

Гукасян А.В.

**ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ
МАСЛИЧНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ
ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

Гукасян Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Россия

E-mail: aleksandr_gukasyan@mail.ru

Тел.: 8 (861) 275 22 79

Целью исследования было изучение эффективной вязкости масляного материала в процессе отжима при экструзионной обработке масляных материалов на прессе ФП. Использовали феноменологическую модель слоистого течения для описания процесса экструдирования и потоковую балансовую модель фильтрации.

В результате проведенных исследований получена оценка эффективной вязкости масляного материала в процессе изменения потока масляного материала в зерновой камере на витках шнека маслоотжимного агрегата. Получено уравнение, обобщающее известное одномерное уравнение Пуазейля, использование которого позволяет определить функциональную зависимость объемного расхода потока структурированного бингамова тела через выпускное устройство прессы, что существенно повышает точность идентификации реологических показателей потока при известных геометрических параметрах выпускного устройства.

Проведен сравнительный анализ альтернативных моделей течения пластичной массы при экструзионной транспортировке масляных материалов, который показал, что на определение зависимости пропускной способности шнекового канала прессы (экструдера) существенным образом влияет, переход от одномерной к двумерной модели. Главным выводом является необходимость использования теоретически обоснованной модели слоистого течения в канале шнека при описании процесса извлечения растительного масла.

В результате были определены давления, развиваемые шнеком на витках зерновой камеры при различных режимах работы маслоотжимного агрегата. Показана возможность использования технологических режимов работы для прогнозирования извлечения масла и давления, развиваемого витками шнека в зерновой камере.

Ключевые слова: феноменологическая модель, кинетика отжима, слоистое течение, эффективная вязкость, процесс экструдирования, масляный материал.



Для цитирования: Гукасян А.В. / Феноменологическая модель эффективной вязкости масляного материала в процессе экструзионной обработки // Новые технологии. 2019. Вып. 4(50). С. 23-34. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10402.

Gukasyan A.V.

PHENOMENOLOGICAL MODEL OF EFFECTIVE VISCOSITY OF OIL MATERIAL DURING EXTRUSION PROCESSING

Gukasyan Alexander Valerievich, Candidate of Technical Sciences, an associate Professor, head of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems

FSBEI of HE «Kuban State Technological University», Russia

E-mail: aleksandr_gukasyan@mail.ru

Tel.: 8 (861) 275 22 79

The aim of the research is to study the effective viscosity of oil-bearing material during the extraction process during extrusion processing of oil-bearing materials in the FP press. A phenomenological model of a layered flow has been used to describe the extrusion process and a flow balance model of filtration. As a result of the research, an estimation of the effective viscosity of the oil-bearing material in the process of changing the flow of oil-bearing material in the curb chamber on the flight screw of the oil-press unit has been obtained. An equation has been obtained that generalizes the well-known one-dimensional Poiseuille equation, the use of which allows us to determine the functional dependence of the volumetric flow rate of the structured Bingham body flow through the press outlet device, which significantly increases the accuracy of identifying the flow rheological parameters with known geometric parameters of the outlet device. A comparative analysis of alternative models of the flow of plastic mass during the extrusion transportation of oilseed materials has been carried out, which shows that the transition from a one-dimensional to a two-dimensional model significantly affects the determination of the capacity of the screw press channel of (extruder). The main conclusion is the need to use a theoretically based model of layered flow in the screw channel when describing the process of extracting vegetable oil. As a result, the pressures developed by the screw on the turns of the curb chamber under various operating conditions of the oil extraction unit have been determined.

The possibility of using technological operating modes to predict the extraction of oil and pressure developed by the flight screw in the curb chamber is shown.

Keywords: *phenomenological model, pressing kinetics, layered flow, effective viscosity, extrusion process, oilseed material.*

For citation: Ghukasyan A.V. / Phenomenological model of effective viscosity of oil material during extrusion processing // Novye Tehnologii. 2019. Issue. 4(50). P. 23-34. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10402.

Введение

По «феноменологической» моделью обычно понимают такую формулировку закономерностей в области наблюдаемых физических явлений, в которой делается попытка свести описываемые связи к лежащим в их основе общим законам природы [1], через которые они могли бы быть понятыми.

Для технических приложений феноменологический подход важен с чисто прагматической точки зрения, так как позволяет строить инженерные модели [2] процессов и аппаратов.

