

УДК 697.244.697.328

В. Е. НИКОЛЬСКИЙ, А. В. ЛОБОДЕНКО, И. Л. РЕШЕТНЯК**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЭРЛИФТНОГО ЭФФЕКТА В АППАРАТАХ ПОГРУЖНОГО ГОРЕНИЯ**

Эффективность использования топлива в теплоэнергетическом хозяйстве Украины при его потреблении и производстве промышленного продукта уступает соответствующему показателю развитых стран. Это значительно снижает конкурентоспособность отечественной продукции. Одним из способов повышения энергоэффективности топливоиспользования в промышленности и коммунальном хозяйстве – применение аппаратов погружного горения (АПГ). В работе на предложенной физической модели рабочего процесса АПГ выполнен комплекс исследований по рециркуляции (как эффективного способа интенсификации тепломассопереноса) с помощью эрлифтного эффекта. Выявлены механизм эрлифтного эффекта и влияние на него пульсирующего противодавления жидкости в ванне изотопленной камеры сгорания.

Ключевые слова: рециркуляция, эрлифт, аппараты погружного горения, тепломассоперенос, интенсификация, энергоэффективность.

Введение.

Контактный теплообмен двух сред является высокоэффективным в связи с устранением термического сопротивления, обусловленного наличием разделительной стенки между двумя теплоносителями. В аппаратах погружного горения, назначением которых является концентрирование, выпаривание, осушка жидкостей, интенсивность контактного теплообмена определяется барботажем высокотемпературных продуктов сгорания через слой жидкости, которая чаще всего представляет собой агрессивные, коррозионные, накипеобразующие соляные растворы [1, 2]. Достоинством АПГ является совмещение в одном процессе и устройстве нескольких функций: генератора тепловой энергии, побудителя движения и перемешивания жидкости (циркуляционного насоса). При этом нагреваемая жидкость выступает в качестве охлаждающей среды для камеры сгорания, что имеет особое значение для цельнометаллических устройств.

Поэтому актуальным является разработка и исследование различных способов повышения эффективности использования топлива на указанном оборудовании. Одним из способов интенсификации тепловой работы АПГ – применение рециркуляции с помощью эрлифтного эффекта.

Цель. Комплексное исследование механизма эрлифтного эффекта на физической модели рабочего процесса АПГ с целью повышения транспортирующей эрлифтной способности и как следствие интенсификации тепломассопереноса, увеличение энергетического КПД АПГ.

Комплексные экспериментальные исследования факторов, влияющих на транспортирующую эрлифтную способность АПГ.

На физической модели АПГ (рис.1) проведены комплексные экспериментальные исследования факторов, влияющих на транспортирующую эрлифтную способность АПГ.

Для оценки массы жидкости $m_{ж}$ (с плотностью $\rho_{ж}$), вовлекаемой в восходящий поток и последующую циркуляцию в эрлифтном устройстве,

исходим из того, что побудителем движения является перепад гидростатических давлений жидкости вне и внутри циркуляционного стакана на отметках H_i , соответствующих заборным отверстиям в циркуляционном стакане и других местах, где обеспечивается доступ жидкости из емкости внутрь циркуляционного стакана:

$$m_{ж,i} = \mu_i f_{\Sigma} \cdot \rho_{ж} \sqrt{2gH_i \left[1 - (\rho_{ж})^{-1} \int_0^1 \rho_{см}(\bar{H}) d\bar{H} \right]}, \quad (1)$$

где μ_i, f_{Σ} – соответственно коэффициент расхода и суммарное сечение для i -го входа жидкости внутрь циркуляционного стакана при условии, что входной канал является лимитирующим сечением для i -го восходящего потока; $\bar{H} = H/H_i$; H – текущая глубина; g – ускорение свободного падения.

