

## К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ. ВЗГЛЯД В БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ И ОБОЗРИМУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

*Романюк В.Н.*

*Белорусский национальный технический университет*

### **Введение**

В связи с необходимостью разработки новой долгосрочной стратегии совершенствования экономики Беларуси на период до 2030–2050 г.г., гармонично сочетающего инновационные и эволюционные изменения хозяйственного механизма, чрезвычайно актуально определиться с тенденциями дальнейшего развития систем теплоснабжения и энергоснабжения промышленности, предприятия которой в основной массе используют теплотехнологии. Уже к 2015–2020 г. в мире прогнозируется резкий рост стоимости всех ресурсов, что вызовет падение производства на фоне растущего загрязнения окружающей среды, и вызванное им изменение климата [1, 2]. В этой связи разработка первоочередных мер по подготовке экономического механизма страны к грядущим изменениям на сырьевых и энергетических рынках и необходима, и очень своевременна.

### **Исходное состояние**

Безусловно, развитие систем теплоснабжения, на которые приходится до 40 % потребляемых в Беларуси топливно-энергетических ресурсов, должно быть связано с энергосбережением. Сегодня необходимо не просто повышение, а кардинальное увеличение эффективности использования энергоресурсов на всех стадиях: производства, передачи и их потребления. Система теплоснабжения является важной составляющей созданного в последние 60 лет хозяйственного комплекса страны. Этот комплекс не может быть кардинально изменен даже за десятилетие из-за ограниченности ресурсов финансовых, людских, временных и т.п.

Каждый хозяйственный комплекс характеризуется сложившейся индивидуальной структурой энергобаланса, включающего первичные и вторичные энергоресурсы, побочные потоки энергии<sup>1</sup>. Что характеризует хозяйственный комплекс Беларуси? Прежде всего, развитая газовая инфраструктура в широком смысле: газотранспортная система; теплотехнологии, ориентированные на применение природного газа; специалисты, подготовленные для работы с этим топливом.

Используемые в Беларуси первичные энергоресурсы составляют  $\approx 0,3$  % мирового потребления, в том числе до  $\approx 0,5$  % потребления природного газа [5]. Если мы прекратим всякую деятельность, связанную с потреблением топлива, очевиден факт, что значимых изменений ни в экологической ситуации, ни в объемах запасов невозобновляемых энергоресурсов на планете Земля не произойдет. Однако это не означает, что мы не должны бережно относиться как к окружающей среде, так и потреблению первичных энергоресурсов. Вместе с тем, не представляется разумным «бежать впереди планеты всей», интенсивно развивая технологии энергообеспечения, которые сегодня в сравнении с альтернативными решениями крайне дороги, а потому ведут, по большому счету, только к перерасходу столь необходимых стране средств. По сути, они инвестируются в разработку и производство соответствующих технологий и оборудования в отдельных, заметим, далеко не бедных, странах.

Более взвешенно следует рассматривать и использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые, конечно, привлекательны, но объективно не способны обеспечить у нас необходимого изменения ситуации. ВИЭ можно и нужно развивать, но не в ущерб

---

<sup>1</sup> Вторичные энергоресурсы — это преобразованные потоки энергии: электроэнергия, тепловая энергия с различными энергоносителями. В этом контексте использован термин «вторичные энергоресурсы». Широко используемое понятие ВЭР, не совсем корректно и вносит путаницу. Поэтому в статье, как предписывает соответствующая литература, применяется термин «Побочные энергоресурсы».

(за счёт) промышленности и энергетике, отвлекая и без того ограниченные ресурсы от более радикальных шагов по сокращению потребления импортируемого топлива. Пагубно и загружать реальный сектор экономики связанным увеличением тарифов на электроэнергию, компенсируя затраты на покупку электроэнергии у производителей полученную преобразованием энергии ветра, солнечного излучения, использования биогаза и т. п.

