

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-2-151–167

УДК [67/68:658.264]:005.591.1

К вопросу рационального построения теплоэнергетической системы текстильных и трикотажных предприятий

В. Н. Романюк¹⁾, Д. Б. Муслина¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Рассматривается рациональное с позиции структуры и параметров потоков построение теплоэнергетической системы промышленного предприятия (ТЭСПП). Совершенствование ТЭСПП является одним из основных путей реализации энергосберегающего потенциала в объемах, которые отвечают требованиям времени по снижению энергетической составляющей себестоимости продукции. Это особенно актуально для предприятий легкой промышленности Беларуси. Для снижения сложности задачи привлекается иерархическое построение ТЭСПП. В отношении текстильных и трикотажных предприятий легкой промышленности показано несовершенство энергообеспечения, с одной стороны, и энергоиспользования – с другой. Отделочные производства указанных предприятий обеспечивают им статус теплотехнологических. Общеизвестно, что совершенные в энергетическом отношении теплотехнологические предприятия не должны потреблять электроэнергию, произведенную на конденсационных тепловых электростанциях. Им следует использовать ТЭЦ для обеспечения производств тепло- и электроэнергией. Вместе с тем паротурбинные ТЭЦ малой мощности и, как следствие, низких начальных параметров не могут обеспечить требуемое соотношение генерации потоков электрической и тепловой энергии. Указанное обстоятельство является одной из причин доминирования конденсационных тепловых электростанций в структуре электрогенерирующих мощностей, обеспечивающих работу предприятий легкой промышленности. Это и приводит к несовершенству их энергообеспечения. Переход на газовые ТЭЦ, характеризующиеся требуемой структурой генерации энергопотоков, прежде всего связан с созданием собственных генерирующих источников. Это, в свою очередь, ставит ряд задач по изменению схем тепловой обработки технологических потоков. Задача решается в комплексе с совершенствованием энергопотребления отделочного производства и предприятия в целом. Показана возможность применения наряду с паровым водяным теплоносителем. Это открывает путь к рекуперативному использованию энергии побочных низкотемпературных потоков производства, утилизации их энергии с помощью абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов. Подобное совершенствование энергоиспользования с позиций системного подхода в условиях Беларуси является задачей более высокого приоритета, чем переход к когенерационному энергообеспечению.

Ключевые слова: термодинамический анализ, модернизация, рекуперация, когенерация, абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы, экономическая целесообразность, факторы риска

Для цитирования: Романюк, В. Н. К вопросу рационального построения теплоэнергетической системы текстильных и трикотажных предприятий / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 2. С. 151–167

Адрес для переписки

Романюк Владимир Никанорович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Address for correspondence

Romaniuk Vladimir N.
Belarusian National Technical University
65/2 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

On the Issue of Rational Organization of the Textile and Knitwear Enterprises Heat and Power Supply System

V. N. Romaniuk¹⁾, D. B. Muslina¹⁾

Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper considers organization of the industrial enterprise heat and power supply system (HPSS), to be rational from the structure and flow parameter standpoint. Developing HPSS is one of the main lines of implementing energy-saving potential in volumes complying with dictates of the time on reducing the production cost energy component, which is especially vital for the light industry enterprises of Belarus. To reduce the complexity of the task the authors employ the hierarchical structure of HPSS. With regard to textile and knitwear enterprises, they show the irregularity of energy supply on the one hand, and of energy use on the other. The finishing departments of the specified enterprises ensure their thermo-technological status. It is proverbial that accomplished in terms of energy thermo-technological enterprises should not consume the electric energy produced in condensation electric power plants. Instead, for their production needs, they should use thermal energy and electricity generated in the CHP. At the same time, steam turbine CHPs of low power, and consequently of low initial parameters, cannot provide the required electrical and heat energy flow generation balance. The indicated circumstance among others accounts for prevalence of condensation electric power plants in the scheme of electrogenerating capacities that provide work for the light industry enterprises. And this leads to irregularity of their energy supply. Transition to gas CHPs with required scheme of the energy flow generation is associated primarily with creation of inherent generating sources, which in its turn poses a number of challenges on modification of the thermal treatment schemes of technological flows. The problem is solved in package with developing energy consumption of the finishing department as well as the entire enterprise. The study shows the capability of utilizing low pressure hot water alongside with steam, which paves the way to the recuperative use of the secondary low-temperature heat flows – utilizing their energy by engaging lithium-bromide absorption heat pumps. The congruous development of energy utilization from the position of systems approach in the context of Belarus is the task of a higher priority than transition to cogeneration energy supply.

Keywords: thermodynamic analysis, modernization, resource recovery, cogeneration, lithium-bromide absorption heat pumps, economic feasibility, risk factors

For citation: Romaniuk V. N., Muslina D. B. (2016) On the Issue of Rational Organization of the Textile and Knitwear Enterprises Heat and Power Supply System. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (2), 151–167 (in Russian)

Введение

В соответствии с методологией интенсивного энергосбережения для реализации максимального энергосберегающего потенциала производства необходим системный подход к решению задачи и максимальное расширение границ энергосберегающей базы. Традиционная методология энергосбережения при дискретном подходе к достижению цели в рамках отдельных агрегатов не может обеспечить решение задач по снижению энергетической составляющей производства [1–3]. Дальнейшее продвижение в рассматриваемом проблемном поле связано с построением теплоэнергетической системы промышленного предприятия (ТЭСП) рациональной в целом структуры (рис. 1) – пути, который в большинстве случаев не используется, например в ходе традиционных энергоаудитов.

