

УДК 661.832.321:66.065.5+621.565.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЛУРГИЧЕСКОГО ХЛОРИСТОГО КАЛИЯ



**Г. В. ОСИПОВА,**  
ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук,  
timofeev@galurgy.spb.ru



**Е. Б. ПАНАСЮК,**  
ведущий инженер

АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

### Введение

Производство галургического хлористого калия из сильвинитовой руды основано на различной растворимости хлористого калия и хлористого натрия в зависимости от температуры [1]. Продукт получают методом селективного выщелачивания KCl из руды в раствор с последующей кристаллизацией хлористого калия из осветленного насыщенного раствора при охлаждении на вакуум-кристаллизационной установке (ВКУ) [2, 3].

В настоящее время на Первом Соликамском рудоуправлении (СКРУ-1) ПАО «Уралкалий» объем производства хлористого калия составляет ~1 млн т в год при расходе осветленного насыщенного раствора на ВКУ 1200–1300 м<sup>3</sup>/ч. Кристаллизация KCl осуществляется на 14-ступенчатой нерегулируемой вакуум-кристаллизационной установке [4, 5].

Для обеспечения указанной производительности на установке вакуум-кристаллизации используют значительное количество свежей Камской воды, которая необходима для снижения температуры в последних ступенях ВКУ и увеличения выхода кристаллизата. Отработанная минерализованная вода сбрасывается в открытый водоем.

Для достижения более глубокого охлаждения оборотной воды и увеличения выхода кристаллизата с ВКУ без использования свежей Камской воды предложено использование искусственного холода [6].

### Обоснование и расчет параметров технологической схемы охлаждения оборотной воды на вакуум-кристаллизационной установке

Целесообразность использования искусственного холода при производстве галургического хлористого калия обусловлена следующими.

Обоснована целесообразность и разработана технология использования искусственного холода при производстве галургического хлористого калия на СОФ СКРУ-1 взамен свежей воды из реки Кама, значительное количество которой в настоящее время используется для снижения температуры в последних ступенях ВКУ и увеличения выхода кристаллизата.

Приведены результаты расчетов охлаждения, рекомендуемые технологическая схема и аппаратурное оформление процесса. Внедрение предлагаемого процесса позволит увеличить выход готового продукта до ~1,1 млн т в год без увеличения производительности установки по исходному раствору, без использования Камской воды и улучшить экологические показатели производства вследствие ликвидации сбросов засоленной минерализованной воды в водоемы.

**Ключевые слова:** хлористый калий, вакуум-кристаллизационная установка, искусственный холод, вода Камская, экологические показатели.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.16>

При растворении сильвинитовой руды в горячем оборотном щелоке образуется насыщенный раствор хлоридов калия и натрия, из которого на ВКУ выделяют хлористый калий. На установке происходят ступенчатое выпаривание воды из насыщенного раствора под вакуумом и одновременное охлаждение раствора. Кристаллизация хлористого калия осуществляется за счет снижения температуры раствора и вследствие уменьшения количества воды в растворе в связи с ее испарением. Температура, до которой возможно охлаждение насыщенного раствора на ВКУ, определяется температурой охлаждающей жидкости, подаваемой на конденсацию растворного пара. В качестве охлаждающей жидкости используют воду из системы оборотного водоснабжения после ее охлаждения на градирнях вентиляторного типа. Для условий летнего периода, когда максимальная температура оборотной воды с градирни увеличивается до 26 °С, данное техническое решение не позволяет охладить раствор на ВКУ до требуемой температуры ~30 °С. В связи с этим необходимо дополнительное охлаждение оборотной воды, используемой для конденсации растворного пара, свежей (Камской) водой. Наибольший расход свежей воды в летний период составляет от 700 до 1000 м<sup>3</sup>/ч. При этом необходимый для конденсации растворного пара и охлаждения насыщенного раствора на ВКУ расход воды в конденсаторе 14-й ступени достигает 2000–2300 м<sup>3</sup>/ч. Это не только увеличивает нагрузку на систему оборотного водоснабжения фабрики, но и приводит к сбросу эквивалентного количества отработанной минерализованной воды в открытый водоем.

Использование искусственного холода на ВКУ позволяет обеспечить более глубокое охлаждение оборотной воды и увеличить выход кристаллизата без использования свежей Камской воды; для этого предусмотрена установка холодильной станции.

