

2. Золотов, Ю. А. Золотой фонд. Школьная энциклопедия. Химия [Текст] / Ю. А. Золотов. — М.: Большая российская энциклопедия, 2003. — 539 с.
3. Wang, Y. A. Sclerotherapy of voluminous venous malformation in head and neck with absolute ethanol under digital subtraction angiography guidance [Text] / Y. A. Wang, J. W. Zheng, H. G. Zhu, W. M. Ye, Y. He, Z. Y. Zhang // Phlebology. — 2010. — Vol. 25. — P. 138–144.
4. Комаров, С. А. Диэлектрические свойства песка, содержащего кристаллогидраты минеральных солей [Текст] / С. А. Комаров, В. Л. Миронов, А. Н. Романов // Журнал издательства АГУ. — Барнаул: АГУ, 2000. — 13 с.
5. Яблонский, Г. С. Кинетические модели каталитических реакций [Текст] / Г. С. Яблонский, В. И. Быков, А. Н. Горбань. — Новосибирск: Наука (Сибирское Отделение), 1983. — 255 с.
6. Сарычева, Е. А. Физико-химическое исследование гидратации и дегидратации кристаллогидратов фосфатов и сульфатов кальция с участием паров воды [Текст] : автореферат на соискание степени кандидата химических наук / Е. А. Сарычева. — М.: НПО «Минудобрения», 1995. — 16 с.
7. Банару, А. М. Статический анализ строения кристаллогидратов органических соединений по рентгенодифракционным данным [Текст] / А. М. Банару // Вестник Московского государственного университета им. Ломоносова. — Москва: МГУ им. Ломоносова, 2009. — 24 с.
8. Гладилин, Н. И. Руководство по ректификации спирта [Текст] / Н. И. Гладилин. — М.: Пищепромиздат, 1952. — 450 с.
9. Климовский Д. Н. Технология спирта [Текст] / Д. Н. Климовский, В. Н. Стабников. — М.: Пищепромиздат, 1960. — 515 с.
10. Лидин, Р. А. Справочник по неорганической химии, константы неорганических веществ [Текст] / Р. А. Лидин, Л. Л. Андреева, В. А. Молочко. — М.: Химия, 1987. — 320 с.

#### ВЛИВ ПРОДУКТІВ ГІДРОЛІЗУ АДСОРБЕНТУ НА ЙОГО ЗДАТНІСТЬ ДО ЗНЕВОДНЕННЯ СЛАБОПОЛЯРНИХ РІДИН

Стаття містить результати дослідження процесу зневоднення етилового спирту з точки зору можливості перебігу при цьому не тільки основної хімічної реакції зневоднення, а й вплив

на результат продуктів взаємодії адсорбенту з водою — внаслідок гідролізу останнього. Пропонується в процесі зневоднення використовувати кислі солі s<sup>1</sup>-елементів, наявність іона гідрогену в яких перешкоджає утворенню луку.

**Ключові слова:** адсорбент, етанол, кристалогідрат, вода, обробка, гідроліз, концентрація.

*Бутенко Анатолій Николаевич, доктор технічних наук, професор, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, e-mail: butenko@kpi.kharkov.ua.*

*Блінков Николай Андреевич, аспірант, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний університет», Україна, e-mail: nikolayblinkov@yahoo.com.*

*Юрченко Анна Александровна, преподаватель-стажер, кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталіза та екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Бутенко Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Блінков Микола Андрійович, аспірант, кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Юрченко Ганна Олександрівна, викладач-стажист, кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.*

*Butenko Anatoly, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: butenko@kpi.kharkov.ua.*

*Blinkov Nikolay, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: nikolayblinkov@yahoo.com.*

*Yurchenko Anna, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine*

УДК 621.6.058

Назаренко И. А.

## ВИБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ФОРМЫ ДОННОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО НАГРЕВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕКА

В статье приводятся результаты сравнительного анализа использования отражателей различной формы на однородность температурного поля высокотемпературного пека. Показано, что применение донного отражателя в форме перевернутого срезанного конуса позволит снизить градиент температур по высоте резервуара. Доказано, что донные отражатели позволят интенсифицировать теплообмен в резервуаре и обеспечить равномерность нагрева без дополнительных энергетических затрат.

