

УДК 666.954.3.004.183

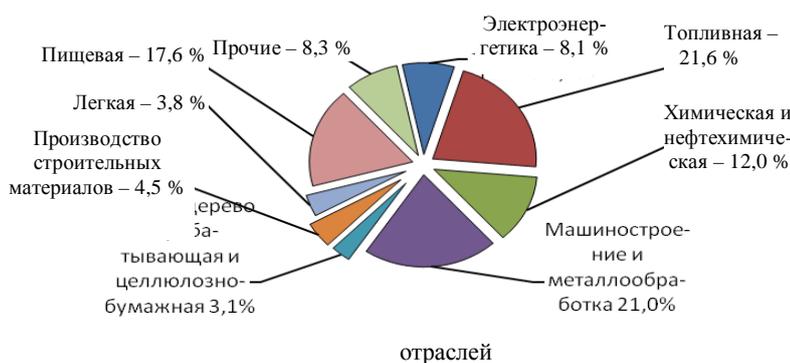
## ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Докт. техн. наук РОМАНЮК В. Н., магистр техн. наук МУСЛИНА Д. Б.

*Белорусский национальный технический университет*

Непосредственный вклад предприятий легкой промышленности в объем ВВП Республики Беларусь относительно невелик (рис. 1).

В общем объеме товарооборота непродовольственных товаров доля изделий предприятий легкой промышленности велика (до 40 %), и отрасль является важным звеном, связывающим ряд отраслей и десятков производств по выпуску потребительских товаров и услуг, непосредственно обеспечивающих жизнедеятельность населения. Более 80 % всей промышленной продукции отрасли выпускают предприятия Белорусского государственного концерна по производству и реализации товаров легкой промышленности «Беллепром» [1].



*Рис. 1.*  
Структура удельного веса продукции отдельных

Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная – 3,1 %

отраслей  
в общем объеме продукции промышленности в 2010 г.

Наибольший интерес представляют текстильные производства как сырьевая база швейных, трикотажных и обувных предприятий. На их долю приходится более трети объема производства отрасли, и при этом текстильное производство является наиболее энергоемким в легкой промышленности: энергетическая составляющая себестоимости по итогам 2009 г. превышает 10 %. Далее по данному показателю находятся трикотажные ( $\approx 8$  %) и швейные ( $\approx 3$  %) предприятия. Продолжающиеся изменения на энергетическом рынке обуславливают дальнейший рост энергетической составляющей себестоимости, которая за 2010–2011 гг. в среднем по отрасли выросла примерно на 4,5 % и превысила 12 %, при этом до 70 % ее величины обеспечивается потреблением электроэнергии. Такое положение грозит потерей конкурентоспособности продукции, что требует реализации комплекса мер по блокированию подобного развития событий. Кроме того, следует отметить, что в условиях Беларуси, где основные сырьевые потоки импортируются, направления снижения себестоимости продукции ограничены и, в первую очередь, связаны с ее энергетической составляющей. Последняя, прежде всего, определяется затратами

на приобретение электроэнергии, цена которой для многих предприятий по двухставочному тарифу, с учетом платы за заявляемую мощность, уже сегодня находится на уровне 160 дол./(МВт·ч).

Государственными программами инновационного развития Республики Беларусь в качестве приоритета развития легкой промышленности предусматривается инновационный путь повышения эффективности производства, в том числе и в отношении энергопотребления [2–6]. Требуется кардинальное изменение ситуации в части энергообеспечения и энергоиспользования промышленного производства, для чего необходим комплекс мероприятий, стимулирующих крупномасштабный энергосберегающий эффект. Задача может быть решена лишь путем рационального построения теплоэнергетических систем промышленных предприятий (ТЭСПП) [7]. Для его прохождения требуются [8]:

- освоение методологии поиска предельно полного резерва энергосбережения и состава энергосберегающих мероприятий;
- знание «адреса» главных резервов энергосбережения;
- знание структуры потребителей энергии и реальной картины энергоиспользования на объектах «адреса» главных резервов энергосбережения.