Холодильные станции широко применяют для охлаждения рабочих сред в пищевой, химической и других отраслях промышленности, например, для замораживания водоносных грунтов при выполнении строительных работ [7–14]. В калийной промышленности бывш. СССР аммиачно-холодильную станцию использовали при производстве сульфата калия в составе ПО «Беларуськалий» для охлаждения раствора хлористого кальция, который применялся для кристаллизации мирабилита из сульфатных растворов [15].

Современные холодильные установки отличаются высоким КПД, небольшими габаритными размерами, широким диапазоном температур охлаждения с применением различных хладагентов, простотой монтажа и эксплуатации и предполагают комплектную поставку и установку оборудования «под ключ» [16–19].

Для обоснования предлагаемых к реализации технологических решений по использованию искусственного холода были выполнены технологические расчеты ВКУ СОФ СКРУ-1 при работе установки на различных нагрузках по насыщенному раствору: 1300, 1200 и 1100 м<sup>3</sup>/ч, с оценкой пропускной способности основного технологического оборудования\*.

Результаты расчетов показывают, что для обеспечения производительности установки по осветленному насыщенному раствору 1300 м<sup>3</sup>/ч, которая позволяет существенно превысить проектные показатели по готовому продукту, необходимо выполнить большой комплекс дополнительных работ: замену переточных труб, паровоздушных труб для 14-й ступени, барометрического конденсатора 14-й ступени с увеличением их диаметра. При этом работа на указанных нагрузках по насыщенному раствору может привести к ухудшению гранулометрического состава кристаллизата вследствие увеличения содержания мелких классов из-за сокращения продолжительности пребывания рабочей среды в аппаратах, что крайне нежелательно для нерегулируемой ВКУ СОФ.

Производительность установки по раствору 1100 м<sup>3</sup>/ч, которая при работе с использованием искусственного холода позволяет достичь проектных показателей по готовому продукту ~1,005 млн т в год, обеспечивается без замены оборудования и трубопроводов.

Оптимальным вариантом при использовании искусственного холода является производительность установки по раствору 1200 м<sup>3</sup>/ч, что обеспечивает выход готового продукта 1,098 млн т в год. Это превышает проектные показатели и требует минимальных дополнительных работ, касающихся увеличения пропускной способности переточных труб.

Технологические параметры ВКУ, принятые при выполнении расчетов, приведены далее.

Производительность по насыщенному раствору, м <sup>3</sup> /ч	1100
	1200
	1300
Температура осветленного насыщенного раствора, поступающего в приемный бак ВКУ, °С	95
Массовая доля компонентов осветленного раствора, %:	
KCl	20,15
NaCl	17,35
MgCl <sub>2</sub>	0,51
CaSO <sub>4</sub>	0,44
H <sub>2</sub> O	61,55
Температура суспензии на выходе из 14-й ступени ВКУ, °С	29
Температура охлаждающей воды, поступающей из системы оборотного водоснабжения, °С	26
Температура охлаждающей воды, поступающей с холодильной станции, °С	5

Разработанная технологическая схема процесса охлаждения оборотной воды на ВКУ СОФ СКРУ-1 с использованием искусственного холода, представленная на **рисунке**, предусматривает следующее.

1. Кристаллизация хлористого калия из осветленного насыщенного раствора осуществляется на 14-ступенчатой вакуум-кристаллизационной установке.

