Оригинальная статья/Original article
УДК 664.3033.08
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-20-24

Двумерная модель течения материала в канале шнека с неподвижной крышкой

Евгений П. Кошевой [1] Ep-koshevoi@mail.ru
Александр В. Гукасян [1] Aleksandr_Gukasyan@mail.ru
Вячеслав С. Косачев [1] Vkosachev@nm.ru

[1] Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия

Реферат. Рассмотрены особенности течения вязко-пластичного материала по каналу шнека.Перспективным направлением в этом случае являются модели переноса, определяемые гидродинамикой фазового перехода. В работе анализируется влияние габаритов на режим течения вязко-пластичного материала.Материал, находящийся в канале вращающегося шнека и ограниченный неподвижным корпусом, начнет двигаться поступательно по каналу вследствие возникающей в нем деформации сдвига – появляется вынужденный (прямой) поток. Основными параметрами, определяющими величину объемного расхода, являются глубина, и ширина канала, диаметр шнека и частота его вращения. Необходимым условием существования этого потока является сохранение в материале напряжений сдвига, что возможно только в том случае, если материал имеет определенную вязкость. Условием возникновения обратного потока является избыточное давление, создаваемое сопротивлением головки. Представим себе в этих условиях, что шнек не движется. Тогда под действием давления со стороны головки материал потечет от нее вдоль шнекового канала – в обратном направлении. Величина объемного расхода противотока также зависит от глубины канала, диаметра и длинны шнека, вязкости материала и величины давления в головке. На практике, однако, в канале шнека никогда не возникает противоток, а давление в головке оказывает своеобразное ограничение прямому потоку, которое рассматривается теоретически как противоток, а производительность шнекового нагнетателя – как суммарный расход двух потоков. Для учета геометрии канала разрабатывалась математическая модель скоростного напора в прямоугольном канале. Полученное уравнение позволяет определить напряжение сдвига по скорости сдвига материала. Учитывая симметричность и линейность распределения скорости в канале относительно его середины, получено уравнение распределение скорости сдвига по высоте. Найденная в результате аналитического решения двумерного уравнения Пуассона зависимость позволяет значительно упростить расчет расходно-напорных характеристик экструдерной части шнековых прессов для отжима растительных масел относительно требуемой скорости вращения шнека.

Ключевые слова: габариты канала, течение вязкопластичного материала, скорость сдвига

Two-dimensional model of material flow in a screw channel with a fixed cover

Evgenii P. Koshevoi [1] Ep-koshevoi@mail.ru
Aleksandr V. Gukasyan [1] Aleksandr_Gukasyan@mail.ru
Vyacheslav S. Kosachev [1] Vkosachev@nm.ru

[1] Kuban state technological university, Moskovskaya str., 2, Krasnodar, 350072, Russia

Summary.Features of the viscous-plastic material flow through the screw channel are studied. A promising direction in this case is the transport models determined by the hydrodynamics of the phase transition. The author also analyzed the effect of dimensions on the flow rate of a viscous-plastic material. The material situated in the channel of the rotating auger and bounded by the fixed body will start to move in a translational motion along the channel due to the shear deformation that appears in it, this is where a forced flow appears. The main parameters that determine the volume flow rate are the depth and width of the channel, the diameter of the screw and the frequency of its rotation. A necessary condition for the existence of this flow is the persistence of shear stress in the material, which is possible only if the material has a certain viscosity. The condition of the return flow is the excessive pressure created by the resistance of the head. We assume the case when in these conditions the auger does not move. Then, under the action of pressure from the side of the head, the material will flow from it along the screw channel – in the opposite direction. The volume flow rate of the counter-flow also depends on the depth of the channel, on the diameter and length of the screw, on the viscosity of the material and on the pressure in the head. In practice, however, there is never a countercurrent in the auger channel, and the head pressure exerts a kind of limitation on the direct flow, which is theoretically viewed as a countercurrent, and the productivity of the screw supercharger is the total flow of the two flows. To account for the geometry of the channel, the author developed a mathematical model of the velocity head in a rectangular channel. The resulting equation makes it possible to determine the shear stress in terms of the shear rate of the material. Taking into account the symmetry and linearity of the velocity distribution in the channel with respect to its midpoint, an equation is obtained for the distribution of the shear rate along the height. The dependence, obtained as a result of the analytical solution of the two-dimensional Poisson equation, makes it possible to simplify considerably the calculation of the discharge-pressure characteristics of the extruder part of the screw presses for pressing vegetable oils with respect to the required screw rotation speed.