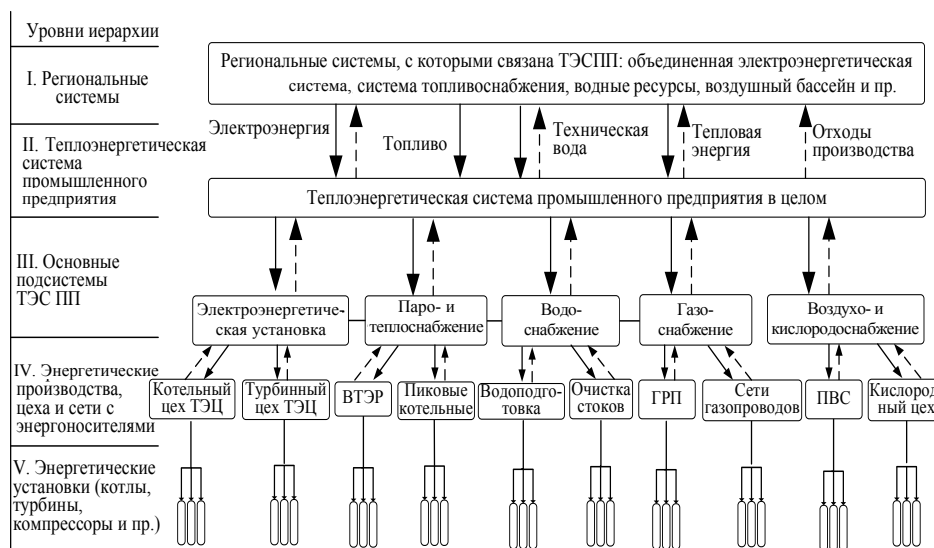


Рис. 1. Иерархическая структура теплоэнергетической системы промышленного предприятия [4]: I–V – иерархические уровни

Fig. 2. Hierarchic structure of the industrial enterprise heat and power system [4]: I–V – hierarchic levels

При реструктуризации имеющейся теплоэнергетической системы промышленного предприятия и ее совершенствовании удобно использовать иное иерархическое построение, отражающее взаимную значимость и функциональные назначения теплотехнологических и теплоэнергетических установок (рис. 2). В [5–7] рассмотрены варианты совершенствования отдельных подсистем отделочного производства. В данном случае приведены результаты, полученные при расширении энергосберегающей базы, для которой создается соответствующая теплоэнергетическая система на примере ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» (ОАО «БПХО»).

Существующее положение. Энергетический анализ

ОАО «БПХО» находится в зоне теплоснабжения Барановичской ТЭЦ, энергетические возможности которой сравнительно невелики: удельная выработка электроэнергии составляет 114 кВт·ч/Гкал, электрический абсолютный КПД паровой турбины на потоке пара равен 12 %. КПД использования топлива 80 %. Этими относительно низкими показателями объясняется достаточно неожиданная структура источников энергообеспечения чисто теплотехнологического предприятия, находящегося в зоне ответственности ТЭЦ и не имеющего каких-либо собственных энергогенерирующих источников, для которого большая часть электроэнергии генерируется КЭС (рис. 3).

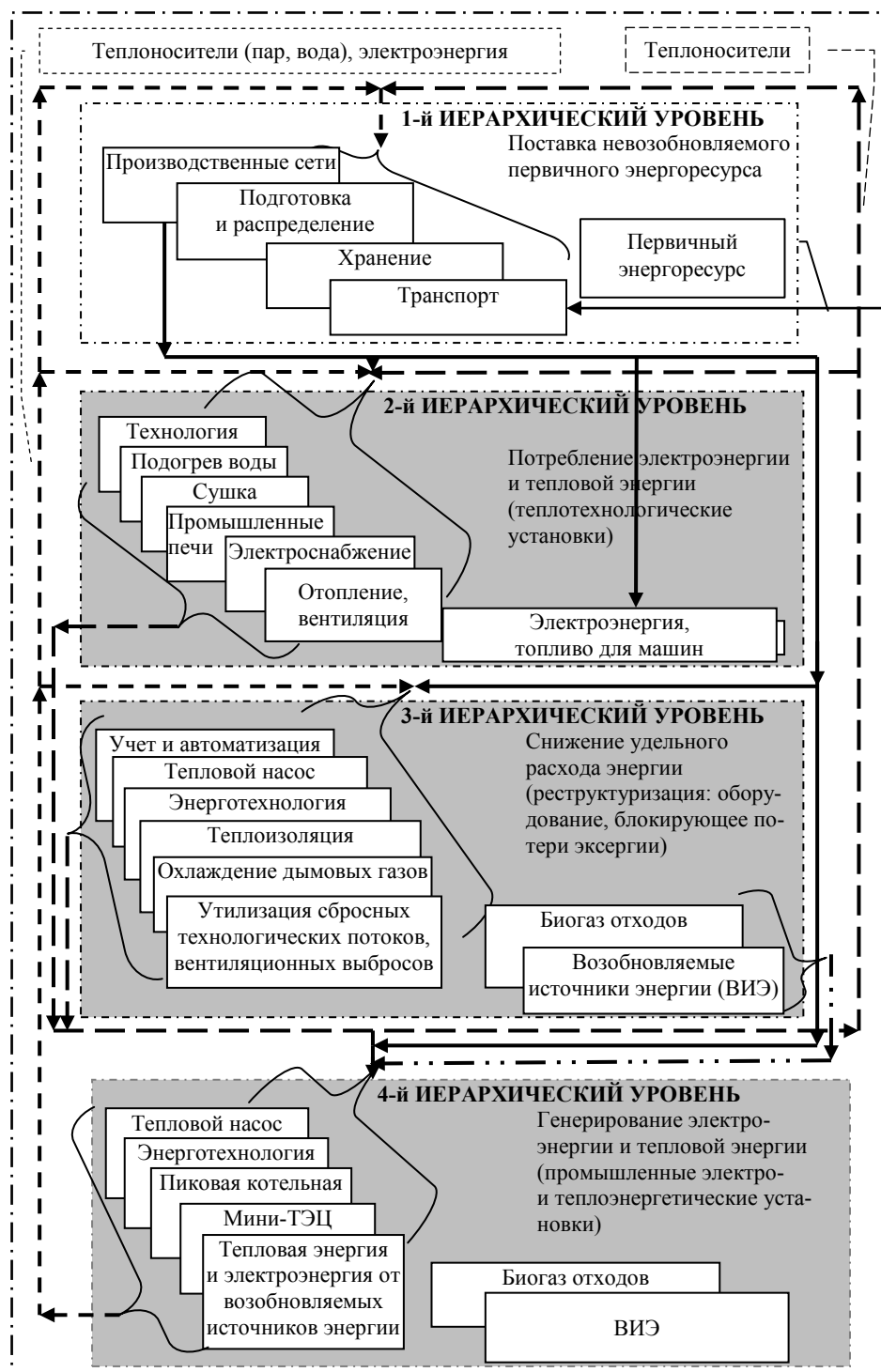


Рис. 2. Структурная схема теплоэнергетической системы с разнесением ее подсистем по иерархическим уровням [3]

Fig. 2. Block schematic diagram of the heat and power system with its subsystems hierarchic levels diversion [3]