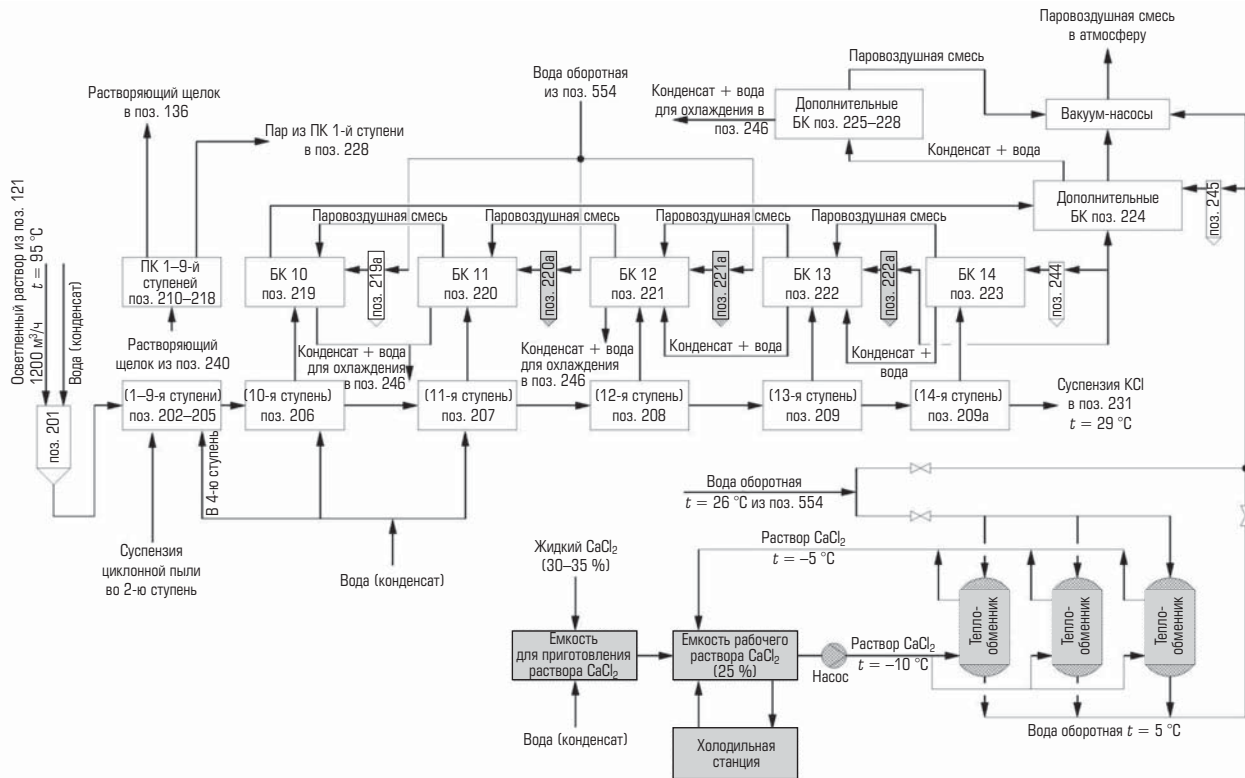
2. Охлаждение до 26 °С отработанной воды, используемой для конденсации растворного пара второй части ВКУ и поступающей в слив барометрических конденсаторов, выполняется с использованием существующей системы оборотного водоснабжения СОФ СКРУ-1.

3. Дополнительное охлаждение с 26 до 5 °С части оборотной воды, используемой для конденсации растворного пара 14-й и 13-й ступеней ВКУ, а также поступающей в дополнительный конденсатор (поз. 224) и на вакуум-насосы (поз. 230), осуществляется с использованием вновь монтируемой аммиачно-холодильной установки, которая располагается в отдельном производственном помещении (здании).

4. В качестве охлаждающего агента — хладоносителя — для дополнительного охлаждения оборотной воды используют водный раствор хлористого кальция с массовой долей CaCl<sub>2</sub> 22–25 %. Воду с 26 до 5 °С охлаждают в поверхностных теплообменниках.

5. Предусмотрена индивидуальная подача охлаждающей воды в основные барометрические конденсаторы, что позволяет снизить ее расход на каждый отдельный конденсатор (по сравнению со схемой последовательной подачи воды) и обеспечить возможность создания оптимального перепада температур между ступенями ВКУ. В барометрические конденсаторы (поз. 219, 10-я ступень; поз. 220, 11-я ступень; поз. 223, 14-я ступень) воду подают только индивидуально, а в барометрические конденсаторы (поз. 222 и поз. 221) — по комбинированной схеме.

\* Расчеты выполняли с определением количества испаренной воды и образующегося хлористого калия в процессе вакуум-кристаллизации при совместном последовательном решении уравнений материального и теплового баланса по каждой ступени ВКУ.