Keywords:channel dimensions, viscoplastic material flow, shear rate

Для цитирования
Кошевой Е.П., Гукасян А.В., Косачев В.С. Двумерная модель течения материала в канале шнека с неподвижной крышкой // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 20–24. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-20-24

For citation
Koshevoi E.P., Gukasyan A.V., Kosachev V.S. Two-dimensional model of material flow in a screw channel with a fixed cover. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 20–24. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-20-24

Введение

Разработка современных технологий в пищевой промышленности базируется на использовании высокоинтенсивных воздействий на микроуровне. При этом анализ факторов производственного процессавыявляет наиболее эффективные технологические приемы, использование которых позволяет обосновать эффективное совершенствование процессов извлечения ценных компонентов. Развитие технологических инноваций в пищевой промышленности основано на моделировании процессов гидродинамики в рабочей зоне установок при значительных изменениях внешних воздействий. Габариты питающего витка шнекового пресса оказывают существенное влияние на его расходно-напорные характеристики. Методы математического моделирования потоков учитывают эти характеристики. Выбор параметров модели в равновесных условиях оказывают существенное влияние на последующую оптимизацию технологии. Перспективным направлением в этом случае являются модели переноса, определяемые гидродинамикой фазового перехода.В работе анализируется влияние габаритов на режим течения вязко-пластичного материала [1–14].

Основная часть

Материал, находящийся в канале вращающегося шнека и ограниченный неподвижным корпусом, начнет двигаться поступательно по каналу вследствие возникающей в нем деформации сдвига – появляется вынужденный (прямой) поток. Основными параметрами, определяющими величину объемного расхода, являются глубина, и ширина канала, диаметр шнека и частота его вращения. Необходимым условием существования этого потока является сохранение в материале напряжений сдвига, что возможно только в том случае, если материал имеет определенную вязкость. Условием возникновения обратного потока является избыточное давление, создаваемое сопротивлением головки. Представим себе в этих условиях, что шнек не движется. Тогда под действием давления со стороны головки материал потечет от нее вдоль шнекового канала –в обратном направлении. Величина объемного расхода противотока также зависит от глубиныканала, диаметра и длинны шнека, вязкости материала и величины давления в головке. На практике, однако, в канале шнека никогда не возникает противоток, а давление в головке оказывает своеобразное ограничение прямому потоку, которое рассматривается теоретически как противоток, а производительность шнекового нагнетателя – как суммарный расход двух потоков. Для учета геометрии канала разрабатывалась математическая модель скоростного напора в прямоугольном канале.

Для описания распределения скоростей использовалась двумерная задача Пуассона с граничными условиями первого рода. Задача сводится к решению уравнения Пуассона $u_{xx}+u_{yy} =0$ внутри прямоугольника при краевых условиях: $u(0,y) =V$, $u(a,y) =V$, $u(x,0) =0$ $u(x, b) =V$. Будем искать вначале нетривиальные частные решения уравнения Пуассона, удовлетворяющие граничным условиям $u(x,0) =0$, $u(x,b) =V$ в виде $u(x,y) =X(x) \cdot Y(y)$. Подставляя это выражение в уравнение Пуассона, получим $X''(x)\times Y(y) +X(x)\cdot Y(y)'' =0$, откуда делением на $X(x)\times Y(y)$ найдем соотношение между производными и их функциями:

$$\frac{X''}{X(x)} = -\frac{Y''}{Y(y)} = \lambda^2 , \tag{1}$$

Левая часть равенства (2) может зависеть только от x, или быть постоянным числом, не зависящим от координат. Аналогично и правая часть не зависит от координаты y. Следовательно, эти соотношения выполняются при их равенстве постоянной величине λ^2. Допуская, что $Y(0) =Y(b) =0$, получим задачу Штурма–Лиувилля:

$$\begin{cases} Y'' + \lambda^2 \cdot Y(y) = 0 \\ Y(0) = Y(b) = 0 \end{cases}, 0 < y < b , \tag{2}$$