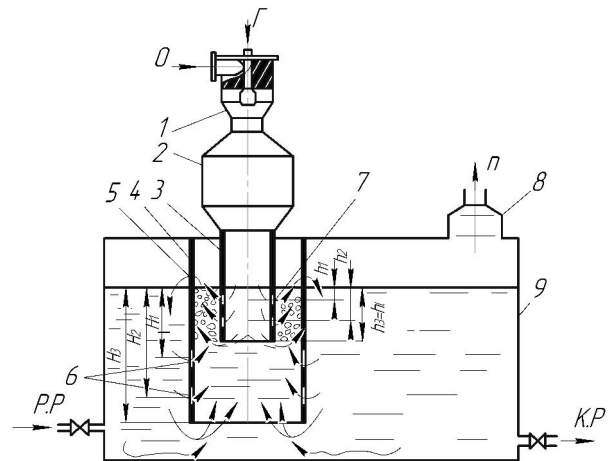


Рис. 1. Расчетная схема аппарата погружного горения: 1 – горелка; 2 – камера сгорания; 3 – выхлопная труба камеры сгорания, погруженная в жидкость, – внутренняя труба эрлифтного устройства; 4 – циркуляционный стакан – наружная труба эрлифтного устройства; 5 – отверстия для выброса газо-парожидкостной смеси плотностью $\rho_{см}$; 6 – отверстия и каналы для забора жидкости; 7 – отверстия и каналы для выхода продуктов сгорания; 8 – паротворник; 9 – корпус с крышкой АПГ; \rightarrow – поток жидкости плотностью $\rho_{ж}$; $- \rightarrow$ – поток продуктов сгорания; \Rightarrow – потоки веществ в газообразном состоянии; Г – горючий газ, О – окислитель; П – пар; в случае АПГ, используемого

как проточный выпарной аппарат: Р.Р – разбавленный раствор, К.Р – концентрированный раствор

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при постепенном повышении давления компонентов горения (горючего + окислителя) давление в камере сгорания постепенно повышается, пока не сравняется с давлением жидкости на отметке среза камеры сгорания. Дальнейший рост давлений на входе в горелочное устройство практически не сказывается на давлении в камере сгорания. При этом генерируется турбулентность потока жидкости высокой интенсивности и форсируется тепло- и массообмен вследствие непрерывного быстрого обновления поверхности контакта фаз [2].

В условиях, когда выход продуктов сгорания из камеры сгорания обеспечивается на отметках h_j – (рис.1), где наблюдается разность плотностей жидкости извне и внутри циркуляционного стакана и формируется перепад гидростатических давлений, определяющими являются эти отметки:

$$H_i = h_i + \Delta \quad h_{ij} = h_i + \Delta \quad h_{ij}, \quad (2)$$

где $j = 1$ – соответствует наиболее низкой отметке сечения выхода продуктов сгорания из камеры сгорания (срезу камеры). Очевидно, что в пределах отметок от H_i до $H_i \equiv h_i$ перепад статических давлений не возникает, так как с обеих сторон циркуляционный стакан окружен жидкостью с одинаковой плотностью, $\rho_{ж}$. С учетом изложенного и представляя интеграл в уравнении (1) в виде суммы двух интегралов с пределами в соответствии с (2), и приняв $h = h_i/h_1$ получим:

$$m_{ж,i} = \mu_i f_{i\Sigma} \cdot \rho_{ж} \sqrt{2gH_i \left[1 - (\rho_{ж})^{-1} \int_0^1 \rho_{см}(\bar{h}_l) d\bar{h}_l \right]}, \quad (3)$$

Здесь $\Omega(H)$ – газосодержание, относительный объем, занятый газовыми (продуктов сгорания) пузырями на глубине H ; тогда:

$$\rho_{см}(H) = (1 - \Omega(H))\rho_{ж} + \Omega(H)\rho_n,$$

где ρ_n – плотность газа (продуктов сгорания); $\rho_n \ll \rho_{ж}$; $\rho_n/\rho_{ж} \rightarrow 0$.

$$\int_0^1 \rho_{см}(\bar{h}) d\bar{h} = (h_i)^{-1} \cdot \int_0^{h_i} \rho_{см}(H) dH = \rho_{ж}(h_i)^{-1} \cdot \int_0^{h_i} (1 - \Omega(H)) \cdot (4)$$

Подставив (4) в (3) покажем, что выражение в скобках под корнем уравнения (3) представляет собой относительный объем (концентрацию) $\Omega_{П\Sigma}$ газовой фазы в объеме кольцевого пространства эрлифтного устройства сечением f_3 и высотой h_1 .