**Принципиальная схема процесса охлаждения оборотной воды на ВКУ СОФ СКРУ-1 с использованием искусственного холода:**

ПК — поверхностный конденсатор; БК — барометрический конденсатор; поз. 219а, 244, 245 — существующие барометрические стаканы; поз. 220а, 221а, 222а — вновь монтируемые барометрические стаканы; цветом отмечено вновь устанавливаемое оборудование

6. Сохраняется существующая в настоящее время система подачи охлаждающей оборотной воды на барометрические конденсаторы: конденсация растворного пара 14–11-й ступеней осуществляется по схеме с последовательной подачей охлаждающей воды; растворный пар 10-й ступени конденсируют индивидуально охлаждающей водой из системы оборотного водоснабжения.

7. Технологическая схема при работе с использованием искусственного холода реализует технические решения, направленные на улучшение гранулометрического состава кристаллизата, которые были разработаны для этой установки ранее: подача во вторую ступень суспензии циклонной пыли; распределение воды в приемный бак ВКУ, а также в 4-ую, 10-ую, 11-ую ступени.

Для обеспечения работы ВКУ с использованием искусственного холода необходимо следующее дополнительное оборудование:

- холодильная станция с расчетной производительностью по холоду 12,864 Гкал/ч (14961 кВт); расход жидкого хлористого кальция на первичное заполнение системы — 258 т;
- теплообменники (3 ед.) с поверхностью теплообмена по 400 м<sup>2</sup>;
- емкости для раствора хлористого кальция (2 ед.) и насосы для его перекачки;
- гидравлические стаканы для индивидуальной подачи охлаждающей воды на барометрические конденсаторы для 11, 12-й и 13-й ступеней ВКУ;

- дополнительный вакуум-насос для обеспечения вакуумом ленточных фильтров для фильтрации кристаллизата;
- увеличение внутреннего диаметра переточных труб между вакуум-кристаллизаторами ВКУ с 514 до 614 мм.

**Выводы**

Предложенные технические решения по использованию искусственного холода при производстве галургического хлористого калия на СОФ СКРУ-1 обеспечивают:

- увеличение выхода готового продукта на СКРУ-1 до 1,1 млн т в год, что выше проектных показателей на 100 тыс. т в год, без увеличения производительности установки по исходному раствору;
- стабилизацию работы ВКУ при изменении сезонных факторов (зима — лето) без использования Камской воды с подключением и регулированием режима работы холодильной станции в зависимости от температуры суспензии на выходе из ВКУ;
- улучшение экологических показателей производства вследствие ликвидации сбросов засоленной минерализованной воды в водоемы в объеме 700–1000 м<sup>3</sup>/ч;
- сокращение объема щелоков, циркулирующих в цикле «кристаллизация — растворение»; уменьшение удельных затрат тепла на нагрев щелока, поступающего на стадию растворения руды за счет увеличения его «емкости» по хлористому калию.

**Библиографический список**

1. Физико-химические свойства галургических растворов и солей. Хлориды натрия, калия и магния : справочник. — СПб. : Химия, 1997. — 512 с.
2. Позин М. Е. Технология минеральных солей. Ч. 1. — Л. : Химия, 1970. С. 154–159.
3. Сафрыгин Ю. С., Паскина А. В., Букса Ю. В. Технология производства галургического хлористого калия в России и Беларуси // Горный журнал. 2007. № 8. С. 25–30.
4. Рухля И. Е. Технологические схемы получения калия хлористого из сильвинита и их описание. — Минск : БНТУ, 2011. С. 15–20.
5. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12 / под ред. М. Б. Генералова. — М. : Машиностроение, 2004. С. 548–550.
6. Пат. 2465203 РФ. Способ получения хлористого калия / Ю. С. Сафрыгин, Г. В. Осипова, Ю. В. Букса, В. И. Тимофеев ; заявл. 13.01.2011 ; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.
7. Бараненко А. В., Бухарин Н. Н., Пекарев В. И., Тимофеевский Л. С. Холодильные машины / под ред. Л. С. Тимофеевского. — М. : Политехника, 2006. — 942 с.
8. Dorn E., Krause R., van Hayden T. Drilling wells and rocks freezing for shafts number 1 and number 2 of mine "Usolsk potash plant" in the Russian Federation // Thyssen mining report. 2012. No.13. P. 32–43.
9. Moretrench. Ground Freezing. URL: <http://www.moretrench.com/wp-content/uploads/2014/11/New-Ground-Freezing-Brochure.pdf> (дата обращения: 24.03.16)
10. Карпов А. Free cold system Avok. 2014. URL : [http://www.aermec.ru/Article\\_85.html](http://www.aermec.ru/Article_85.html) (дата обращения: 24.03.16).
11. Силенок А. В. Холодильные машины Johnson Controls для низкотемпературных аппаратов и установок // Холодильная техника. 2011. № 12. С. 12–13.
12. Точный О. В. Промышленные аммиачные и фреоновые чиллеры COOLTECH // Холодильная техника. 2011. № 3. С. 22–24.
13. Переработка природных солей и рассолов : справочник / под ред. И. Д. Соколова. — Л. : Химия, 1985. — 208 с.
14. AERMEC. Product Guide. 2015. URL: <http://www.aermec.com/en-en/comunicazione/brochures/pdf/GPUY.pdf> (дата обращения: 24.03.16). — 484 p.
15. Бабакин Б. С., Стефанчук В. И., Ковтунов Е. Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. — М. : Колос, 2000. С. 22–25.
16. Ammonia in Industrial Refrigeration. URL : <http://industrialrefrigeration.danfoss.com/knowledge-center/refrigerants/ammonia/> (дата обращения : 24.03.2016).
17. Товарас Н. В., Артемьев И. М. Промышленное холодильное оборудование НПФ «Химхолодсервис» для нового химического производства // Холодильная техника. 2015. № 8. С. 6–8.
18. Основы холодильной техники. — М. : Данфосс, 2006. — 24 с.
19. Маринюк Б. Т. Экологически безопасные хладонотители — свойства и применение. Методические указания. — М. : МГУИЭ, 2005. — 21 с. **РЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 80–83  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.16>

