

УДК 663.87:633.854.78

ББК 35.61

В-99

*Шорсткий Иван Александрович*, аспирант кафедры факультета машиностроения и автосервиса ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; тел.: 8(861)2752279;

*Кошевой Евгений Пантелеевич*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861)2752279;

*Косачев Вячеслав Степанович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: 8(861)2752279;

*Меретуков Заур Айдамирович*, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных и общепрофессиональных дисциплин ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772)525534.

## **ВЯЗКОСТЬ СПИРТОВЫХ СУСПЕНЗИЙ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА\***

(рецензирована)

\*Статья опубликована в рамках выполнения базовой части государственного задания №2015/300 (научно-исследовательская работа №1154 «Теоретические основы интенсификации тепло-массообменных квазистационарных и мембранных процессов с целью разработки инновационных технологий переработки сельскохозяйственного сырья и производства пищевых продуктов»).

Целью работы является анализ и определение вязкости спиртовых суспензии измельченных семян подсолнечника для разрабатываемой «зеленой технологии» производства растительных масел.

**Ключевые слова:** семена подсолнечника, этанол, вязкость, подготовка сырья.

*Shorstky Ivan Alexandrovich*, post graduate student of the Faculty of Mechanical Engineering and Car Service of FSBEI HE «Kuban state technological university»; tel.: 8(861) 275-22-79;

*Koshevoy Evgeny Panteleevich*, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Technological Equipment and Life- sustaining Systems FSBEI HE «Kuban state technological university»; 350072, Krasnodar, 2 Moskovskaya St., tel.: 8(861)275-22-79;

*Kosachev Vyacheslav Stepanovich*, Doctor of Technical Sciences, professor, professor head of the Department of Technological Equipment and Life- sustaining Systems FSBEI HE «Kuban state technological university»; 350072, Krasnodar, 2 Moskovskaya St., tel.: 8(861)275-22-79;

*Meretukov Zaur Aydamirovich*, Doctor of Technical Sciences, associate professor, head of the Department of Construction and General Professional Disciplines of FSBEI HE «Maikop state technological university», 385000, the Republic of Adyghea, Maikop, 191 Pervomayskaya St., tel.: 8(8772)52-55-34.

## VISCOSITY OF SPIRIT SUSPENSIONS OF CRUSHED SUNFLOWER SEEDS

(reviewed)

*The purpose of the research has been the analysis and determination of viscosity spirit suspensions of the crushed sunflower seeds for the developed «green technology» of production of vegetable oils.*

**Keywords:** sunflower seeds, ethanol, viscosity, preparation of raw materials.

Реологические характеристики спиртовых суспензий измельченных семян подсолнечника имеют значение для разрабатываемой «зеленой технологии» производства растительных масел, обоснованию которой посвящен конгресс [1] и проводятся исследования [2-4].

Как правило, уравнения течения структурированных систем имеют смысл только для конечного равновесного состояния течения. Феноменологические модели стационарного течения сводятся к реологическим уравнениям течения неструктурированной суспензии соответствующим уравнению Эйнштейна

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + k \cdot \Phi) \dots\dots\dots(1)$$

где  $\eta_0$  – вязкость жидкой дисперсионной среды,  $\Phi$  – объемная концентрация дисперсной твердой фазы,  $k = 2,5$  коэффициент для сферических частиц [1]. В качестве дисперсионной среды используется этанол, а в качестве дисперсной твердой фазы суспензия измельченных семян подсолнечника при различных скоростях сдвига и температурах.

Таблица 1 – Вязкость этанола (жидкого) в зависимости от температуры

Температура, °С	Вязкость, сП
0	1,770
40	0,826
75	0,465

Вязкость этанола (таблица 1) описывается уравнением:

$$\lg \eta_0 = A' + \frac{B'}{T + T'} \dots\dots\dots(2)$$

где  $T$  (К);  $A' = -3,8334$ ;  $B' = 788,913$ ;  $T' = -94,111$ . Погрешность составляет 2%.