Феноменологические модели используются в том случае, когда наблюдаемые явления не могут быть сведены к общим законам природы из-за чрезвычайной сложности соответствующих явлений [3], которые не допускают такой возможности из-за возникающих математических трудностей.

В гидродинамике к таким моделям относятся отношения между скоростным напором и сопротивлением потоку, обменом теплотой и импульсом в неньютоновских реологических системах.

Методика

Методика базируется на том, что объемный расход потока структурированной жидкости, определяемый для бингамова тела через выпускное устройство пресса, представляет собой течение с жестким ядром. При этом напряжение в этой области не превышает предел текучести бингамова тела.

Получено уравнение, обобщающее известное одномерное уравнение Пуазейля, использование которого позволяет определить функциональную зависимость объемного расхода потока структурированного бингамова тела через выпускное устройство пресса, что существенно повышает точность идентификации реологических показателей потока при известных геометрических параметрах выпускного устройства [4].

Учитывая базовые геометрические параметры, представленные в этой работе, были определены эквивалентные габаритные размеры каналов шнека маслоотжимного агрегата ФП (таблица 1).

Габариты (a – высота канала; b – ширина канала; $L_{\text{э}}$ – длина канала) эквивалентных по гидравлическому радиусу прямоугольных каналов шнека с учетом эквивалентных диаметров ($d_{\text{э}}$ – вала и $D_{\text{э}}$ – витка) определялись с учетом 3D мо-

делирования свободного объема витков ($V_{св}$) реального маслоотжимного агрегата ФП.

Таблица 1 - Эквивалентные габаритные размеры параметры шнека
маслоотжимного агрегата ФП

Габариты прямоугольного канала шнека							
i_6		a	b	$L_э$	$d_э$	$D_э$	$V_{св}$
Индекс витка п/п	0	62,1	231,4	595,4	123,9	248,1	8,560
	1	62,8	191,2	567,4	123,2	248,8	6,817
	2	63,4	129,5	662,6	122,6	249,4	5,444
	3	38,6	108,2	660,5	122,4	199,6	2,762
	4	32,8	95,6	624,7	134,2	199,8	1,959
	5	22,9	91,6	682,1	174,1	219,9	1,431
	6	17,9	82,1	792,2	184,1	219,9	1,166
	7	17,9	66,7	763,8	204,1	239,9	0,913
б/р		мм					литр

Проведенный сравнительный анализ альтернативных моделей течения пластичной массы при экструзионной транспортировке масличных материалов, показал, что на определение зависимости пропускной способности шнекового канала пресса (экструдера) существенным образом влияет, переход от одномерной к двумерной модели [5]. Поэтому использовали решение задачи Куэтта-Пуассона на прямоугольном сечении в виде ограниченного ряда из пяти слагаемых:

$$V_s(x, y, a, b, \Delta P \mu) = v(x) - \sum_{k=0}^4 \left\{ \left[\frac{4 \cdot v(x)}{\pi \cdot (2 \cdot k + 1)} - \frac{4 \cdot b^2}{\pi^3 \cdot (2 \cdot k + 1)^3} \cdot \Delta P \mu \right] \cdot \operatorname{ch} \left(\pi \cdot x \cdot \frac{2 \cdot k + 1}{b} \right) + \frac{4 \cdot b^2}{\pi^3 \cdot (2 \cdot k + 1)^3} \cdot \Delta P \mu + \right. \\ \left. + \frac{4 \cdot \operatorname{sh} \left(\pi \cdot x \cdot \frac{2 \cdot k + 1}{b} \right)}{\pi^3 \cdot (2 \cdot k + 1)^3} \cdot \left[b^2 \cdot \operatorname{th} \left(\pi \cdot a \cdot \frac{2 \cdot k + 1}{b} \right) \cdot \Delta P \mu - v(x) \cdot \operatorname{cth} \left(\pi \cdot a \cdot \frac{2 \cdot k + 1}{b} \right) \cdot \pi^2 \cdot (2 \cdot k + 1)^2 \right] \right\} \cdot \sin \left(\pi \cdot y \cdot \frac{2 \cdot k + 1}{b} \right) \quad (1)$$

где $v(x)$ – скорость канала витка по его текущей высоте x , м/сек; $\Delta P \mu = \frac{\Delta P}{\mu}$ – гидравлическое сопротивление потоку слоистого течения, $(\text{м} \cdot \text{сек})^{-1}$; a, b – габариты канала $a \leq b$ соответственно его высота и ширина, м; x, y – текущая высота и ширина сечения канала соответственно, $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$, м.

