

Червоний Віталій Миколайович, канд. техн. наук, ст. викл., кафедра устаткування харчової і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Червоный Виталий Николаевич, канд. техн. наук, ст. преп., кафедра оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М.И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Chervonyi Vitalii, Candidate of Technical Sciences, Senior Instructor, Department of food and hotel industry equipment named after M.I. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

Яковлев Олег Владимирович, ст. викл., здобувач, кафедра технології та хімії морепродуктів, Керченський державний морський технологічний університет. Адреса: вул. Орджонікідзе, 82, м. Керч, Україна, 98300. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: yakoleg@mail.ru.

Яковлев Олег Владимирович, ст. преп., соискатель, кафедра технологии и химии морепродуктов, Керченский государственный морской технологический университет. Адрес: ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, Украина, 98300. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: yakoleg@mail.ru.

Yakovliev Oleg, Senior Instructor, seeker of Candidate of Technical Sciences, Department of technology and chemistry of marine products, Kerch State Marine Technical University. Address: Ordzhonikidze str., 82, Kerch, Ukraine, 98300. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: yakoleg@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром екон. наук, проф. Н.С. Краснокутською, канд. техн. наук, доц. Б.В. Ляшенко.
Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.565.93.95

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ХОЛЮДОПОСТАЧАННЯ НА ШЛЯХУ ДО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

О.В. Петренко, Д.П. Семенюк

Проведено огляд інженерних рішень холодильних схем, які найчастіше застосовуються під час проектування централізованих систем

© Петренко О.В., Семенюк Д.П., 2015

холододоставання. Розглянуто переваги, недоліки та шляхи підвищення ефективності систем холододоставання.

Ключові слова: холодоагент, проміжний холодоносії, безпосереднє кипіння, насосна подача, система холододоставання, інженерне рішення.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ НА ПУТИ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Е.В. Петренко, Д.П. Семенюк

Проведен обзор инженерных решений холодильных схем, чаще всего используемых при проектировании централизованных систем хладоснабжения. Рассмотрены преимущества, недостатки и пути повышения эффективности систем хладоснабжения.

Ключевые слова: хладагент, промежуточный хладоноситель, непосредственное кипение, насосная подача, система хладоснабжения, инженерное решение.

THE USE OF MODERN ENGINEERING SOLUTIONS FOR THE DESIGN OF REFRIGERATION SYSTEMS AS A WAY OF ENERGY CONSERVATION AND EFFICIENCY

O. Petrenko, D. Semeniuk

The research paper is devoted to the problem of finding ways to save energy resources during the cooling equipment operation.

At present the preservation and saving of energy is the burning problem. Many industries such as steel industry, fuels and lubricants industry and others are powerful consumers of energy. Refrigeration systems are also powerful energy consumers. In this context the refrigeration industry is faced with the problem of finding ways to improve the efficiency and productivity of both components and the system as a whole.

Not only the designers and developers of refrigeration components which constantly improve and modernize existing equipment, but also operatives which improve algorithms and computer programs to develop integrated management systems in order to optimize work and increase efficiency depending on various modes of operation are involved in solving of this problem.

Three systems of supplying the coolant to consumers during the central cooling systems design are considered and analyzed.

The first scheme which is most often used in circuit solutions of central cooling systems is direct boiling of refrigerant in the evaporator of cooling devices of each consumer. However, such schemes have their drawbacks □ are problems with "allocation" and "accumulation" of oil and it is associated with long mains of coolant. Engineering solutions of this problem are complex systems of control and returning oil to the compressors.

The second scheme is cooling systems with pump supply of coolant. However, under using of such scheme a lot of nuances must be taken into account. It is not always very convenient and profitable.

The third scheme in our view is the simplest solution (especially for average temperature systems) it is the application of systems with intermediate coolant pump supply which eliminates the loss of compressors productivity. Supermarkets, large offices and hotel complexes often use such systems ("chiller - fencoil").

Thus, under solving of refrigeration systems energy consumption problems it is necessary to solve number of issues in total: the choice of highly efficient refrigerant and optimal coolant, the minimum amount of refrigerant in the system, specifics of transportation of coolant to consumers. Solving of these problems allows always expecting of reduce both capital and operating costs.

