

УДК 658.26:666.982

**ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ****А.М. НИЯКОВСКИЙ***(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены вопросы потребления тепловой и электрической энергии в теплоэнергетических системах промышленных предприятий, осуществляющих производство сборного железобетона. Проанализирована структура энергопотребления. Показано влияние на объёмы и структуру потребления энергии химических добавок – ускорителей твердения, а также различных технологических приёмов при осуществлении тепловой обработки бетонов. Предложена оценка изменения структуры и объёмов удельного потребления тепловой и электрической энергии при производстве сборного железобетона. Представлена обобщённая структурная схема теплоэнергетической системы предприятий железобетонных изделий и сформулированы основные принципы её совершенствования в условиях модернизации производства и технологии с целью оптимизации энергопотребления таких предприятий и снижения затрат первичной энергии на их энергообеспечение.

Введение. Производство железобетонных изделий (ЖБИ) в Республике Беларусь и в большинстве государств бывшего СССР сопряжено со значительным расходом топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Удельный вес затрат, связанных с приобретением ТЭР, составляет в себестоимости продукции предприятий, выпускающих сборный железобетон, от 7 до 12 %. На протяжении достаточно долгого времени ведутся научные исследования и осуществляются практические мероприятия, направленные на снижение энергопотребления при производстве ЖБИ [3; 4; 8; 11; 12]. Однако все они посвящены решению локальных задач, связанных с предотвращением необоснованных потерь энергии при осуществлении производственных процессов, совершенствованию отдельных технологических операций и режимов их осуществления. В частности, предлагается изменять параметры и условия обработки ЖБИ, состав и качество исходных компонентов, используемых для изготовления бетонных смесей. При этом за рамками рассмотрения остаются возникающие системные эффекты и влияния, обусловленные реализацией таких предложений. На ряде предприятий, в частности ОАО «Новополоцкжелезобетон», для энергообеспечения планируется внедрить собственные мини-ТЭЦ. При этом остаётся открытым вопрос расчёта оптимальных величин электрической и тепловой мощности таких источников. Их значение определяется исходя из сложившейся энергоёмкости тех или иных производственных процессов, без учёта современных, в первую очередь зарубежных тенденций, свидетельствующих о наличии предпосылок к существенному изменению структуры и объёмов энергопотребления при производстве ЖБИ. Всё это свидетельствует о необходимости проведения научно-исследовательских работ, призванных обеспечить системный подход к рассматриваемой проблеме.

Структура и объёмы потребления ТЭР в значительной степени зависят от номенклатуры выпускаемой продукции, типов основного технологического оборудования, видов и составов бетонных смесей.

Основными потребляемыми при производстве ЖБИ видами энергии являются электрическая (ЭЭ) и тепловая (ТЭ). Электрическая энергия в основном расходуется на силовой привод машин и механизмов, используемых в технологии производства ЖБИ, пневмостранспорт и вентиляцию, электросварку, для обеспечения автоматического контроля и управления, на освещение и пр. В значительно меньшем объёме, чем ранее, ЭЭ применяется сейчас для тепловлажностной обработки (ТВО) бетонов и бетонных смесей. Для ТВО железобетонных изделий в больших объёмах потребляется ТЭ, которая также расходуется на разогрев инертных заполнителей (песка, щебня, прочих сыпучих материалов), бетонных растворов при их приготовлении, а также на коммунально-бытовые нужды производства (отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение). При этом технологическое потребление энергии является преобладающим для предприятий, производящих ЖБИ. Перечисленные выше направления энергопотребления условно могут быть отнесены к так называемым «прямым» затратам энергии. Помимо них энергоёмкость ЖБИ как подотрасли производства строительных материалов определяется и «косвенными» затратами энергии: на выпуск цемента и вяжущих, заполнителей, активных добавок, арматуры.