Аналогичный подход в части взвешенности решений, справедлив и в отношении экологии. Не следует вводить чрезмерные, неоправданные требования, например, по выбросам оксидов азота, затрудняя, а то и блокируя ввод экономически выгодных установок, например, на базе газо-поршневых агрегатов, давая дорогу другим, например, газотурбинным, микро-турбинным установкам, менее экономичным и более энергозатратным применительно к используемым на промышленных предприятиях типоразмеров. В результате такой заботы об экологии получаем в 1,5 раза большие выбросы диоксида углерода ответственного за парниковый эффект, борьба с которым приобрела статус первостепенной мировой задачи.

Исходя из сказанного, на наш взгляд, представляется наиболее целесообразным дальнейшие шаги по развитию энергосбережения в Беларуси ориентировать на использование природного газа, разведанных запасов которого, по оценкам РАН и признанных мировых институтов, хватит на 200–250 лет при сохранении нынешнего уровня энергопотребления [6–8]. Неизбежный рост цены природного газа можно компенсировать значительным (до 40 %) повышением эффективности его использования [9]. Кроме того, ввод атомной электростанции на треть снизит его потребление в электроэнергетике.

#### **Развитие энергообеспечения**

Согласно концепции интенсивного энергосбережения, сформулированной профессором А. Д. Ключниковым, почти четверть века возглавлявшим факультет промышленной теплоэнергетики МЭИ, следует, что для достижения максимального энергосберегающего потенциала надо расширять систему, энергосберегающую базу, вовлекаемую в процесс рационализации энергоиспользования [10, 11]. Это ключевой момент, на который следует обратить внимание. Расширение энергосберегающей базы ускорит решение стоящей перед нами глобальной задачи обеспечения относительной энергетической безопасности. К сожалению, абсолютная энергетическая безопасность на сегодня, следует признать, недостижима.

*Методология энергосбережения.* Адрес энергосберегающего потенциала известен, это теплотехнологии, конечная стадия энергоиспользования, ради которой, собственно, и добываются первичные энергоресурсы и где теоретические затраты на проведение тепловой обработки зачастую не превышают 10 % фактического энергопотребления [10, 11]. Аналогичная ситуация, хотя и несколько лучшая, с теплоснабжением городов и поселков городского типа, где требуемый прорыв в снижении потребления топлива может быть обеспечен, в основном, за счет расширения энергосберегающей базы. Традиционная методическая основа решения проблемы энергосбережения, отличающаяся дискретностью энергетического анализа в узких границах отдельных технологических агрегатов и в рамках частных мероприятий, оказывается недостаточной для исследований, нацеленных на выявление предельно полного резерва энергосбережения в технологических комплексах материального производства, основное ядро которого, как это ни странно звучит, часто находится преимущественно вне физических границ отдельных конечных приемников энергии – в зонах контакта технологических полупродуктов и продуктов с окружающей средой. Поэтому предпосылкой радикального сдвига в решении проблемы энергосбережения в сфере материального производства является внедрение новой методической основы, базирующейся на системном подходе [10, 11]. Главные особенности этой методологии:

1. Объектом энергетического анализа служат замкнутые отраслевые технологические комплексы материального производства, которые только и могут формировать базу поиска крупномасштабного энергосберегающего эффекта.
2. Конкретным средством поиска крупномасштабного энергосберегающего эффекта выступает полная совокупность выявляемых технологических, энергетических, теплотехнических и технических мероприятий интенсивного энергосбережения.

При этом в условиях многоступенчатых технологий особое значение приобретают технологические мероприятия.

Непосредственно предприятия должны активизировать работы направленные на:

1. Выявление и разработку энергосберегающих решений существующих теплотехнологий.
2. Модернизацию технологий и их энергообеспечения. Последнее наиболее просто осуществить на базе когенерации как традиционной, так и теплотехнологической. Если традиционная когенерация расширяет теплофикацию количественно, вовлекая в процесс комбинированной выработки энергопотоков мелкие потребители тепловой энергии, теплотехнологическая когенерация расширяет теплофикацию качественно, вовлекая в нею потребителей тепловой энергии, требующие идеально-газовые теплоносители и высокотемпературные органические теплоносители. Теплотехнологическая когенерация, при которой двигатели внутреннего сгорания встраиваются непосредственно в теплотехнологию, более выгодна. Во-первых, потому, что используется уже установленное теплоутилизационное оборудование, которым являются технологические установки. Во-вторых, имеет место замещение прямого сжигания природного газа для проведения средне- и низкотемпературных тепловых операций, где оно наименее эффективно с термодинамических позиций.