Для случая, когда массообмен в системе пузыри-жидкость незначителен, при условии, что конденсация водяных паров или, наоборот, насыщение газов водяными парами слабо выражены [3], например, при барботаже водяной колонны воздухом с температурой 573-823К установлено, что удельная объемная пористость контакта фаз почти не меняется по высоте газо-жидкостного слоя [4]. Это свидетельствует о слабом влагопереносе. Если расход продуктов сгорания в единицу времени при нормальных условиях (температуре $T_0 = 273,15K$,

давлении $p_0 = 101,325$ кПа) равен $V_r(1 + \alpha L_{st})$, где V_r – расход горючего, L_{st} – объемное стехиометрическое соотношение окислитель-горючее, α – коэффициент избытка окислителя, то:

$$\Omega_{П\Sigma} = V_r(1 + \alpha L_{st}) \bar{\tau} \theta h_1 f_3 \Phi,$$

где $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания пузырей в кольцевом пространстве эрлифта; $\theta = (\bar{T}_{ж} + \Delta T)/T_0$ – поправка к объему газовой фазы с учетом среднего на участке теплообмена температурного напора (газовый пузырь-жидкость) ΔT и средней температуры жидкости $\bar{T}_{ж}$ для выпарных аппаратов с отклонениями не более 1–3%, $\theta = 1,1 + \Delta T/T_0$;

$$\Phi = P_0^{-1} \left[P_0 + h_i^{-1} \cdot \int_0^{h_i} [g \cdot \rho_{см}(h)h + \Delta p_n(h)dh] \right] - \text{ поправка}$$

к объему газовой фазы с учетом среднего времени пребывания газовых пузырей в эрлифте; p_0 , Δp_n – соответственно барометрическое давление и избыточное давление в пузыре диаметром d_n . В соответствии с уравнением Лапласа $\Delta p_n = 4\sigma/d_n$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения. Продукты сгорания в газовом пузыре подчиняются уравнению состояния идеального газа [5].

На основе теоретического анализа и экспериментов (Института технической теплофизики – ИТТФ АН Украины) доказано, что разгонный участок для всплывающих пузырьков ничтожно мал. При практических расчетах можно полагать, что пузырьки диаметром $d_n = 2,8-8,5$ мм с момента отрыва от сопла (от начала образования) движутся со скоростью $W = \text{const}$. Начиная с $d_n \approx 5$ мм, W перестает зависеть от d_n , стабилизируясь на уровне 25–27 см/с.

В условиях барботажного режима при массовом барботаже, когда пузыри имеют форму сплюсненного эллипсоида, скорость их подъема $u(h)$ зависит от физических свойств жидкости и газа, а для одиночных сферических пузырей мелкого и среднего размеров - от их диаметра.

Вместе с тем в указанных случаях скорость пузырей не зависит от тепловой мощности и не меняется по высоте жидкости [5]: $W(h) = u(h) = \text{idem} = u_0$. Тогда для АПГ абсолютный массовый поток циркулирующей жидкости:

$$m_{ж,i} = \mu_i \cdot f_{i\Sigma} \cdot \rho_{ж} \cdot \sqrt{\frac{2gh_1 V_r (1 + \alpha L_{st}) \cdot \theta}{f_3 u_0}}. \quad (5)$$