Удельное, в расчёте на единицу выпуска ЖБИ, потребление ТЭР на ТВО зависит от технологических, климатических и производственно-экономических факторов, уровня автоматизации процессов. Согласно данным отдела строительной науки и нормативов Министерства архитектуры и строительства [1] в Республике Беларусь в среднем на 1 м³ сборного железобетона при ТВО в ямных пропарочных камерах (в которых выпускается около 75 % изделий) расходуется около 1,5 ГДж теплоты, или около 50 кг условного топлива. Здесь же отмечается, что при должной степени автоматизации процессов ТВО и повышении эффективности тепловой изоляции камер этот показатель может быть снижен до 0,35 – 0,40 ГДж/м³ или 12 – 13 кг

условного топлива. В Российской Федерации среднее потребление ТЭР на ТВО оценивается в 70 кг условного топлива на 1 м³ изделия [3], в то время как теоретически обоснованный расход составляет для типовых ямных камер согласно [4] около 0,5 ГДж, или порядка 14 – 15 кг условного топлива на 1 м³ бетона.

При использовании ЭЭ на тепловую обработку бетона (электроразогрев, индукционный нагрев, конвективный и инфракрасный прогрев) расходуется на 1 м³ бетона от 60 до 200 кВт·ч ЭЭ [5]. С учётом эффективности генерации ЭЭ на источнике (КЭС) и её транспортировки это составляет от 20 до 71 кг условного топлива на 1 м³ обрабатываемого бетонного изделия. В настоящее время ЭЭ практически не используется для тепловой обработки ЖБИ на существующих предприятиях отрасли по экономическим и энергетическим соображениям.

На рисунке 1 показана структура «прямых» затрат энергии на выпуск ЖБИ, полученная путём анализа опубликованных обобщённых данных [1; 2].

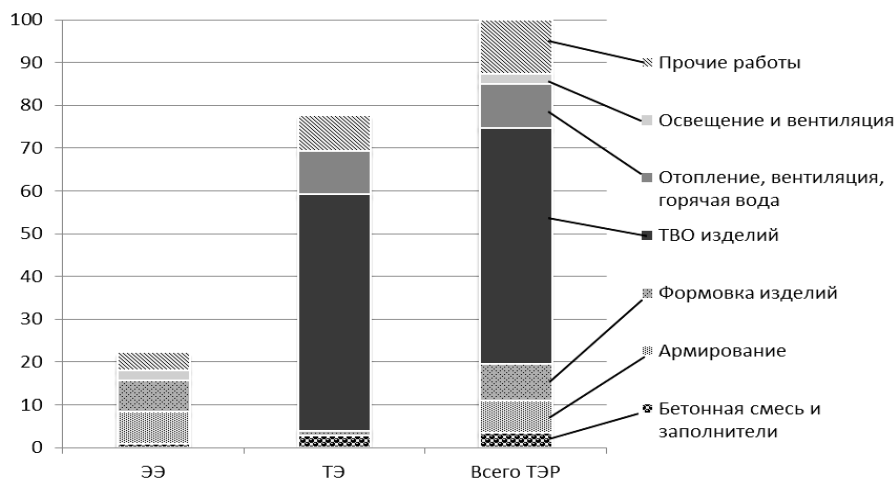


Рис. 1. Структура «прямых» затрат ТЭР на производство ЖБИ

Необходимо отметить, что энергоёмкость производства ЖБИ в Европе, США, Японии и других странах существенно ниже, чем приведённые выше показатели удельного потребления ТЭР. Эти различия в значительной мере обусловлены недостаточным технологическим и техническим уровнем существующих предприятий ЖБИ, построенных в период низких цен на первичные энергетические ресурсы в СССР, поэтому ныне действующие заводы ЖБИ подлежат модернизации путём внедрения новых и улучшенных технологий приготовления бетонных растворов, формовки изделий и их тепловлажностной обработки.

Основной резерв сокращения потребления ТЭР при производстве ЖБИ состоит в уменьшении расходов энергии на ТВО, что достигается в результате реализации комплекса различных организационных и технологических приёмов (в зависимости от номенклатуры выпускаемых изделий, технической оснащённости предприятий и экономических возможностей) [8]: применения химических добавок – ускорителей твердения (ХД), предварительного паро- или электроразогрева бетонных смесей, снижения величины отпускной прочности бетона (в тёплое время года), в том числе и с последующим выдерживанием на воздухе, применения двухстадийной ТВО, внедрением способов обработки в малонапорных пропарочных камерах (в среде с регулируемой влажностью или в среде продуктов сгорания топлива), в электроиндукционных и инфракрасных камерах (при должном технологическом обосновании), а также при комплексном сочетании тех или иных приёмов и способов.