При разумной энергетической политике распределенные источники, мощность которых уже сегодня в стране превысила 0,6 ГВт и может превысить 1 ГВт, способны существенно облегчить обеспечение графиков электропотребления ОЭС Беларуси. Актуальность последнего обусловлена предстоящим вводом в строй Белорусской АЭС.

3. Утилизацию сбросных потоков:
  - 3.1. Средне- и высокотемпературных.
  - 3.2. Низкотемпературных с помощью абсорбционных тепловых насосов (АБТН), обеспечивающих уже на сегодняшнем уровне не менее 40 % снижение расхода топлива и, главное, финансов на получение сетевой воды и технологической горячей воды.
4. Замену электроэнергии механической, тепловыми формами энергии для крупных потребителей. Это и замена электрического привода различными тепловыми двигателями, прежде всего двигателями внутреннего сгорания. Это замена парокомпрессионных холодильных машин абсорбционными установками при наличии дешевой тепловой энергии когенерационных источников и ей подобных.
5. Вытеснение редуцирования (дросселирование) потоков адиабатным расширением с выработкой электроэнергии (утилизационные газовые и паровые турбины). При этом целесообразно рассмотреть несколько по иному использование паровых отопительных котельных с сетевыми паровыми подогревателями, допустимая нагрузка которых может достигать 30 Гкал/час.

Безусловно, для решения стоящих задач требуются квалифицированные кадры, которых в настоящее время остро не хватает и необходимо неформально развивать систему их подготовки.

Требуется усовершенствовать систему тендерного отбора исполнителей проектов. Сегодня зачастую отдается предпочтение организациям, которые, в конечном счете, дискредитируют проектные решения, поскольку не имеют ни опыта, ни кадров требуемой квалификации, но берутся выполнить работы при минимальной оплате, рассчитывая привлечь специалистов, часто случайных.

Необходимо обеспечить закупки современного, высокоэффективного оборудования и добиться ответственности специалистов за принятые решения. Формально это имеет место, на деле из-за отсутствия квалификации и (или) государственной позиции у заказчиков, поставщики оборудования добиваются решений исходя из своих частных интересов, заручившись зачастую поддержкой институтов, призванных исключить подобное. Яркий пример

тому - неоправданно широкое распространение микротурбинных и газотурбинных установок на промышленных предприятиях с игнорированием всех технико-экономических показателей и необходимых расчетов.

Однако и этого недостаточно для экономики Беларуси и, в этом контексте, для достижения результата, в котором остро нуждается хозяйственный механизм страны, необходимо расширение энергосберегающей базы с выходом за границы предприятий путем объединения их теплоэнергетических систем с системами теплоснабжения и иными системами энергообеспечения сопряженных населенных пунктов. В результате такого объединения, и это заслуживает внимания, будет иметь место расширение и изменение состава теплогенерирующих источников систем теплоснабжения, что, в конечном итоге, приведет к качественному изменению последних подобного тому, что имело место в двадцатые годы прошлого века в СССР. Тогда был сделан шаг по изменению всей существовавшей системы энергоснабжения: апробирован переход от автономного тепло- и электроснабжения к комбинированному производству соответствующих энергоресурсов

В нашем случае речь идет об использовании в системе централизованного теплоснабжения побочных энергетических потоков промышленного производства и не только наряду с традиционными теплоисточниками, такими как котельные и ТЭЦ, работа которых основана на потреблении первичных энергоресурсов. К побочным потокам, о которых здесь идет речь, следует отнести, прежде всего, низкотемпературные тепловые потоки, в избытке образующиеся как при реализации промышленных теплотехнологий, так и в жилищно-коммунальном хозяйстве (канализационные стоки).

