

tsilindricheskimi reshetami pri orientatsii zeren v aktivnom sloe: diss. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 1970. – 164 s.

9. A.s. 954045 SSSR M. KI3 A 01 F 12/44, V 07 V 1/26. Tsentrobezhnaya zerno-ochistitel'naya mashina / Mazorenko D.I., Tishchenko L.N. – № 3219907/30-15; zayavl. 15.12.80; opubl. 30.08.82, Byul. № 32. – 3 s.

10. A.s. 1630654 A1 SSSR A 01 F 12/44, V 07 V 1/22. Tsentrobezhnaya zernoochistitel'naya mashina / Drincha V.M., Kucher E.I., Zin'l.K. – № 4485939/15; zayavl. 22.09.88; opubl. 28.02.91, Byul. № 8. – 2 s.

11. A.s. 1438857 A1 SSSR M.KI3. V 07 V 1/22. Tsentrobezhnyi separator / Nilov V.P., Kovalenko N.V., Tokmakov N.V. – 4210574/29-03; zayavl. 16.03.87; opubl. 23.11.88, Byul. № 43. – 2 s.

12. A.s. 1479140 A1 SSSR, Vibratsionno-tsentrobezhnyi separator / Tishchenko L.N.,

Mazorenko D.I., Protsenko S.V., Solonovskii N.V. – № 4311385/29-03; zayavl. 01.10.87; opubl. 15.05.89, Byul. № 18. – 3 s.

13. UA 30208 A (51) MPK (2006) MPK A01F 12/44. Separator zerna "Zhitich" / Priluts'kii A.N. – № 98010389 zayavka 23.01.1998; opubl. 29.12.1999, Byul. № 6, 2000. – 5 s.

14. Strikunov N.I. Ochistka zerna tsentrobezhno-reshetnym separatorom s predvaritel'noi podgotovkoi na delitel'nom reshete: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Novosibirsk, 1989. – 18 s.

15. Lekanov S.V. Obosnovanie parametrov tsilindricheskogo podsevnogo resheta s vnutrennim plastinchatym barabanom tsentrobezhno-reshetnogo separatora s vertikal'noi os'yu vrashcheniya: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Barnaul, 2006. – 23 s.



УДК 633.34:664.0:636.084

**В.И. Земсков, Г.М. Харченко**  
V.I. Zemskov, G.M. Kharchenko

## СВОЙСТВА ФИЛЬТРУЮЩИХ ПЕРЕГОРОДОК ИЗ ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА

### PROPERTIES OF FILTER BAFFLE PLATES MADE OF NATURAL ZEOLITE

**Ключевые слова:** растительные масла, центрифугирование, фильтровальная перегородка, цеолит, свойства, Сокирнит, проницаемость, определение.

Исследованиями доказано, что возможна очистка растительных масел в условиях сельскохозяйственных предприятий на вертикальных конических центрифугах для пищевых целей при использовании в качестве фильтрующего материала минерала – цеолита. Указывается на возможность использования цеолита в качестве кормовой добавки при кормлении животных, что позволит повысить эффективность процесса. Приводятся работы многих авторов, подтверждающих положительный эффект от использования цеолита в качестве кормовой добавки. Рассматриваются свойства цеолита с точки зрения его использования в качестве фильтровальных перегородок фильтрующих центрифуг. Обращается внимание на такие свойства цеолита «Сокирнит», как химическая и реактивная устойчивость, адсорбционные свойства (адсорбционная емкость по воде 34-38%) и наличие большого количества микропор (1-2 м<sup>2</sup>/г) и макропор (18-21 м<sup>2</sup>/г), подтверждающие его возможность использования в качестве материала фильтровальной перегородки фильтрующих центрифуг. Основным свойством фильтровальных перегородок является коэффициент проницаемости. Выводится формула для экспериментальной оценки коэффициента проницаемости, позволяющая уточнить теорию филь-

рования. Приводится схема экспериментальной установки для определения коэффициента проницаемости цеолита.

**Keywords:** vegetable oils, centrifugal separation, filter baffle plate, zeolite, properties, Sokirnit, penetrability, definition.