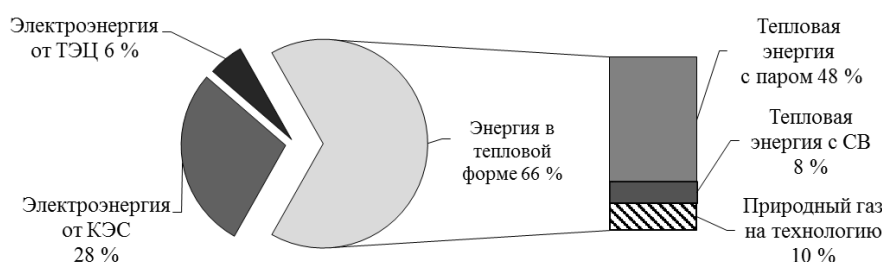


Рис. 3. Структура приходной части энергобаланса ОАО «БПХО»

Fig. 3. JSC 'BPKhO' energy-balance input scheme

Из анализа структуры приходной части энергобаланса ОАО «БПХО» следует:

1) предприятие теплотехнологическое, электрическая составляющая меньше тепловой в два раза и равна 34 %, что соответствует среднестатистической структуре энергопотребления промышленного сектора Беларуси [8];

2) большая часть электроэнергии (до 80 %) для предприятия генерируется не на Барановичской ТЭЦ по комбинированной технологии, а на конденсационных мощностях энергосистемы с потерями в ходе транспортирования и трансформации электроэнергии от КЭС до потребителя. Для такого теплотехнологического предприятия, каким является ОАО «БПХО», оказывается, что в структуре генерации на подобных паротурбинных ТЭЦ имеет место дефицит электроэнергии, для покрытия которого необходимы КЭС. Этот вывод важен для обоснования решений о необходимости совершенствования энергообеспечения предприятия, поскольку «в установке с совершенным энергетическим балансом не должна потребляться электроэнергия и не должен конденсироваться пар над холодной водой или в холодном воздухе» [9];

3) основное потребление теплоты (73 % энергии, потребляемой в тепловой форме) диктуется технологией и связано с паровым теплоносителем. Отопительная нагрузка и потребление природного газа на технологию имеют существенно меньший вес.

Для оценки эффективности существующего энергопотребления предприятия обратимся к абсолютным и относительным эксергетическим характеристикам [10], которые рассчитаны ранее в ходе термодинамического анализа на базе эксергетического метода для отдельных подсистем предприятия [5]. Для всей ТЭСМП ОАО «БПХО» результаты термодинамического анализа приведены в табл. 1, пояснения к которой показаны на рис. 4.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что энергопотребление ОАО «БПХО» в рассматриваемом периоде характеризуется крайне низкой термодинамической эффективностью, а системы энергообеспечения требуют принципиальной перестройки. Для улучшения ситуации следует блокировать потери эксергии – как внутренние D_i , так и внешние D_e . Результатом этого станет улучшение значений целевых функций: сниже-

ние абсолютного расхода энергии за счет совершенствования энергопотребления предприятием и уменьшение расходов на энергообеспечение производства за счет повышения эффективности использования первичного энергоресурса при генерации тепловой и электрической энергии.

Таблица 1

Основные энергетические и эксергетические характеристики работы ОАО «БПХО» в штатном режиме за рабочие сутки отопительного периода

JSC 'BPKhO' general energy and exergetic normal mode performance characteristics during a working day in the heating season

Наименование показателя	Обозначение	Значение (контрольная поверхность на границе)			
		предприятия*	энергосистемы*		
Энергетический КПД _э , %	$\eta_{э}$	0,004	0,002		
Степень термодинамического совершенства технической системы (ТС), %	ν	27,0	9,5		
Термодинамический КПД _е , %	$\eta_{е}$	0,006	0,002		
Степень технологического совершенства, %	β	73	90,5		
Степень полного совершенства ТС, %	μ	0,0047	0,0019		
Затраты энергии на тонну материала с учетом электроэнергии, ГДж/т	q	90,7	181,5		
Затраты эксергии на тонну материала, ГДж/т	e	55,7	172,4		
Потери эксергии по отношению к ее значению на входе, ГДж/т, в том числе	D	56,0	172,6		
		внешние	D_i	1,4	6,4
		внутренние	D_e	54,6	166,2

* Пояснения на рис. 4.



Рис. 4. Структурная схема к расчету балансов энергии и эксергии для ОАО «БПХО» по результатам 2013 г.: ПТП – побочные тепловые потоки; ТВ – техническая вода; ОСВ – обратная сетевая вода; ПСВ – прямая сетевая вода; ПГ – природный газ; Q_{oc} – потери в отопительной сети

Fig. 4. Block schematic diagram to calculation of JSC 'BPKhO' energy and exergy balances on results of 2013: ПТП – secondary heat fluxes; ТВ – service water; ОСВ – return heating-system water; ПСВ – heating water; ПГ – natural gas; Q_{oc} – losses in heating system

На неблагоприятное положение с обеспечением преобразованных видов энергоресурсов указывает значительное ухудшение относительных характеристик (в 2–3 раза) при расширении контрольной поверхности анализируемой технической системы, когда в ее состав входят подсистемы преобразования топлива в требуемые для технологии энергоресурсы: тепловая энергия и электроэнергия (рис. 3, 4, табл. 1).

Реструктуризация теплоэнергетической системы предприятия

Для рационализации энергопотребления в состав существующей ТЭСШП дополнительно интегрированы подсистемы рекуперации, утилизации теплоты низкотемпературных побочных потоков с помощью абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов и абсорбционных холодильных машин, паровые и водяные тепловые аккумуляторы (рис. 5).