Использование формулы (1) предполагает использование скорости канала витка по его текущей высоте, определяемой по угловым скоростям вала и пера витка с учетом его габаритов (таблица) при различной частоте вращения шнека маслоотжимного агрегата (таблица 2).

Таблица 2 - Эквивалентные скорости стенок витков маслоотжимного агрегата ФП
при изменении частоты вращения шнека $\omega_0 = 1,571$ Гц; $\omega_1 = 2,094$ Гц;
 $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц

Индекс опыта, п/п	Индекс витка п/п								
	v^3 , м/сек	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	0,547	0,564	0,585	0,585	0,647	0,846	0,897	1,000
	1	0,730	0,752	0,780	0,780	0,863	1,128	1,196	1,333
	2	0,985	1,015	1,052	1,053	1,164	1,522	1,615	1,800
	3	0,985	1,015	1,052	1,053	1,164	1,522	1,615	1,800
	4	0,985	1,015	1,052	1,053	1,164	1,522	1,615	1,800
	V^3 , м/сек	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	1,097	1,139	1,190	0,954	0,963	1,068	1,072	1,175
	1	1,463	1,519	1,586	1,272	1,284	1,425	1,429	1,567
	2	1,974	2,051	2,142	1,718	1,734	1,923	1,930	2,116
	3	1,974	2,051	2,142	1,718	1,734	1,923	1,930	2,116
	4	1,974	2,051	2,142	1,718	1,734	1,923	1,930	2,116

Зная угловые скорости на валу (v^3) и верхней части пера витка (V^3) определяли изменение этого показателя по высоте канала шнека:

$$v(x, i_e, j_o) = v_{i_e, j_o}^3 + \frac{v_{i_e, j_o}^3 - v_{i_e, j_o}^3}{a_{i_e}} \cdot x \quad (2)$$

где i_e – индекс витка, $i_e = 0, 1, \dots, 7$; j_o – индекс опыта, $j_o = 0, 1, \dots, 4$.

В уравнение скоростного напора (1) входит гидравлическое сопротивление потоку слоистого течения, определение которого связано с потоком экструдированного материала:

$$Q_s(i_e, j_o, \Delta P \mu) = \int_0^{b_{i_e}} \int_0^{a_{i_e}} V_s(x, y, a_{i_e}, b_{i_e}, \Delta P \mu) dx dy \quad (3)$$

Сопоставляя результаты расчетов по формуле (3) с учетом (2) можно определить изменение гидравлического сопротивления потоку слоистого течения.

В настоящее время, используя известные способы расчета процесса отжима, не позволяют моделировать течения неньютоновских жидкостей, осложненных процессами сжимаемости, диффузии и массопереноса с требуемой для проектирования оборудования точностью. Поэтому использовали инженерный метод расчета характеристик пресса [6] базирующийся на одномерной модели экструдирования маслянистого материала в процессе отжима [7] на прессе ФП (таблица 3).

Таблица 3 - Распределение потоков масляного материала по виткам
маслоотжимного агрегата ФП при изменении частоты вращения шнека
 $\omega_0 = 1,571$ Гц; $\omega_1 = 2,094$ Гц; $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц

Одномерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_e		$q_{i,0}$	$q_{i,1}$	$q_{i,2}$	$q_{i,3}$	$q_{i,4}$
Индекс витка п/п	0	1323	1672	1724	1864	1896
	1	1296	1641	1699	1834	1865
	2	1216	1543	1608	1733	1762
	3	1131	1439	1510	1623	1651
	4	1041	1328	1403	1506	1532
	5	944	1206	1285	1376	1402
	6	851	1085	1164	1247	1274
	7	724	895	925	1046	1089
б/р		литр/час				

Сопоставляя потоковые данные $Q_s(i_e, j_o, \Delta P \mu) = q_{i_e, j_o}$ по уравнению (3) и полученные на основе одномерной модели экструдирования масляного материала в процессе отжима на прессе ФП (Таблица 3) получили возможность определить изменение гидравлического сопротивления $\Delta P \mu_{i_e, j_o}$ потоку слоистого течения в каналах шнека (Таблица 4).