Если в первом приближении не учитывать связь θ с $V_r(1 + \alpha L_{st})$, то из (5) следует вывод о том, что вовлечение жидкости в движение и циркуляцию отстает от подачи газового потока, а способность последнего транспортировать жидкость не является автомодельной относительно потока продуктов сгорания:

$$T_{ж,i} = m_{ж,i} / \rho_{ж} V_r (1 + \alpha L_{st}) = \mu_i \cdot f_{i\Sigma} \cdot \sqrt{\frac{2gh_1 \theta}{[V_r (1 + \alpha L_{st})] f_3 u_0}}. \quad (6)$$

При этом $T_{ж} > 1$ уменьшается с ростом удельного (в единицу времени) расхода продуктов сгорания. Этим эрлифтные устройства, в частности для АПГ,

отличаются от эжекционных насосов, смесителей, горелок, которые обладают в случае несжимаемых сред практически не зависящей от расхода газа эжектирующей способностью.

Методика расчета.

Для определения суммарного массового потока вовлеченной в движение жидкости $m_{ж}$ и транспортирующей способности газового потока $T_{ж}$ применительно к рассматриваемому аппарату, следует просуммировать соответствующие величины для i -х отметок:

$$m_{ж} = \sum_{(i)} m_{ж,i}; \quad T_{ж} = \sum_{(i)} T_{ж,i}.$$

Учитывая, что для АПГ эффективность топливоиспользования и энергетический КПД, как и удельная (на единицу объема горючего) низшая теплота сгорания, практически не зависят от α , целесообразно транспортирующую способность отнести к единице тепловой мощности:

$$T'_{ж} = m_{ж}/\rho_{ж} \cdot V_{г} Q_{H}^p, \quad (7)$$

где Q_{H}^p - удельная низшая теплота сгорания.

Пологая, что $m_{ж} = m_{ж}^0$ в момент достижения давления в камере сгорания, равного $\rho_{ж} g h_1$ при подаче газового потока $V_{г} = V_{г}^0$; $\alpha = \alpha^0 = 1$; $L_{st} = L_{st}^0 = 9,52$; $Q_{H}^p = (Q_{H}^p)^0 = 35,6$ КДж/м³ (горючее - природный газ), присвоив для этого случая определяющим параметрам индекс "0", то изменение упомянутых режимных факторов ($V_{г}$, α , L_{st}) вызывает изменение вовлеченной в движение массы жидкости в соответствии с выражением:

$$\overline{m_{ж}} = \frac{m_{ж}}{m_{ж}^0} = \sqrt{V_{г} \cdot (1 + \alpha L_{st}) \cdot \overline{\theta}}, \quad (8)$$

и транспортирующей способности по зависимостям:

$$\overline{T_{ж}} = \frac{T_{ж}}{T_{ж}^0} = \sqrt{\overline{\theta} \cdot [V_{г} \cdot (1 + \alpha L_{st})]^{-1}}, \quad (9)$$

$$\overline{T'_{ж}} = \frac{T'_{ж}}{(T'_{ж})^0} = (Q_{H}^p)^{-1} \sqrt{\overline{\theta} \cdot (1 + \alpha L_{st}) \cdot \overline{V_{г}}^{-1}}, \quad (10)$$

где $\overline{\theta} = \theta / \theta^0$; $\overline{V_{г}} = V_{г} / V_{г}^0$; $\overline{(1 + \alpha L_{st})} = (1 + \alpha L_{st}) / (1 + \alpha^0 L_{st}^0)$; $\overline{Q_{H}^p} = Q_{H}^p / (Q_{H}^p)^0$.

Покажем, что при $\alpha = idem$ в условиях фиксированного топлива ($L_{st} = idem$; $Q_{H}^p = idem$) значение θ практически не зависит от $V_{г}$.