#### **Энергетическая база систем теплоснабжения и ее развитие**

Низкотемпературные (до 50 °С) тепловые потоки, которые в той или иной степени организованы, составляют не менее 30 % тепловых выбросов промышленных предприятий. Поскольку все потребление энергии промышленными предприятиями, в конечном счёте, рассеивается в окружающей среде в тепловой форме, нетрудно определить величину и отметить значительный потенциал рассматриваемого теплового потока, поскольку на промышленность приходится до 40 % энергоресурсов, расходуемых в стране. Коммунальному хозяйству требуется приблизительно такое же количество энергоресурсов, как и промышленности, т. е. те же 40 % общего потребления. Расходуемая системами горячего водоснабжения энергия, в конечном итоге, также рассеивается в окружающей среде с канализационными стоками и, как принято считать, составляет до 30 % энергии, необходимой системам теплоснабжения. Однако низкая температура упомянутых потоков коммунальных и промышленных не позволяет их повторное прямое использование.

Среднетемпературные (до 120 °С) тепловые выбросы промышленных предприятий и, в ряде случаев, тепловые потоки с более высокой температурой используются частично или вовсе не используются из-за отсутствия спроса. При этом, как правило, потенциальные потребители, такие как системы теплоснабжения, расположенные по соседству с источниками выбрасываемых тепловых потоков, игнорируются. Между тем, объём этих тепловых выбросов, их энергосберегающий потенциал соизмерим с вышеупомянутыми низкотемпературными побочными тепловыми потоками промышленного производства. Например, Белорусский металлургический завод, по данным энергоаудита, в 2000 г. рассеивал технологические побочные тепловые потоки в воздушных охладителях с температурой и в объеме достаточных для теплоснабжения г. Жлобин в межотопительный период, т. е. для закрытия потребности горячего водоснабжения города, а это 30 % потребности системы теплоснабжения. И это величина энергосбережения может быть только увеличена за счет утилизации низкотемпературных потоков либо завода, либо коммунальных на величину до  $(100\% - 30\%) \cdot 40\% = 28\%$  общей потребности теплоснабжения. В итоге можно рассчитывать на снижение потребления топлива на теплоснабжение города порядка 50 %.

Котельные в системе теплоснабжения страны занимают одно из доминирующих мест, многие из них являются производственно-отопительными. Рядом с ними, в большинстве случаев, имеются промышленные предприятия, на которых те или иные тепловые низкотем-

пературные потоки предприятий рассеиваются в окружающей среде градирнями систем оборотного водоснабжения, или сбрасываются в канализацию. Связано это с тем, что температура их низка и не позволяет найти потребителей теплоты охлаждения этих потоков. Так, Борисовское СП «ФреБор» ООО, по приблизительным оценкам, сбрасывает в отопительный период через испарительные градирни тепловой поток мощностью до 6 МВт. Технологический, непрерывный сброс теплоты системой оборотного водоснабжения ОАО «Мозырсьоль», в первом приближении, оценивается потоком мощностью до 20 МВт. Завод «Полимир» ОАО «Нафтан» вынужден непрерывно рассеивать через градирни тепловой поток мощностью от 100 МВт в отопительный период до 200 МВт в межотопительный период. Отделочные производства предприятий легкой промышленности сбрасывают в среднем в сутки не менее 20 ГДж с канализационной водой, использование которой возможно и внутри самих предприятий несмотря на то, что производство ориентировано на паровой теплоноситель. Использование теплоты стоков отделочных производств возможно и внешними потребителями. Во всех случаях, по предварительным оценкам, достигается заметное улучшение финансового положения предприятий. Отметим еще раз, что все перечисленные потоки не используются, поскольку их температура низка.

Сегодня изменилась техническая база, например, появились эффективные абсорбционные тепловые насосы (АБТН), позволяющие изменить ситуацию с утилизацией низкотемпературных тепловых потоков и принести значительную финансовую выгоду.

#### **Техническая база**

Если говорить об утилизации среднетемпературных потоков и потоков с более высокой температурой, то вопросы возникают лишь в отношении согласования и взаимовыгодного объединения интересов различных субъектов хозяйствования и предприятий, поскольку необходимое техническое обеспечение, прежде всего, теплообменные аппараты, в том числе и успешно работающие на потоках загрязнённых, агрессивных и других сред, имеются в достаточном ассортименте. Прежде всего, это теплообменники ТТАИ, выпускаемые ООО «Кедр» в г. Гомель, широко известные в стране и хорошо себя зарекомендовавшие на протяжении десятилетия [14].