Для решения уравнения (2) используем операционный метод, основанный на интегральном преобразовании Лапласа, позволяющий преобразовать дифференциальное уравнение (оригинал) к её алгебраическому аналогу (изображению). В этом случае решение алгебраического уравнения будет соответствовать решению дифференциального. Используя прямое преобразование Лапласа, преобразуем уравнение (2) к виду:

$$\lambda^2 \cdot L(s) - dy_0 - s^2 \cdot L(s) - s \cdot y_0 = 0 \tag{3}$$

Разрешая полученное уравнение (3) относительно изображения искомой функции $L(s)$ находим полученную зависимость, считая s простой переменной:

$$L(s) = \frac{dy_0 + s \cdot y_0}{\lambda^2 + s^2} \tag{4}$$

Используя обратное преобразование Лапласа, преобразуем уравнение (4) к виду:

$$Y(y)=\frac{dy_0\cdot\sin(\lambda\cdot y)+y_0\cdot\cos(\lambda\cdot y)\cdot\lambda}{\lambda} \qquad (5)$$

Используя (5) с учетом(2) получаем собственные значения и собственные функции двумерной задачи Пуассона на прямоугольнике:

$$\lambda_n=\frac{n\cdot\pi}{b},\ Y_n(y)=\sin\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot y\right),\ n=1,2,\ldots,\infty \qquad (6)$$

Соответствующие функции $X_n(x)$ являются решениями уравнения $X''(x)-\lambda^2\cdot X(x)=0$, откуда используя прямое преобразование Лапласа, преобразуем это уравнение к виду:

$$s^2\cdot L(s)-\lambda^2\cdot L(s)-dx_0-s\cdot x_0=0 \qquad (7)$$

Разрешая полученное уравнение(7) относительно изображения искомой функции $L(s)$ находим полученную зависимость, считая s простой переменной:

$$L(s)=-\frac{dx_0+s\cdot x_0}{\lambda^2-s^2} \qquad (8)$$

Используя обратное преобразование Лапласа, преобразуем уравнение (4) к виду:

$$X(x)=x_0\cdot ch(\lambda\cdot x)+\frac{dx_0\cdot sh(\lambda\cdot x)}{\lambda} \qquad (\mathbf{9})$$

Используя (9) с учетом граничных условий получаем собственные функции двумерной задачи Пуассона на прямоугольнике по координате x:

$$X_n(x)=a_n\cdot ch\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right)+b_n\cdot sh\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right) \qquad (10)$$

где a_n и b_n – произвольные постоянные. Соответствующие функции решения уравнения Пуассона на прямоугольнике будут иметь вид:

$$u_n(x,y)=\left[a_n\cdot ch\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right)+b_n\cdot sh\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right)\right]\cdot\sin\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot y\right) \qquad (11)$$

В качестве решения исходной задачи возьмем ряд:

$$u(x,y)=\sum_{n=1}^{\infty}\left\{\left[a_n\cdot ch\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right)+b_n\cdot sh\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot x\right)\right]\cdot\sin\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot y\right)\right\} \qquad (12)$$

Подставляя $x=a$ в уравнение(12) находим постоянные из следующего соотношения:

$$a_n\cdot ch\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot a\right)+b_n\cdot sh\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot a\right)=0 \qquad (13)$$

В тоже время при $x=a$ в уравнение(12) с учетом(13) имеем:

$$V=\sum_{n=1}^{\infty}\left[a_n\cdot\sin\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot y\right)\right] \qquad (14)$$

Интегрируя ряд (14) получаем следующие соотношения для a_n:

$$a_n=\frac{2}{b}\cdot\int_0^b V\cdot\sin\left(\frac{n\cdot\pi}{b}\cdot y\right)dy,\ a_n=\begin{cases}0,\ n\ \text{четное}\\ \frac{4\cdot V}{n\cdot\pi},\ n\ \text{нечетное}\end{cases} \qquad (15)$$