Методология поиска предельно полного резерва энергосбережения базируется на концепции интенсивного энергосбережения, определяющей тепло-технологические производства в качестве «адреса» главных резервов энергосбережения [8–10]. В контексте обозначенных задач на пути рационального построения ТЭСПП необходимы построение и анализ структуры энергопотребления отрасли.

**Анализ энергообеспечения легкой промышленности Беларуси.** Статистические данные энергопотребления отрасли указывают на теплотехническую направленность использования ею энергоресурсов, поскольку до 71 % топлива расходуется в тепловой форме (рис. 2).

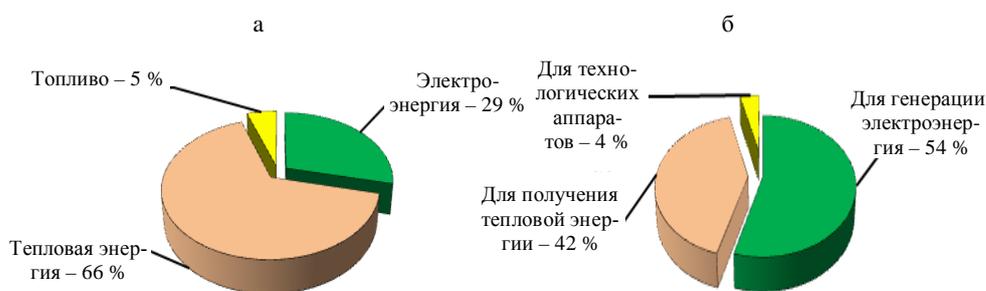


Рис. 2. Структура потребления энергии (а) и первичных энергоресурсов (б) в промышленных системах материального производства Беларуси

Сопоставление структур непосредственно энергоданса отрасли, структуры потребления первичных энергоресурсов для обеспечения жизнедеятельности ее предприятий (рис. 2) совместно с анализом структуры генерации вторичной энергии, требуемой для нужд отрасли (рис. 3, 4), приводит к выводу о:

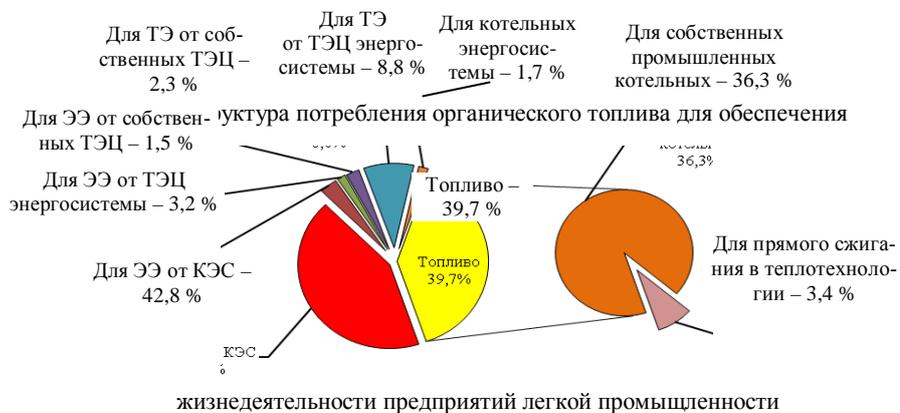
- невысокой эффективности преобразования первичных энергоресурсов в электрическую и тепловую формы энергии;

- наличии энергосберегающего потенциала, связанного, прежде всего, с генерацией вторичных энергоресурсов: тепловой и электроэнергии.



Рис. 3. Структура генерации потоков: а – электроэнергии; б – тепловой энергии для энергообеспечения отраслей легкой промышленности

Нельзя не согласиться с тем, что лишь ориентация на энергетически идеальное предприятие может быть основой для решения задачи снижения энергоемкости ВВП. Среди требований к энергетически идеальному теплотехнологическому предприятию – и тезис о том, что оно не должно потреблять электроэнергию, произведенную не на его тепловом потреблении [10]. То есть в теплоэнергетической системе идеального теплотехнологического промышленного предприятия (системы преобразования вещества) с низким и средним температурным уровнями тепловой обработки должно иметь место производство электроэнергии комбинированным способом [7]. В этом контексте структура генерации электроэнергии и тепловой энергии для рассматриваемых систем далека от энергетически идеальной (рис. 3, 4).



