

УДК: 697.329

UDC: 697.329

АККУМУЛЯТОР ТЕПЛОТЫ НА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ СО ШНЕКОВЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

HEAT ACCUMULATOR BASED ON THE PHASE TRANSITION WITH A SCREW HEAT EXCHANGER

Осташенков Алексей Петрович
аспирант

Ostashenkov Aleksey Petrovich
postgraduate student

Онучин Евгений Михайлович
к.т.н., доцент

Onuchin Evgenyi Mikhailovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Медяков Андрей Андреевич
к.т.н.
Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

Medyakov Andrei Andreevich
Cand.Tech.Sci.
Volga State University of Technology, Ioshkar-Ola, Russia

Представлен вариант реализации теплоаккумулятора на основе фазового перехода со шнековым теплообменником, предназначенного для обеспечения потребности систем теплоснабжения хозяйственных объектов в аккумулировании тепловой энергии

In the article, we have presented the variant of the heat accumulator based on phase transition with a screw heat exchanger, designed to meet the demands of heat supplying systems in thermal energy storage

Ключевые слова: ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР, ШНЕКОВЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

Keywords: HEAT ACCUMULATOR, SCREW HEAT EXCHANGER

Введение

В настоящее время одной из важнейших задач современной энергетики является задача аккумулирования тепловой энергии, обусловленная как неэффективным использованием тепловой энергии в период недогрузки энергосистем, так и развитием гелиоэнергетики [1, 2]. Последнее имеет особое значение, ввиду существующей тенденции к повышению цен на энергоресурсы [3], а также отсутствия или значительного износа сетей централизованного энергоснабжения [4].

Возможность аккумулирования тепловой энергии основана на использовании физического или химического процесса, связанного с поглощением и выделением теплоты. К основным типам процессов относятся накопление-выделение внутренней энергии при нагреве-охлаждении твердых или жидких тел, фазовые переходы с поглощением-выделением скрытой теплоты, процесс сорбции-десорбции или обратимая химическая реакция, протекающая с выделением-поглощением тепла.

Вышеприведенные процессы реализуются в специальных устройствах - аккумуляторах теплоты.

К числу перспективных и наиболее интенсивно разрабатываемых в настоящее время способов аккумуляции тепловой энергии относится тепловое аккумулярование на основе фазовых переходов различных материалов [5]. Эффективность этого способа обусловлена тем, что для многих веществ значение энтальпии фазового перехода значительно выше теплосодержания за счет теплоемкости.

Таким образом, разработка новых технических решений в области тепловых аккумуляторов на основе фазового перехода различных веществ является актуальной задачей, решение которой позволит снизить энергозатраты за счет использования альтернативных источников энергии, а также повысить эффективность работы имеющегося энергетического оборудования.

Объект исследования: система теплоснабжения хозяйственных объектов;

Предмет исследования: теплоаккумулирующая подсистема;

Цель: разработка конструкции теплового аккумулятора со шнековым теплообменником, предназначенного для обеспечения потребности систем теплоснабжения хозяйственных объектов в аккумуляции тепловой энергии;

Задачи:

–разработка принципиальной схемы устройства для аккумуляции тепловой энергии со шнековым теплообменником;

–разработка конструкции теплоаккумулятора на основе фазового перехода со шнековым теплообменником.

Исходя из специфики функционирования тепловых аккумуляторов на основе фазового перехода различных веществ, необходимо выделить

ряд технических требований к конструкции теплоаккумулятора с шнековым теплообменником, а именно:

–двухфазный тепловой аккумулятор со шнековым теплообменником должен изготавливаться из материалов, обладающих повышенной стойкостью к коррозионным составляющим теплоаккумулирующего вещества;

–в двухфазном тепловом аккумуляторе со шнековым теплообменником должен происходить процесс сохранения тепловой энергии, транспорта теплоаккумулирующего вещества и передачи накопленной теплоты при помощи шнекового транспортера, одновременно выполняющего функцию теплообменника;

–баки, содержащие теплоаккумулирующее вещество должны иметь теплоизоляцию.