Для определения среднего (арифметического, логарифмического) температурного напора ΔT в зависимости от $V_{г}$ воспользуемся результатами исследований ИТТФ – Института газа АН Украины по барботажу неизотермического газового потока в соответствии с которыми:

$$\begin{cases} \Delta T = V_{г} C_{pm} (T'_{nc} - T''_{nc}) / \alpha_F F \approx \chi_1 W_{nc} Q_B^p \alpha_F^{-1} F^{-1}; \\ \alpha_F = \chi_2 W_{пг}^{0,55}; \\ F = 0,66 s Re^{0,53} \Gamma^{0,4} = \chi_3 W_{пг}^{0,53}. \end{cases} \quad (11)$$

где C_{pm} – средняя теплоемкость единицы объема потока продуктов сгорания; α , F - коэффициент теплоотдачи и поверхность теплообмена (контакта фаз) в системе газовый пузырь-жидкость; $T'_{пг}, T''_{пг}$ – соответственно температуры газов на выходе из

камеры сгорания и в газовых пузырях, покидающих барботируемый объем жидкости (в пределе для выпарных аппаратов – температура точки росы); Re – число Рейнольдса для газового (продуктов сгорания) потока, отнесенное к размеру, который соответствует сечению $S=f$, для прохода газосодержащего потока (в данном случае кольцевого сечения между стенками камеры сгорания и циркуляционного стакана - эрлифтного устройства);

$W_{пг}$ – приведенная к сечению S скорость теплоносителя – потока продуктов сгорания; Γ – критерий гидродинамического сопротивления барботируемого слоя; χ_k – коэффициент пропорциональности ($k=1,2, \dots$).

По результатам экспериментальных исследований установлено, что температура продуктов сгорания вдоль оси камеры сгорания при фиксированном α незначительно зависит от тепловой мощности, в частности, при аппроксимации степенной зависимостью $T_{пг} - T''_{пг} = \chi_4 V_{г}^n = \chi_5 W_{пг}^n$ значение $n \approx 0,1-0,15$. Подставив степенные зависимости, связывающие $V_{г}$, $T'_{пг} - T''_{пг}$, α_F , F с $W_{пг}$, в системе уравнений (11), получим:

$$\Delta T = \chi_1 \chi_2^{-1} \chi_3^{-1} \chi_5 W_{пг}^{n-0,08} \approx const; \quad \theta \approx const, \quad (12)$$

т.е. в условиях поддержания коэффициента избытка воздуха температурный фактор практически не зависит от изменения тепловой мощности. С учетом сохранения значения θ при изменении потока продуктов сгорания неизменного состава существенно упрощаются выражения для $\overline{m_{ж}}$, $\overline{T_{ж}}$, $\overline{T'_{ж}}$:

$$\overline{m_{ж}} = \overline{V_{г}}^{0,5}; \quad \overline{T_{ж}} = \overline{V_{г}}^{-0,5}; \quad \overline{T'_{ж}} = \overline{V_{г}}^{-0,5} \quad (13)$$

Зависимость $\overline{m_{ж}}$, $\overline{T_{ж}}$, $\overline{T'_{ж}}$ от $\overline{V_{г}}$ при $\alpha = idem$, $L_{st} = idem$, $Q_{H}^p = idem$ представлена на рис. 2.

Анализ результатов исследований.

Из уравнений (8–10) и (7) следует, что в этом случае с увеличением расхода топлива на аппарат сокращается относительное (на единицу тепловой мощности АПГ) количество циркулирующей жидкости. Это ухудшает равномерность нагрева жидкости в ванне и ослабляет охлаждение камеры сгорания. Для сохранения $T'_{ж} = idem$ в данном АПГ, работающем на определенном топливе, необходимо поддерживать $h_1 \theta (1 + \alpha L_{st}) V_{г}^{-1} = idem$, т.е. глубина затопления должна меняться пропорционально $V_{г}$. Такой же эффект может быть достигнут за счет повышения значения α по мере роста $V_{г}$, что было подтверждено экспериментально (рис. 2). В связи со сложностью поддержания требуемой транспортирующей способности несущего газового потока в широком диапазоне режимных параметров и повышенными гидравлическими сопротивлениями на его подачу были предложены конструкции контактных выпарных аппаратов, где циркуляционное движение жидкости, порождаемое подачей продуктов сгорания (естественная циркуляция), сочетается с вынужденным движением выпариваемой жидкости [5]. В целом физическая модель рассматриваемого явления представляется следующим образом.