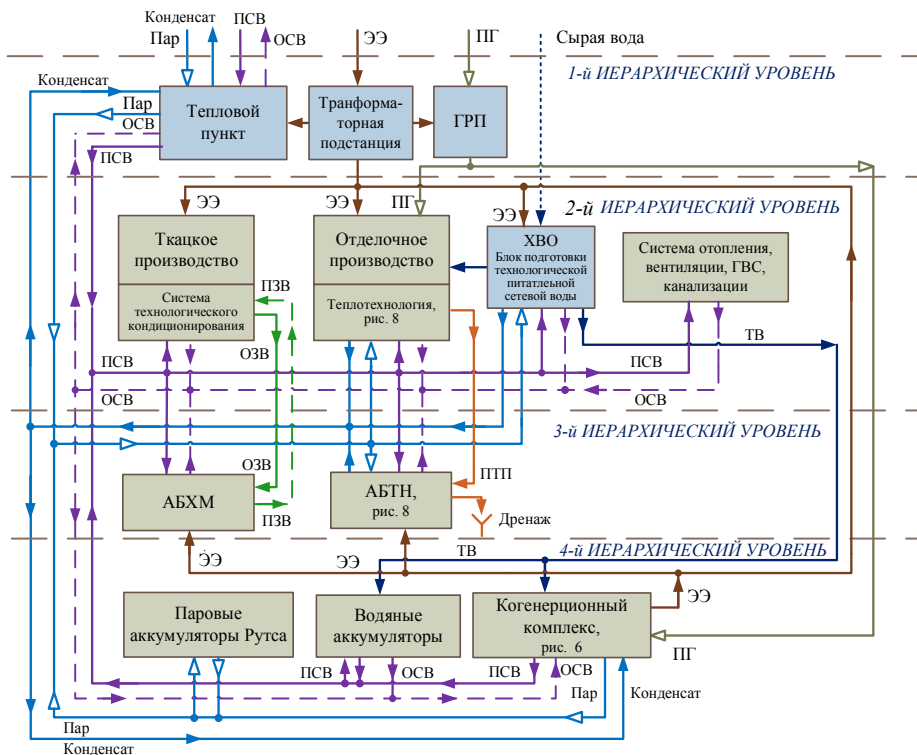


Рис. 5. Структурная схема ТЭСШП ОАО «БПКХО» в соответствии с иерархическим уровнем составляющих подсистем: АБХМ – абсорбционная холодильная машина; АБТН – абсорбционный тепловой насос; ПЗВ, ОЗВ – прямая и обратная захлажденная вода

Fig. 5. Block schematic diagram of JSC 'BPKhO' HPSS as consistent with the hierarchy level of subcomponent systems: АБХМ – absorption refrigerating machine; АБТН – absorption heat pump; ПЗВ, ОЗВ – heating water and return cooled water

Для указанной системы, подвергнутой реструктуризации, определены показатели энергопотребления. Два альтернативных варианта модернизации – с переходом к собственной когенерационной выработке преобразованных энергопотоков и без нее – приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные энергетические и эксергетические характеристики работы ОАО «БПХО» после модернизации за рабочие сутки отопительного периода (значения приведены для случая, когда контрольная поверхность находится на границе энергосистемы*)

JSC 'BPKhO' general energy and exergetic performance characteristics after modernization during a working day in the heating season (the values are given for the case when the test surface is at the boundary of the energy system*)

Наименование показателя	Обо- значе- ние	Положение		
		существу- ющее	после модернизации	
			Вариант 1 (без собствен- ной генерации электро- энергии*)	Вариант 2 (с собствен- ным когенера- ционным комплексом*)
Энергетический КПД _э , %	$\eta_э$	0,002	0,0021	0,003
Степень термодинамического совершенства ТС, %	ν	9,5	10,0	11,6
Термодинамический КПД _е , %	$\eta_е$	0,002	0,002	0,003
Степень технологического совершенства, %	β	90,5	90,0	88,4
Степень полного совершенства ТС, %	μ	0,0019	0,0020	0,0023
Затраты энергии на тонну материала с учетом электроэнергии, ГДж/т	q	181,5	171,3	144,6
Затраты эксергии на тонну материала, ГДж/т	e	172,4	162,8	137,4
Потери эксергии по отношению к ее значению на входе, ГДж/т, в том числе	D	172,6	162,9	137,6
внешние	Di	6,4	5,8	5,0
внутренние	De	166,2	157,1	132,6
Годовая экономия условного топлива, тыс. т/год	ΔB	–	1,9	6,3
Простой срок возврата инвестиций, лет	τ	–	До 0,5	3,3

* Пояснения на рис. 4, 5.

Очевидно улучшение термодинамических оценок энергопотребления и, как следствие, снижение потребности в энергоресурсах и затрат на их приобретение. Для лучшей иллюстрации изменений следует обратиться к схеме, разъясняющей подсистему энергообеспечения (рис. 6), и структуре генерации энергопотоков различными источниками (рис. 7). Снижение потребности импорта природного газа за счет использования высокоэффективного собственного когенерационного комплекса составит 4,4 тыс. т у. т. в год, за счет повышения качества энергоиспользования – 6,3 тыс. т у. т. в год. В относительных единицах когенерация обеспечивает улучшение основных показателей от 22 до 50 % по отношению к существующему положе-

нию. Удельное потребление энергии снижается на 36,9 МДж/т, или на 20 %, т. е. структура энергообеспечения улучшается. Отказ от полного замещения генерации электроэнергии сторонними источниками связан с безусловными ограничениями на выдачу избытков мощности внешним потребителям и нецелесообразностью работы собственной системы генерации энергопотоков в островном режиме.

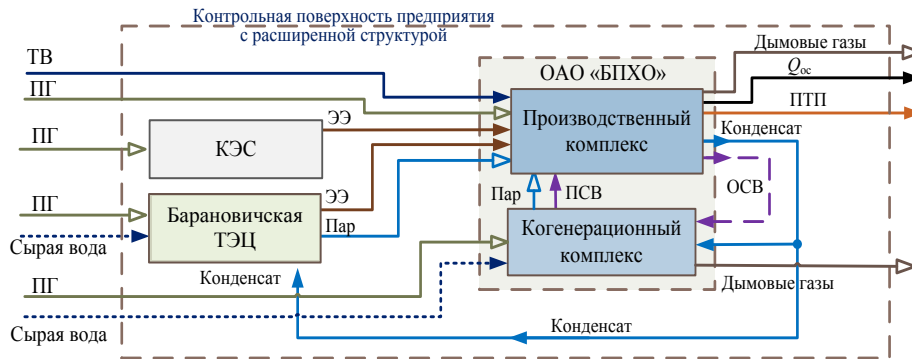


Рис. 6. Структура энергопотоков расширенной системы энергообеспечения предприятия на примере ОАО «БПХО» после ввода когенерационного комплекса (обозначения на рис. 4)

Fig. 6. Energy flows scheme of the augmented energy supply system as exemplified by JSC 'BPKhO' after introduction of the cogenerating complex (for notations see Fig. 4)



Рис. 7. Структура приходной части энергобаланса ОАО «БПХО» после модернизации теплоэнергетической системы предприятия

Fig. 7. JSC 'BPKhO' energy-balance input scheme after modernization of the enterprise heat and power system

Для иллюстрации путей достижения полученного эффекта на рис. 8 приведена принципиальная тепловая схема отделочного производства, являющегося основной теплотехнологией предприятия.