Сегодня ситуация изменилась и, в дополнение к изменениям в оценке энергоресурсов, появились надёжные и удобные в эксплуатации абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы (АБТН), получившие название чиллеров [16]. Они достаточно дешевые, выпускаются рядом компаний с мировым именем, что косвенно свидетельствует об их популярности и широком применении в развитых странах. Например, АБТН наиболее успешной в мире и широко известной у нас китайской корпорацией BROAD. Период их эксплуатации составляет 20 лет, в ходе которых не нужны расходные материалы. Это, конечно, при условии ответственной эксплуатации, что при наличии квалифицированного персонала и опыта в условиях Беларуси не является проблемой. Дополнительной нагрузки на экологию при использовании АБТН не создается. Их типоразмерный ряд охватывает диапазон от десятков киловатт до десятков мегаватт мощности отпускаемого теплового потока сетевой воды, нагреваемой до 85 °С, что достаточно для решения обозначенной задачи. Утилизируют АБТН тепловые потоки в диапазоне температур от 12 до 50 °С. Тепловые потоки с более высокой температурой целесообразно, как доказано, использовать непосредственно. Приводом для АБТН, и это важно, служит относительно дешевая тепловая энергия. Возможные теплоносители: пар, дымовые газы, перегретая вода, наконец, топливо жидкое и газообразное. В последнем случае имеется возможность увеличивать мощность отпускаемого потока теплоты от АБТН и выполнять функции водогрейного котла и за счет дополнительного потребления топлива сверх того, что требуется для утилизации имеющегося теплового потока. Соотношение потоков, составляющих баланс энергии АБТН, определяется их энергетическим КПД (отопительным коэффициентом, коэффициентом преобразования). Сегодня это соотношение таково: утилизируемый низкотемпературный поток — 40 %, затраты энергии теплогенерирующего источника — 60 %, поток теплоты сетевой воды — 100 %. Соответствующие решения проектировщиков (по схемам использования и подбору параметров теплоносителей) могут обес-

печить работу АБТН с более высоким коэффициентом преобразования, и снизить затраты энергии теплогенерирующего источника с 60 до 45 %, соответственно увеличив вклад утилизируемых потоков и снизив долю потока топлива. В случае широкого использования АБТН соотношение весов утилизируемого теплового потока и затрат теплоты теплогенерирующим источником может быть несколько улучшено и за счёт заинтересованности изготовителей в изменении характеристик теплопередающих пучков теплообменников АБТН.

Однако уже сегодня АБТН обеспечивают, при сопряжении с котельными, до 40 % экономии топлива и, соответственно, средств на его покупку, что крайне важно. Ведь топливная составляющая себестоимости отпускаемой котельной тепловой энергии высока и может достигать 90 %. Оправданно, в этой связи, ожидание высоких экономических показателей проектов модернизации. Естественно, необходимо наличие соответствующих побочных тепловых потоков.

Из рассмотрения следует, что проблем, нерешаемых в техническом плане, нет. Остается лишь заинтересовать предприятия и организации различных ведомств в переходе к качественно новой системе централизованного теплоснабжения, и этот переход станет достойным ответом на вызов времени.

### **Выводы**

1. Теплотехнологии, базирующиеся на использовании природного газа, являются основной базой энергосбережения в республике и, в этой связи, целесообразно дальнейшие шаги по развитию энергообеспечения и энергосбережения ориентировать в направлении повышения эффективности использования именно этого топлива с тем, чтобы потребность в импорте природного газа снизилась на десятки процентов.
2. Дальнейшее развитие энергосбережения, ориентированного на реализацию максимального энергосберегающего потенциала, должно базироваться на принципах системного подхода, которые и заложены в основу концепции интенсивного энергосбережения.
3. Необходимо рассмотреть вопрос о качественном изменении системы теплоснабжения городов, предусматривающем объединение теплоэнергетических систем промышленных предприятий, энергосистемы и ЖКХ в части использования в системе централизованного теплоснабжения побочных энергетических потоков. Это позволит снизить потребление топлива системами теплоснабжения на 30 %, что приведёт к экономии до 10 % потребляемых в стране первичных энергоресурсов, улучшит экологическую обстановку, облегчит покрытие суточных графиков генерации электроэнергии, что актуально с вводом АЭС и, в связи с этим, обеспечит дальнейшую системную экономию топлива.
4. Для согласования и объединения интересов различных субъектов хозяйствования, необходимо создание соответствующей законодательной базы, регулирующей взаимоотношения предприятий промышленности и водопроводно-канализационного хозяйства, с одной стороны, при использовании их тепловых потоков в системах теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства и энергетики, с другой стороны. Техническая база и квалифицированный персонал для реализации предлагаемых изменений в Беларуси имеются. Современные апробированные технологии также доступны, и их внедрение не является проблемой.