Таблица 4 - Изменение гидравлического сопротивления потоку слоистого течения в каналах шнека при изменении частоты вращения шнека $\omega_0 = 1,571$ Гц;
 $\omega_1 = 2,094$ Гц; $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц

Двумерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_e		$\Delta P/\mu_0$	$\Delta P/\mu_1$	$\Delta P/\mu_2$	$\Delta P/\mu_3$	$\Delta P/\mu_4$
Индекс витка п/п	0	1836	2455	3353	3342	3340
	1	1986	2656	3631	3619	3616
	2	2438	3262	4473	4455	4451
	3	4294	5773	8092	8014	7995
	4	5855	7882	11132	11003	10970
	5	11921	16085	22949	22620	22528
	6	17669	23965	34816	34134	33916
	7	21260	29089	42244	40972	40521
б/р		1/(м·сек)				

Зная величины гидравлического сопротивления (Таблица 4) определили эффективную вязкость маслянистого материала в процессе отжима с учетом гидростатических давлений, развиваемых шнеком маслоотжимного агрегата, определенных из одномерной модели кинетики отжима на прессе ФП.

Таблица 5 - Распределение гидростатического давления в каналах шнека при изменении частоты вращения шнека $\omega_0 = 1,571$ Гц; $\omega_1 = 2,094$ Гц; $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц

Одномерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_e		$p_{i,0}$	$p_{i,1}$	$p_{i,2}$	$p_{i,3}$	$p_{i,4}$
Индекс витка п/п	0	2209	2424	2743	2735	2734
	1	2392	2549	2782	2794	2796
	2	3248	3169	3020	3122	3136
	3	5195	4550	3566	3863	3899
	4	10575	8181	4901	5698	5774
	5	31465	21230	8900	11415	11534
	6	141996	84960	23298	32984	32389
	7	4458974	4217379	965432	570566	377842
б/р		Па				

Используя соотношение $\Delta P = \frac{P}{L_s}$ по данным распределения гидростатического давления в каналах шнека (Таблица 5) и длине каналов витков (Таблица 1) определили градиент давления в каждом витке.

Таблица 6 - Градиент давления в каналах шнека при изменении частоты вращения шнека $\omega_0 = 1,571$ Гц; $\omega_1 = 2,094$ Гц; $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц

L_s	ΔP_0	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	ΔP_4
0,595	3710	4072	4608	4593	4592
0,567	323	220	69	104	110
0,663	1291	935	358	495	513
0,661	2948	2091	828	1122	1154
0,625	8612	5813	2136	2937	3002
0,682	30626	19130	5863	8382	8446
0,792	139532	80451	18175	27229	26325
0,764	5652020	5410386	1233493	703830	452286
м	Па/м				

Зная градиент давления (Таблица 6) определили изменение эффективной вязкости маслянистого материала в каналах витков шнека в процессе отжима расти-

тельного масла по соотношению $\Delta P \mu = \frac{\Delta P}{\mu}$, которое определяет влияние параметров прессования на изменение этого показателя.

Таблица 7 - Изменение эффективной вязкости маслячного материала в каналах витков шнека в процессе отжима

Двумерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_e		$\mu_{i,0}$	$\mu_{i,1}$	$\mu_{i,2}$	$\mu_{i,3}$	$\mu_{i,4}$
Индекс витка п/п	0	2,02	1,66	1,37	1,37	1,37
	1	0,16	0,08	0,02	0,03	0,03
	2	0,53	0,29	0,08	0,11	0,12
	3	0,69	0,36	0,10	0,14	0,14
	4	1,47	0,74	0,19	0,27	0,27
	5	2,57	1,19	0,26	0,37	0,37
	6	7,90	3,36	0,52	0,80	0,78
	7	265,85	185,99	29,20	17,18	11,16
б/р		Па·сек				

Полученные данные изменения эффективной вязкости маслячного материала (Таблица 7) обобщали на основе мультипликативной модели изменения вязкости в зависимости от логистической зависимости вязкости маслячного материала (μ_e) от его маслячности (f) и Бингамовской эффективной вязкости от скорости сдвига (γ) в канале витка, определенной по уточненной двумерной модели слоистого течения [8] и среднего гидростатического давления (p) на витке:

$$\mu^o(f, \gamma, p) = \frac{a_f}{1 + b_f \cdot \exp(-c_f \cdot f)} \cdot \left(a_\gamma \cdot \text{Па} \cdot \text{сек} + \frac{b_\gamma \cdot p + c_\gamma \cdot \text{Па}}{\gamma} \right) \quad (4)$$

