технологических процессов для снижения энергоемкости продукции» № ГР 20141922 от 20.08.2014 г., фин. № 53/14 ГПНИ на 2014–2015 гг. «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика», подпрограмма «Разработка методологических принципов управления энергоэффективностью основных технологических процессов для снижения энергоемкости продукции»;

- 2021–2025 гг. – задание 1.1.11 «Методика оценки энергоэффективности промышленных производств с газовым печным оборудованием для обеспечения устойчивого функционирования и развития энергетического комплекса Республики Беларусь» подпрограммы 1.1 «Энергетическая безопасность Республики Беларусь на основе

принципов устойчивого развития» ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии» на 2021–2025 гг., № ГР 20211650 от 26.05.2021 г. (стекольные печи стекло-тары, печи литейного производства, печи цементных заводов, печи термообработки металла и кузнечного производства).

В настоящее время научная группа выполняет задание 1.11 «Разработка методологических принципов управления электропотреблением основных технологических процессов для снижения энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции» подпрограммы 1.1 «Устойчивое энергетическое развитие» Государственной программы научных исследований «Энергетические системы и технологии» («Энергофизика–2030») на 2026–2030 гг.

Обобщая вышеизложенное, необходимо отметить, что, решая задачи производственников на высоком научном уровне, ученые совершенствуются сами, развивают науку и делятся современными знаниями со студентами. Очень важно помнить одну великую истину: теория без практики мертва или бесплодна, практика без теории невозможна или пагубна.

Литература

1. Токочакова, Н. В. Методология оценки энергоэффективности транспорта нефти на основе моделирования электропотребления : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.01 / Токочакова Надежда Владимировна ; Белорус. нац. техн. ун-т, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Минск ; Гомель, 2007. – 42 с.
2. Прогнозирование развития электрического хозяйства металлургических предприятий / Б. И. Кудрин, В. В. Прокопчик, Т. В. Мартыненко, Т. Е. Алферова // Промышленная энергетика. – 1984. – № 8. – С. 29–34.
3. Кудрин, Б. И. Электроснабжение : учеб. для вузов по направлению «Электроэнергетика и электротехника» / Б. И. Кудрин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2012. – 352 с. – (Серия: Высшее профессиональное образование. Бакалавриат).
4. Алферова, Т. В. Разработка и обоснование методов прогнозирования параметров электропотребления промышленных предприятий на предпроектных стадиях : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Алферова Тамара Викторовна ; Моск. ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции энергет. ин-т. – М., 1987. – 19 с.
5. Электрическое хозяйство // RAYAX.RU. Промышленный журнал. – URL: <http://www.rayax.ru/tex/slovar-ee-p-1/280/index.html> (дата обращения: 21.08.2026).
6. Грунтович, Н. В. Управление энергоэффективностью энергетических систем и промышленных комплексов / Н. В. Грунтович // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Таиз. ун-т (Йеменская Республика) ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2023. – Ч. 1. – С. 10–18.
7. Мелентьев, Л. А. Избранные труды. Методология системных исследований в энергетике / Л. А. Мелентьев. – М. : Наука, 1995. – 289 с.
8. Лапыгин, Ю. Н. Теория организации : учебник / Ю. Н. Лапыгин. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 222 с.
9. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.
10. Об энергосбережении : Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015 г. № 239-З // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 21.08.2026).
11. Промышленность СССР : стат. сб. / Госкомстат СССР ; сост. В. И. Толкушин. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 286 с.