**The use of artificial cold in the production of potash by hot leaching**

**Information about author**

**G. V. Osipova**<sup>1</sup>, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences, [timofeev@galurgy.spb.ru](mailto:timofeev@galurgy.spb.ru)

**E. B. Panasyuk**<sup>1</sup>, Leading Engineer

<sup>1</sup> VNII Galurgy Stock Co., Saint-Petersburg, Russia

**Abstract**

The article is devoted to a reasonability justification and development of refrigeration application process when potash hot leaching production at Solikamsk Concentrator (SC) of Solikamsk-1 mine.

At present time for the potash production increasing on the vacuum-crystallization unit (VCU) it is used considerable quantity of fresh Kama river water, which is necessary for the temperature reduction at the last stages of VCU and finished crystallized product (crystallizat) output increasing. An outlet mineral water is discharged into an open water body. The alternative variant for deeper cooling of recycling water and increasing of finished crystallized product (crystallizat) output is the refrigeration application for creation of which in last years there were made compact and high production refrigerating units that were successfully applied in different industries for process medium refrigeration.

The waste mineralized water is discharged into open water. Alternatively, for a more thorough cooling of circulating water and for the yield increasing of the crystallizate from VCP is the use of artificial cold, for the creation of which in recent years has created a compact and high-performance cooling plants, successfully used in various industries for technological environments cooling.

Cooling stations are widely used to cool the working environments in various industries. The potash industry in the former Soviet Union has the first experience of using of the ammonia-cooling station in the crystallization of mirabilite from sulfate solutions (PO "Belaruskaliy").

Modern cooling plants systems are characterized by high efficiency, small overall dimensions, wide temperature range of the cooling with different refrigerants, ease of installation and operation.

There are given the results of calculations of the cooling process, the recommended technological scheme and process equipment design with a list of necessary additional equipment. The implementation of proposed process will allow to increase finished product output to 1,1 mln. t/year without increasing a unit production capacity on original solution without using of Kama river water and to improve ecological production performances as a result of elimination of saline mineralized water discharge into the open water bodies.

**Keywords:** Potash chloride, vacuum-crystallizing plant, artificial cold, water of Kama river, environmental measure.

**References**

1. *Fiziko-khimicheskie svoystva galurgicheskikh rastvorov i soley. Khlорidy natriya, kaliya i magniya : spravochnik* (Physico-chemical properties of halurgy solutions and salts. Sodium, potassium and magnesium chlorides: reference book). Saint Petersburg : Khimiya, 1997. 512 p. (in Russian)
2. Pozin M. E. *Tekhnologiya mineralnykh soley. Chast 1* (Mineral salts technology. Part 1). Leningrad : Khimiya, 1970. pp. 154–159.

