

Применение теплового насоса в системе оборотного охлаждения автоклавов для пастеризации консервной продукции

Д-р техн. наук Б. Д. ТИМОФЕЕВ

ОИЭЯИ-Сосны НАН Беларуси,

Республика Беларусь, 220109, г. Минск., ул. Академика Красина, 99

В. В. ВОЛКОВ

ОАО «Оргпищепром», г. Минск

Республика Беларусь, г. Минск, ул. Минина, 21

A new process flowsheet of heat recovery at reverse cooling of autoclaves, heat being utilized for auxiliaries at "Bykhov cannery-drying enterprise has been developed. Additional cost of auxiliary equipment 358.5 mln. BR roubles being taken into account, annual saving of operational costs according to the flow sheet proposed amounts to 96.26 mln BR roubles in comparison with the scheme adopted by the project. The pay-back period of the proposed flowsheet is not more than 3.72 years.

Key words: heat pump, autoclave, reused water, heat load, power saving technology, technical and economic assessment, waste heat.

Ключевые слова: тепловой насос, автоклав, обратная вода, тепловая нагрузка, энергосберегающая технология, технико-экономическое обоснование, бросовая теплота.

Действующие и проектируемые в настоящее время предприятия пищевой промышленности, с нашей точки зрения, неэффективно используют потенциал энергоносителей. На многих предприятиях имеют место бросовые тепловые потоки, которые повторно не используются для собственных нужд. Они, как правило, просто сбрасываются в канализационную систему либо в местные градирни. Это относится и к заводам, которые вырабатывают спирт, производят пиво, молочную продукцию, хлебобулочные изделия и т. д. Большие тепловые потоки сбрасываются в канализацию даже в современных водолечебницах. При устойчивом росте цен на энергоносители все это в итоге приводит к увеличению удельных затрат на выпуск конечной продукции и услуг.

В данной статье в качестве примера рассмотрен технологический процесс охлаждения оборотной водой автоклавов на стадии проектирования Быховского консервно-сушильного завода (БКСЗ). Ознакомление с технологическим процессом пастеризации продукции в автоклавах показывает, что в процессе охлаждения при максимальной производительности сброс оборотной воды в канализацию составляет $33,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ со средней температурой $38 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, только в данном процессе имеют место потери низкопотенциальной тепловой энергии мощностью не менее 770 кВт. При этом сброс

оборотной воды восполняется от источника водоснабжения. Для собственных нужд горячую воду дополнительно получают от внешнего объекта. С нашей точки зрения, это является наглядным примером нерационального потребления как энергоносителей, так и воды.

Нами была разработана энергосберегающая технологическая схема преобразования тепла оборотного охлаждения автоклавов с учетом собственных нужд, которая приведена на рис. 1.

Главной особенностью предлагаемой схемы оборотного охлаждения автоклавов является устранение постоянного сброса оборотной воды в канализацию и использование ее теплового потенциала для собственных нужд предприятия путем применения теплового насоса [1]. Неравномерность теплового потребления в течение года процессом пастеризации продукции потребовало включения в схему оборотного охлаждения воздухоохлаждаемого теплообменника (ВО).

Вода на собственные нужды предприятия постоянно прокачивается по замкнутому контуру сетевым насосом СНЗ с расходом V_k из аккумулирующей емкости АЕЗ через конденсатор K теплового насоса, где подогревается от температуры t_{w1} до t_{w2} .

По проектным данным, основная тепловая нагрузка на ВО приходится на период с августа по сентябрь.