**Ключевые слова:** донный отражатель, циркуляционный способ нагрева, высокотемпературный пек, вертикальный стальной резервуар.

### 1. Введение

Одним из основных потребителей графитированных электродов является электросталеплавильное производство. Сырьем для производства электродов служит каменноугольный пек. Повышение требований к качеству графитированных электродов для мощных сталеплавильных печей и эксплуатации их при больших токовых нагрузках влечет за собой и более высокие требования к качеству каменноугольного пека [1]. Актуальность

работы связана с тем, что каменноугольный пек является единственным видом связующего компонента для производства анодной массы, графитированных электродов, конструкционных и других материалов.

### 2. Постановка проблемы

Система подготовки и нагрева пека при производстве электродной продукции представляет собой сложный комплекс трубопроводов, оборудования и сооружений,

который потребляет значительную часть энергетических ресурсов предприятия в процессе эксплуатации. Эффективность работы системы нагрева пека регламентируется довольно жесткими требованиями к обеспечению допустимого уровня равномерности распределения температуры в резервуаре. Соблюдение этих требований возможно посредством установки в резервуарах донных отражателей. Задачей данного исследования является исследование влияния формы донных отражателей на температурное поле в резервуарах для хранения высокотемпературного пека.

### 3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Показано, что неравномерность нагрева высокотемпературного пека приводит к значительному снижению качества электродов, и может служить причиной таких дефектов как ухудшение микропористой структуры, снижения графитируемости и механической прочности, повышения электропроводности [2]. Это доказывает, что необходимо искать пути для минимизации данных затрат. Из-за высокой вязкости пека, область подогрева до заданной температуры локализуется у дна резервуара, вблизи всасывающего патрубка [3, 4]. При этом, в случае обеспечения постоянной температуры пека на выходе из внешнего подогревателя, возможны такие стационарные режимы работы оборудования для хранения пека, когда малая локальная область подогрева не расширяется и устройство работает неэффективно [5, 6]. При больших значениях расхода подогретого пека, когда потоки циркулирующей жидкости интенсивно омывают стенки и дно резервуара, резко возрастают тепловые потери и, соответственно, затраты энергии на разогрев требуемого количества пека до заданной температуры [7, 8]. Поэтому необходимо количественно расширить область в резервуаре, где пек имел бы температуру не ниже допустимой  $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 4. Выбор эффективной формы донного отражателя на основе математического моделирования теплообмена при нагреве высокотемпературного пека

Оборудование для циркуляционного нагрева высоковязких жидкостей содержит: резервуар с патрубками для подачи и слива жидкости и циркуляционный патрубок, который расположен ниже патрубка для слива жидкости и соединен с напорным трубопроводом, который размещается соосно в резервуаре. В нижней части резервуара установлен отражатель, выполненный с криволинейной симметричной боковой поверхностью и с днищем [9, 10].

Чтобы оценить эффективность применения, какой-либо конструкции необходимо выполнить численное моделирование теплопереноса в резервуаре с высокотемпературным пеком. Для анализа разработаем следующие варианты:

- 1) Резервуар без донного отражателя;
- 2) Резервуар с донным отражателем цилиндрической формы;
- 3) Резервуар с донным отражателем в форме срезанного конуса;
- 4) Резервуар с донным отражателем в форме срезанного перевернутого конуса.

Рассмотрим наземный вертикальный стальной резервуар с полезным объемом  $700\text{ м}^3$ , установленный в Запорожском регионе, а именно на территории ПАО «Укрграфит». Диаметр резервуара  $D = 10\text{ м}$ , высота  $H = 9\text{ м}$ , толщина стенки  $\delta_{\text{ст}} = 0,012\text{ м}$ . Расчетная температура окружающей среды (атмосферного воздуха) принята равной  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Резервуар имеет изоляцию из минеральной ваты толщиной  $\delta_{\text{из}} = 0,1\text{ м}$  ( $\lambda_{\text{из}} = 0,056\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ).