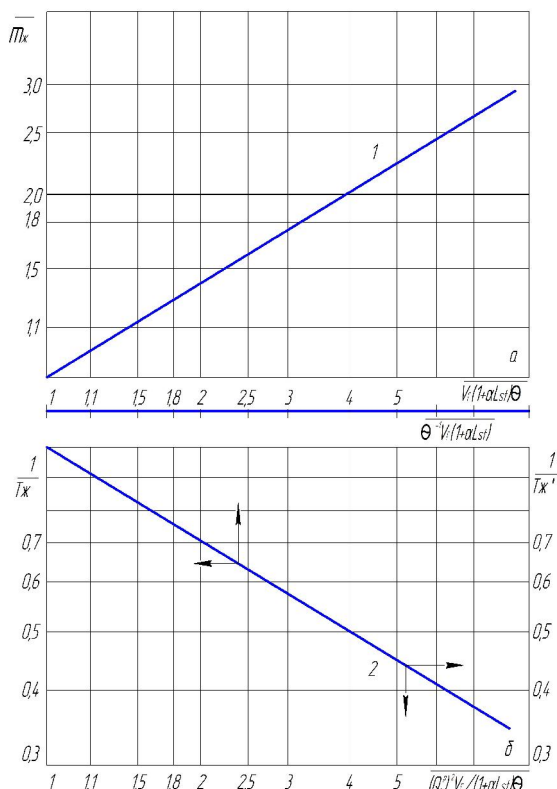


Рис. 2. Зависимость относительного количества жидкости, вовлеченной в движение, $m_{ж}$ (а) и транспортирующей способности $T_{ж}$ и $T'_{ж}$ от относительного расхода горячего газа, подаваемого в АПГ: прямые: 1 – по уравнению (8); 2 – по уравнениям (9) и (10).

Барботажа продуктов сгорания через слой жидкости высотой h_1 в кольцевом пространстве эрлифта сечением f_3 начинается при избыточном давлении в камере сгорания $\Delta P_k \geq h_1 g \rho_{ж}$. При этом начинает падать плотность среды в слое h_1 и возникает эрлифтный эффект – подсос жидкости извне в циркуляционную трубу. Одновременно уровень смеси в кольцевом канале может подняться до уровня $h'_1 \leq h_1 \rho_{ж} / \rho_{см}$. Падение противодействия в кольцевом пространстве ($h'_1 g \rho_{см} \leq h_1 g \rho_{ж}$) приводит к подъему жидкости из входных отверстий стакана, в том числе внутрь камеры сгорания. При этом может быть перекрыт выход продуктов сгорания из камеры, сопровождающийся прекращением эрлифтного эффекта, увеличением противодействия в кольцевом сечении эрлифта и последующим увеличением давления ΔP_k . После этого процесс повторяется

сначала. Такая колебательная природа работы эрлифта подтверждается интенсивными (до 2 кПа) пульсациями давления ΔP_k с частотой менее 1 Гц при $\Delta P_k > h_1 g \rho_{ж}$ после наступления активного процесса барботажа и эрлифтного эффекта. При $\Delta P_k < h_1 g \rho_{ж}$ пульсации давления ΔP_k незначительны (до 0,2 кПа).

Кроме того, при замерах температуры продуктов сгорания в камере сгорания отмечаются вблизи стенок нижних участков резкие низкочастотные (менее 1 Гц) изменения: от температуры ниже температуры воспламенения до высоких значений, превышающих 1400–1600К; предельные зафиксированные колебания 400–1650К.

Выводы.

На основе комплексных исследований установлено, что с увеличением объема продуктов сгорания в АПГ абсолютное количество вовлекаемой в движение жидкости возрастает, а относительная транспортирующая эрлифтная способность понижается. На этой основе предложено для интенсификации теплопереноса в АПГ применение многократной инверсии и модуляции колебаний контактирующих фаз.