12. Кудрин, Б. И. Электроснабжение, оперативное и планируемое нормирование расхода электроэнергии, энергосбережение / Б. И. Кудрин // *Электрика*. – 2007. – № 4. – С. 3–6.
13. Материалы семинара «Энергетический менеджмент – новое направление системного менеджмента. Требования ISO50001 и практика их реализации», Минск, 26–27 нояб., 2014 г. // Австр. энергет. агентство. – Минск, 2014.
14. Моделирование энергопотребления промышленных потребителей для прогнозирования показателей энергетической эффективности : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Мороз Денис Равильевич ; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2009. – 21 с.
15. Прогнозирование изменения электропотребления систем транспорта нефти на основе моделирования общих и удельных расходов электрической энергии : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Фиков Александр Станиславович ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2010. – 22 с.
16. Прогнозирование и повышение энергетической эффективности предприятий водопроводно-канализационного хозяйства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Капанский Алексей Александрович ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2019. – 28 с.
17. Оценка и прогнозирование показателей энергоэффективности промышленных потребителей на основе статистических моделей потребления ТЭР : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.01 / Шенец Евгений Леонидович ; Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – 29 с.

References

1. Tokochakova N. V. *Methodology for assessing the energy efficiency of oil transport based on electricity consumption analysis*. Minsk, Gomel', 2007. 42 p. (in Russian).
2. Kudrin B. I., Prokopchik V. V., Martynenko T. V., Alferova T. E. Forecasting the development of the electrical infrastructure of metallurgical enterprises. *Promyshlennaya energetika = Industrial power engineering*, 1984, no. 8, pp. 29–34 (in Russian).
3. Kudrin B. I. *Elektrosnabzhenie*. Moscow, Akademiya Publ., 2012. 352 p. (in Russian).
4. Alferova T. V. *Development and justification of methods for forecasting electricity consumption parameters of industrial enterprises at pre-design stages*. Moscow, 1987. 19 p. (in Russian).
5. Electrical infrastructure. *RAYAX.RU. Promyshlennyy zhurnal*. Available at: <http://www.rayax.ru/tex/slovar-ee-p-1/280/index.html> (accessed 21 August 2026) (in Russian).
6. Gruntovich N. V. Energy Efficiency Management of Energy Systems and Industrial Complexes. *Sovremennyye problemy mashinovedeniya: sb. nauch. trudov* [Modern Problems in Mechanical Engineering Science: Collection of scientific papers]. Gomel', GGTU im. P. O. Sukhogo, 2023, part 1, pp. 10–18 (in Russian).
7. Melent'ev L. A. *Selected Works. Methodology of Systems Research in the Energy Sector*. Moscow, Nauka Publ., 1995. 289 p. (in Russian).
8. Lapygin Yu. N. *Organization theory*. Moscow, INFRA-M Publ., 2007. 222 p. (in Russian).
9. Peregodov F. I., Tarasenko F. P. *Introduction to systems analysis*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 367 p. (in Russian).
10. On Energy Conservation: Law of the Republic of Belarus no. 239-Z of January 8, 2015. *Natsional'nyi tsentr pravovoi informatsii Respubliki Belarus*, 2015 (accessed 21 August 2026) (in Russian).
11. *Industry of the USSR*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1988. 286 p. (in Russian).
12. Kudrin B. I. Power supply, operational and planned electricity consumption standards, energy conservation. *Elektrika*, 2007, no. 4, pp. 3–6 (in Russian).
13. *Energy management: a new area of systems management. Iso 50001 requirements and implementation practices*. Minsk, November 26–27, 2014. Minsk, 2014 (in Russian).

14. Moroz D. R. *Modeling the energy consumption of industrial consumers to forecast energy efficiency indicators*. Gomel', 2009. 21 p. (in Russian).
15. Fikov A. S. *Forecasting Changes in Electricity Consumption of Oil Transport Systems Based on Modeling Total and Specific Electric Energy Consumption*. Minsk, 2010. 22 p. (in Russian).
16. Kapanskii A. A. *Forecasting and improving the energy efficiency of water supply and wastewater enterprises*. Minsk, 2019. 28 p. (in Russian).
17. Shenets E. L. *Assessment and forecasting of energy efficiency indicators for industrial consumers based on statistical models of fuel and energy resource consumption*. Minsk, 2021. 29 p. (in Russian).

Поступила 25.08.2026 г.