На сегодня лишь небольшая часть (22 %) промышленного потребления тепловой энергии используется для генерации электроэнергии комбинированным способом, при этом на распределенные собственные источники приходится до 5 % (рис. 3), что составляет порядка 8 МВт электрической мощности. Оставшиеся 78 % промышленного потребления тепловой энергии среднего и низкого температурного уровней обеспечиваются за счет котельных. В результате доминирования раздельного энергетически неэффективного и экономически дорогого энергообеспечения на фоне непрерывного роста цен на энергоресурсы энергетическая составляющая себестоимости продукции ока-

зывается высокой, что приводит к потере конкурентоспособности продукции предприятий легкой промышленности.

Для решения задач энергосбережения и одновременного улучшения финансового положения предприятий требуется максимальное использование собственной комбинированной выработки электроэнергии на теплотехнологическом потреблении предприятий. Чтобы оценить энергосберегающий потенциал отрасли за счет перевода предприятий на современное когенерационное энергообеспечение, необходимо рассмотреть структуру тепловых операций, в основе которых лежит прямое сжигание природного газа. На обеспечение предприятий отрасли тепловой энергией затрачивается до 53 % первичных энергоресурсов, и лишь 3,4 % – в процессах непосредственного сжигания топлива в технологических установках (рис. 4). Наибольший интерес для когенерационного получения энергопотоков представляет текстильное производство, теплотехнологии которого, связанные прежде всего с красильными и сушильными процессами, в наибольшей степени отвечают требованиям комбинированного энергообеспечения, поскольку их отличают низкие температуры тепловых операций, непрерывная 3-сменная работа. Изложенные обстоятельства создают условия для предельного изменения востребованной структуры электрогенерирующих мощностей, в которой доминирующая роль переходит к комбинированному производству. Эффективность использования природного газа в этом случае возрастает существенно, и в сравнении с отдельной генерацией тепловой энергии и электроэнергии потребление природного газа уменьшается на 30–40 %, что заметно изменяет энергоемкость ВВП (рис. 5).

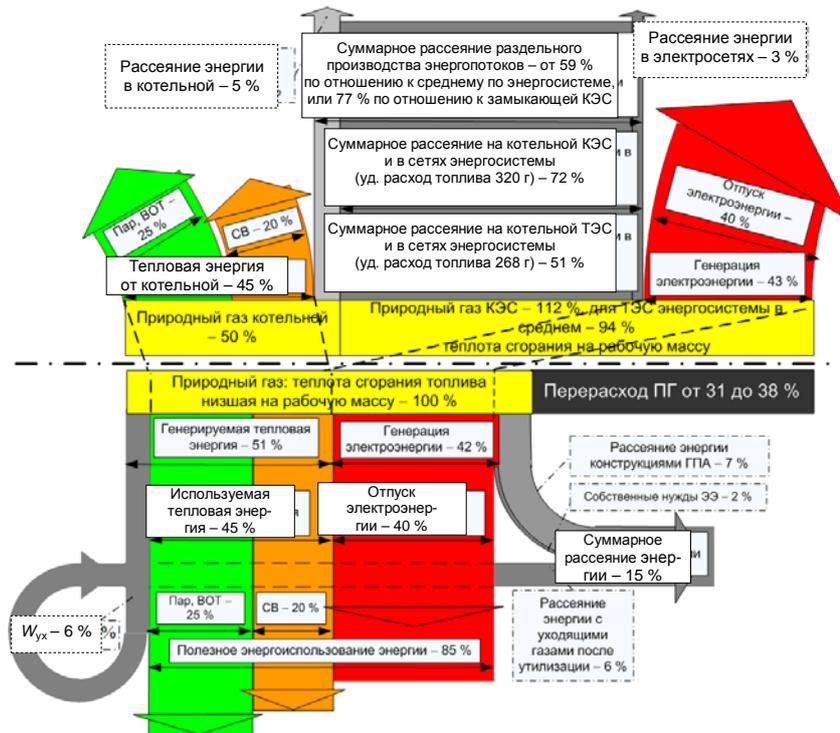


Рис. 5. Диаграммы энергопотоков отдельной и комбинированной генерации тепловой и электрической энергии при равных отпускаемых количествах