The research conducted by the authors proves that it is possible to clean edible vegetable oils at agricultural enterprises by means of vertical conical centrifuges with zeolite used as filter material. It is emphasized that zeolite may be used as feed supplement in livestock nutrition. The effect of zeolite as a feed supplement is proved by of many authors. The properties of zeolite from the viewpoint of its application as filter baffle plate material for filtering centrifuges are discussed. Such properties of "Sokirnit" zeolite as chemical and reagent stability, adsorptive properties (water adsorptive capacity 34-38%) and a great number of micropores (1-2 m<sup>2</sup> g) and macropores (18-21 m<sup>2</sup> g) are emphasized; they confirms the possibility of its application as a material for filter baffle plates for filtering centrifuges. The major property of a filter baffle plate is its permeability index. The formula is derived for experimental evaluation of permeability index, and it enables a more accurate definition of the filtering theory. The design of an experimental installation to define zeolite permeability index is presented.

**Земсков Виктор Иванович**, д.т.н., проф., каф. механизации животноводства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел. 913-024-94-25. E-mail: super.super-zemskov-29@yandex.ru.

**Харченко Галина Михайловна**, д.т.н., доцент, Новосибирский государственный аграрный университет. Тел. 913-765-92-97. E-mail: super.super-zemskov-29@yandex.ru.

**Zemskov Viktor Ivanovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Animal Breeding Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: 913-024-94-25. E-mail: super.super-zemskov-29@yandex.ru.

**Kharchenko Galina Mikhailovna**, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University. Ph.: 913-765-92-97. E-mail: super.super-zemskov-29@yandex.ru.

### Введение

Процесс очистки растительных масел в условиях сельскохозяйственных предприятий не может осуществляться по технологиям обрабатывающей промышленности из-за сложности и большой стоимости применяемого оборудования. Ученые ищут пути упрощения технологии без снижения качественных показателей получаемой продукции. Одним из направлений, позволяющих решать указанную проблему, является центробежная очистка на вертикальных фильтрующих конических центрифугах [1].

**Цель работы** – определить возможность использования природных цеолитов в качестве материала фильтровальной перегородки фильтрующих центрифуг и кормовой добавки при кормлении животных и птицы на примере цеолита «Сокирнит».

**Использование цеолита.** Указывается на возможность использования природного цеолита в качестве фильтрующей перегородки при центробежной очистке растительных масел и кормовой добавки при кормлении животных и птицы [1 и др.]. Отмечается положительное влияние скармливания цеолита в свиноводстве, молочном животноводстве и птицеводстве, в частности, Бурятским НИИСХ СО ВАСХНИЛ получены положительные результаты применения цеолита в качестве кормовых добавок в корм кур и животных [2]. Утверждены технические условия 407-629-90 «Цеолит природный – добавка к кормам сельскохозяйственных птиц» [2]. В опытах, проведенных в СибИМЭ (п. Краснообск Новосибирской обл.) на откормочном мо-

подняке свиней, установлено, что добавка 2%-ного цеолита увеличила среднесуточные приросты на 7,4% при снижении расхода корма на единицу прироста на 16,1% [3]. Отмечается, что в СПК «Восход» в качестве минеральной добавки цеолит применяется с 1997 г. [4]. Экономический эффект от его использования в среднем за три года (1997-2000) составил 155 руб. на голову (цены 2000 г.). Добавка минерала в рацион коров и нетелей в СХПК «Черкасовский» повысила продуктивность животных на 10%. Затраты на цеолит в течение года окупались в пять раз (цены 2001 г.). Основные положения, вытекающие из результатов исследований, были использованы при подготовке Технических условий на пегасин (ТУ 10 РСФСР, 1991; ТУ 2163-001-34776410-98) и вошли в состав рекомендаций «Использование цеолитового туфа Пегасского месторождения в кормлении крупного рогатого скота» (1991). Вопросы использования цеолита в кормлении животных отмечаются во многих работах [6 и др.].

**Свойства цеолитов.** Цеолиты – минералы из группы водных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных элементов с тетраэдрическим структурным каркасом, включающим полости (пустоты), занятые катионами и молекулами воды. Свойства Сокирнита приведены в следующих таблицах [5]. В таблице 1 приведена общая характеристика основных месторождений цеолитов России, Украины и Грузии, в таблице 2 – физико-механические и химические свойства цеолита «Сокирнит».