Keywords: *refrigerant, intermediate coolant, direct boiling, pump feeding, cooling system, engineering solutions.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо, що системи з виробництва холоду є одними з найбільших енергоспоживачів в енергетичному балансі підприємств. Тому постійним завданням для холодильної та кліматичної індустрії є підвищення ефективності та продуктивності елементів, що входять до складу холодильних установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробники холодильних компонентів постійно вдосконалюють техніку, створюючи все більш надійні та ефективні компресори, теплообмінне обладнання, автоматику. На сьогодні накопичено величезний досвід створення надійних холодильних установок різних схем і призначень, у яких робота всіх компонентів максимально оптимізована та ефективна [1; 2]. Розроблюються та впроваджуються зручні комп'ютерні програми, що дозволяють не тільки підбирати та розраховувати холодильну техніку, але й моделювати її роботу залежно від різних режимів експлуатації.

Однак при всьому різноманітті сучасної техніки та технічної підтримки дуже важливим моментом під час впровадження холодильних систем є кінцеве інженерне рішення, за якого треба правильно використовувати знання техніки та творчо застосовувати наукові принципи проектування. Прикладом необхідності застосування правильного інженерного підходу є проектування об'єктів із великою кількістю споживачів штучного холоду. Як правило, для таких об'єктів проектується централізована система холодопостачання, де ключовим моментом є вибір схеми, за якою до споживачів буде подаватися холодоносії [2].

Мета статті – аналітичний огляд сучасних систем холодопостачання об'єктів із великою кількістю споживачів штучного

холоду, акцентування переваг та недоліків систем холодопостачання під час вибору інженерного рішення, виявлення перспективних тенденцій сучасного проектування промислових холодильних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш за все розглянемо схему безпосереднього кипіння холодоагента у випарниках охолоджувальних пристроїв кожного зі споживачів, яка найчастіше застосовується в схемних рішеннях систем централізованого холодопостачання. У цьому випадку циркуляція холодоагента системою трубопроводів здійснюється компресорами. Головний недолік такого технічного рішення – великі магістральні втрати, що знижують ККД системи та проблеми з віднесенням і заляганням мастила, що пов'язані з великою довжиною магістралей холодоносія [3]. Знизити магістральні втрати можливо шляхом збільшення діаметрів трубопроводів, але це у свою чергу спричинить подорожчання системи. Залягання мастила призводить до більш серйозних проблем: по-перше, знижується ефективність роботи теплообмінного обладнання; по-друге, віднесення мастила з компресорів викликає їхню періодичну аварійну зупинку по (відсутність мастила) і призводить до серйозних пошкоджень внутрішніх тертьових елементів. Таким чином, ці холодильні системи повинні оснащуватися складними системами контролю та повернення мастила в компресори. Це відомі традиційні рішення – включення в схему контролерів рівня мастила, мастиловіддільників, мастильних ресиверів, мастилопідйомних петель а також правильно розрахованою додатковою заправкою мастила в систему.

Деякі виробники розробили ексклюзивне обладнання, у якому спрощена система повернення мастила. Це холодильні центральні «Linde» або «Pro froyd», у яких надійне постачання мастила за будь-яких штатних режимів роботи забезпечується тільки за допомогою спеціальних усмоктувальних і проміжних колекторів [4].

Застосовуються також системи великої довжини: мультизональні системи кондиціонування «VRF Toshiba», у яких завдяки сукупності інженерних рішень повна довжина трубопроводу може досягати 300 м, а перепад висоти між блоками – до 50 метрів без втрат і ризику аварійної зупинки обладнання [5; 6]. Але стандартні й ексклюзивні рішення або потребують високих капітальних витрат (системи повернення мастила можуть до 50% збільшити вартість холодильної установки), або мають характер ноу-хау або характеризуються вузькою спеціалізацією (застосовуються тільки в системах кондиціонування).

Альтернативною системою із безпосереднім кипінням холодоагента, особливо за великої довжини магістралей (більше

100 м), є системи холодопостачання з насосною подачею холодоагента. У цьому випадку вирішується проблема втрат у магістральних трубопроводах і зниження ККД холодильної установки.