Большой интерес в связи с энергосбережением в настоящее время представляет собой использование ХД. Эффективность их применения подтверждена сложившейся практикой и научными исследованиями, результаты которых в качестве примера представлены в таблицах 1 и 2 [3].

Таблица 1

Прочность бетонов с комплексными добавками через сутки нормального твердения

Добавка	Класс бетона по прочности						
	B7,5	B10	B15	B25	B30	B35	B40
ТСМ + СН	95/118*	93/110	95/115	92/108	95/100	90/105	95/95
Хидетал-П-5	70/83	72/85	68/80	65/80	63/75	66/70	64/70
С-3 + ННХК	62/71	62/75	59/70	60/69	58/71	57/73	59/72
Без добавок	30/43	32/40	35/44	31/45	36/44	30/41	31/42

* – здесь и далее в таблице перед чертой прочность бетона в % от класса через 24 ч, за чертой – через 36 ч.

Таблица 2

Прочность бетона с добавкой ТСМ + СН через сутки естественного твердения
при температуре бетонной смеси 10 – 16 °С

Формуемость		Класс бетона						
Ж, с	ОК, см	B7,5	B10	B15	B25	B30	B35	B40
> 80		100/70*	95/65	95/60	90/55	85/50	80/50	75/50
40 – 80		100/65	95/55	90/55	85/50	80/45	70/50	65/50
20 – 40		90/60	75/60	70/50	65/50	60/50	60/50	60/50
5 – 20	0 – 1	65/50	60/50	55/50	55/50	55/50	55/50	55/50
	2 – 4	60/45	55/40	50/40	50/40	50/40	50/40	50/40

* – здесь и далее в таблице перед чертой прочность бетона в % от марки, приготовленного на цементе I группы эффективности, за чертой – II группы.

В таблицах использованы следующие обозначения: «Хидетал-П-5» – (суперпластификатор – ускоритель – ингибитор); «ТСМ + СН» – (пластификатор – ускоритель – ингибитор); «С-3 + ННХК» – (суперпластификатор – ускоритель); СН – сульфат натрия; ННХК – нитрит-нитрат хлорид кальция; ТСМ – термопластическая смола модифицированная; Ж и ОК – соответственно жёсткость и осадки конуса бетонной смеси [3].

Таким образом, например, комплексная добавка ТСМ + СН (и другие, аналогичные ХД) позволяет при температуре +10 °С и выше отказаться от тепловой обработки бетона и, следовательно, снизить годовые затраты ТЭР за счёт тёплого периода года, а благодаря сокращению времени ТВО уменьшить потребляемую мощность источников энергоснабжения.

Во многом благодаря массовому применению ХД в промышленно развитых странах удалось снизить расходы ТЭР на выпуск ЖБИ. Широкому их использованию в Республике Беларусь и ряде постсоветских стран препятствует высокая стоимость таких добавок, сопоставимая со стоимостью сэкономленных энергоресурсов, однако этот ценовой фактор теряет своё решающее значение при оптимизации производства бетонов по мере роста тарифов на ТЭР.

В результате неизбежного совершенствования технологии производства ЖБИ подвергнутся радикальным изменениям объёмы и структура энергопотребления соответствующих предприятий отрасли, поэтому следует ожидать значительного, в 2 и более раз, снижения потребления ТЭ при неизменном или несколько возрастающем потреблении ЭЭ. Последнее обстоятельство обусловлено ростом энерговооружённости производства, повышением уровня механизации, а также возможным увеличением доли ЭЭ, направляемой на тепловую подготовку бетонных смесей и ТВО изделий в современных технологиях производства ЖБИ. Отмеченные тенденции проиллюстрированы на рисунке 2.