В итоге осуществлено изменение схемы тепловой подготовки технологических потоков с переходом к их двухступенчатому нагреву водяным и паровым теплоносителями, утилизации побочных потоков [11, 12], выполнено расширение энергосберегающей базы с выходом за рамки отделочного производства до границ предприятия в целом. Предусматриваются в первую очередь непосредственная рекуперация теплоты до 30,2 Гкал/сут.

и последующая утилизация теплоты с помощью АБТН низкотемпературных побочных потоков в количестве 12,4 Гкал/сут., при этом будет отпущено 30,2 Гкал/сут. теплоты с сетевой водой, из которых на системы теплоснабжения и ГВС приходится 4,9 Гкал/сут. В результате побочные потоки охлаждаются до температуры 15 °С, обеспечивая 42,6 Гкал/сут. экономии тепловой энергии, или 17 % теплотребления предприятия (1,9 тыс. т у. т. в год). На привод АБТН потребуется влажный пар давлением 0,2–0,4 МПа в количестве 17,8 Гкал/сут.

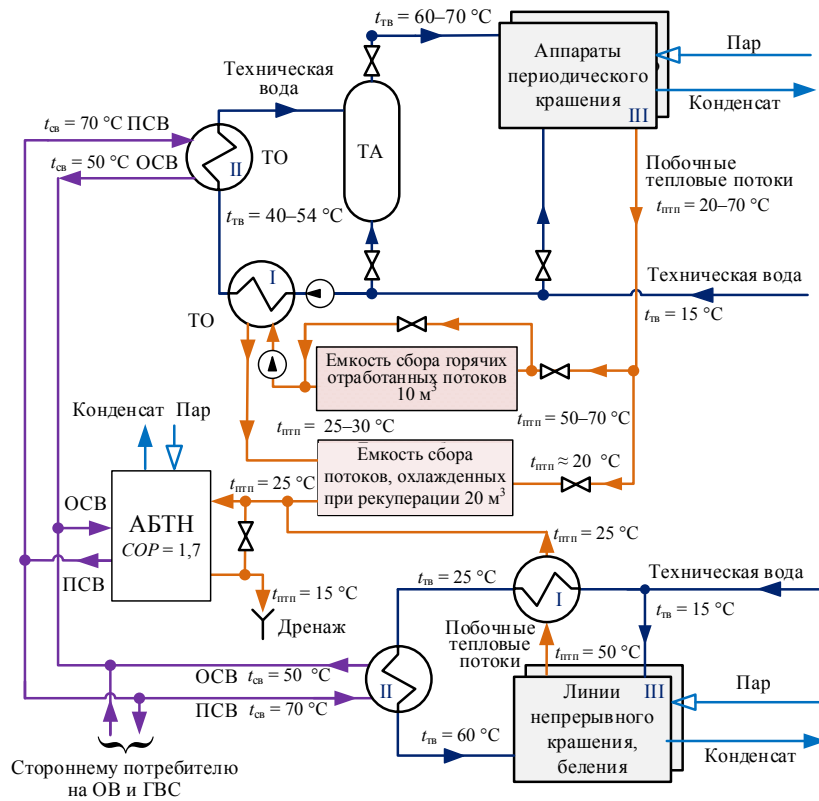


Рис. 8. Схема теплоэнергетической системы отделочного производства с утилизацией энергии побочных тепловых потоков путем интеграции в нее АБТН для внешнего энергоиспользования и двухступенчатой рекуперацией

Fig. 8. Diagram of the finishing production heat and power system with utilizing the secondary heat flow energy by means of АБТН integration for external use of energy and two-stage recovery

Следует отметить некорректность сравнения показателей энергоиспользования на рассматриваемых предприятиях республики и в Евросоюзе, поскольку в европейских показателях энергоемкости продукции не учитываются затраты топлива на генерацию вторичных энергоресурсов (тепло- и электроэнергии). В ЕС используются следующие показатели [13]:

- удельное энергопотребление SEC потребленной энергии в гигаджоулях на тонну продукции;

- энергоемкость продукции EI, отражающая количество потребленной энергии в мегаджоулях на производство готовой продукции на один евро;
- интенсивность выбросов диоксида углерода CEI в тоннах выбросов CO₂ на тонну продукции.

Для ОАО «БПХО» показатель энергоемкости SEC в варианте существующего положения равен 90,7 ГДж/т, в результате предложенной модернизации его значение снижается до 83,7 ГДж/т, что находится на уровне лучших показателей подобных немецких предприятий (80–90 ГДж/т), где имеются одинаковое технологическое оборудование и более низкие затраты на отопление в связи с иными, мягкими, климатическими условиями [13]. С учетом стоимости продукции показатель энергоемкости EI для отделочных производств Германии равен 7–8 МДж/EUR. Для ОАО «БПХО» в 2013 г. величина соответствующего показателя энергоемкости EI составила 15 МДж/EUR. При реализации рассматриваемой модернизации EI снижается до 13,7 МДж/EUR. Отмеченная разница связана с тем, что в Германии имеет место более высокая стоимость готовой продукции.

Если обратиться к повсеместно используемой в Евросоюзе такой характеристике эффективности энергоиспользования, как количество выбросов диоксида углерода на тонну произведенной продукции (CEI), получим для текстильных и трикотажных предприятий Германии 14–17 т CO₂/т продукции. Для ОАО «БПХО» в случае модернизации по варианту без когенерации CEI снизится с 4,9 до 4,5 т CO₂ на тонну продукции. Столь существенная разница обусловлена тем, что основным топливом в Германии служит уголь.

Оценка экономической целесообразности реализации мероприятий концепции интенсивного энергосбережения

Для оценки эффективности предложенных вариантов модернизации теплоэнергетической системы предприятия рассчитаны основные показатели экономической эффективности в соответствии с действующими методическими рекомендациями и нормативной документацией [14, 15]:

- динамический срок окупаемости проекта;
- чистый дисконтированный доход NPV;
- индекс рентабельности PI.

Расчеты основных показателей эффективности капитальных вложений основаны на движении чистых потоков наличности, базирующихся на экономии денежных средств за счет снижения производственных издержек на приобретение энергоресурсов со стороны. Полученные показатели эффективности инвестиций представлены на рис. 9–13. Горизонт расчета при определении технико-экономических показателей принят 15 лет.

Результаты расчета показывают, что предложенные варианты модернизации ТЭСПИ ОАО «БПХО» отвечают всем требуемым критериям, предъявляемым к проектам при отборе их для финансирования:

- динамический срок окупаемости меньше срока службы оборудования;
- чистый дисконтированный доход превышает нулевое значение;
- индекс рентабельности инвестиций больше 1.