Аналитический обзор

Наиболее распространенными принципами построения тепловых аккумуляторов являются:

–тепловое аккумулирование энергии твердыми и жидкими телами за счет изменения температуры вещества;

–тепловое аккумулирование энергии посредством использования теплоты фазового перехода;

–термохимическое аккумулирование тепловой энергии [6, 7];

Теплоемкостная аккумуляция основана на способности веществ накапливать тепловую энергию при нагревании. При этом количество аккумулированной энергии зависит от температуры, на которую нагревается теплоаккумулирующий материал, и его удельной теплоемкости. Этот способ является наиболее простым и давно применяется, например, при отоплении печами, которые выполняются достаточно массивными и накапливают во время нагрева тепло, которое затем постепенно расходуется на обогрев помещения. С точки зрения

величины удельной теплоемкости, т.е. способности аккумулировать теплоту в расчете на 1 кг массы, одним из самых хороших является вода. Нагретая вода также может быть использована для горячего водоснабжения. Однако использование в качестве аккумулятора теплоты жидкости – воды сталкивается с множеством трудностей. Во-первых, емкости для накопления воды должны иметь значительный объем; во-вторых, возникают трудности с использованием перегретой воды свыше 100 °С, что ограничивает рамки смешивания теплоносителя и воды в аккумуляторе [8]; в-третьих, постоянное изменение параметров аккумулятора в период отбора теплоты (снижается температура термоаккумулирующего материала).

Другим способом является аккумулирование тепловой энергии, основанное на использовании обратимого процесса фазового перехода плавление-затвердевание. В этом случае в качестве теплоаккумулирующего материала используется фазоменяющий материал. Реализация этого способа оказывается более сложной, из-за необходимости усложнения конструкции. Однако в таких тепловых аккумуляторах на единицу объема запасается гораздо большее количество теплоты. При этом процесс зарядки и разрядки может быть осуществлен в узком температурном диапазоне, что оказывается очень важным при необходимости работы теплового аккумулятора в условиях небольших температурных напоров [9].

Способ термохимического аккумулирования тепловой энергии основан на использовании обратимых химических реакций. Он позволяет запастись тепловой энергии на единицу массы больше, чем в первых двух случаях, но сложен в реализации.

Из рассмотренной специфики процессов в аккумуляторах теплоты, можно сделать вывод, что аккумулирование тепловой энергии, основанное на использовании обратимого процесса фазового перехода плавление-

затвердевание, является наиболее предпочтительным. Однако существующие технические решения в области тепловых аккумуляторов на основе фазового перехода, имеют ряд недостатков, обусловленных сложностью конструкции теплообменных аппаратов. В этой связи применение шнекового теплообменника позволяет упростить конструкцию, уменьшить размеры установки и исключить засорение теплообменной поверхности. Кроме того, вышеприведенный способ передачи тепловой энергии от теплоаккумулирующего материала к теплоносителю и обратно, позволяет контролировать соответственно разряд и заряд теплового аккумулятора.

Принципиальная схема теплоаккумулятора на основе фазового перехода со шнековым теплообменником представлена на рисунке 1.

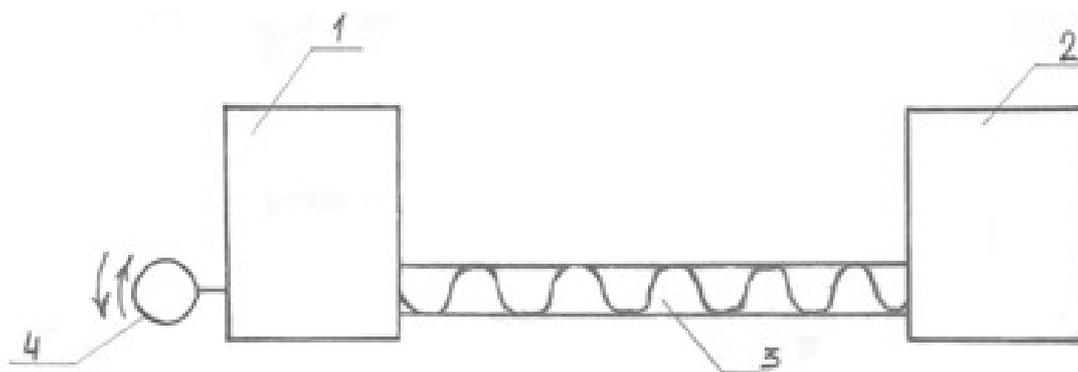


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплоаккумулятора со шнековым теплообменником

На схеме можно выделить основные компоненты конструкции: баки-аккумуляторы 1,2 соединены шнековым транспортером 3, приводимым в действие приводом 4. В состав электропривода входят асинхронный двигатель, преобразователь частоты для регулирования скорости вращения шнека, а также вспомогательных устройств сопряжения валов электродвигателя и шнекового транспортера.