где a_f, b_f, c_f – коэффициенты логистической зависимости эффективной вязкости; $a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma$ – коэффициенты Бингамовской эффективной вязкости. Для определения коэффициентов мультипликативной модели изменения вязкости использовали квадратичную целевую функцию $Z(a_f, b_f, c_f, a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma)$ отклонений изменения эффективной вязкости маслячного материала в каналах витков шнека в процессе отжима (Таблица 7) от её расчетного значения, определяемого уравнением (4):

$$Z(a_f, b_f, c_f, a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma) = \sum_{i_e=0}^7 \left\{ \sum_{j_o=0}^4 \left[\frac{a_f}{1 + b_f \cdot \exp(-c_f \cdot f_{i_e, j_o})} \cdot \left(a_\gamma \cdot \text{Па} \cdot \text{сек} + \frac{b_\gamma \cdot p_{i_e, j_o} + c_\gamma \cdot \text{Па}}{\gamma_{i_e, j_o}} \right) - \mu_{i_e, j_o} \right]^2 \right\} \quad (5)$$

Для расчета коэффициентов мультипликативной модели эффективной вязкости, определяемых минимумом (5) целевой функции $Z(a_f, b_f, c_f, a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma)$ необ-

ходимо получить оценку скорости сдвига $\gamma_{\vartheta}(i_{\vartheta}, j_o, \Delta P \mu_{i_{\vartheta}, j_o})$ масляного материала в каналах шнека. Этот параметр рассчитывали по среднему модулю градиента скорости сдвига скоростного напора (1) в канале на основе потоковых данных $Q_{\vartheta}(i_{\vartheta}, j_o, \Delta P \mu_{i_{\vartheta}, j_o}) = q_{i_{\vartheta}, j_o}$ по уравнению (3) и полученных на основе одномерной модели экструдирования масляного материала в процессе отжима на прессе ФП (Таблица 3) с учетом гидравлических сопротивлений потоку (Таблица 4):

$$\gamma_{\vartheta}(i_{\vartheta}, j_o, \Delta P \mu_{i_{\vartheta}, j_o}) = \frac{\int_0^{b_{i_{\vartheta}}} \int_0^{a_{i_{\vartheta}}} \left| \nabla_{x,y} [V_{\vartheta}(x, y, a_{i_{\vartheta}}, b_{i_{\vartheta}}, \Delta P \mu_{i_{\vartheta}, j_o})] \right| dx dy}{a_{i_{\vartheta}} \cdot b_{i_{\vartheta}}} \quad (6)$$

Результаты расчетов скорости сдвига (6) представлены по виткам маслоотжимного агрегата ФП при изменении частоты вращения шнека $\omega_0 = 1,571$ Гц; $\omega_1 = 2,094$ Гц; $\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 2,827$ Гц и различном гидравлическом сопротивлении выпускного устройства пресса (Таблица 8).

Таблица 8 - Изменение средней скорости сдвига масляного материала в каналах витков шнека в процессе отжима

Двумерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_{ϑ}		$\gamma_{i,0}$	$\gamma_{i,1}$	$\gamma_{i,2}$	$\gamma_{i,3}$	$\gamma_{i,4}$
Индекс витка п/п	0	34	46	62	62	62
	1	37	49	66	66	66
	2	42	56	77	76	76
	3	48	65	89	89	89
	4	56	75	104	104	103
	5	81	109	153	151	151
	6	96	130	184	182	181
	7	113	153	217	212	211
б/р		Гц				

Данные изменения средней скорости сдвига масляного материала в каналах витков шнека в процессе отжима (Таблица 8) использовали для расчета коэффициентов мультипликативной модели эффективной вязкости с помощью встроенной функции Minimize PTC Math CAD, которая решает задачу поиска экстремума целевой функции $Z(a_f, b_f, c_f, a_{\gamma}, b_{\gamma}, c_{\gamma})$.

Результаты и их обсуждение

На основе изменений конструктивно-технологических параметров работы маслоотжимного агрегата ФП были установлены коэффициенты мультипликативной модели эффективной вязкости (Таблица 9).