Рассмотрим **вариант 1** резервуар без донного отражателя (рис. 1).

В данном конкретном случае нагретый пек подается в вертикальный резервуар через подающий коллектор длиной  $L_{\text{к}} = 7,56\text{ м}$ , и диаметром  $D_{\text{к}} = 0,3\text{ м}$ .

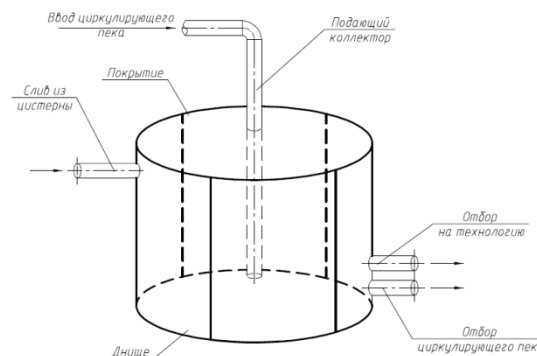


Рис. 1. Общий вид резервуара без отражателя

На основе полученных результатов численного моделирования определена средняя по сечению температура пека и ее изменение по высоте резервуара показано на рис. 2.

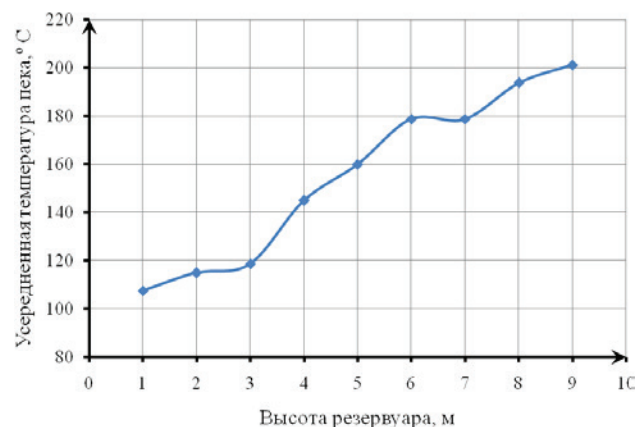


Рис. 2. Изменение усредненной по сечению температуры пека по высоте резервуара (без донного отражателя)

Результаты исследований показали, что при таком способе подачи пека в резервуар, струя нагретого пека соударяется о «холодное» дно, чем вызывает неоднородность пека. В резервуаре наиболее холодной является нижняя половина резервуара. В этой области наблюдается температура пека  $110\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В верхней части  $180\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Перепад температур по высоте резервуара составляет  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что говорит об неоднородности температурного поля в резервуаре.

Рассмотрим **вариант 2** с цилиндрическим донным отражателем (рис. 3).

Для осуществления ввода горячего пека в резервуаре установлен донный отражатель в форме вертикального

цилиндра. Диаметр отражателя — 6,8 м, высота — 3 м. Высота расположения донного отражателя глухого типа над дном резервуара — 0,75 м, выходного отверстия коллектора над дном донного отражателя — 0,68 м. Длина подающего коллектора  $L_k = 7,56$  м, диаметр  $D_k = 0,3$  м.

Определена средняя по сечению температура пека и ее изменение по высоте резервуара (рис. 4).