3. Safrygin Yu. S., Paskina A. V., Buksha Yu. V. *Tekhnologiya proizvodstva galurgicheskogo khlорistogo kaliya v Rossii i Belarusi* (Production technology of halurgy potassium chloride in Belarus and Russia). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 8. pp. 25–30.
4. Rukhlya I. E. *Tekhnologicheskie skhemy polucheniya kaliya khlорistogo iz silvinita i ikh opisaniye* (Process flowsheets of potassium chloride production from sylvinite and their description). Minsk : Belarus National Technical University, 2011. pp. 15–20.
5. *Mashinostroeniye. Entsiklopediya. Mashiny i apparaty khimicheskikh i neftekhimicheskikh proizvodstv. Tom IV-12* (Mechanical Engineering. Encyclopedia. Machinery and equipment of chemical and petrochemical industries. Volume IV-12). Edited by M. B. Generalov. Moscow : Mashinostroeniye, 2004. pp. 548–550.
6. Safrygin Yu. S., Osipova G. V., Buksha Yu. V., Timofeev V. I. *Sposob polucheniya khlорistogo kaliya* (Potassium chloride production method). Patent RF, No. 2465203. Applied: January 13, 2011. Published: October 27, 2012. Bulletin No. 30.
7. Baranenko A. V., Bukharin N. N., Pekarev V. I., Timofeevskiy L. S. *Khlорidnyye mashiny* (Refrigerating machines). Edited by L. S. Timofeevskiy. Moscow : Politekhnik, 2006. 942 p.
8. Dorn E., Krause R., van Hayden T. Drilling wells and rocks freezing for shafts number 1 and number 2 of mine "Usolsk potassium plant" in the Russian Federation. Thyssen mining report. 2012. No. 13. pp. 32–43.
9. Moretrench. Ground Freezing. Available at: <http://www.moretrench.com/wp-content/uploads/2014/11/New-Ground-Freezing-Brochure.pdf> (accessed: March 24, 2016).
10. Karpov A. Free cold system Avok. 2014. Available at : [http://www.aermec.ru/Article\\_85.html](http://www.aermec.ru/Article_85.html) (accessed: March 24, 2016).
11. Silenok A. V. *Khlорidnyye mashiny Johnson Controls dlya nizkotemperaturnykh apparatov i ustanovok* (Refrigerating machines Johnson Controls for low-temperature devices and systems). *Khlорidnaya tekhnika = Refrigeration engineering*. 2011. No. 12. pp. 12–13.
12. Tochenny O. V. *Промышленные аммиачные и фреоновые чиллеры COOLTECH* (Industrial ammonia and freon chillers COOLTECH). *Khlорidnaya tekhnika = Refrigeration engineering*. 2011. No. 3. pp. 22–24.
13. *Pererabotka prirodnnykh soley i rassolov : Spravochnik* (Processing of natural salts and brines : reference book). Edited by I. D. Sokolova. Leningrad : Khimiya, 1985. 208 p.
14. AERMEC. Product Guide. 2015. Available at : <http://www.aermec.com/en-en/comunicazione/brochures/pdf/GPUY.pdf> 484 p. (accessed: March 24, 2016)
15. Babakin B. S., Stefanчук V. I., Kovtunov E. E. *Alternativnyye khlорidnyye sistemy na ikh osnove* (Alternative refrigerants and servicing of refrigerating systems on their basis). Moscow : Kolos, 2000. pp. 22–25.
16. Ammonia in Industrial Refrigeration. Available at : <http://industrialrefrigeration.danfoss.com/knowledge-center/refrigerants/ammonia/> (accessed: March 24, 2016).
17. Товарас Н. В., Артемьев И. М. *Промышленное холодильное оборудование научно-производственной фирмы "Химхолодсервис" для нового химического производства* (Industrial refrigerating equipment at "Khimkholodservis" enterprise for a new chemical production facility). *Khlорidnaya tekhnika = Refrigeration engineering*. 2015. No. 8. pp. 6–8.
18. *Osnovy khlорidnykh tekhniki* (Refrigerating engineering basics). Moscow : Danfoss, 2006. 24 p. (in Russian)
19. Маринюк Б. Т. *Экологически безопасные хладонотители – свойства и применение. Методические указания* (Environmentally safe coolants, their properties and usage. Methodological instructions). Moscow : Moscow State University of Environmental Engineering, 2005. 21 p.