Таблица 9 - Коэффициенты мультипликативной модели эффективной вязкости
масличного материала в каналах витков шнека в процессе отжима

a_f	b_f	c_f	a_γ	b_γ	c_γ
0,01037	-0,99995	$2,39344 \times 10^{-4}$	$-5,06697 \times 10^{-3}$	$1,11446 \times 10^{-4}$	1,52837

Найденные в результате применения встроенной функции Minimize PTC Math CAD, по поиску экстремума целевой функции $Z(a_f, b_f, c_f, a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma)$ коэффициенты мультипликативной модели эффективной вязкости позволили получить феноменологическую модель эффективной вязкости масличного материала в процессе его экструзионной обработки (Таблица 10).

Таблица 10 - Мультипликативная модель эффективной вязкости
масличного материала в каналах витков шнека в процессе отжима

Двумерная модель		Индекс опыта, п/п				
		$j_o = 0$	$j_o = 1$	$j_o = 2$	$j_o = 3$	$j_o = 4$
i_e		$\mu_{i,0}$	$\mu_{i,1}$	$\mu_{i,2}$	$\mu_{i,3}$	$\mu_{i,4}$
Индекс витка п/п	0	2,791	1,993	1,353	1,372	1,375
	1	2,869	2,056	1,402	1,425	1,428
	2	2,654	1,865	1,226	1,255	1,260
	3	2,629	1,779	1,079	1,125	1,132
	4	2,931	1,856	0,992	1,067	1,076
	5	3,601	1,957	0,753	0,879	0,889
	6	10,460	4,735	1,069	1,438	1,432
	7	265,852	182,474	27,400	16,625	11,162
б/р		Па·сек				

Сравнительный анализ данных по изменению эффективной вязкости (Таблица 7) и мультипликативной модели (Таблица 10) показал высокую корреляционную связь ($R = 0,9998$) этих величин.

Следовательно, мультипликативная феноменологическая модель вязкости может быть использована для прогнозирования давлений, развиваемых витками шнека в зерной камере.

Заключение

В результате проведенного исследования установлена возможность использования усредненных интегральных показателей при описании установленного режима экструдирования масличных материалов. Использование феноменологической модели эффективной вязкости для описания процессов экструдирования вязко-пластичных материалов позволило прогнозировать давление, раз-

виваемое витками маслоотжимного агрегата и перейти в дальнейшем к моделированию кинетики отжима растительного масла на зеерных витках пресса.

Литература:

1. Течение масляного материала в выпускном устройстве пресса / Гукасян А.В. [и др.] // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств: материалы II Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2016. С. 146-150.
2. Зависимости для описания теплообмена в слое / Косачев В.С. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2008. №2/3. С. 82-83.
3. Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Математическое моделирование процессов сушки и кондиционирования зерна. Потенциалы массопереноса: монография. Saarbrücken: LAPLAMBERT, 2012. 136 с.
4. Gukasyan A.V. Identification of rheological dependencies of oil material processed in a screw press // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. T. 8, №10. С. 708-718.
5. Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core // Journal of Physics: Conference Series. 2018. T. 1015. С. 032-051.
6. Gukasyan A.V. Simulation of material viscosity upon expression of vegetable oil in extruder // Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв. 2019. №1. С. 103-110.
8. Кошевой Е.П., Гукасян А.В., Косачев В.С. Двумерная модель течения материала в канале шнека с неподвижной крышкой // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80, №1(75). С. 20-24.

Literature:

1. The flow of oilseed material in the exhaust device of the press / Gukasyan A.V. [et al.] // Transport phenomena in processes and apparatuses of chemical and food industries: materials of the II International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2016. P. 146-150.
2. Dependencies for the description of heat transfer in a layer / Kosachev V.S. [et al.] // Proceedings of higher educational institutions. Food technology. 2008. No. 2/3. P. 82-83.
3. Podgorny S.A., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Mathematical modeling of drying and conditioning processes of grain. Mass Transfer Potentials: a monograph. Saarbrücken: LAPLAMBERT, 2012. 136 p.
4. Gukasyan A.V. Identification of rheological dependencies of oil material processed in a screw press // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. V. 8, No. 10. P. 708-718.

5. Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core // Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1015. P. 032-051.

6. Gukasyan A.V. Simulation of material viscosity upon expression of vegetable oil in extruder // News of the National Academy of Sciences of Culture and Mystery. 2019. No 1. P. 103-110.

7. Koshevoi E.P., Gukasyan A.V., Kosachev V.S. A two-dimensional model of the flow of material in the curb channel with a fixed cover // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. V. 80, No. 1(75). P. 20-24.