Список литературы: 1. Перцев, Л.П. Аппараты погружного горения – эффективный вид тепломеханического оборудования. [Текст] / Л.П. Перцев, В.А. Гусев // Химическое и нефтяное машиностроение. 1988. – № 10. – С. 4. 2. Справочник по теплообменникам. Т.2, разд. 5.3.4. [Текст] / М.: Энергоатомиздат. 1987. – С. 308–313. 3. Гусев, В.А. Применение парогазовых смесей для очистки и обезвреживания поверхностей резервуаров и трубопроводов. [Текст] / В.А. Гусев // Химическое и нефтяное машиностроение. 1988. – № 10, – С. 7–9. 4. Сорока, Б.С. Аппараты погружного горения для эффективного контактного нагрева жидкостей. / Б.С. Сорока, А.С. Лукьянчиков, В.Е. Никольский, В.Ю. Никитин // Обзор информ. ВНИИЭ Газпром, серия Использование газа в народном хозяйстве. – М.: 1989. – вып. 1. – С. 56. 5. Рабинер, Ю.М. Повышение эффективности процесса выпаривания последрозжжевой мелассной барды спиртовых заводов. [Текст] / Ю.М. Рабинер // Автореферат диссертации канд. техн. наук. – М.: МГИПП. 1988. – 25 с.

Bibliography (transliterated): 1. Percev, L.P. Apparaty pogruzhnogo gorenija – jeffektivnyj vid teplohimicheskogo oborudovanija. [Tekst] / L.P. Percev, V.A. Gusev // Himicheskoe i nefthjanoe mashinostroenie. 1988. – № 10. – P. 4. 2. Spravochnik po teploobmennikam. T.2, razd. 5.3.4. [Tekst] / M.: Jenergoatomizdat. 1987. – P. 308–313. 3. Gusev, V.A. Primenenie parogazovyh smesej dlja oчитki i obezvezhivanja poverhnošej rezervuarov i truboprovodov. [Tekst] / V.A. Gusev // Himicheskoe i nefthjanoe mashinostroenie. 1988. – № 10, – P. 7–9. 4. Soroka, B.S. Apparaty pogruzhnogo gorenija dlja jeffektivnogo kontaktnogo nagreva zhidkostej. / B.S. Soroka, A.S. Luk'janchikov, V.E. Nikol'skij, V.Ju. Nikitin // Obzor inform. VNIIE Gazprom, serija «Isпол'zovanie gaza v narodnom hozjajstve». – M.: 1989. – vyp. 1. – P. 56. 5. Rabiner, Ju.M. Povyshenie jeffektivnosti processa vyparivanja posledrozhzhеvoј melassnoj bardy spirtovyh zavodov. [Tekst] / Ju.M. Rabiner // Avtoreferat dissertacii kand. tehn. nauk. – M.: MGIPP. 1988. – 25 p.

Надійшла (received) 10.11.2015

Сведения об авторах /About the Authors

Никольский Валерий Евгениевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский химико-технологический университет», тел. +380967403641 e-mail: vnikolsl@mail.ru

Valery Nikolsky –Candidate of technical Science, Docent,Department of Energetic, State Higher Education Establishment “Ukrainian State Chemical-Technology University”, tel.: (096) 740-36-41, e-mail: vnikolsl@mail.ru

Лободенко Антонина Викторовна – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский химико-технологический университет»,тел. +380969875775, e-mail: antonina.lobodenko@vandex.ru

Lobodenko Antonina Victorovna – Candidate of technical Science, Assistant of Machine-building and Mechanical Engineering Department, State Higher Education Establishment “Ukrainian State Chemical-Technology University”, tel.: (096) 987-57-75,e-mail: antonina.lobodenko@vandex.ru

Решетняк Ирина Леонидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский химико-технологический университет», тел. +380973936843, e-mail: ireshl@mail.ru

Reshetnyak Iryna Leonidovna Docent, Candidate of technical Science,Department of Energetic, State Higher Education Establishment “Ukrainian State Chemical-Technology University”, tel.: (097) 393-68-43, e-mail: ireshl@mail.ru