Изложенное указывает на целесообразность и необходимость внесения в план перспективных национальных проектов, приоритетных на 2016–2030 г. входящих в разрабатываемый документ «Стратегия. Республика Беларусь-2030: формирование экономики знаний» положение о необходимости развития систем централизованного теплоснабжения за счет использования побочных тепловых потоков промышленных предприятий, станций очистки канализационных стоков на базе абсорбционных тепловых насосов, что, по предварительным

оценкам, обеспечит снижение потребления топлива системами централизованного тепло-снабжения не менее 30 %.

*Список использованных источников*

1. Пророков Н. «Пределы роста»: мир приближается к коллапсу [электронный ресурс]: 2014. Режим доступа: <http://theoryandpractice.ru/posts/9566-predely-rosta> Дата доступа: 11.09.2014.
2. Медоуз, Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 342 с.
3. Лаверов, Н.П. Топливно-энергетические ресурсы: состояние и рациональное использование / Н.П. Лаверов // Энергетика России: проблемы и перспективы: тр. науч. сессии РАН: общ. собрание РАН 19 -21 декабря 2005 г. / под ред. В.Е. Фортотова, Ю.Г. Леонова; РАН. М.: Наука, 2006. С. 21 - 29.
4. 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.
5. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в промышленных теплотехнологиях / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Т.В. Бубырь // Энергия и Менеджмент. № 6. 2013. С. 8–12.
6. Коротаяев, Ю.П. Природный газ доминанта современной и будущей энергетики России и мира / Ю.П. Коротаяев. М.: Нефть и газ, 1996. 83 с.
7. Судо, М.М. Энергетические ресурсы. Нефть и природный газ. Век уходящий / М.М. Судо, Э.Р. Казанкова // Россия в окружающем мире: аналитический ежегодник / Международный независимый эколого-политологический университет. М., 1998. С. 10–22.
8. Глава ВР попросил инвестиций в энергетику на 30 триллионов долларов. [электронный ресурс]: TUT.BY / НОВОСТИ. 2009. Режим доступа:<http://news.tut.by/150361.html> Дата доступа: 20.10.2009.
9. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов: дис. докт. техн. наук: 05.14.04 / В.Н. Романюк; БНТУ. Мн., 2010. 365 с.
10. Ключников, А.Д. Предпосылки радикального повышения эффективности работ в области энергосбережения / А.Д. Ключников // Промышленная энергетика. № 4. 2001. С. 12–17.
11. Ключников, А.Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия / А.Д. Ключников // Теплоэнергетика. № 11. 2000. С. 12–16.
12. Шински, Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински. М.: Мир, 1981. 388 с.
13. Богачева, А.И. Паровинтовая машина ПВМ-1000 обеспечивает электроэнергией центральную котельную в г. Муравленко / А.И. Богачева, М.Н. Никитин, А.Н. Шаповалов // Турбины и дизели. № 3 (май-июнь). □ 2011. С. 48 - 51
14. Барон, В.Г. Легенды и мифы современной теплотехники (пластинчатые теплообменные аппараты и кожухотрубные аппараты ТТАИ) / В.Г. Барон // Энергоэффективность. № 2. 2007. С. 17-19.
15. Кошкин, Н.Н. Холодильные машины: Учебн. для вузов по специальности «Холодильные машины и установки» / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек и др. Под общ. ред. И.А. Сакуна. Ленинград: Машиностроение, 1985. 510 с.
16. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Д.Б. Муслина и др. // Энергия и менеджмент 2013. № 2. С. 49.