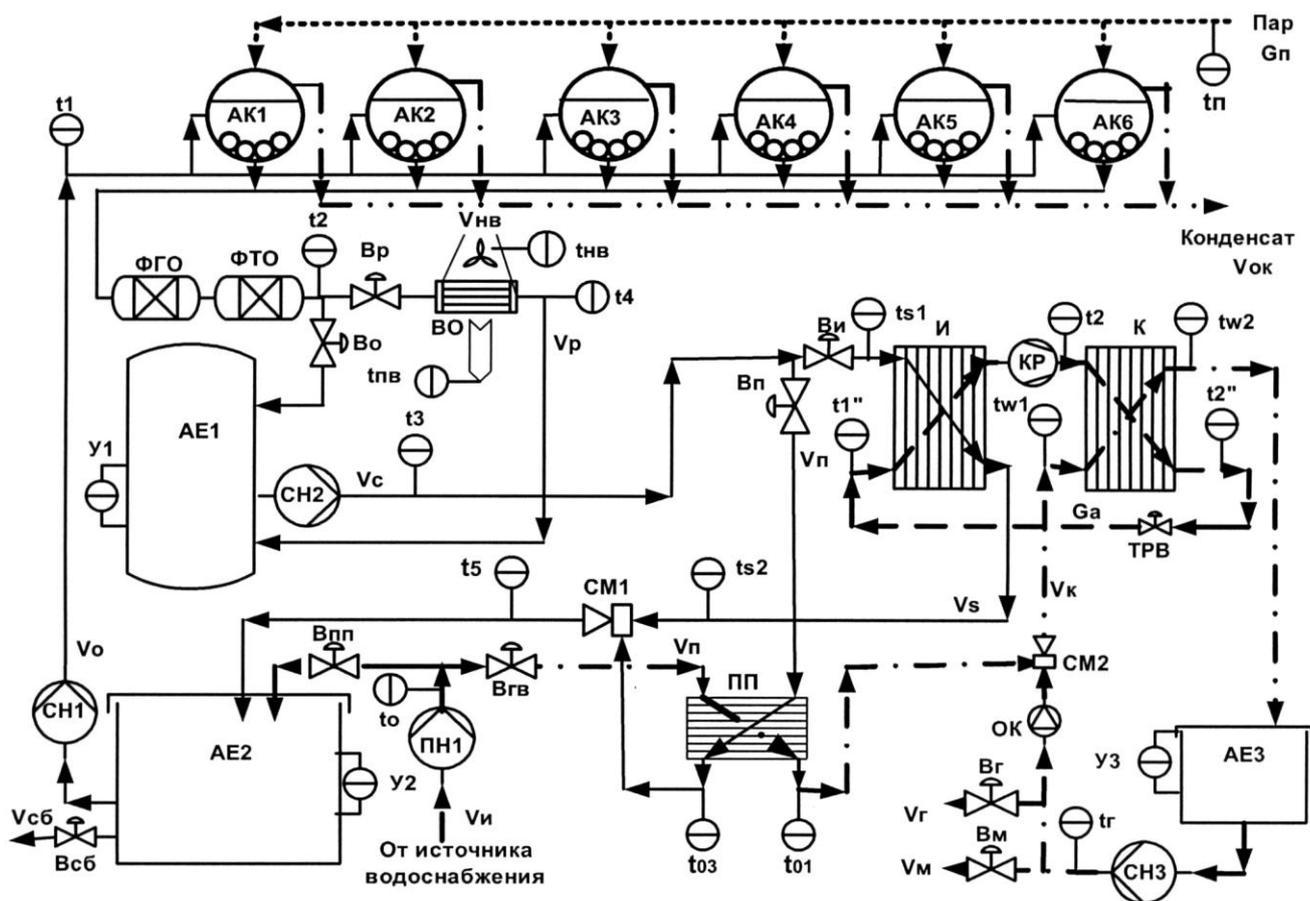


Рис. 1. Энергосберегающая принципиальная технологическая схема преобразования тепла обратного охлаждения автоклавов: АК1–АК6 — автоклавы; АЕ1, АЕ2, АЕ3 — аккумулярующие емкости сбора обратной воды, горячего водоснабжения и мойки, подачи обратной воды соответственно; СН1–СН3 — сетевые насосы; ПН1 — подпиточный насос; ФГО, ФТО — фильтр грубой и тонкой очистки, соответственно; ВО — воздухоохлаждаемый теплообменник; ПП — предварительный подогреватель; И, К, КР — испаритель, конденсатор, компрессор теплового насоса соответственно; ТРВ — терморегулирующий вентиль; У1–У3 — уровнемеры; ОК — обратный клапан; СМ1, СМ2 — смесители; Ga — массовый расход хладагента; Гп — массовый расход пара; Vок, Vo, Vi, Vc, Vn, V2, Vм, Vв, Vs, Vк, Vсб, Vр — объемный расход обратного конденсата, обратной воды, источника водоснабжения, системы утилизации тепла обратного охлаждения, предварительного подогрева воды на собственные нужды, на горячее водоснабжение, на мойку продукции, на испаритель теплового насоса, на подогрев воды в конденсаторе теплового насоса, наружного воздуха через ВО, сброса технологического количества обратной воды из системы, резервного охлаждения

В данный период избыток тепловой энергии от оборотной системы охлаждения автоклавов сбрасывается в окружающую среду. Но при этом нет сброса обратной воды в канализацию. В период с октября по апрель тепло системы охлаждения автоклавов целиком преобразуется на собственные нужды тепловым насосом.