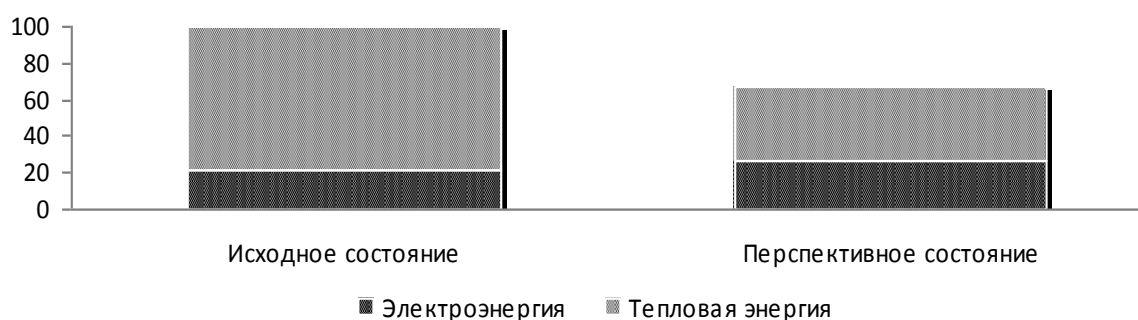


Рис. 2. Изменение объёмов и структуры потребления ТЭР в процентах от исходных величин (прогноз)

Изменение объёмов и структуры энергопотребления в свою очередь неизбежно потребует реформирования теплоэнергетических систем промышленных предприятий (ТЭСПП), производящих ЖБИ. При этом рациональной будет считаться ТЭСПП, сформированная на основе системного подхода, для которой определены параметры и режимы работы энергетических установок с учётом связей с внешними источниками и/или потребителями ТЭР в условиях взаимного единства всех элементов [6; 9].

Структурная схема ТЭСПП производства ЖБИ. Основными компонентами производства ЖБИ служат: цемент, другие вяжущие (известь, шлаки, золы уноса и т.п.), инертные заполнители (песок, щебень, песчано-гравийная смесь, керамзит, аглопорит, перлит), химические добавки, вода, стальные элементы армирования. Их производство также сопряжено с затратами ТЭР, которые в выбранном контексте называют «косвенными». В частности [1; 7], для производства одной тонны цемента расходуется, в зависимости от его вида и технологии выработки, от 150 до 305 кг условного топлива. Для производства одной тонны стальной арматуры (прута, проволоки, канатов) – от 1930 до 2150 кг условного топлива, выработка одной тонны керамзита, перлита и аглопорита требует от 44 до 113 кг условного топлива.

С учётом сказанного в обобщённом виде структура ТЭСПП ЖБИ может быть представлена схемой, изображённой на рисунке 3.