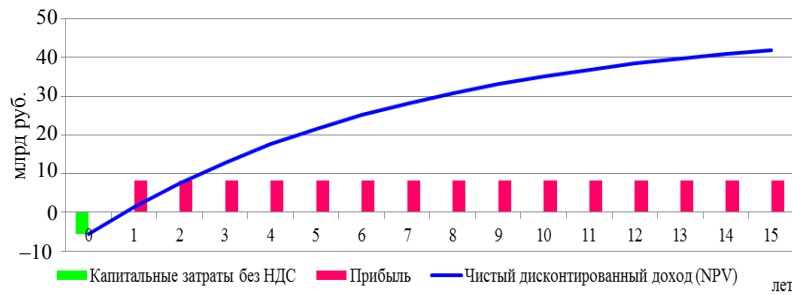


Рис. 9. Динамика изменения денежных потоков за период эксплуатации оборудования по варианту 1 при ставке дисконтирования 15 %

Fig. 9. Money flow time history for the period of the equipment operational life for Variant 1 at discount rate 15 %

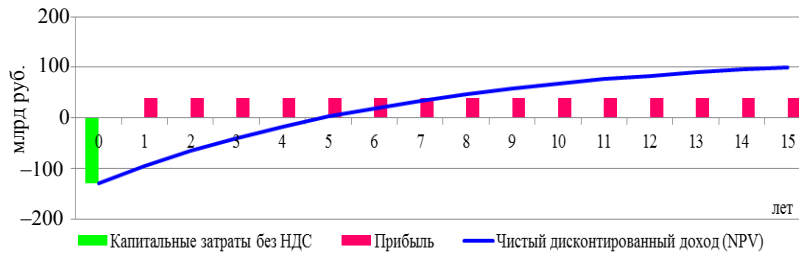


Рис. 10. Динамика изменения денежных потоков за период эксплуатации оборудования по варианту 2 при ставке дисконтирования 15 %

Fig. 10. Money flow time history for the period of the equipment operational life for Variant 2 at discount rate 15 %

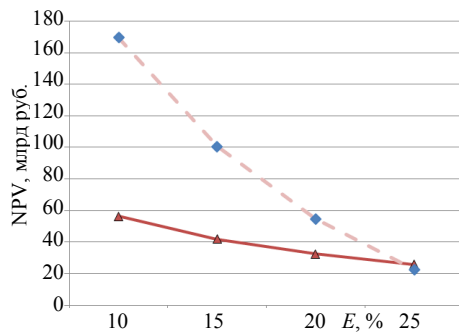


Рис. 11. Зависимость чистого дисконтированного дохода (NPV) от ставки дисконтирования (E) по вариантам модернизации: —■— — чистый дисконтированный доход (NPV), вариант 1; —◆— — то же, вариант 2

Fig. 11. Net present value (NPV) response on discount rate (E) for the modernization variants: —■— — net present value (NPV), Variant 1; —◆— — same for Variant 2

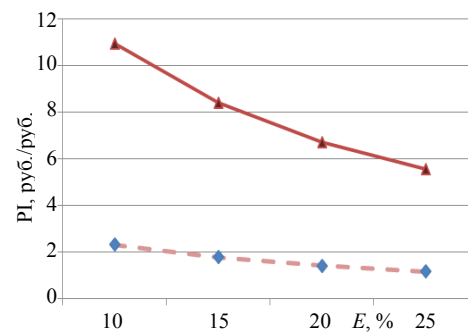


Рис. 12. Изменение индекса доходности инвестиционных затрат (PI) от ставки дисконтирования (E) по вариантам модернизации: —■— — индекс доходности инвестиционных затрат (PI), вариант 1; —◆— — то же, вариант 2

Fig. 12. Discounted profitability index alteration (PI) on discount rate (E) for the modernization variants: —■— — discounted profitability index of investment expenditures (PI), Variant 1; —◆— — same for Variant 2

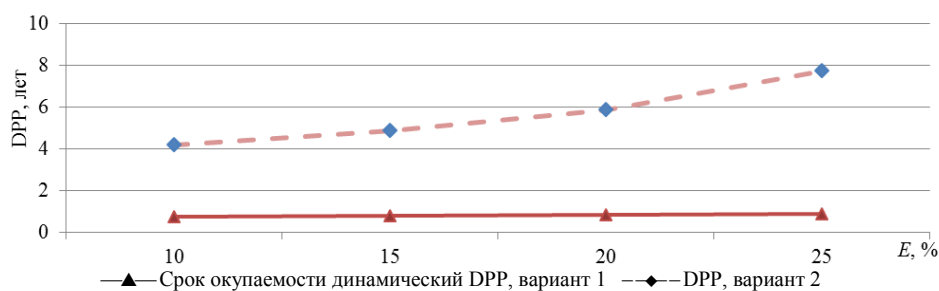


Рис. 13. Зависимость динамического срока окупаемости (DPP) от ставки дисконтирования (E) по вариантам модернизации

Fig. 13. Period of recoupment of dynamic (DPP) on discount rate (E) for the modernization variants

Оценка устойчивости экономической целесообразности

РАН ранжировала факторы риска реализации проектов совершенствования энергообеспечения [14, 15]. Эти риски сохраняются и в случае проектов модернизации энергопотребления промышленными предприятиями. Для проверки устойчивости предложенных вариантов модернизации ТЭСШ на примере ОАО «БПХО» к изменениям наиболее существенных факторов риска был произведен анализ чувствительности. Основными факторами риска снижения возврата инвестиций являются:

- повышение стоимости топлива;
- увеличение инвестиционных затрат.

Проведена оценка влияния основных факторов на изменение технико-экономических показателей при увеличении капитальных вложений на 20 % и стоимости приобретения природного газа на 20 %. Результаты расчетов показывают устойчивость вариантов модернизации по всем требуемым критериям (табл. 3).