Высокий тепловой коэффициент теплового преобразования обратной воды достигается тепловым насосом [2] за счет подогрева воды от источника водоснабжения с температурой t_0 в предварительном подогревателе ПП до t_{01} . После смешения в смесителе СМ2 вода с температурой t_{w1} поступает на вход конденсатора К и с температурой t_{w2} — в аккумуляющую емкость АЕ3 для

потребления на собственные нужды. Сетевой насос СН3 обеспечивает рециркуляцию и подачу воды с температурой t_r для горячего водоснабжения с расходом V_r и мойку с расходом V_m .

Указанные на рис. 1 вентили предназначены для автоматического поддержания уровня воды в аккумуляющих емкостях АЕ1–АЕ3 по сигналам, поступающим от соответствующих уровнемеров У1–У3. Фильтры ФГО и ФТО очищают обратную воду для ее многократного использования от возможных технологических загрязнений.

Основные параметры технологического процесса в соответствии с рис. 1 приведены в табл. 1.

Основные параметры технологического процесса и преобразования тепла
оборотного охлаждения автоклавов в период с июля по сентябрь

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина
Температура подачи оборотной воды в автоклавы	t_1	°С	20
Средняя температура выхода воды из автоклавов	t_2	°С	40
Расход оборотной воды	V_o	м ³ /ч	33,1
Тепловая мощность оборотного охлаждения	Q_o	кВт	770,5
Температура оборотной воды для собственных нужд	t_3	°С	40
Температура источника водоснабжения	t_o	°С	12
Температура предварительного подогрева воды на собственные нужды	t_{o1}	°С	30
Температура охлажденного теплоносителя	t_{o3}	°С	22
Общий расход воды на собственные нужды	$V_{п}$	м ³ /ч	10
Расход теплоносителя в теплообменнике ПП	$V_{пп}$	м ³ /ч	10
Тепловая мощность теплообменника ПП	$Q_{п}$	кВт	209,5
Температура воды на входе в конденсатор	t_{w1}	°С	44
Температура воды на выходе из конденсатора	t_{w2}	°С	55
Расход воды через конденсатор	$V_{к}$	м ³ /ч	15
Тепловая мощность конденсатора К	$Q_{к}$	кВт	291,5
Температура теплоносителя на входе в испаритель И	t_{s1}	°С	40
Температура теплоносителя на выходе из испарителя И	t_{s2}	°С	21,5
Холодопроизводительность испарителя И (Хладон R134a)	$Q_{и}$	кВт	250
Расход теплоносителя через испаритель И	V_s	м ³ /ч	10
Мощность компрессора КР	$N_{кр}$	кВт	57
Суммарная тепловая мощность, отбираемая от оборотной воды на собственные нужды	$Q_{сн}$	кВт	459
Тепловая мощность теплообменника ВО	$Q_{во}$	кВт	311,5
Температура оборотной воды после ВО	t_4	°С	30
Температура наружного воздуха	$t_{нв}$	°С	20
Температура подогретого воздуха	$t_{пв}$	°С	30
Расход рециркуляционной оборотной воды через ВО	V_p	м ³ /ч	10
Расход нагреваемого воздуха	$V_{нв}$	м ³ /ч	86260
Мощность привода вентилятора ВО, напор 980 Па	$N_{во}$	кВт	48
Мощность привода СН1, напор 400 кПа	$N_{сн1}$	кВт	7,4
Мощность привода СН2, напор 400 кПа	$N_{сн2}$	кВт	4,4
Мощность привода СН3, напор 400 кПа	$N_{сн3}$	кВт	3,3
Мощность привода ПН1, напор 600 кПа	$N_{пн}$	кВт	3,3
Суммарная мощность приводов системы преобразования тепла оборотной воды:	N_{Σ}	кВт	123,4
$N_{кр} + N_{во} + N_{сн1} + N_{сн2} + N_{сн3} + N_{пн1}$			