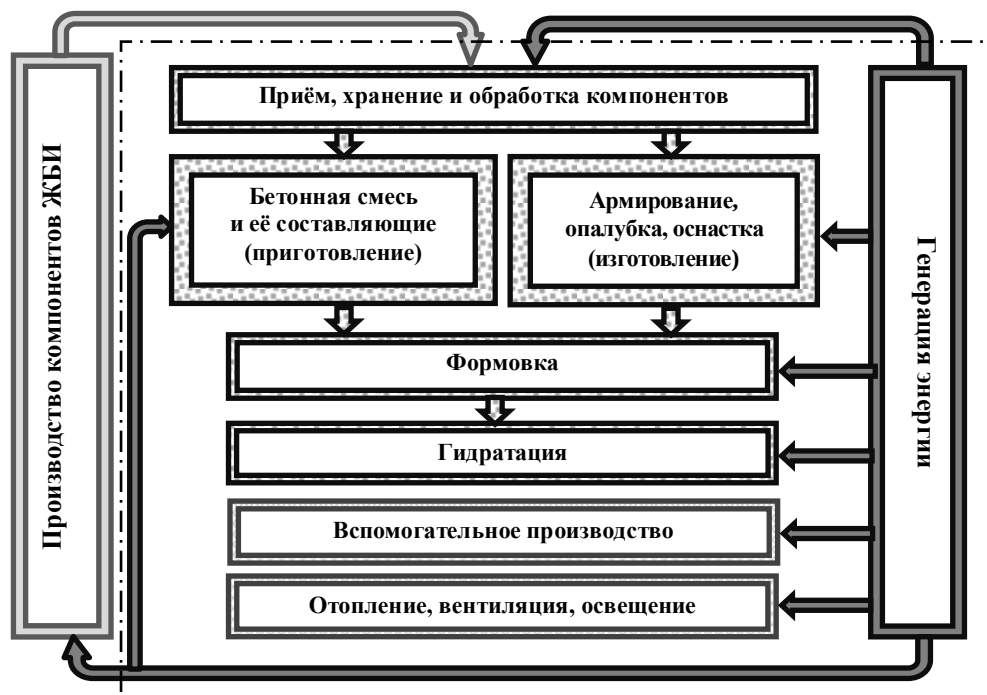


Рис. 3. Структурная схема ТЭСПП ЖБИ (обобщённый вид)

В системе Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь более 90 % прямых обобщённых затрат ТЭР приходится на предприятия промышленности строительных материалов (в том числе на выпуск отдельных компонентов ЖБИ). На долю предприятий, непосредственно производящих ЖБИ, приходится около 0,8 % отраслевого энергопотребления. В целом же потребление ТЭР в строительном комплексе страны к 2006 году достигло 1751 тыс. т. у. т. или 6,2 % энергопотребления Республики Беларусь [7].

Таким образом, с позиции анализа расхода первичной энергии энергоёмкость производства основных компонентов ЖБИ (с учётом их доли в готовых бетонных изделиях) превышает затраты ТЭР на выработку самих этих изделий, но не влияет существенным образом на потребление ТЭР в процессе изготовления ЖБИ. Нахождение путей экономии указанных компонентов при сохранении качества ЖБИ представляет собой самостоятельную задачу, решение которой находится за рамками построения ТЭСПП рассматриваемого производства. В то же время способ и место генерации ТЭР прямым образом сказывается на энергопотреблении производства ЖБИ. Существующие предприятия, производящие ЖБИ, обеспечиваются ТЭР от различных источников: собственных или сторонних котельных, теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), конденсационных электрических станций (КЭС). В целом при производстве строительных материалов и изделий доля энергоснабжения от собственных источников не превышает [7]: ТЭ – 6,4 %, ЭЭ – 1,59 %. При разработке принципов и методов построения рациональной ТЭСПП представляется важным рассматривать энергетические источники в качестве составного элемента структурной схемы производства ЖБИ (вне зависимости от их принадлежности). При этом следует принимать во внимание, что в ТЭСПП с совершенным энергетическим обеспечением ЭЭ должна вырабатываться по комбинированной технологии на тепловом потреблении соответствующего производственно-технологического процесса [10]. На рисунке 3 элементы, подлежащие включению в формируемую ТЭСПП, очерчены штрихпунктирной линией.

Принципы совершенствования ТЭСПП. Для типичного предприятия, производящего ЖБИ, каким, в частности, является ОАО «Новополоцкжелезобетон» (г. Новополоцк, Республика Беларусь), потребление ТЭ различного потенциала и ЭЭ в условиях сложившейся производственной программы при обеспечении выполнения запланированных прогнозных показателей по росту объёмов выпускаемой продукции представлено в таблице 3.

Энергопотребление существующих предприятий ЖБИ не может быть однозначно систематизировано и стандартизовано в виде типовых графиков, поскольку характер такого потребления находится в прямой зависимости от производственной программы, номенклатуры выпускаемых изделий, уровня технической оснащённости и пр. Даже для двух родственных предприятий названные характеристики могут быть различными. Общие закономерности могут проявиться только при анализе относительно продолжи-

тельных периодов энергопотребления от нескольких месяцев до года. Сравнение характера энергопотребления на предприятиях, производящих ЖБИ, следует в силу названных причин осуществлять в «стандартизованных» условиях, применительно к реализации условной производственной программы.