**Таблица 1**  
*Общая характеристик основных месторождений цеолита России, Украины и Грузии*

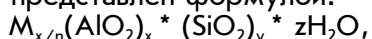
Показатели	Месторасположение							
	Сокирницкое (Украина)	Тадзамское (Грузия)	Пегаское	Холинское	Швыртуйское	Хонгуриное	Чугуевское	Лютотское
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,42	2,40	2,42	2,38	2,18	2,41	2,38	2,38
Содержание минерала	40-60	50-90	64-80	48-53	40-50	75-90	70-80	60-70
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	1,43	1,56	1,94	1,56	1,68	1,68	1,91	1,85
Катионообменная способность, мг экв/100 г	51,15	109,34	45,16	77,72	64,90	49,85	45,98	91,02
Кислотность, рН	6,8-7,2	6,6	8,0	6,2	9,5	6,7	-	7,7

Физико-механические и химические свойства цеолита «Сокирнит»

Физические и механические свойства		Адсорбционная ёмкость по воде (water absorbing capacity)	34-38%
Внешний вид (appearance)	гранулы светло-серого цвета (pale grey)	Площадь макропор (macropore)	18-21 м <sup>2</sup> /г
Запах (odour)	нет (odourless)	Площадь микропор (micropore)	1-2 м <sup>2</sup> /г
Пористость (porosity)	38-46%	Температура дегидратации (dehydration temperature)	270-300°C
Плотность (density)	2,2-2,3 г/см <sup>3</sup>	Температура размягчения (softening temperature)	1260°C
Механическая прочность (mechanical strength):		Температура плавления (melting temperature)	1340°C
а) истираемость (gratiness)	не более 0,32-0,5%	Химическая и реактивная устойчивость	
б) измелчаемость (detachability)	не более 0,62-1,86%	прирост окисляемости	не более 0,07-0,42 мг/дм <sup>3</sup>
Твёрдость по Моосу (Mohs hardness)	3,5-4	прирост сухого остатка	не более 9,0-11,0 мг/дм <sup>3</sup>
Объёмная масса (Volume weight)	1040-1080 кг/м <sup>3</sup>	прирост кремнекислоты	не более 0,6-3,4 мг/дм <sup>3</sup>
Эффективный диаметр пор	0,4 nm (4 angstrom, 4E)	Термическая устойчивость (thermic stability)	выше 450°C (Up to 450°C)
Значение pH (pH-value)	6,8-7,2	Растворимость в воде	нет (none)
		Опасное разложение	нет (none)
		Опасные полимеризация	нет (none)

В этом же источнике приводятся следующие данные о химическом составе цеолита «Сокирнит», %: Na<sub>2</sub>O – 0,79, MgO – 0,60, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 12,48, SiO<sub>2</sub> – 67,90, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,03, K<sub>2</sub>O – 3,22, CaO – 3,05, TiO<sub>2</sub> – 0,19, MnO – 0,01, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,46, BaO – 0,088, Sum – 99,66 [5]. Исследования проведены в Институте геологии и минерологии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) в 2011 г. методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Как показывают эти данные, он по многим показателям представляет интерес при использовании в качестве фильтровальной перегородки в фильтрующих центрифугах и для использования в качестве кормовой добавки для животных.

Химический состав цеолитов в обобщенном виде представлен формулой:



где M – катионы с валентностью n (обычно это Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Si<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>);

z – число молекул воды, а отношение y/x может изменяться от 1 до 5 для различных видов цеолитов.

Общим для всех цеолитов является наличие трехмерного алюмокремнекислородного каркаса, образующего системы полостей и каналов, в которых расположены щелочные, щелочноземельные катионы и молекулы воды. Катионы и молекулы воды слабо связаны с каркасом и могут быть частично или полностью замещены (удалены) путем ионного обмена и дегидратации, причем обратимо, без разрушения каркаса цеолита.

Лишенный воды цеолит представляет собой микропористую кристаллическую «губку», объем пор в которой составляет до 50% объема каркаса цеолита.

Такая «губка», имеющая диаметр входных отверстий от 0,3 до 1 нм (в зависимости от вида цеолита), является высокоактивным адсорбентом и определяет их применение в качестве фильтрующего материала для очистки растительных масел в конических фильтрующих центрифугах.

Диаметр входных отверстий «губки» имеет строго определенные размеры, в связи с этим происходит так называемый молекулярно-ситовый отбор при сорбции молекул газа, жидкости и примесей. Данное свойство цеолитов наравне с другими является определяющим для их применения в качестве фильтрующего материала в фильтрующих центрифугах для очистки растительных масел.