Під час проектування цієї холодильної системи варто враховувати такі особливості:

- фреон у рідкій фазі завдяки насосам постійно циркулює через теплообмінники – охолоджувачі та ресивер. Випар у теплообмінниках відбувається лише частково, тому температурний перепад становить 1...2 К. Це головна перевага насосної подачі перед схемами з безпосереднім кипінням холодоагента, у яких температурний перепад становить 6...10 К. Для створення такого перепаду в теплообмінниках систем із безпосереднім кипінням певна ділянка теплообмінника працює як перегрівник холодоагента, тим самим знижуючи ефективну площу теплообміну;

- у циркуляційному ресивері постійно перебувають рідкий холодоагент і насичена пара, що знаходиться з рідиною в рівноважному стані. Компресори усмоктують із циркуляційного ресивера насичену пару, тобто існує постійна аварійна ситуація за «вологим ходом». Для запобігання аварійної ситуації на усмоктувальній магістралі повинна бути передбачена захисна автоматика (сепаратори рідини, регенеративні теплообмінники та ін.);

- у циркуляційний ресивер разом із фреоном попадає мастило. Необхідно передбачити систему повернення мастила в компресори. Це може бути система, що випарює частину фреону (який містить в собі мастило) на рідинній магістралі й повертає перегріту пару й мастило назад у компресор. Також можлива система сепарації мастила залежно від рівня рідкого холодоагента в ресивері [3].

Таким чином, більш ефективна та надійна система насосної подачі холодоагента порівняно з системою з безпосереднім кипінням холодоагента за капітальними витратами буде набагато дорожча. Але стосовно промислових холодильних установок централізованого холодопостачання насосна подача холодоагента за експлуатаційними витратами є більш ефективним рішенням. Слід зазначити, що велика частина холодокомбінатів у СРСР оснащувалася саме системами з насосною подачею аміаку.

У випадку проектування систем насосної подачі холодоагента великої продуктивності з економічної точки зору обґрунтовано включення до схеми конденсатора з водяним охолодженням (вода для зрошення конденсатора охолоджується в градирні) або конденсатора випарного охолодження. У цих випадках істотно знижується тиск конденсації, як наслідок знижується енергоспоживання й тим самим компенсуються витрати на підготовку води та обслуговування теплообмінних поверхонь, зрошуваних водою.

На наш погляд, більш простим рішенням (особливо для середньотемпературних систем) є застосування систем із насосною подачею проміжного холодоносія, що виключає втрату продуктивності компресорів. Як джерело холоду в цьому випадку варто використовувати моноблочні чіллери повної заводської готовності. Охолоджений холодоносіє, як правило, водяний розчин гліколю, циркулює завдяки насосам системою сталевих або пластикових трубопроводів між чіллером і внутрішніми приладами охолодження (фенкойлами). Найбільш часто подібні системи («чіллер – фенкойл») можна зустріти в супермаркетах, великих офісах і готельних комплексах.

Незважаючи на те, що, на перший погляд, застосування схеми із проміжним холодоносієм повинне бути більш енергоємним, за рахунок енергоспоживання насосів і додаткового перепаду температур на теплообміннику «холодоагент – холодоносіє», застосування сучасних чіллерів дозволяє істотно заощаджувати електроенергію в порівнянні з іншими схемами [3]. Це відбувається з таких причин:

- магістральні втрати в схемі безпосереднього кипіння холодоагента знижують розрахункову температуру кипіння;
- застосування в чіллерах холодоагентів R407C, R410a, які мають більш високу ефективність у середньотемпературних режимах порівняно з традиційно низькотемпературними R404a, R507a;
- застосування систем частотного регулювання роботи насосів, компресорів і вентиляторів конденсатора;
- застосування електронних ТРВ, що дозволяє точно регулювати ступінь заповнення випарника чіллера холодоагентом. Встановлення електронних ТРВ рекомендовано для систем із великими перепадами навантаження;
- застосування «Free cooling» – опційно встановленої в чіллері системи природного охолодження холодоносія за низьких температур навколишнього середовища без використання холодильних компресорів. За певних умов можлива істотна економія (до 25% від річного енергоспоживання [7]).

Використання гліколевих розчинів має умовно обмежене застосування за температурним діапазоном. Чим нижча температура в охолоджуваному об'єкті, тим вища повинна бути концентрація гліколю, щоб уникнути замерзання й тим погіршити теплофізичні властивості розчину як холодоносія. Збільшення концентрації вимагає більш потужних насосів і більшої теплообмінної поверхні охолоджувальних пристроїв. Тому на сьогодні пошук та розробка оптимальних та ефективних холодоносіїв є актуальним завданням. Як перспективні холодоносії для промислових систем холодопостачання розглядаються

бінарний лід і вуглекислота. Маючи сприятливі для навколишнього середовища характеристики, низьку токсичність, привабливі фізико-хімічні властивості у випадку «докритичного» функціонування, вуглекислота усе більше цікавить розробників як кращий холодоносіє для вторинного контуру, а також як холодоагент для низькотемпературних каскадних систем [8].

У табл. наведено узагальнену порівняльну характеристику вищерозглянутих схем холодопостачання за найбільш важливими експлуатаційними та економічними показниками.