Таблица 3

Технико-экономические показатели по вариантам модернизации при одновременном увеличении инвестиционных затрат на 20 % и стоимости природного газа на 20 %

Technical and economic indexes for the modernization variants at simultaneous investment expenditures increase by 20 % and natural gas price increase by 20 %

Наименование показателя	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2
Годовая балансовая прибыль	млн руб.	13981	58497
Потребность в финансировании	млн руб.	8123	168397
Внутренняя норма доходности (IRR)	%	169,4	30,8
Срок окупаемости простой (PP)	лет	0,59	3,20
При ставке дисконтирования 10 %			
Чистый дисконтированный доход (NPV)	млн руб.	81646	238928
Индекс доходности инвестиционных затрат (PI)	руб./руб.	15,47	2,87
Срок окупаемости динамический (DPP)	лет	0,54	3,26

Окончание табл. 3

Наименование показателя	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2
При ставке дисконтирования 15 %			
Чистый дисконтированный доход (NPV)	млн руб.	61454	153873
Индекс доходности инвестиционных затрат (PI)	руб./руб.	11,89	2,20
Срок окупаемости динамический (DPP)	лет	0,57	3,67
При ставке дисконтирования 20 %			
Чистый дисконтированный доход (NPV)	млн руб.	48001	97237
Индекс доходности инвестиционных затрат (PI)	руб./руб.	9,51	1,76
Срок окупаемости динамический (DPP)	лет	0,59	4,19
При ставке дисконтирования 25 %			
Чистый дисконтированный доход (NPV)	млн руб.	38632	57818
Индекс доходности инвестиционных затрат (PI)	руб./руб.	7,85	1,45
Срок окупаемости динамический (DPP)	лет	0,62	4,92

Оценка энергосберегающего потенциала текстильной и трикотажной отраслей легкой промышленности

По оценкам авторов, опубликованным в [16, 17], потенциал собственной энерготехнологической комбинированной генерации энергопотоков в отрасли легкой промышленности может достигать 60 МВт, что позволит ежегодно экономить порядка 80–100 тыс. т у. т. При оценке потенциала утилизации побочных тепловых потоков текстильной и трикотажной отраслей легкой промышленности Беларуси проанализированы данные по стокам более 25 крупных и стольких же мелких предприятий [18, 19]. Суммарные объемы низкопотенциальных побочных тепловых потоков по предприятиям составляют порядка 7,2 млн м³/год. Нетрудно оценить энергосберегающий потенциал их утилизации: при охлаждении потоков с 45 до 20 °С (что не составляет проблем при использовании абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов) получаем безтопливный годовой поток теплоты 0,75 млн ГДж (180 тыс. Гкал), или 28 тыс. т у. т., который необходимо утилизировать прежде всего внутри предприятий. Этот потенциал возможно реализовать непосредственно при рекуперации теплоты для проведения технологических операций крашения и при использовании тепловых насосов для утилизации тепловых потоков с температурами, ниже 45 °С.

Таким образом, совокупный энергосберегающий потенциал текстильной и трикотажной отраслей легкой промышленности Беларуси составляет порядка 0,13 млн т у. т. в год.

ВЫВОДЫ

1. Предложены варианты рационализации схем теплоэнергетической системы предприятий легкой промышленности для различных внешних условий энергообеспечения, для чего:

- разработаны и обоснованы схемы проведения тепловой обработки отделочного производства с использованием водяного теплоносителя наряду с паровым;

- разработаны и обоснованы схемы рекуперации и утилизации тепловой энергии низкопотенциальных побочных потоков в отделочном производстве и оценена их термодинамическая и экономическая эффективность;

- разработаны схемы энергообеспечения предприятия от собственного генерирующего источника с выравниванием графиков теплового потребления отделочного производства, оценена их термодинамическая и экономическая эффективность.

2. Показана технико-экономическая стабильность проектов модернизации теплоэнергетической системы предприятия с учетом основных факторов риска. Предложенные варианты модернизации энергообеспечения в рамках реструктуризации и совершенствования теплоэнергетической системы промышленного предприятия:

- имеют высокую эффективность;

- устойчивы к изменению основных факторов риска;

- обеспечивают значительную экономию органического топлива (от 1,9 до 6,3 тыс. т у. т.) и повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, что признано одним из приоритетных направлений развития экономики Республики Беларусь на ближайшую перспективу;

- улучшают экологическую обстановку в стране за счет снижения величины вредных выбросов в атмосферу. Величина снижения выбросов CO₂ при осуществлении модернизации по варианту 1 составит 3,5 тыс. т, а по варианту 2 – порядка 11,5 тыс. т в год.

3. Дана оценка совокупного энергосберегающего потенциала для текстильных и трикотажных предприятий Беларуси – до 0,13 млн т у. т. в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключников, А. Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия / А. Д. Ключников // Теплоэнергетика. 2000. № 11. С. 12–16.
2. Ключников, А. Д. Предпосылки радикального повышения эффективности работ в области энергосбережения / А. Д. Ключников // Промышленная энергетика. 2001. № 4. С. 12–17.
3. Романюк, В. Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов / В. Н. Романюк. Минск: БНТУ, 2010. 48 с.
4. Сазанов, Б. В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас. М.: Энергоатомиздат, 1990. 304 с.
5. Романюк, В. Н. К вопросу о повышении эффективности энергообеспечения линий непрерывного крашения на предприятиях легкой промышленности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // Энергия и Менеджмент. 2015. № 4–5. С. 4–13.
6. Романюк, В. Н. Развитие энергоиспользования линий непрерывного крашения на предприятиях легкой промышленности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2015. № 6. С. 40–53.
7. Романюк, В. Н. К вопросу о совершенствовании энергообеспечения аппаратов периодического крашения на предприятиях легкой промышленности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. № 1. С. 25–45.

8. Потенциал комбинированной выработки энергопотоков на базе промышленных тепло-технологий Беларуси / В. Н. Романюк [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2012. № 3. С. 51–63.
9. Shinsky, F. G. Energy Conservation Through Control / F. G. Shinsky, G. Francis. New York: Academic Press, 1978. 336 p.
10. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. М.: Энергия, 1973. 296 с.
11. Муслина, Д. Б. Сопряжение графиков потребления и генерации тепловой энергии технологическими когенерационными комплексами на примере предприятий легкой промышленности / Д. Б. Муслина, В. Н. Романюк // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. студ., магистр. и мол. ученых, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. Гомель: ГГТУ имени П. О. Сухого, 2013. С. 218.
12. Муслина, Д. Б. Энергосберегающий потенциал теплотехнологий легкой промышленности / Д. Б. Муслина // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. студ., асп. и мол. ученых с междунар. участием, Екатеринбург, 16–19 дек. 2014 г. Екатеринбург: Уральский федеральный ун-т имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ), 2015. С. 174–176.
13. Pardo Martinez, C. I. Energy Use and Energy Efficiency Development in the German and Colombian Textile Industries / C. I. Pardo Martinez // Energy for Sustainable Development. 2010. Vol. 14, No 2. P. 94–103.
14. Рогалев, Н. Д. Экономика энергетики / Н. Д. Рогалев, А. Г. Зубков, И. В. Мастерова; под ред. Н. Д. Рогалева. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 288 с.
15. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. М-вом экономики РФ, М-вом финансов РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономика, 2000. 421 с.
16. Романюк, В. Н. Потребление энергии и потенциал энергосбережения предприятий легкой промышленности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2012. № 1. С. 52–60.
17. Муслина, Д. Б. Комбинированное производство энергопотоков на предприятиях легкой промышленности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина // Перспективы развития энергетики в XXI в.: материалы II Республ. науч.-практ. конф., Минск, 11–13 мая 2011 г. Минск: БНТУ, 2012. С. 42–43.
18. Комплексная программа развития легкой промышленности Республики Беларусь на 2011–2015 гг. с перспективой до 2020 г. [Электронный ресурс] // БелЛегПром. Режим доступа: <http://www.belleprom.by/programs>. Дата доступа: 02.10.2013.
19. Концерн БелЛегПром [Электронный ресурс] // БелЛегПром. Режим доступа: <http://www.belleprom.by/about/concern>. Дата доступа: 20.10.2013.