Таблица 3

Характер потребления электрической и тепловой энергии на предприятии, производящем ЖБИ
(на примере ОАО «Новополоцкжелезобетон»*)

Наименования параметра потребления	Электрическая энергия		Тепловая энергия (от внешних сетей)		
	ед. измерения	от внешних сетей	ед. измерения	в паре ($P = 0,25 \text{ МПа}$; $T = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	в горячей воде (до $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
Годовое потребление	тыс. кВт·ч	4763	ГДж	83590	
Среднесуточное потребление	тыс. кВт·ч	13,049	ГДж	229	
Среднечасовая мощность потребления	МВт	0,544	ГДж/ч	9,55	2,35
*С учётом реализации программы по росту объёмов производства в 2010 – 2016 годы					

Как уже отмечалось, наиболее энергоёмкой технологической операцией при производстве ЖБИ является ТВО, осуществляемая в устройствах (агрегатах) различной конструкции, в которых могут быть реализованы разные физические принципы преобразования и использования энергии. Главное требование к ним – обеспечение требуемых температурных режимов прогрева изделий в среде с необходимой относительной влажностью в течение заданных периодов времени. Критерием эффективности ТВО является получение ЖБИ с допустимой, так называемой «распалубочной», прочностью (как правило, не менее 70 % от значения, определяющего марку бетона) при минимальном времени обработки и обеспечении заданных физико-механических свойств. Параметры процессов ТВО рассчитываются таким образом, чтобы реакция гидратации цемента в бетоне прошла наиболее полно. Поэтому определяющими факторами здесь выступают температура и влажность среды, температура и влажность обрабатываемых изделий, скорость их прогрева и охлаждения. Конкретный же режим ТВО находится в прямой зависимости от вида изделий, их назначения, состава бетонных смесей и способа обработки. В общем случае наиболее распространёнными являются режимы обработки в паровоздушной среде с температурой, как правило, 60 – 90 °С и относительной влажностью, близкой к 100 % при атмосферном или небольшом избыточном давлении [4; 8]. В автоклавах ТВО может проводиться при температурах насыщения, соответствующих давлениям 1,2 – 2,0 МПа [8].

Повышенные требования к тепловым и влажностным режимам обработки ЖБИ в условиях ранее достигнутого уровня технологии и автоматизации производственных процессов, сделали ТВО с использованием насыщенного водяного пара, имеющего температуру от 100 до 200 °С, основным методом обработки бетонов в устройствах ускоренной гидратации. Именно этим обстоятельством обусловлен высокий по сравнению с ЭЭ удельный вес ТЭ в общих затратах ТЭР при производстве ЖБИ. Вместе с тем эффективность генерации ТЭ и ЭЭ на источнике находится в прямой зависимости от соотношения этих видов энергии в балансе потребления ТЭСПП. Наиболее рациональной является ситуация, когда вся потребляемая предприятием ЭЭ производится комбинированно на тепловом потреблении этого же предприятия.

Технология производства ЖБИ предполагает использование различного оборудования, энергоснабжение которого может осуществляться энергоносителями разного вида и потенциала: водой разной температуры, водяным паром, продуктами сгорания органических топлив, ЭЭ. При комбинированной генерации ЭЭ и ТЭ могут быть получены все перечисленные энергоносители. Поэтому при модернизации действующих и проектировании новых производств ЖБИ представляется важным обеспечить соответствие между структурами генерации и потребления энергии, т.е. создать энерготехнологический комплекс, обеспечивающий наиболее рациональную ТЭСПП.

Заключение. В процессе внедрения новых технологических приёмов, модернизации действующих или при создании новых предприятий для производства ЖБИ структуры генерации и потребления энергоресурсов неизбежно изменятся. Диапазон изменения величины потребляемой электрической энергии теоретически ограничен, с одной стороны, расходом ЭЭ на технологические нужды, не связанные с ТВО бетонов, с другой – максимальным потреблением ЭЭ, когда ТВО (предельный случай) осуществляется в электроустановках. Соответственно определится и диапазон изменения величины теплового потребления, которое достигает своего максимума при производстве ТВО в агрегатах, использующих тепловые энергоресурсы. В этом случае нахождение оптимальных по экономическим и энергетическим соотношениям значений потребления тепловой и электрической энергии следует считать важной исследовательской задачей. Также следует принимать во внимание, что тепловое потребление предприятий ЖБИ обеспечивается теплоносителями разного потенциала (влажным паром, водой различных температур), что также должно быть учтено при формировании рациональной ТЭСПП.