Таким образом, решение задачи на прямоугольнике имеет вид:

$$u(x,y)=\frac{4\cdot V}{\pi}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\left\{\frac{sh\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot(a-x)\cdot\pi}{b}\right]\cdot\sin\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot\pi\cdot y}{b}\right]}{(2\cdot k+1)\cdot sh\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot a\cdot\pi}{b}\right]}\right\} \qquad (16)$$

Полученное решение (16) соответствует краевой задаче $u(0,y)=V$, $u(a,y)=0$, $u(x,0)=0$ u $(x,b)=0$. Проведя замену переменных в (16) после очевидных алгебраических преобразований получаем решение исходной задачи с граничными условиями $u(0,y)=V$, $u(a,y)=V$, $u(x,0)=0$ u $(x,b)=V$:

$$u(x,y)=V-\frac{4\cdot V}{\pi}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\left\{\frac{sh\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot(b-y)\cdot\pi}{a}\right]\cdot\sin\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot\pi\cdot x}{a}\right]}{(2\cdot k+1)\cdot sh\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot b\cdot\pi}{a}\right]}\right\} \qquad (17)$$

где a, b – габариты канала (a > b), м; x, y – декартова система координат, (0 < x < a) и (0 < y < b); V – скорость движения стенок канала (1 м/сек). Задача (17) формулируется как двумерная с неподвижной крышкой и движущимися стенками. В этом случае скорость сдвига в канале при скорости его стенок V м/сек и неподвижной крышке пропорциональна градиенту, модуль которого определяет скорость сдвига в прямоугольном канале. Интегрируя модуль градиента, определяем среднюю скорость сдвига в канале:

$$\bar{\gamma}(V,a,b)=\frac{4\cdot|V|\cdot\int_0^b\int_0^a\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty}\left|\frac{ch\left(\frac{2\cdot\pi\cdot b-2\cdot\pi\cdot y+4\cdot\pi\cdot b\cdot k-4\cdot\pi\cdot y\cdot k}{a}\right)-\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot x+4\cdot\pi\cdot k\cdot x}{a}\right)}{a^2\cdot sh\left[\frac{(2\cdot k+1)\cdot b\cdot\pi}{a}\right]^2}\right|}\cdot dxdy}{a\cdot b}. \qquad (\mathbf{18})$$

Для Ньютоновской реологии важна средняя скорость сдвига, которая в случае одномерной задачи Куэтта равна скорости сдвига на движущейся крышке канала. Это связано с линейным характером изменения скорости по высоте канала. Изменение скорости в каналес неподвижной крышкой и движущимися стенками носит нелинейный характер, определяемый уравнением (17). Поэтому среднее значение градиента по площади сечения прямоугольного канала $\bar{\gamma}(V,a,b)$ определяет среднюю скорость сдвига в этом канале. При изменении габаритов канала будет меняться и средняя скорость сдвига $\bar{\gamma}(V,a,b)$ в канале, средняя скорость сдвига, как усредненный по площади профиля модуль градиента скорости материала аппроксимируется регрессионной зависимостью полученной для скорости движущейся крышки v относительно габаритов канала шнека:

$$\gamma(v,b,h)=\left(v\,{}^{c}\!/\!_{м}\right)\cdot\left\{\frac{a_0}{\left({}^{h}\!/\!_{м}\right)^{a_1}}+\left({}^{b}\!/\!_{м}\right)^{\left[a_2\cdot\left(\frac{h}{м}\right)-a_3\right]}\cdot\left\{a_4+a_5\cdot\exp\left[a_6\cdot\left({}^{h}\!/\!_{м}\right)\right]\right\}-a_7\right\}\cdot Гц \qquad (19)$$

где v – скорость крышки канала; b – ширина канала; h – высота канала.

Таблица 1.

Значения коэффициентов регрессионной зависимости

Table1.