Разряд теплоаккумулятора начинается с приведения в действие привода 4. Теплоаккумулирующий материал в виде расплава движется по

шнековому теплообменнику 3 из бака-аккумулятора 1. В процессе движения он отдает запасенную теплоту теплоносителю, циркулирующему в наружном контуре теплообменника, кристаллизуется и направляется в бак-аккумулятор 2 для нового цикла зарядки. Тепловой поток, передаваемый через стенку шнекового теплообменника, определяется по формуле (1) [10]:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l[(t_1) - t_2]}{\frac{\ln d_2}{d_1}}, \quad (1)$$

где

λ - коэффициент теплопроводности стенки шнека, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

t_1 - температура теплоаккумулирующего материала, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 - температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

d_1 - внутренний диаметр шнекового теплообменника, $[\text{м}]$;

d_2 - наружный диаметр шнекового теплообменника, $[\text{м}]$;

l - длина шнекового теплообменника, $[\text{м}]$.

Конструкция емкостей для хранения теплоаккумулирующего вещества

Баки-аккумуляторы предназначены для хранения теплоаккумулирующего вещества в промежутках между фазами заряда и разряда двухфазного теплового аккумулятора со шнековым транспортером. Исходя из этого, можно выделить ряд требований к конструкции емкостей для хранения теплоаккумулирующего вещества:

–объем бака-аккумулятора должен быть достаточным для хранения необходимого количества теплоаккумулирующего вещества. Для определения размеров теплоаккумулятора необходимо рассчитать требуемую температуру в обогреваемом помещении относительно температуры окружающей среды . По рассчитанному значению $^{\circ}\text{C}$]

находим значение теплового коэффициента k из таблиц для соответствующего типа помещения. Находим объем обогреваемого помещения V и рассчитываем требуемое значение тепловой мощности для

$$\underline{Вт}$$

обогрева всего помещения $N = k \cdot V$ []. Теплота, запасенная за 1 час:

$Q = N \cdot 3600$ [Дж], следовательно, для аккумулирования теплоты для обогрева помещения на 1 час необходимо количество

теплоаккумулирующего материала $m = \frac{Q}{q}$ [кг], где q – теплота плавления теплоаккумулирующего материала. Следовательно, объем бака-

$$V = \frac{m}{\rho}$$

аккумулятора можно определить по формуле , где ρ - плотность теплоаккумулирующего материала;

–материал, из которого изготовлены емкости для хранения теплоаккумулирующего вещества, должен быть коррозионностойким, неактивным по отношению к веществам, находящимся в непосредственном контакте с баками-аккумуляторами, а также должен выдерживать механические нагрузки, возникающие при работе привода шнекового транспортера. Исходя из вышеприведенных требований, можно рекомендовать для применения в качестве материала емкостей для хранения теплоаккумулирующего вещества сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72. Сплав 12Х18Н10Т применяется в сварных конструкциях, работающих в контакте с азотной кислотой и другими средами окислительного характера; в некоторых органических кислотах средней концентрации, органических растворителях, атмосферных условиях и т.д., из него изготавливают емкостное, теплообменное и другое оборудование [11]. Сталь 12Х18Н10Т хорошо сваривается всеми видами ручной и

автоматической сварки. Детали, изготовленные из этой стали, способны работать в слабоагрессивных средах под давлением при температурах от **-196°С** до **+600°С**, а при наличии агрессивных сред до **+350°С** [12].