Для получения обобщенного уравнения подставим (2) в(1):

$$\eta = \exp \left[ \frac{788.913}{T - 94.111} - 3.8334 \right] \cdot [1 + k(\gamma, T, \Phi) \cdot \Phi] \dots\dots\dots(3)$$

$k(\gamma, T, \Phi)$  – коэффициент для агрегатов суспензии измельченных семян подсолнечника при различных скоростях сдвига, температурах и концентрации дисперсной твердой фазы. Для получения этой функциональной зависимости преобразуем (3) к явному виду относительно  $k(\gamma, T, \Phi)$ :

$$k(\gamma, T, \Phi) = \frac{\eta_s(\gamma, T, \Phi)}{\Phi \cdot \exp \left[ \frac{788.913}{T - 94.111} - 3.8334 \right]} - 1 \dots\dots\dots(4)$$

Оценка экстраполяции формулы (4) по коэффициенту для агрегатов суспензии измельченных семян подсолнечника может быть проведена на основании вариабельности этой функциональной зависимости относительно объемной концентрации дисперсной

твердой фазы. Если вариабельность статистически не значима то формула (3) преобразуется к виду:

$$\eta(\gamma, T, \Phi) = \exp\left[\frac{788,913}{T - 94,111} - 3,8334\right] \cdot [1 + k(\gamma, T, \Phi) \cdot \Phi] \quad (5)$$

и может быть использована для описания вязкости в широких пределах изменения объемной концентрации дисперсной твердой фазы. Для оценки этой вариабельности используем данные изменения вязкости различных образцов суспензия измельченных семян подсолнечника при различных скоростях сдвига и температурах (таблица 2).

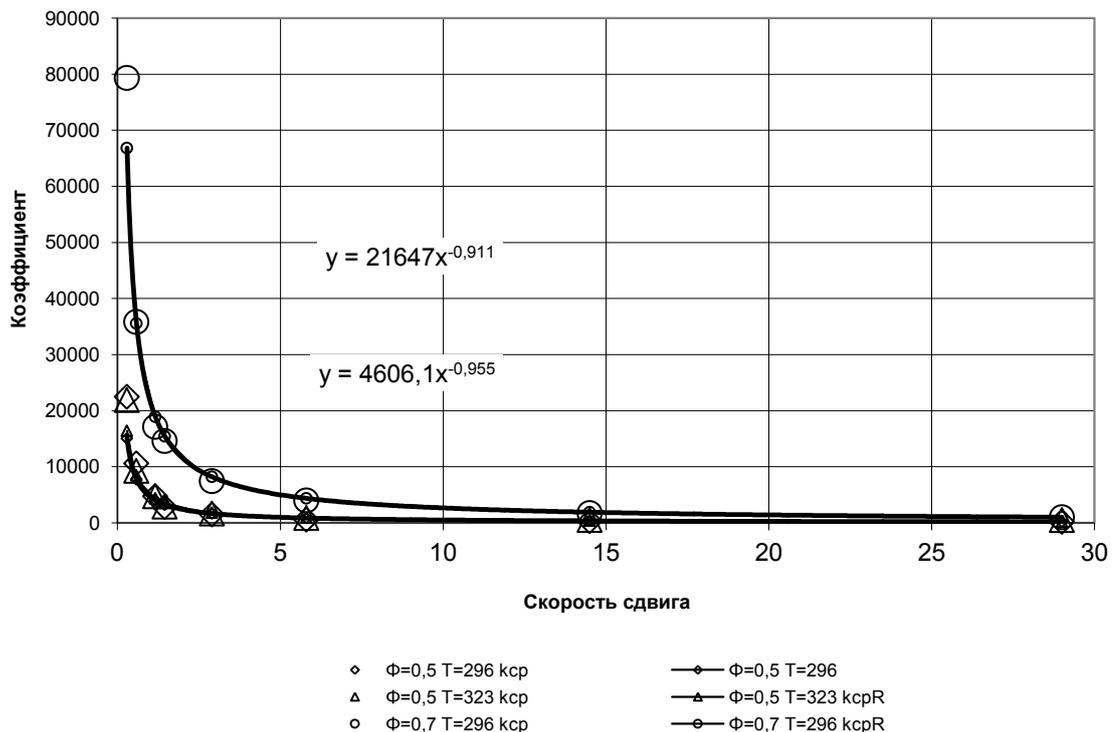
Эти данные демонстрируют наличие значительной вариабельности вязкости суспензии при одной и той же скорости сдвига. В этой связи были определены вариации коэффициента уравнения (1) в зависимости от вязкости по формуле (4). Обобщая полученные данные, получили степенные зависимости этого коэффициента относительно скорости сдвига (рисунок 1).