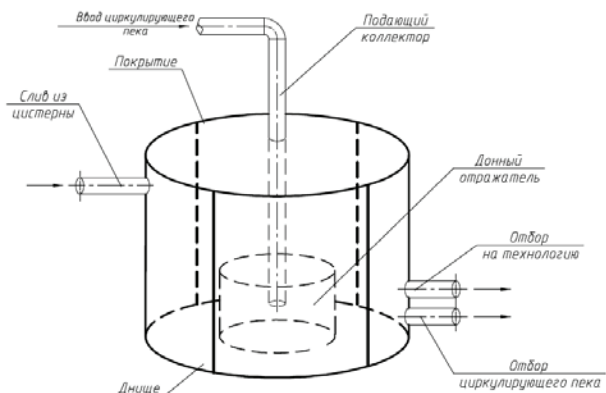


Рис. 3. Общий вид резервуара с донным отражателем цилиндрической формы

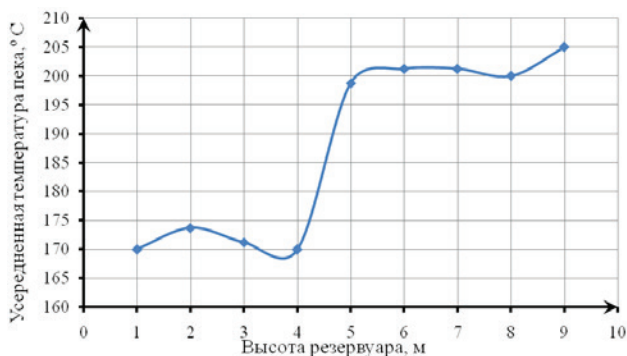


Рис. 4. Изменение усредненной по сечению температуры пека по высоте резервуара с донным отражателем цилиндрической формы

В случае использования цилиндрического отражателя, резервуар условно можно разделить на две области: под донным отражателем и над ним. Пек в нижней части резервуара имеет температуру в пределах 170–175 °C. В верхней — 200–205 °C. Перепад температур по высоте резервуара 35 °C, что в 2,5 раза меньше, чем в резервуаре без отражателя. Интенсивность перемешивания слоев небольшая и наблюдается только в верхней части резервуара. Результаты могут иметь небольшие погрешности вследствие множественности возможностей разбиения сетки.

Рассмотрим вариант 3 с донным отражателем в форме срезанного конуса (рис. 5).

Результаты численного моделирования по определению изменения средней по сечению температуры пека по высоте резервуара представлены на рис. 6.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что интенсивность движения потоков обеспечивает перемешивание слоев и под донным отражателем, что предотвратит образования донных отложений. При этом температура пека в емкости будет находиться в пределах 183–205 °C. Перепад температур по высоте резервуара 22 °C, что меньше, чем при использовании цилиндрического отражателя и в 4 раза меньше, чем в резервуаре без отражателя.

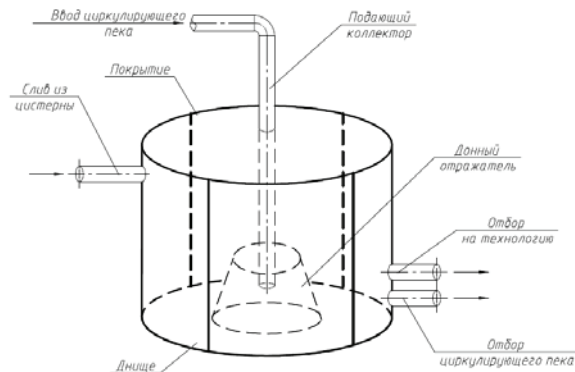


Рис. 5. Общий вид резервуара с донным отражателем в форме срезанного конуса

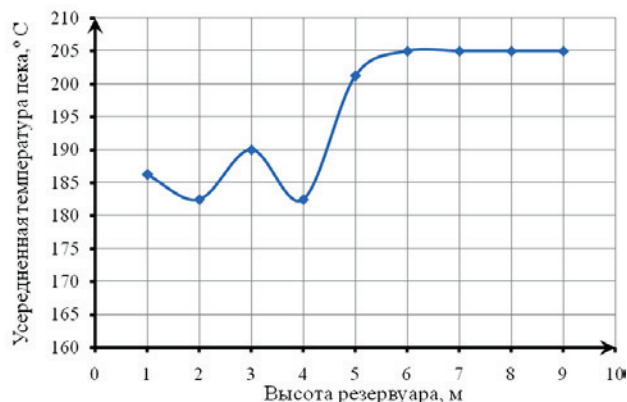


Рис. 6. Изменение усредненной по сечению температуры пека по высоте резервуара с донным отражателем в форме срезанного конуса

Рассмотрим вариант 4 с донным отражателем в форме срезанного перевернутого конуса (рис. 7).