Стоимость дополнительного оборудования охлаждения автоклавов оборотной водой

Наименование оборудования и его техническая характеристика	Обозначение	Количество, шт.	Стоимость, тыс. долл. США
Тепловой насос, $Q_T = 250$ кВт	ТН-250	1	50
Воздухоохлаждаемый теплообменник, $Q_{во} = 311,5$ кВт	ВО	1	32
Аккумуляционная емкость, $V = 300$ м ³	АЕ1	1	3
Аккумуляционная емкость, $V = 300$ м ³	АЕ2	1	3
Аккумуляционная емкость, $V = 30$ м ³	АЕ3	1	1
Подпиточный насос, $V_{и} = 10$ м ³ /ч, напор 600 кПа	ПН1	2	6
Сетевой насос, $V_{и} = 30$ м ³ /ч, напор 600 кПа	СН1	2	14
Сетевой насос, $V_{и} = 30$ м ³ /ч, напор 400 кПа	СН2	2	8
Сетевой насос, $V_{и} = 30$ м ³ /ч, напор 400 кПа	СН3	2	8
Фильтр грубой очистки, $V_o = 30$ м ³ /ч	ФГО	2	4
Фильтр тонкой очистки, $V_o = 30$ м ³ /ч	ФТО	2	8
Смеситель	СМ1	1	0,2
Смеситель	СМ2	1	0,1
Уровнемеры, У1, У2, У3	Уi	3	3
Термопреобразователи типа ТСП	ti	15	3
Вентили с регулирующим приводом	Vi	10	5
Всего			152,3

Из табл. 1 следует, что суммарная мощность электроприводов системы преобразования тепла оборотной воды в предлагаемой схеме составляет 123,4 кВт. В проектной системе подачу воды оборотного охлаждения автоклавов обеспечивают сетевым насосом СН1 мощностью 7,4 кВт. Возникает вопрос об экономическом обосновании предлагаемой схемы преобразования тепла оборотного охлаждения автоклавов.

Стоимость дополнительного оборудования приведена в табл. 2 и составляет 152,3 тыс. долл. США. С учетом системы автоматического управления стоимость дополнительного оборудования должна быть увеличена до 10 % и составит 167,53 тыс. долл. США (358,5 млн руб.).

Технико-экономическое обоснование внедрения предложенной схемы оборотного охлаждения автоклавов и срок окупаемости для данного объекта рассчитан при следующих условиях.

Тарифы на энергоносители в Республике Беларусь для государственных предприятий в 2008 году составили: электроэнергия — 268 руб./кВт·ч; тепловая энергия — 49253 руб./Гкал; вода — 1513 руб./м³ [3].

В расчетах технико-экономического обоснования стоимость дополнительного оборудования в долларах США переведена на рубли Республики Беларусь по курсу 1 рубль РБ = 2140 долл. США.

График месячного потребления воды в течение года показан на рис. 2. Видно, что максимальное потребление оборотной воды приходится на период с июля по сентябрь.

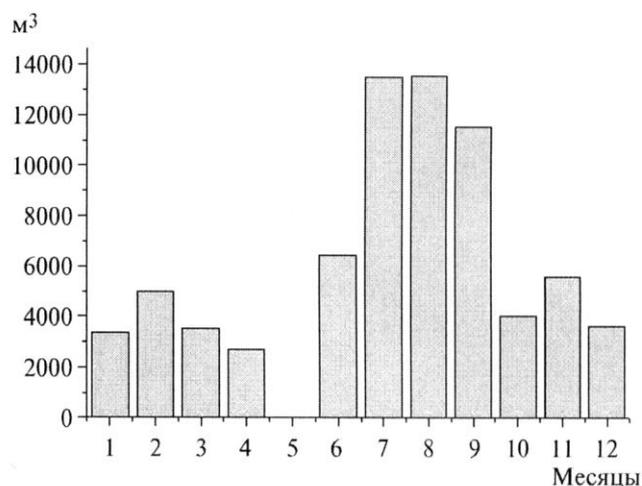


Рис. 2. Месячное потребление оборотной воды

В остальные месяцы потребление оборотной воды в 3–4 раза меньше. Это дает возможность обеспечивать охлаждение автоклавов оборотной водой в эти месяцы без потребления электроэнергии вентиляторами ВО с электроприводом $N_{во} = 48$ кВт.