Таблица 2 – Вязкость спиртовой суспензии измельченных семян подсолнечника в зависимости от скорости сдвига

Вязкость		Факторы			Функции		Модельные параметры						
$\eta_{эф}, \text{сП}$		ско рос ть сдв ига	объемная концентра ция дисперсн ой твердой фазы	тем пер ату ра, К	Коэффициен т		Y		$k_{cp}$				
min	max				$\gamma, \text{с}^{-1}$	$\Phi$	T	$k_{min}$	$k_{max}$	$k_{cp}$	$k_{cp}^R$	$\sigma$	$\Delta$
Вязкость измельченного ядра, 50% спирта, 23°C													
10900	13300	0,29	0,5	296	20239	24696	22467	15029	13161	18241	9306	40708	
4800	6600	0,58	0,5	296	8912	12254	10583	7751	6335	8779	4249	19362	
1800	3300	1,16	0,5	296	3341,4	6126,7	4734	3997	3068	4251	1666	8985	
1010	2000	1,45	0,5	296	1874,5	3712,8	2794	3230	1856	2573	937	5366	
700	900	2,9	0,5	296	1298,8	1670,2	1485	1666	877	1215	608	2700	
299	301	5,8	0,5	296	554,21	557,92	556	859	321	445	235	1001	
100	200	14,5	0,5	296	184,69	370,38	278	358	185	257	92	534	
90	100	29	0,5	296	166,12	184,69	175	185	102	141	74	316	
Вязкость измельченного ядра, 50% спирта, 50°C													
5660	9210	0,29	0,5	323	16663	27115	21889	16400	13676	18953	8214	40843	
2640	3650	0,58	0,5	323	7771,8	10745	9259	8458	5548	7690	3710	16948	
1210	2000	1,16	0,5	323	3561,5	5887,5	4725	4362	2965	4110	1759	8834	
700	1260	1,45	0,5	323	2060	3708,7	2884	3524	1858	2575	1026	5460	
430	690	2,9	0,5	323	1265	2030,5	1648	1818	1025	1421	622	3069	
250	340	5,8	0,5	323	735,06	1000	868	937	518	718	349	1586	
160	181	14,5	0,5	323	470,08	531,91	501	391	291	403	210	904	
150	180	29	0,5	323	440,64	528,96	485	201	283	393	201	878	
Вязкость измельченного ядра, 30% спирта, 23°C													
21400	98200	0,29	0,7	296	28383	130246	79314	66830	68491	94921	10824	174236	
8200	45800	0,58	0,7	296	10875	60746	35810	35550	32392	44892	3419	80702	
4800	21000	1,16	0,7	296	6365,5	27852	17109	18911	14594	20226	2515	37335	
3900	18100	1,45	0,7	296	5171,7	24006	14589	15433	12634	17510	1955	32099	

Вязкость		Факторы			Функции		Модельные параметры					
$\eta_{эф}, \text{сП}$		ско рос ть сдв ига	объемная концентра ция дисперсн ой твердой фазы	тем пер ату ра, К	Коэффициен т		Y			$k_{cp}$		
min	max											
2100	9100	2,9	0,7	296	2784,3	12069	7427	8210	6319	8758	1107	16185
1600	4400	5,8	0,7	296	2121,2	5834,9	3978	4367	2953	4093	1025	8071
1010	1600	14,5	0,7	296	1338,6	2121,2	1730	1896	1073	1487	657	3216
700	800	29	0,7	296	927,44	1060,1	994	1009	578	800	416	1794

Как видно из представленных графиков (рисунок 1) температура в интервале от 23 до 50 0С практически не оказывает влияние на этот коэффициент. В тоже время изменение объемной концентрации дисперсной твердой фазы оказывает существенное влияние на эту степенную зависимость. При этом найденные функциональные зависимости адекватно описывают экспериментальные данные, находясь в доверительном интервале от минимальных значений до максимальных значений вариации коэффициента уравнения (1).



**Рисунок 1.** Функциональная зависимость вариации коэффициента уравнения (1) от скорости сдвига при изменении объемной концентрации дисперсной твердой фазы и температуры

Таким образом уточненная зависимость уравнения (5) принимает следующий вид:

$$\eta(\gamma, T, \Phi) = \exp\left[\frac{788.913}{T - 94.111} - 3.8334\right] \cdot [1 + k(\gamma, \Phi) \cdot \Phi] \quad (6)$$

Для определения этой зависимости были построены следующие графики (Рисунок 2)