Надо отметить и увеличение в 3–5 раз удельной выработки электроэнергии на единицу тепловой энергии при комбинированной генерации на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) по отношению к различным паротурбинным ТЭЦ. Переход к собственной комбинированной генерации электроэнергии при существующем тарифе на природный газ снижает расходы на 1 МВт·ч используемой электроэнергии до 100 дол. Современные ДВС, имеющие высокие эксплуатационные показатели, создают и достаточные условия для кардинального изменения ситуации с энергообеспечением теплотехнологий, когда большая часть электроэнергии для промышленности может производиться на распределенных источниках, которыми являются собственные когенерационные комплексы предприятий.

Переход на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии необходим в комплексе с увеличением степени утилизации тепловых ВЭР, применением инженерных решений, учитывающих специфику энергопотребления теплотехнологий интеграцией, и адаптацией технологического потребления энергии к требованиям когенерационных энергоисточников. Только в этом случае будет обеспечено требуемое решение задачи энергосбережения в рамках существующих технологий.

#### **Потенциал энерготехнологической комбинированной генерации.**

С паровым и водяным теплоносителями, получаемыми за счет прямого сжигания топлива (рис. 2), в отрасли используется более 90 % общего потребления энергии, используемой конечными потребителями в тепловой форме. Это позволяет при оценке потенциала обратиться к данным эксплуатации промышленных ТЭЦ, производящих тепловую энергию с аналогичными теплоносителями. Коэффициент теплофикации для отопительных ТЭЦ составляет 0,40–0,65 [11]. Для промышленных потребителей, имеющих более весомую нагрузку межотопительного периода, с учетом возможностей современных котлов, допускающих разгрузку до 20 %, коэффициент теплофикации может быть принят равным 0,75 [12]. С учетом соотношения электрического и теплового КПД для современных газовых когенерационных комплексов, числа часов работы в году с номинальной мощностью, которое для промышленных блочных газовых ТЭЦ при должном инженерном обеспечении находится на уровне 7 тыс., рассчитывается интегральная дополнительная мощность комбинированной выработки электроэнергии, составляющая не менее 60 МВт. Полученное значение соответствует существующей потребности предприятий отрасли, что указывает на их самодостаточность в вопросе обеспечения дешевой электроэнергией, полученной с помощью наиболее энергетически совершенной комбинированной технологии на собственных распределенных энергоисточниках. Годовое снижение импорта природного газа, связанное с реализацией только энергосберегающего потенциала, обусловленного когенерацией, составляет не менее 100 тыс. т у. т. На рис. 6 показаны изменения

в структуре потребления первичных энергоресурсов, обеспечивающие указанную системную экономию природного газа.

Для Республики Беларусь, имеющей развитую газовую инфраструктуру, экономически наиболее оправдано решать проблемы энергосбережения путем повышения эффективности использования именно этого первичного энерго-

ресурса, а для предприятий легкой промышленности этот путь безальтернативен.