Потребление воды на собственные нужды по проектным данным составляет $V_{п} = 10$ м³/ч за все периоды работы системы оборотного охлаждения автоклавов. Месяц май предусмотрен технологией для профилактического обслуживания и ремонта. Годовое время работы системы оборотного охлаждения автоклавов составляет 7000 ч,

в том числе на период времени июль—сентябрь 2000 ч и на остальные рабочие месяцы — 5000 ч.

Таким образом, эксплуатационные характеристики технологического процесса охлаждения автоклавов оборотной водой по предложенной схеме могут быть определены приведенными ниже расчетами.

Стоимость потребленной электроэнергии сетевым насосом СН1:

$$S_{сн1} = (2000 \cdot 7,4 + 5000 \cdot 7,4/3,4)268 = 6,88 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии сетевым насосом СН2:

$$S_{сн2} = 7000 \cdot 4,4 \cdot 268 = 8,25 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии сетевым насосом СН3:

$$S_{сн3} = 7000 \cdot 3,3 \cdot 268 = 6,19 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии подпиточным насосом ПН1:

$$S_{пн1} = 7000 \cdot 3,3 \cdot 268 = 6,19 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии компрессором КР:

$$S_{кр} = 7000 \cdot 57 \cdot 268 = 106,92 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии вентилятора воздухоохлаждаемого теплообменника ВО в период максимального теплового охлаждения:

$$S_{во} = 2000 \cdot 48 \cdot 268 = 25,73 \text{ млн руб.}$$

Стоимость подпиточной воды на собственные нужды равна:

$$S_{пв} = (2000 \cdot 10 + 5000 \cdot 10/3,4)1513 = 52,5 \text{ млн руб.}$$

Итого, годовая суммарная стоимость эксплуатационных расходов предложенной схемы равна:

$$S_{\Sigma} = 212,66 \text{ млн руб.}$$

Эксплуатационные характеристики технологического процесса охлаждения автоклавов оборотной водой по проектной схеме составляют:

Стоимость потребленной электроэнергии сетевым насосом СН1:

$$S_{сн1} = (2000 \cdot 7,4 + 5000 \cdot 7,4/3,4)268 = 6,88 \text{ млн руб.}$$

Подпиточный насос ПН1 в данном случае должен обеспечивать подачу воды с расходом $V_{\Sigma} = (31,1 + 10) \text{ м}^3/\text{ч}$. Мощность его привода равна $N_{пн1} = 13,7 \text{ кВт}$.

Стоимость потребленной электроэнергии подпиточным насосом ПН1:

$$S_{пн1} = (2000 \cdot 13,7 + 5000 \cdot 13,7/3,4)268 = 12,74 \text{ млн руб.}$$

Стоимость подпиточной воды на оборотное водоснабжение с учетом собственных нужд и сброса в канализацию:

$$S_{пв} = (2000 \cdot 41,1 + 5000 \cdot 41,1/3,4)1513 = 215,8 \text{ млн руб.}$$

Стоимость потребленной горячей воды на собственные нужды с подогревом от 12 до 55 °С:

$$S_{гв} = (2000 \cdot 10 + 5000 \cdot 10/3,4)(55 - 12)10^{-3} \cdot 49253 = 73,5 \text{ млн руб.}$$

Итого, годовая стоимость эксплуатационных расходов в проектной схеме охлаждения автоклавов оборотной водой для строящегося предприятия «Быховский консервно-сушильный завод» составляет:

$$S_{пр} = 6,88 + 12,74 + 215,8 + 73,5 = 308,92 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, разработанная схема охлаждения автоклавов оборотной водой для строящегося предприятия «Быховский консервно-сушильный завод» дает возможность снизить годовые эксплуатационные расходы на

$$\Delta S = S_{пр} - S_{\Sigma} = 308,92 - 212,66 =$$

$$= 96,26 \text{ млн руб. (табл. 3).}$$

При затратах на стоимость дополнительного оборудования на сумму 358,5 млн руб. срок окупаемости предложенной схемы утилизации тепла оборотного охлаждения автоклавов составит $358,5/96,26 = 3,72$ года.