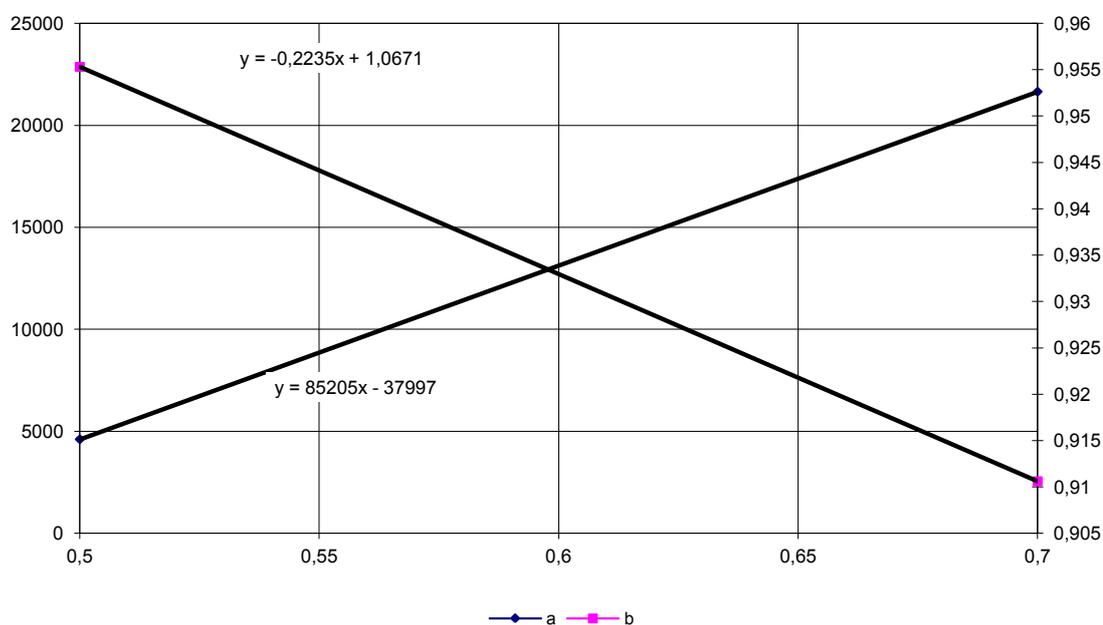
Таким образом, модельная формула коэффициента уравнения (1) от объемной концентрации дисперсной твердой фазы может быть представлена следующим уравнением:

$$k(\gamma, T, \Phi) = (85205 \cdot \Phi - 37997) \cdot \gamma^{(1,0671 - 0,2235 \cdot \Phi)} \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6) получаем зависимость вязкости от скорости сдвига, температуры и объемной концентрации дисперсной твердой фазы:

$$\eta(\gamma, T, \Phi) = \exp\left[\frac{788.913}{T - 94.111} - 3.8334\right] \cdot \left[1 + (85205 \cdot \Phi - 37997) \cdot \gamma^{(1,0671 - 0,2235 \cdot \Phi)} \cdot \Phi\right] \quad (8)$$

Данная формула (8) адекватно описывает экспериментальное изменение вязкости данной системы при изменении концентрации дисперсной фазы от нуля до 70%.



**Рисунок 2.** Зависимость коэффициента уравнения (1) от объемной концентрации дисперсной твердой фазы

### Выводы

Получена зависимость для расчета вязкости спиртовой суспензии с измельченными семенами подсолнечника, которая учитывает влияние скорости сдвига, температуры и объемной концентрации твердой фазы.

### Подтверждение

Данная работа выполнена по федеральной целевой программе «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проект) RFMEF157714X0046.

### Литература:

1. International Congress on Green Extraction of Natural Products. GENP L F Avignon, France, 2013. April 16-17.

2. Shorstkii I., Mirshekarloo M.S., Koshevoi E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: Labscale parameters optimization. IRC Conference on Science, Engineering and Technology IRC-SET). 2015.

3. Реология суспензии измельченных семян подсолнечника в этаноле / Шорсткий И.А. [и др.] // Новые технологии. 2015. Вып. 2. С. 38-46.

4. Оценка влияния вида растворителя и подготовки масличного подсолнечного материала на кинетические зависимости процесса экстракции Шорсткий И.А. [и др.] // Новые технологии. 2015. Вып. 2. С. 46-50.

#### **References:**

1. *International Congress on Green Extraction of Natural Products. GENP L F Avignon, France, 2013. April 16-17.*

2. *Shorstkii I. A., Mirshekarloo M.S., Koshevoy E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: Labscale parameters optimization. IRC Conference on Science, Engineering and Technology IRC-SET). 2015.*

3. *Rheology of suspension of the crushed sunflower seeds in ethanol / Shorstky I.A. [etc.]//New technologies. 2015. Iss. 2. P. 38-46.*

4. *Assessment of the influence of solvent type and preparation of olive sunflower material on the kinetic dependences of the process of extraction. Shorstky I.A. [etc.]//New technologies. 2015. Iss. 2. P. 46-50.*