Поступила 02.11.2015 Подписана в печать 15.01.2016 Опубликовано онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Kluchnikov A. D. (2000) Intensive Energy Saving: Prerequisites, Methods, Consequences. *Теплоэнергетика* [Thermal Engineering], (11), 12–16 (in Russian).
2. Kluchnikov A. D. (2001) Prerequisites for Work Efficiency Radical Increase in the Area of Energy Saving. *Promyshlennaia Energetika* [Industrial Power Economy], (4), 12–17 (in Russian).
3. Romaniuk V. N. (2010) *Intensive Energy Saving in the Heat-Technological Systems of Industrial Production of Building Materials*. Minsk: BNTU. 48 p. (in Russian).
4. Sazanov B. V., Sitas V. I. (1990) *Heat and Power Systems of the Industrial Enterprises*. Moscow, Energoatomizdat. 304 p. (in Russian).
5. Romaniuk V. N., Muslina D. B. (2015) On the Issue of Increasing Energy Supply Efficiency of the Lines of Continuous Dyeing in the Light Industry Enterprises. *Energiia i Menedzhment* [Energy and Management], (4–5), 4–13 (in Russian).
6. Romaniuk V. N., Muslina D. B. (2015) Energy Recovery for the Continuous Dyeing Process in the Textile Industry Enterprises. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i*

- Energeticheskikh Obединenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (6), 40–53 (in Russian).
7. Romaniuk V. N., Muslina D. B. (2016) On Improving the Energy Supply of Batch Dyeing Apparatuses in the Light Industry Enterprises. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obединenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (1), 25–45 (in Russian).
 8. Romaniuk V. N., Muslina D. B., Bobich A. A., Kolomytskaia N. A., Romaniuk A. V. (2012) Potential of Energy Flows Cogeneration Based on Industrial Thermo-Technologies in Belarus. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obединenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (3), 51–63 (in Russian).
 9. Shinsky F. G., Francis G. (1978) *Energy Conservation Through Control*. New York, Academic Press. 336 p.
 10. Brodyanskiy V. M. (1973) *Exergy Method of the Thermodynamic Analysis*. Moscow, Energiia. 296 p. (in Russian).
 11. Muslina D. B., Romaniuk V. N. (2013) Technological Cogenerating Complexes Heat Energy Consumption and Generation Graphs Conjugation as Exemplified by the Light Industry Enterprises. *Issledovaniia i Razrabotki v Oblasti Mashinostroeniia, Energetiki i Upravleniia: Materialy XIII Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. Studentov, Magistr. i Mol. Uchenykh, Gomel, 25–26 apr. 2013 g.* [Research and Development Works in the Area of Machine Building, Power Economy and Administration: Proceedings of XIII Scientific and Technical Conference of Students, Magistrands and Young Scientists, Gomel, April 25–26, 2013]. Gomel: Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, 218 (in Russian).
 12. Muslina D. B. (2015) Energy-Saving Potential of the Light Industry Thermo-Technologies. *Energo- i Resursoberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i Vozobnovliaemye Istochniki Energii: Materialy Vseros. Nauch.-Prakt. Konf. Studentov, Asp. i Mol. Uchenykh s Mezhdunar. Uchastiem, Ekaterinburg, 16–19 Dekabr. 2014g.* [Energy and Recourse-Saving. Energy Supply. Nonconventional and Renewable Energy Sources: Proceedings of Russian National Theoretical and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation, Yekaterinburg, Dec. 16–19, 2014]. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (UrFU), 174–176 (in Russian).
 13. Pardo Martinez C. I. (2010) Energy Use and Energy Efficiency Development in the German and Colombian Textile Industries. *Energy for Sustainable Development*, 14 (2), 94–103. Doi: 10.1016/j.esd.2010.02.001.
 14. Rogalev N. D., Zubkova A. G., Masterova, I. V. (2005) *Energy Economy*. Moscow, Publish. MEI, 288 p. (in Russian).
 15. Ministry of Economics of the Russian Federation, Ministry of Finance of the Russian Federation, State Committee of the Russian Federation for Construction, Architectural and Housing Policy (2000) *Methodic Recommendations on Assessment of Investment Projects Efficiency № BK 477*. 2 ed. Moscow, Publishing House “Ekonomika”. 421 p. (in Russian).
 16. Romaniuk V. N., Muslina D. B. (2012) Energy Consumption and Energy Saving Potential of the Light Industry Enterprises. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obединenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (1), 52–60 (in Russian).
 17. Muslina D. B., Romaniuk V. N. (2012) Cogeneration of Energy Flows in the Light Industry Enterprises. *Perspektivy Razvitiia Energetiki v XXI veke: Materialy II Respubl. Nauch.-Prakt. Konf., Minsk, 11–13 Maia 2011 g.* [Future Development of Power Economy in XXI Century: Proceedings of Theoretical and Practical Conference, Minsk, May 11–13 2011]. Minsk: BNTU, 42–43 (in Russian).
 18. Integrated Development Program of the Light Industry of the Republic of Belarus for 2011–2015 with Perspectives to 2020. *BelLegProm*. Available at: <http://www.bellegprom.by/programs>. (Accessed: 2 October 2013) (in Russian).
 19. BelLegProm Concern. *BelLegProm*. Available at: <http://www.bellegprom.by/about/concern>. (Accessed: 20 October 2013) (in Russian).