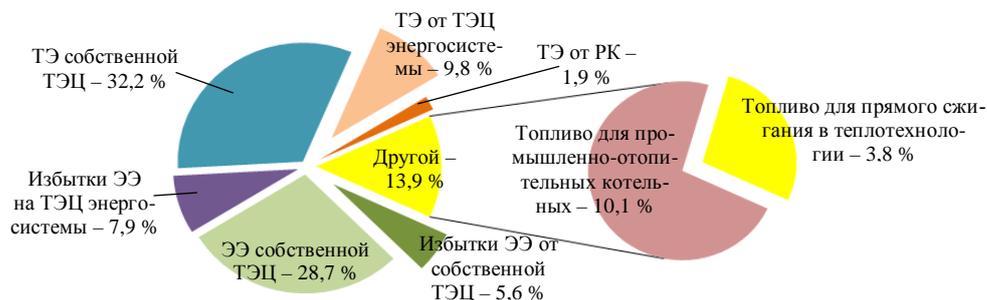


Рис. 6. Структура потребления топлива предприятиями при переходе отрасли на собственное когенерационное энергообеспечение

При системном подходе к использованию функций распределенных когенерационных комплексов их возможности расширяются как в энергетическом, так и в финансовом аспектах, увеличивая те и другие в разы [13].

**Составляющие достижения максимального энергосберегающего потенциала энерготехнологических когенерационных комплексов.** Переход теплотехнологических предприятий к когенерации на базе собственного теплового потребления с применением современных газовых тепловых двигателей для повышения устойчивости промышленного комплекса безальтернативен, и в этой связи соответствующее производство электроэнергии будет расти. Переход на комбинированную выработку энергопотоков целесообразен, как правило, на базе ДВС с выработкой пара, сетевой воды, потоков холода для систем технологического кондиционирования и электрической энергии. Для достижения надежности энергообеспечения теплотехнологии наряду с комбинированной генерацией требуемого теплоносителя используются традиционные системы прямого сжигания, которые в случае останова когенерационных комплексов обеспечивают непрерывность основного производства.

Определяющими факторами успешного перехода к собственному когенерационному производству являются:

- условие, когда годовое число часов работы с номинальной мощностью энерготехнологических когенерационных комплексов превышает теплоэнергетический вариант и должно находиться на уровне 7 тыс.;
- выбор основного оборудования с учетом особенностей конкретного объекта энергоснабжения. Во всех случаях, в первую очередь, следует ориентироваться на максимальный электрический КПД установок.

В условиях отрасли, как правило, целесообразно ориентироваться на применение газопоршневых агрегатов (ГПА). Применение газотурбинных установок (ГТУ) не освобождает от необходимости использования тепловой энергии с водяным теплоносителем, а их электрический КПД при тех единичных мощностях, что необходимы предприятиям отрасли, в 1,5–2,0 раза уступает этой характеристике ГПА.

Очень важно, что характеристики ДВС, на базе которых сегодня и решается задача комбинированной генерации энергопотоков, обеспечивают удельную выработку электроэнергии на тепловом потреблении 0,80–1,10 МВт·ч/Гкал, которая не только выше паротурбинного варианта, но и практически не зависит от температурного уровня теплового потребления.

Паротурбинная технология комбинированного производства на базе любых топлив, как показывают расчеты и опыт эксплуатации, в современных условиях не оправдана с позиций энергетических и экономических, и ее использование возможно лишь в составе парогазовых вариантов когенерационного производства энергопотоков.

Важно обеспечить максимальную эффективность подобного распределенного комбинированного производства на стадии принятия решений в ходе обоснования инвестирования и последующего проектирования. Это позволит выработать особые требования именно к разработке указанных стадий существования долгоживущих когенерационных систем [7]. Прежде всего, необходимо учитывать режим работы предприятия и графики его теплопотребления, в соответствии с которыми в состав когенерационного комплекса должно быть введено дополнительное оборудование, обеспечивающее стабильную генерацию при неравномерном потреблении тепловой энергии и при изменяющихся внешних условиях.