Внешний вид емкости для хранения теплоаккумулирующего материала (мирабилита) представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Внешний вид бака-аккумулятора

Поскольку глауберова соль (мирабилит) при длительном нахождении на воздухе или нагревании выветривается (выпаривается) и теряет массу, а при полном выветривании становится обычным сульфатом натрия, необходимо ограничить контакт с наружным воздухом, что можно обеспечить путем применения уплотнителей между крышкой и корпусом бака-аккумулятора. Кроме того, для уменьшения тепловых потерь применяется наружная теплоизоляция бака-аккумулятора.

Конструкция шнекового теплообменника

Шнековый теплообменник предназначен для теплового обмена между теплоаккумулирующим веществом и теплоносителем,

циркулирующим по контуру теплоснабжения потребителя. Исходя из назначения, можно выделить ряд требований к материалу теплообменника: стойкость к коррозии, температурным условиям работы теплообменника, механическим нагрузкам. В качестве материала теплообменника можно рекомендовать сталь 12Х18Н10Т, описание которой приведено в предыдущем абзаце.

Внешний вид шнекового теплообменника представлен на рисунке 3.

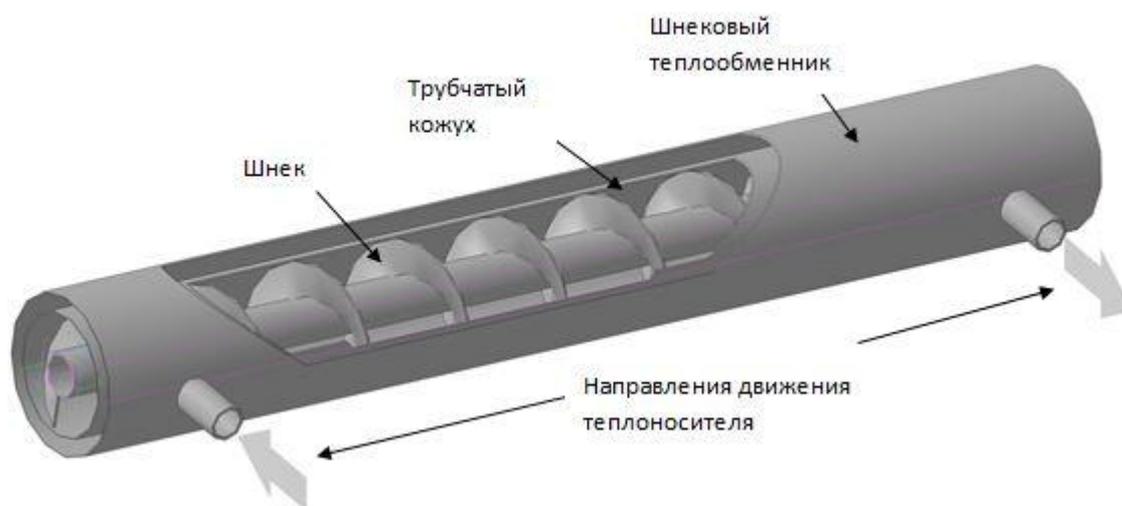


Рисунок 3 - Внешний вид шнекового теплообменника

Направление движения теплоносителя на рисунке показаны стрелками. При заряде двухфазного теплового аккумулятора со шнековым теплообменником теплоноситель, обладающий большей тепловой энергией, передает теплоту менее нагретому теплоаккумулирующему веществу, перемещающемуся из бака-аккумулятора 1 в бак-аккумулятор 2, а при разряде процесс проходит в обратном направлении.

Внешний вид двухфазного теплового аккумулятора со шнековым теплообменником представлен на рисунке 4.