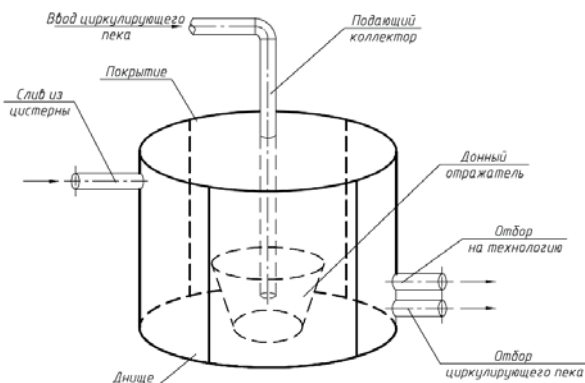


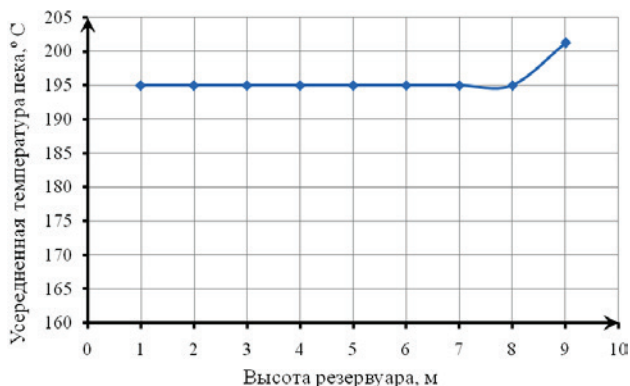
Рис. 7. Общий вид резервуара с донным отражателем в форме срезанного перевернутого конуса

Как видно из рис. 8 при использовании донного отражателя в форме срезанного перевернутого конуса можно добиться однородности температурного поля в резервуаре. Температура пека в этом случае находится на заданном технологией уровне, а именно не ниже 185 °C. Градиент температур по высоте резервуара составляет 5 °C, что доказывает эффективность использования отражателей именно этой формы.

Для качественной оценки нагрева пека введем коэффициент температурной однородности пека  $K_0$ :

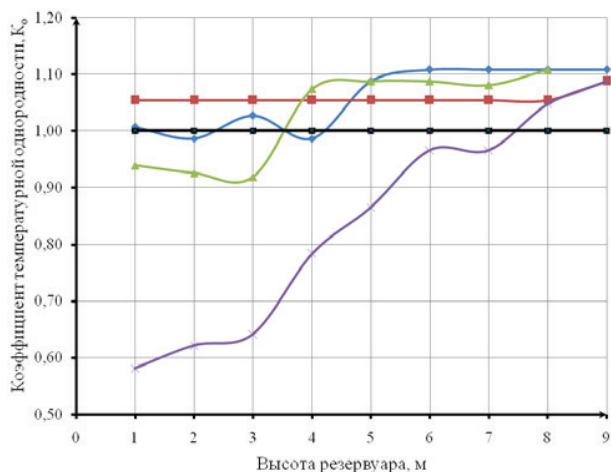
$$K_0 = \frac{t_{\text{ср}}}{t_T}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{сер}}$  — усредненная температура пека по сечению резервуара, °С;  $t_{\text{T}}$  — минимальная температура нагрева высокотемпературного пека,  $t_{\text{T}} = 185$  °С.



**Рис. 8.** Изменение усредненной по сечению температуры пека по высоте резервуара с донным отражателем в форме срезанного перевернутого конуса

На рис. 9 показано изменение коэффициента температурной однородности по высоте резервуара для всех выше рассмотренных случаев.



**Рис. 9.** Изменение коэффициента температурной однородности по высоте резервуара: — усеченный конус; — перевернутый усеченный конус; — цилиндрический отражатель; — без отражателя

Из рис. 9 видно, что установка в резервуаре донных отражателей существенно повышает однородность температурного поля высокотемпературного пека. Коэффициент однородности больше единицы, наблюдается при установке отражателей в форме перевернутого усеченного конуса и носит постоянный характер, что показывает эффективность применения отражателей данной формы.