Таблиця

Порівняльна характеристика схем холодопостачання [3]

Показник	Безпосереднє кипіння холодоагенту	Насосна подача холодоагенту	Насосна подача проміжного холодоносія
1	2	3	4
Холодоагент (холодоносіє)	Як правило, з міркувань малого температурного гістерезису холодоагент R507a	R507a	Водяний розчин гліколю
Процес теплообміну в охолоджувальних пристроях	Безпосереднє кипіння	Теплообмін з холодоагентом із частковим випаром	Теплообмін з холодоносієм
Перепад температур у повітроохолоджувачах	7...10 К	1...2 К	3...5 К
Тиск у середньотемпературній системі	До 25 бар у нагнітальних та рідинних, 3...5 бар в усмоктувальних хладонових магістралях	До 25 бар у нагнітальних та рідинних, 3...5 бар в усмоктувальних хладонових магістралях	до 3 бар у системі гідравліки проміжного холодоносія

Продовження табл.

1	2	3	4
Проблеми, викликані віднесенням мастила	Велика ймовірність	Мала ймовірність, вирішено завдяки системі автоматики холодильної установки	Відсутні
Відстані більше 150 м до самого віддаленого споживача	Необхідність збільшення кількості холодильних систем	Проблеми не існує	Проблеми не існує
Трубопроводи	Мідні паяні, товщина стінки від 0,8 мм і вище	Електрозварні, товщина стінки від 3 мм і вище	Електрозварні, товщина стінки від 3 мм і вище
Трудомісткість монтажних робіт	Монтаж обладнання та трубопроводів проводить персонал холодильної компанії	Монтаж трубопроводів проводять висококваліфіковані зварники	Монтаж обладнання та трубопроводів проводить персонал санітарно-технічної компанії
Пусконаладжувальні роботи	Проводить персонал холодильної компанії	Фахівці з пусконаладжування подібних систем	Проводить персонал санітарно-технічної компанії
Швидкість ремонту магістралей холодоносія	Залежить від швидкості реагування ремонтної бригади постачальника обладнання	Залежить від швидкості реагування ремонтної бригади постачальника обладнання	Протягом 30хв за присутності на об'єкті персоналу із кваліфікацією сантехника

Продовження табл.

1	2	3	4
Простота ремонту магістралей холодоносія	Трудомісткий, особливо у важкодоступних місцях. Необхідні зварювальні роботи	Трудомісткий, особливо у важкодоступних місцях. Необхідні зварювальні роботи	Простий. Не вимагає зварювальних робіт
Швидкість виявлення малого витоку	Тривалий і трудомісткий процес, часто безрезультатний	Тривалий і трудомісткий процес, часто безрезультатний	Візуальне виявлення, досить виявити появу калюж
Вартість холодоагента (холодоносія)	10 євро за кг	10 євро за кг	0,7 євро за кг
Кількість заправлення холодоагента у випадку великого витоку	100%	100%	50% (якщо це магістральний трубопровід)
Головний недолік	Велика довжина хладонових магістралей. Наслідок – великі магістральні втрати, що знижують ККД системи та проблеми з «заляганням» мастила	Висока собівартість у наслідок великих обсягів заправлення холодоагента, наявність у системі насосів, циркуляційних ресиверів	Наявність у системі проміжного холодоносія. Наслідок – більш низьке кипіння холодоагента у випарнику чіллера (не нижче ККД, ніж у рішенні №1), наявність насосів для перекачування холодоагента (додаткове енергоспоживання)

Продовження табл.

1	2	3	4
Основна перевага	Стандартне рішення	Енергоефективність	Енергоефективність. Енергозбереження (можливість використання скидної теплоти та природного холоду). Більш низька собівартість. Надійність. Екологічна безпека

Висновки. Основна тенденція сучасного проектування промислових холодильних систем: вибір вискоефективного холодоагента та оптимального холодоносія, проектування системи з мінімальним обсягом заправлення холодоагентом, транспортування холодоносія до споживачів насосами. Завдяки цьому завжди можна прогнозувати отримання істотної економії як капітальних витрат, так і експлуатаційних.

Список джерел інформації / References

1. Холодильні установки / [І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський та ін.] ; за ред. І. Г. Чумака. – [6-ге вид., перероб. та доп.]. – Одеса : Пальміра, 2006. – 552 с.