Оптимальной следует считать такую структуру ТЭСПП, которая обеспечивает, с одной стороны, минимальную потребность в первичных энергоресурсах, импортируемых для обеспечения производственного процесса необходимыми видами энергии, что важно для государства в целом. С другой стороны, позволяет минимизировать затраты на непосредственное энергообеспечение производства, что прежде всего интересует предприятие как экономический субъект. Решение задачи при разработке модернизации энергообеспечения предприятия требует структурно-параметрической оптимизации не только ТЭСПП, но и расширенной системы, включающей кроме ТЭСПП внешние источники энергоснабжения предприятия. Перечисленные цели, как правило, достигаются при структурно-параметрической оптимизации, направленной на подавление потерь эксергии рассматриваемой системы, что придаёт новое качество термодинамическому анализу ТЭСПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколовский, Л.В. Сбережение тепловой и электрической энергии при производстве бетона и железобетона / Л.В. Соколовский // Строительство и недвижимость [Электронный ресурс]. – 2001. – № 17. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2001/17/sn11708.html>. – Дата доступа: 09.04.2012.
2. Соколовский, Л.В. Снижение расхода тепла при производстве бетона и железобетона / Л.В. Соколовский // Строительство и недвижимость [Электронный ресурс]. – 2001. – № 18. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2001/18/sn11806.html>. – Дата доступа: 09.04.2012.
3. Ложкин, В.П. Производство сборного железобетона без тепловой обработки / В.П. Ложкин, В.Л. Марцинкевич, И.В. Белецкий // Портал ENGINEERACADEMY.RU [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.engineeracademy.ru/otrasli/construction/483-proizvodstvo-sbornogo-zhelezobetona-bez-teplovooy-obrabotki.html>. – Дата доступа: 28.03.2012.
4. Марьямов, Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона (процессы и установки) / Н.Б. Марьямов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
5. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ); редкол.: Б.А. Крылов [и др.]. – М.: НИИЖБ, 2005. – 275 с.
6. Сазанов, Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
7. Малец, В. Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов / В. Малец, Е. Подлuzский // Архитектура и строительство [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://ais.by/node/135>. – Дата доступа: 05.04.2012.
8. Малинина, Л.А. Тепловлажностная обработка тяжёлого бетона / Л.А. Малинина. – Москва: Стройиздат, 1977. – 160 с.
9. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов: дис. ... д-ра техн. наук / В.Н. Романюк. – Минск, 2010. – 365 л.
10. Шински, Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински. – М.: Мир, 1981. – 388 с.
11. Современные бетоны: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. «Дни современного бетона», Запорожье, 30 мая – 1 июня 2007 г. / ООО «Будиндустрия», Запорожье; под ред. А.В. Ушерова-Маршак [и др.]. – Запорожье, 2007. – 227 с.
12. Бабицкий, В.В. Прогнозирование характеристик твердеющего тяжёлого бетона / В.В. Бабицкий, С.Д. Семенюк, М.С. Бибик // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наукових праць. – Рівне, 2009. – Вип. 18. – С. 3 – 12.

Поступила 06.05.2012

FORMATION OF THE RATIONAL HEAT POWER SYSTEM OF FERRO-CONCRETE PRODUCTS ENTERPRISES AT THEIR MODERNISATION

A. NIYAKOVSKI

Questions of thermal energy and electrical power consumption in heat power systems of industrial factories producing prefabricated concrete are observed. The structure of energy consumption is analyzed; the influence of chemical solidification accelerators and a range of concrete thermal treatment processing methods on energy consumption quantity and extension are shown. The estimation of thermal energy and electrical power specific consumption structure and quantity variation for prefabricated concrete production is offered. The generalized block diagram of concrete products factories heat power system is presented and basic principles of such factories heat power system perfecting at production and technology upgrading for the purpose of power consumption optimization and expenses on primary energy decreasing are formulated.