## 5. Выводы

Результаты исследований температурного поля в вертикальных резервуарах большой емкости при циркуляционном способе нагрева пека показали эффективность использования донных отражателей. Расширить область с наиболее высоким температурным потенциалом можно с помощью донных отражателей в форме усеченного конуса и перевернутого усеченного конуса. Использо-

вание цилиндрических отражателей для достижения однородности пека в резервуарах так же возможно, однако следует учесть, что отбор пека на технологию следует проводить с верхней части резервуара. Применение донных отражателей позволит достичь равномерного распределения температуры в резервуаре за счет поддержки высокоинтенсивного вынужденного конвективного теплообмена в нем.

## Литература

1. Гасик, М. И. Электроды рудовосстановительных печей [Текст] / М. И. Гасик. — М.: Металлургия, 1984. — 248 с.
2. Фиалков, А. С. Формирование структуры и свойств углеродистых материалов [Текст] / А. С. Фиалков. — М.: Металлургия, 1965. — 288 с.
3. Дульцев, В. И. Циркуляционный разогрев мазута [Текст] / В. И. Дульцев, А. В. Жуйков // Энергетик. — 1973. — № 7. — С. 14–16.
4. Вязовой, С. К. Внутриврезервуарные устройства циркуляционного разогрева мазута [Текст] / С. К. Вязовой, Ж. А. Емелин // Энергетик. — 1976. — № 11. — С. 25–28.
5. Варфоломеева, О. И. Исследование процесса циркуляционного разогрева тяжелого жидкого топлива методом численного моделирования [Текст] / О. И. Варфоломеева // Известия вузов. Строительство. — 2003. — № 8. — С. 85–88.
6. Clercq, V. Computational fluid dynamics of settling tanks [Text] / V. Clercq // Thesis submitted. — Berlin, 2003. — P. 201–210.
7. Lee, Y. S. Performance analysis for maxing pumps in tank 18 [Text] / Y. S. Lee, R. A. Dimenna // Savannah river technology center. — 2001. — Vol. 10. — P. 86–89.
8. Escobar-Remolina, J. C. M. Prediction of characteristics of wax precipitation in synthetic mixtures and fluids of petroleum: a new model [Text] / J. C. M. Escobar-Remolina // Fluid Phase Equilibria. — 2002. — Vol. 240. — P. 197–203.
9. Bittorf, J. Computer Aided Mixing modeling Using the Galerkin Least-Squares Finite Element Technique [Electronic resource] / J. Bittorf, K. Johnson. — 2003. — P. 176–182. — Available at: \www/URL: [http://www.altairhyperworks.com/html/en-us/r1/ACUSIM/papers/mixing\\_with\\_gls.pdf](http://www.altairhyperworks.com/html/en-us/r1/ACUSIM/papers/mixing_with_gls.pdf)
10. Пат. 79675 UA Україна МПК F24H 1/00. Устаткування для циркуляційного нагріву високов'язких рідин [Електронний ресурс] / І. Г. Яковлева, І. А. Назаренко, О. М. Назаренко. — u 201213156; заяв. 19.11.2012, опубл. 25.04.2013, бюл. № 8. — Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/5-79675-ustatkuvannya-dlya-cirkulyacijnogo-nagrivu-visokovyazkikh-ridin.html>

## ВИБІР ЕФЕКТИВНОЇ ФОРМИ ДОННОГО ВІДБИВАЧА ДЛЯ РІВНОМІРНОГО НАГРІВУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕКА

У статті наводяться результати порівняльного аналізу використання відбивачів різної форми на однорідність температурного поля высокотемпературного пека. Показано, що застосування донного відбивача у формі перевернутого зрізаного конуса дозволить знизити градієнт температур по висоті резервуара. Доведено, що донні відбивачі дозволяють інтенсифікувати теплообмін в резервуарі і забезпечити рівномірність нагріву без додаткових енергетичних витрат.

**Ключові слова:** донний відбивач, циркуляційний спосіб нагріву, высокотемпературний пек, вертикальний сталевий резервуар.

*Назаренко Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия, Украина, e-mail: [iranazarenko\\_81@mail.ru](mailto:iranazarenko_81@mail.ru).*

*Назаренко Ирина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Україна.*

*Nazarenko Irina, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: [iranazarenko\\_81@mail.ru](mailto:iranazarenko_81@mail.ru)*