Chumak, I.G., Chepurmenko, V.P., Lar'yanovskiy, S.Yu. (2006), *Refrigerators [Holodilni ustanovki]*, Palmyra, Odessa, 552 p.

2. Брайдерт Г. Й. Проектирование холодильных установок. Расчёты, параметры, примеры / Г. Й. Брайдерт. – М. : Техносфера, 2006. – 336 с.

Braydert, G.Y. (2006), *Design of refrigeration units. Calculations, parameters, examples [Proektirovanie holodilnyih ustanovok]*, Tehnosfera, Moscow, 336 p.

3. Выбор схемы централизованного холодоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kriofor.com.ua/stati/26-vybor-skhemyy-tsentralizovannogo-kholodosnabzheniya.html>

”Selecting a district cooling scheme” [”Vyibor shemyi tsentralizovannogo holodosnabzheniya”], available at: <http://kriofor.com.ua/stati/26-vybor-skhemyy-tsentralizovannogo-kholodosnabzheniya.html>

4. Системы контроля циркуляции масла в компрессорах Битцер [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bitzer.ru/sistemi_kontrolya_cirkulyacii_masla_v_kompressorah_bitcer

”*Oil circulation control system in compressors Bitzer*” [”*Sistemy kontrolya tsirkulyatsii masla v kompressorah Bittser*”], available at: http://bitzer.ru/sistemi_kontrolya_cirkulyacii_masla_v_kompressorah_bitcer

5. Mini-SMMS – самая экономичная мини-система кондиционирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cptoshibaaircon.com.ua/Category/mul-tizon/product/mini-smms---vneshnie-bloki/text/1>

”*Mini-SMMS – most economical mini-conditioning system*” [”*Mini-SMMS – samaya ekonomichnaya mini-sistema konditsionirovaniya*”], available at: <http://cptoshibaaircon.com.ua/Category/mul-tizon/product/mini-smms---vneshnie-bloki/text/1>

6. SMMSi. Система кондиционирования для крупных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cptoshibaaircon.com.ua>

”*SMMSi. The air conditioning system for large buildings*” [”*SMMSi. Sistema konditsionirovaniya dlya krupnyih zdaniy*”], available at: <http://cptoshibaaircon.com.ua>

7. Ferroli. LDK. Техническое руководство. Чиллеры, тепловые насосы с функцией свободного охлаждения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ferroli.it>

”*Ferroli. LDK. Technical Manual. Chillers, heat pumps with free cooling*” [”*Sistema konditsionirovaniya dlya krupnyih zdaniy*”], available at: <http://www.ferroli.it>

8. CO₂ переживает второе открытие / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.guentner.ru/nou-khau/innovacii-i-tekhnologii/khladagent-co2-nastupaet>

”*CO₂ is going through the second opening*” [”*CO₂ perezhivaet vtoroe otkryitie*”], available at: <http://www.guentner.ru/nou-khau/innovacii-i-tekhnologii/khladagent-co2-nastupaet>

Петренко Олена Володимирівна, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Петренко Елена Владимировна, канд. техн. наук, факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: (057)349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Petrenko Olena, PhD, Sc. Associate Professor, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovskaya str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: (057)349-45-88, (067)7342916; e-mail: elena_lion_71@mail.ru.

Семенюк Дмитро Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет обладнання та технічного сервісу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Семенюк Дмитрий Павлович, канд. техн. наук, доц., факультет оборудования и технического сервиса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61045. Тел.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

Semeniuk Dmytro, PhD, Sc. Associate Professor, faculty of equipment and technical services, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovskaya str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61045. Tel.: (057)349-45-88, (097)3659060; e-mail: dmitriy.semeniuk@gmail.com.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. М.І. Погожих, канд. техн. наук, проф. І.В. Бабкіною.
Отримано 1.08.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 621.928.37

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АПАРАТІВ ІЗ ЗУСТРІЧНИМИ ЗАКРУЧЕНИМИ ПОТОКАМИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УЛОВЛЕННЯ

М.Ю. Савченко-Перерва

Запропоновані експериментальні дослідження загальної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) із використанням програми для аналізу зображень. Розроблено методику порівняльного аналізу апаратів із зустрічними закрученими потоками до та після вдосконалення. Визначено мінімальну фракцію вловленого сухого продукту.

Ключові слова: загальна ефективність, апарат із зустрічними закрученими потоками, фракція, сухий продукт.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АППАРАТОВ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ

М.Ю. Савченко-Перерва

Предложены экспериментальные исследования обшей эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками (АЗЗП) с

© Савченко-Перерва М.Ю., 2015