Неизбежны и изменения в оставшейся части теплоэнергетической системы промышленного предприятия вне непосредственных границ когенерационного комплекса. В частности, необходима максимально возможная адаптация технологического производства к возможностям когенерационного комплекса, чего не требуется при использовании в качестве источника тепловой энергии мощностей энергосистемы, когда соответствующая сопряженная проблема переносится на источник. В первую очередь это относится к случаю использования парового теплоносителя, поскольку паровые котлы-утилизаторы во всех вариантах двигателей внутреннего сгорания (как ГТУ, так и ГПА) сопрягаются с водяными котлами-утилизаторами и возникает задача использования тепловой энергии не только с паровым, но и с водяным теплоносителем. Причем соотношение использования пара и сетевой воды определяется комплексом факторов: давлением пара, температурой выхлопных газов, типом ДВС. Проблема резко обостряется с ростом давления пара и снижением температуры выхлопных газов двигателей.

Другими определяющими факторами являются технические условия энергосистемы на параллельную работу. Среди последних находятся, прежде всего, максимальная генерация в часы пиковых нагрузок энергосистемы и минимальная генерация в часы провалов графика энергопотребления или, как минимум, блокирование отпуска электроэнергии во внешние электросети, чего предпочтительнее добиваться за счет экономических рычагов, в частности соответствующих тарифов.

#### **Выбор целевой функции оптимизации когенерационных комплексов.**

Для данных долгоживущих систем преобразования энергии не менее важен вопрос их оценки. Очевидно, что приоритет экономических оценок целесообразности реализации проекта безусловен. Вместе с тем ориентация лишь на экономические факторы для долгоживущих и дорогостоящих систем преобразования энергии может привести к затратным последствиям, для снижения влияния которых следует принимать во внимание энергетические критерии. Последнее требование усиливается необходимостью резкого снижения энергоемкости ВВП. В этой связи для долгоживущих рассматриваемых когенерационных систем преобразования энергии в качестве функции цели можно рассматривать годовую экономию первичного энергоресурса при ограничениях экономического характера: возврат инвестиций в требуемом отрезке вре-

мени и т. п. Характерный пример, иллюстрирующий неполную реализацию энергосберегающего потенциала, связан с переводом в последнее время отопительных котельных в малые ТЭЦ. Мощность тепловых двигателей выбирается так, чтобы в межотопительный период их загрузка была 100%-й, и полностью игнорируется отопительная нагрузка, которая в этом случае во всем объеме покрывается за счет прямого сжигания топлива. В данном случае коэффициент теплофикации оказывается минимальным и имеет место системный совокупный годовой перерасход топлива. Аргументация такого решения связана со стремлением увеличить число часов работы когенерационного оборудования с номинальной мощностью и соответственным снижением срока окупаемости, а также блокированием снижения их КПД при соответствующей разгрузке или рассеянии энергии с недостаточно охлажденными выхлопными газами ДВС при работе последних на номинальной мощности. Нетрудно убедиться, что в случае увеличения коэффициента теплофикации при выполнении экономических ограничений, упомянутых ранее, годовая системная экономия топлива будет значительно выше, т. е. в целесообразности увеличения мощности когенерационных комплексов при реализации упомянутых проектов.

Нельзя не учитывать и сугубо термодинамические требования, для чего при выбранном первичном энергоресурсе достаточно использования двух показателей:

- коэффициента использования топлива (КПД энергетический)

$$\eta_{\text{эн}} = 100(W_{\text{э}} + Q_{\text{теп}})/Q_{\text{тпл}}, \quad \% \quad (1)$$

где  $W_{\text{э}}$  – производство (отпуск) электроэнергии, ГДж;  $Q_{\text{теп}}$  – то же тепловой энергии, ГДж;  $Q_{\text{тпл}}$  – теплота процесса горения топлива, ГДж;

- абсолютного КПД ТЭЦ по выработке (отпуску) электроэнергии

$$\eta_{\text{э,абс}} = 100W_{\text{э}}/Q_{\text{тпл}}, \quad \% \quad (2)$$

Все прочие показатели (КПД тепловой, КПД производства (отпуска) электроэнергии, удельная выработка электроэнергии на единицу отпущенной тепловой энергии и др.), применяемые традиционно для удобства оценок, являются функцией приведенных выше характеристик:

- тепловой КПД

$$\eta_{\text{т}} = 100Q_{\text{теп}}/Q_{\text{тпл}} = \eta_{\text{эн}} - \eta_{\text{э,абс}}, \quad \% \quad (3)$$

- удельная выработка электроэнергии на единицу тепловой энергии

$$w_q = W_{\text{э}}/Q_{\text{теп}} = 1163\eta_{\text{э,абс}}/(\eta_{\text{эн}} - \eta_{\text{э,абс}}), \quad \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{Гкал}, \quad (4)$$

- электрический КПД

$$\eta_{\text{э}} = 100W_{\text{э}}/(Q_{\text{тпл}} - Q_{\text{теп}}) = 100\eta_{\text{э,абс}}/(100 + \eta_{\text{э,абс}} - \eta_{\text{эн}}), \quad \% \quad (5)$$

В случае равенства  $\eta_{\text{эн}}$ , определенного в соответствии с (1), энергетически более эффективным оказывается вариант с более высоким абсолютным электрическим КПД (2). В этом можно убедиться с помощью эксергетического КПД, который требуется также использовать при необходимости выбора между различными первичными энергоресурсами [14]:

$$\eta_e = E_{\text{вых}}/E_{\text{вх}},$$

где  $E_{\text{вых}}$ ,  $E_{\text{вх}}$  – соответственно эксергетические выход и вход системы, ГДж.

## ВЫВОДЫ

1. Требуемое снижение энергоемкости и улучшение финансового положения предприятий легкой промышленности за счет уменьшения энергетической составляющей себестоимости их продукции возможны на базе перехода к собственному когенерационному обеспечению электрической и тепловой энергией.

2. Структура энергопотребления предприятий легкой промышленности такова, что отрасль может стать самодостаточной в вопросе электрообеспечения. На базе теплотехнологического потребления предприятий отрасли возможно дополнительно генерировать энергетически и экономически наиболее эффективным когенерационным способом поток электроэнергии мощностью до 60 МВт. Соответствующее снижение потребности в импорте природного газа составляет не менее 100 тыс. т у. т., что отвечает требованиям снижения энергоемкости ВВП, уменьшения энергетической составляющей себестоимости продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нарышкин, Э. М. Приоритеты развития легкой промышленности / Э. М. Нарышкин // Проблемы управления. – 2008. – № 2 (27). – С. 75–77.
2. Михалевич, А. А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы, угрозы [Электронный ресурс]: – 2010. – Режим доступа: [http://nmnby.eu/pub/0911/energy\\_security.pdf](http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf) – Дата доступа: 26.03.2010.
3. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 17 сент. 2007 г., № 433 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007.
4. Президиум Совмина о Директиве № 3 // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 2. – С. 11.
5. Энергоэффективность белорусской экономики: достижения и ограничения. – Экономика и бизнес [Электронный ресурс]: – 2010. – Режим доступа: <http://news.tut.by/economics/164966.html> – Дата доступа: 26.03.2010.
6. Нова я Концепция энергетической безопасности. В чем отличие от прежней? // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 2. – С. 8–10.
7. Романюк, В. Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.04 / В. Н. Романюк. – Минск, БНТУ. – 2010. – 48 с.
8. Ключников, А. Д. Предпосылки радикального повышения эффективности работ в области энергосбережения / А. Д. Ключников // Промышленная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 12–17.
9. Ключников, А. Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия / А. Д. Ключников // Теплоэнергетика. – 2000. – № 11. – С. 12–16.
10. Шински, Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински. – М.: Мир, 1981. – 388 с.
11. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б. В. Яковлев. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.
12. Потребление энергии и потенциал энергосбережения в промышленных теплотехнологиях и теплоэнергетике / В. Н. Романюк [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2011. – № 3. – С. 3–11.
13. К вопросу обеспечения графиков электрической нагрузки энергосистемы с привлечением потенциала энерготехнологических источников промышленных предприятий / Б. М. Хрусталева [и др.] // Энергетика и менеджмент. – 2010. – № 1. – С. 4–11.
14. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 288 с.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т

Поступила 20.10.2011