Заключение

1. Для УП «Институт Белгипроагропищепром» на стадии проектирования разработана технологическая схема преобразования тепла оборотного охлаждения автоклавов с использованием теплового насоса, которая может быть внедрена на новых строящихся предприятиях, аналогичных «Быховскому консервно-сушильному заводу».
2. В предложенной схеме вода в системе оборотного охлаждения автоклавов циркулирует по замкнутому контуру без ее сброса в канализацию.
3. Тепло оборотной воды с использованием предварительного теплообменника мощностью 209,5 кВт и теплового насоса мощностью 250 кВт (электрическая мощность компрессора 57 кВт) используют в подогреве воды для мойки и горячего водоснабжения. Общая тепловая мощность системы подогрева воды для собственных нужд составляет 516,5 кВт.
4. В период максимального расхода воды оборотного охлаждения автоклавов избыточное тепло сбрасывают в окружающую среду путем включения воздухоохлаждаемого теплообменника ВО мощностью 311,5 кВт.
5. В остальное время тепловую мощность оборотного охлаждения используют в системе подогрева подпиточной воды на собственные нужды предприятия.
6. Ежегодная экономия при внедрении предложенной схемы утилизации тепла оборотного охлаждения автоклавов по эксплуатационным расходам составляет 96,26 млн руб. В расчетах использованы цены на энергоносители в Республике Беларусь 2008 года.

Годовые эксплуатационные расходы системы оборотного охлаждения автоклавов

Обозначение оборудования	Величина расходов в предложенной схеме, млн руб. (рис. 1)	Величина расходов в проектной схеме, млн руб.
СН1	$S_{сн1} = (2000 \cdot 7,4 + 5000 \cdot 7,4/3,4) \cdot 268 = 6,88$ млн. руб.	$S_{сн1} = (2000 \cdot 7,4 + 5000 \cdot 7,4/3,4) \cdot 268 = 6,88$ млн. руб.
СН2	$S_{сн2} = 7000 \cdot 4,4 \cdot 268 = 8,25$ млн. руб.	—
СН3	$S_{сн3} = 7000 \cdot 3,3 \cdot 268 = 6,19$ млн. руб.	—
ПН1	$S_{пн1} = 7000 \cdot 3,3 \cdot 268 = 6,19$ млн. руб.	$S_{пн1} = (2000 \cdot 13,7 + 5000 \cdot 13,7/3,4) \cdot 268 = 12,74$ млн. руб.
КР	$S_{кр} = 7000 \cdot 57 \cdot 268 = 106,92$ млн. руб.	—
ВО	$S_{во} = 2000 \cdot 48 \cdot 268 = 25,73$ млн. руб.	—
ПВ (подпиточная вода)	$S_{пв} = (2000 \cdot 10 + 5000 \cdot 10/3,4) \cdot 1513 = 52,5$ млн. руб.	$S_{пв} = (2000 \cdot 41,1 + 5000 \cdot 41,1/3,4) \cdot 1513 = 215,8$ млн. руб.
ГВ (покупная горячая вода)	—	$S_{гв} = (2000 \cdot 10 + 5000 \cdot 10/3,4) \cdot (55 - 12) \cdot 10 - 3 \cdot 49253 = 73,5$ млн. руб.
	Итого: 212,66 млн. руб.	Итого: 308,92 млн. руб.

Годовой экономический эффект равен: $308,92 - 212,66 = 96,26$ млн. руб.

7. Стоимость дополнительно устанавливаемого оборудования равна 358,5 млн руб. Срок окупаемости предложенной схемы утилизации тепла оборотного охлаждения автоклавов составит 3,72 года.

Работа выполнена в рамках ГППНИ по заданию «Тепловые процессы» за 2008 г.

Авторы выражают благодарность руководству УП «Институт Белгипроагропищепром» за предоставленные первичные данные проекта «Быховский консервно-сушильный завод» и возможность использования результатов работы в составе проектно-сметной документации

для прохождения энергетической экспертизы и строительства.

Список литературы

1. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справ. / Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. 2-е изд., перераб. Кн. 4. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Каталог промышленного оборудования Carrier / Аэропроф. — М., 2007.
3. Цены на энергоносители в Беларуси / «Экономика и бизнес...». 2008. 23 апр.