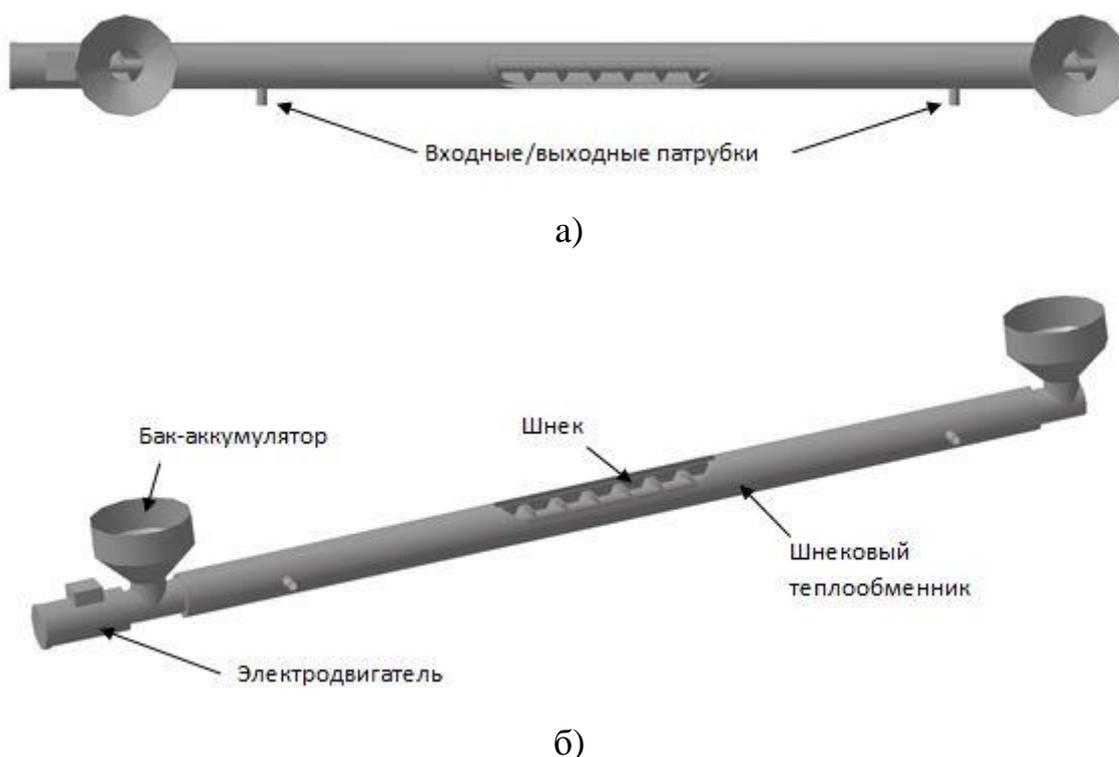


Рисунок 4 - Внешний вид двухфазного теплового аккумулятора
 а) вид сверху; б) изометрическая проекция;

Система управления приводом шнекового транспортера

Система управления приводом шнекового транспортера необходима для обеспечения требуемого цикла работы двухфазного теплового аккумулятора. Исходя из назначения системы управления, можно выделить ряд требований к ее реализации:

–поскольку при заряде теплового аккумулятора необходимо обеспечить перемещение теплоаккумулирующего вещества из бака-аккумулятора 1 в бак-аккумулятор 2, а при разряде – в обратном направлении, система управления должна иметь функциональную возможность прямого и реверсного вращения вала;

–система управления должна обеспечивать регулирование частоты вращения вала асинхронного двигателя в составе привода шнекового транспортера, поскольку частота оборотов выбирается исходя их

требуемого количества теплоты, необходимого для поддержания температурного режима потребителя;

Всем вышеперечисленным требованиям отвечают преобразователи частоты, применяемые для управления электроприводами в промышленных и бытовых установках, системах отопления.

Выводы. Применение шнекового теплообменника для передачи тепловой энергии от теплоаккумулирующего материала к теплоносителю системы теплоснабжения позволяет упростить конструкцию, уменьшить размеры теплоаккумулирующей установки и исключить засорение теплообменной поверхности, а также осуществить контроль разряда и заряда теплового аккумулятора.

Предложенная принципиальная схема, а также технические решения, касающиеся конструкции теплообменного аппарата, емкостей для хранения теплоаккумулирующего материала, а также системы управления приводом шнекового транспортера, позволяют реализовать требования к конструкции тепловых аккумуляторов на основе фазового перехода веществ.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение № 14.В37.21.0301).