Values of regression dependence coefficients

Коэффициенты Coefficients	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
Значения Value	1,751	0,949	7,932	0,712	4,426	1,372	29,037	13,736

Уравнение (2) позволяет определить напряжение сдвига $\tau($ по скорости сдвига материала $\gamma(v,b,h)$. Учитывая симметричность и линейность распределения скорости в канале относительно его середины, получаем распределение скорости сдвига по высоте: $\cdot\gamma(v,b,h)\cdot y$, где y – текущая высота канала, $0 < y < h$.

Заключение

Найденная в результате аналитического решения двумерного уравнения Пуассона ависимость позволяет значительно упростить расчет расходно-напорных характеристик экструдерной части шнековых прессов для отжима растительных масел относительно требуемой скорости вращения шнека.

ЛИТЕРАТУРА

1 Blyagoz Kh. R., Skhalyakhov A.A., Zaslavets A.A., Koshevoi E.P. et al. Modeling of membrane process of nano- and miniemulsies formation. // Новые технологии. 2011. № 2. С. 15–17.

2 Гукасян А.В. Анализ факторов процесса отжима растительного масла в шнековом прессе // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2017. № 4 (358). С. 64–68.

3 Гукасян А.В. Совершенствование и обоснование эффективного мембранного массообменника для экстракционного разделения жидких смесей: автореф. дис. … канд. техн. наук. . – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2004. 18 с.

4 Гукасян А.В. Технологические инновации в пищевой промышленности: состояние и проблемы // Вопросы экономики и управления в современном обществе. Сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2011. С. 69–72.

5 Гукасян А.В., Косачев В.С. Аналитика скорости сдвига в прямоугольном канале с неподвижной крышкой // Образование и наука в современных реалиях Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2017. С. 146–148.

6 Гукасян А.В., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Установка для CO_2 экстракции твердо- и жидкофазных смесей // Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2005. С. 164–165.

7 Гукасян А.В., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Тарбин А.Н. Течение масличного материала в выпускном устройстве пресса // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2016. С. 146–150.

8 Косачев В.С., Гукасян А.В. Реологическая модель течения масличного материала в экструдере // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 193–195.

9 Косачев В.С., Гукасян А.В. Численное моделирование напорного движения вязкой жидкости в прямоугольном канале // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 278–280.

10 Подгорный С.А., Косачев В.С., Кошевой Е.П. Определение параметров математической модели равновесных свойств зерна в гигроскопической области нелинейной оптимизацией // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2010. № 5–6. С. 85–87.

11 Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Математическое моделирование процессов сушки и кондиционирования зерна. Потенциалы массопереноса. Saarbrücken: Изд-во LAP LAMBERT, 2012. 136 с.

12 Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Схаляхов А.А. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке // Новые технологии. 2014. № 3. С. 20–27.

13 Схаляхов А.А., Верещагин А.Г., Косачев В.С., Кошевой Е.П. Разработка модели конденсации парогазовых смесей с полимерными половолоконными мембранами // Новые технологии. 2009. № 1. С. 39–43.

14 Колодежнов В.Н. Математическая модель реологического поведения вязкопластической жидкости, которая демонстрирует проявление эффекта “отвердевания” // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 55–58.

REFERENCES

1 Blyagoz Kh R., Skhalyakhov A. A., Zaslavets A. A., Koshevoi E. P. et al. Modeling of membrane process of nano- and miniemulsies formation. *Novye tekhnologii* [New technologies] 2011. no. 2. pp. 15–17. (in Russian)

2 Gukasyan A.V. Analysis of factors of the process of pressing vegetable oil in a screw press. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii* [News of universities. Food technology] 2017. no. 4 (358). pp. 64-68. (in Russian)

3 Gukasyan A.V. Sovershenstvovanie I obosnovanie effektivnogo membrannogo [Perfection and substantiation of an effective membrane mass exchanger for extraction separation of liquid mixtures] Krasnodar, KubGU, 2004. 18 p. (in Russian)

4 Gukasyan A.V. Technological Innovations in the Food Industry: State and Problems. Voprosy ekonomiki I uprevleniya v sovremennom obshchestve [Issues of Economics and Management in Modern Society. Collection of scientific articles on the results of the International Scientific and Practical Conference] 2011. pp. 69-72. (in Russian)