Библиографический список

1. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. - М.: Мир, 1987. 272 с.
2. Дибиров М.А., Мозговой А.Г. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. 1993. Т. 66. В. 6. С.1210-1216.
3. Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Шамшуров Д.Н., Костромин Д.В., Медяков А.А., Яблонский Р.В. Математическое моделирование процессов автономного энергообеспечения тепличного комплекса на базе местных возобновляемых источников энергии. // Научная библиотека elibrary.ru. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17288379> (дата обращения 25.07.2013).
4. Онучин Е.М., Остапенков А.П. Теплоснабжение зимовников пасечных хозяйств на базе каталитических устройств сжигания биогенных топлив / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. Т. 89. № 89-89. С. 437-453.
5. Лукьянов А.В., Остапенко В.В., Александров В.Д. Аккумуляторы тепловой энергии на основе фазового перехода // Национальная библиотека Украины. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/VDnabia/2010_6/11_luk%27yanov.pdf (дата обращения 2.08.2013).

6. Kreith F., Kreider J.F. Principles of Solar Engineering. Washington, London, 1978, 778 p.
7. Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла / К.: «Тэхника», 1991. 112 с.
8. Медяков А.А., Онучин Е.М., Каменских А.Д., Анисимов П.Н Математическая модель энергетической системы ТАЛБЭК. // Научная библиотека elibrary.ru. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18115499> (дата обращения 7.05.2012)
9. Россихин Н.А. Методические указания по проектированию аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) / Кафедра Э-6, «Теплофизика». С. 3.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача / М. 1975. 488 с.
11. Сплав 12X18H10T // ЛАСМЕТ. Лаборатория специальной металлургии URL: <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=15> (дата обращения 25.07.2013).
12. Коррозионно-стойкая и жаропрочная сталь // Группа компаний СТАЛЬ URL: <http://www.gkstal.ru/cgi-bin/articles/view.cgi?id=53> (дата обращения 26.05.2013).

References

1. Bekman G., Gilli P. Teplovoe akumulirovanie jenergii. - М.: Mir, 1987. 272 s.
2. Dibirov M.A., Mozgovoj A.G. Teplofizicheskie svojstva teploakkumulirujushhix materialov. 1993. Т. 66. V. 6. S.1210-1216.
3. Sidyganov Ju.N., Onuchin E.M., Shamshurov D.N., Kostromin D.V., Medjakov A.A., Jablonskij R.V. Matematicheskoe modelirovanie processov avtonomnogo jenergoobespechenija teplichnogo kompleksa na baze mestnyh vozobnovljaemyh istochnikov jenergii. // Nauchnaja biblioteka elibrary.ru. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17288379> (data obrashhenija 25.07.2013).
4. Onuchin E.M., Ostashenkov A.P. Teplosnabzhenie zimovnikov pasechnyh hozjajstv na baze kataliticheskix ustrojstv szhiganija biogennyh topliv / Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. Т. 89. № 89-89. S. 437-453.
5. Luk'janov A.V., Ostapenko V.V., Aleksandrov V.D. Akkumuljatory teplovoj jenergii na osnove fazovogo perehoda // Nacional'naja biblioteka Ukrainy. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/VDnabia/2010_6/11_luk%27yanov.pdf (data obrashhenija 2.08.2013).
6. Kreith F., Kreider J.F. Principles of Solar Engineering. Washington, London, 1978, 778 p.
7. Levenberg V.D., Tkach M.R, Gol'strem V.A. Akkumulirovanie tepla / К.: «Тjehnika», 1991. 112 s.
8. Medjakov A.A., Onuchin E.M., Kamenskih A.D., Anisimov P.N Matematicheskaja model' jenergeticheskoi sistemy TALBJeK. // Nauchnaja biblioteka elibrary.ru. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18115499> (data obrashhenija 7.05.2012)
9. Rossihin N.A. Metodicheskie ukazanija po proektirovaniju akkumuljatorov teploty na fazovyh perehodah (kapsul'nogo tipa) / Kafedra Je-6, «Теплофизика». С. 3.
10. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha / М. 1975. 488 s.
11. Splav 12H18N10T // LASMET. Laboratorija special'noj metallurgii URL: <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=15> (data obrashhenija 25.07.2013).
12. Korrozionno-stojkaja i zharoprochnaja stal' // Gruppa kompanij STAL" URL: <http://www.gkstal.ru/cgi-bin/articles/view.cgi?id=53> (data obrashhenija 26.05.2013).