5 Gukasyan A.V., Kosachev V.S. Analysis of shear rate in a rectangular canal with a fixed lid. Obrazovanie I nauka v sovremennykh realiyakh [Education and Science in Modern Realities Collected materials of the III International Scientific and Practical Conference] 2017. pp. 146-148. (I Russian)

6 Gukasyan A.V., Koshevoi E.P., Kosachev V.S. Installation for CO2 extraction of solid- and liquid-phase mixtures. Pishchevaya promyshlennost' [Food industry: integration of science, education and production. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation] 2005. pp. 164-165. (in Russian)

7 Gukasyan A.V., Koshevoi E.P., Kosachev V.S., Tarbin A.N. The flow of oil-bearing material in the press release device. Yavleniya perenosa v protsessakh I apparatakh [Transport phenomena in processes and apparatuses of chemical and food industries. Materials of the II International Scientific and Practical Conference] 2016. pp. 146-150. (in Russian)

8 Kosachev V.S., Gukasyan A.V. Rheological model of the oil-bearing material flow in the extruder. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii [Actual directions of scientific research: development prospects. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference] 2017. pp. 193-195. (in Russian)

9 Kosachev V.S., Gukasyan A.V. Numerical modeling of the pressure motion of a viscous fluid in a rectangular channel. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii [Actual directions of scientific research: development prospects. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference] 2017. pp. 278-280. (In Russian)

10 Podgorny S.A., Kosachev V.S., Koshevoi E.P. Determination of the parameters of the mathematical model of the equilibrium properties of grain in the hygroscopic region by nonlinear optimization. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii* [News of universities. Food technology] 2010. no. 5-6. pp. 85-87. (in Russian)

11 Podgorny S.A., Koshevoi E.P., Kosachev V.S. Matematicheskoe modelirovanie protsessov sushki [Mathematical modeling of processes of drying and conditioning of grain. Potentials of mass transfer] Saarbrücken, LAMBERT, 2012. 136 p. (in Russian)

12 Podgorny S.A., Koshevoi E.P., Kosachev V.S., Shalyakhov A.A. Statement of the task of describing heat transfer, mass and pressure during drying. *Novye tekhnologii* [New technologies] 2014. no. 3. pp. 20-27. (I Russian)

13 Shalyakhov A.A., Vereshchagin A.G., Kosachev V.S., Koshevoi E.P. Development of a condensation model for vaporgas mixtures with polymeric hollow fiber membranes. *Novye tekhnologii* [New technologies] 2009. no. 1. pp. 39-43. (in Russian)

14 Kolodezhnov V.V. Mathematical model of the rheological behavior of viscoplastic fluid, which demonstrates the manifestation of the effect of "solidification". *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2014. no. 2. pp. 55-58. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Евгений П. Кошевой д.т.н., профессор, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия,Ep-koshevoi@mail.ru

Александр В. Гукасян к.т.н., зав. кафедрой, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия,Aleksandr_Gukasyan@mail.ru

Вячеслав С. Косачев д.т.н., профессор, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, Краснодар, 350072, Россия,Vkosachev@nm.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Евгений П. Кошевой консультация в ходе исследования
Александр В. Гукасян обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты
Вячеслав С. Косачев консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.12.2017
ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 08.02.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Evgenii P. Koshevoi Dr. Sci. (Engin.), professor, Technological Equipment and Life Support Systems Department, Kuban state technological university, Krasnodar, Moskovskaya str., 2, 350072, Russia,Ep-koshevoi@mail.ru

Aleksandr V. Gukasyan Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Technological Equipment and Life Support Systems Department, Kuban state technological university, Krasnodar, Moskovskaya 2, 350072, Russia,Aleksandr_Gukasyan@mail.ru

Vyacheslav S. Kosachev Dr. Si. (Engin.), professor, Department of Technological Equipment and Life Support Sys-tems, Kuban state technological university, Krasnodar, Moskovskaya str., 2, 350072, Russia,Vkosachev@nm.ru

CONTRIBUTION

Evgenii P. Koshevoi consultation during the study
Aleksandr V. Gukasyan review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Vyacheslav S. Kosachev consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.5.2017
ACCEPTED 2.8.2018