**Оценка коэффициента проницаемости.**

Основным показателем фильтровальных перегородок является коэффициент проницаемости. Процесс прохождения суспензии (растительного масла) через пористую среду под действием силового поля характеризуется коэффициентом проницаемости  $k_c$ , который определяет способность суспензий к разделению и в работе [1] на основании общего закона прохождения жидкости через пористую среду [4] оценивается формулой:

$$k_c = 0,246 \xi^2 / [f^2(1 - \xi^2)], \quad (1)$$

где  $\xi$  – порозность пористой среды (фильтрующей перегородки);

$f$  – удельная площадь поверхности частиц фильтрующей перегородки,  $\text{м}^2$ .

В формуле (1) численный коэффициент, равный 0,246, не учитывает макро- и микропоры частиц материала фильтра. Очевидно, он зависит не только от порозности, но и от пористости частиц материала фильтровальной перегородки.

В случае использования в качестве фильтровальной перегородки цеолита коэффициент проницаемости можно записать в виде

$$k_c = K \xi^2 / [f^2(1 - \xi^2)], \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий материал фильтровальной перегородки и учитывающий его структуру (в частности, коэффициент пористости).

Коэффициент  $K$  нами предлагается определить из следующих соображений.

Эмпирический коэффициент проницаемости  $k_c$  в работе [7] рекомендуется определять на обычном фильтре по следующей формуле:

$$k_c = \frac{v_1 \mu L}{H \rho_f g} \mu_{мс}, \quad (3)$$

где  $v_1$  – скорость осаждения,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\mu$  – динамическая вязкость масла,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$L$  – высота фильтрующей перегородки,  $\text{м}$ ;

$H$  – гидростатический напор,  $\text{м}$ ;

$\rho_f$  – плотность суспензии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\mu_{мс}$  – коэффициент истечения.

В ГОСТ 25283-93 (ИСО 4022-87) приводится эмпирическая формула течения жидкостей через пористые материалы, выведенная впервые Дарси на основе экспериментальных данных с водой [8]:

$$\frac{\Delta P}{e} = \frac{Q \cdot \eta}{A \cdot \psi_f}, \quad (4)$$

где  $\Delta P$  – разность давлений на вход на входной и выходной поверхностях образца,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$e$  – размер испытываемого образца в направлении потока жидкости,  $\text{м}$ ;

$Q$  – объемная скорость течения жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$A$  – площадь материала фильтра, перпендикулярная направлению потока жидкости,  $\text{м}^2$ ;

$\eta$  – динамическая вязкость,  $\text{Па}\cdot\text{с}$

$\psi_f$  – коэффициент проницаемости при наличии скользящего течения,  $\text{м}^2$ .

Формула (4) устанавливает пропорциональную зависимость падения давления на единицу толщины от скорости течения на единицу площади и вязкостью.

Эффектом стенки, краевым эффектом, зависящим от разницы между пористостью на поверхности, и внутренней пористостью для фильтровальной перегородки из цеолита можно пренебречь, так как толщина испытуемого образца не менее 10 диаметров частиц пористого материала.

Поскольку учесть влияние микропор в эксперименте представляется проблематичным, воспользуемся методом определения коэффициента проницаемости цеолитовой фильтровальной перегородки по ГОСТу, тогда после подстановки уравнения (4) в (2) и соответствующих преобразований получим

$$k_c = \frac{Q \cdot e \cdot f^2 (1 - \xi^2) \cdot \eta}{A \cdot \Delta P}, \quad (5)$$

Лабораторная установка для определения коэффициента проницаемости цеолита  $k_c$  приведена на рисунке. Для проведения испытаний разработана методика.

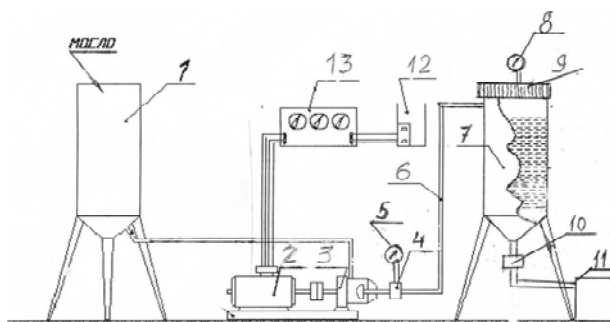


Рис. Лабораторная установка для определения коэффициента проницаемости цеолита:

- 1 – бак для испытываемого масла;
- 2 – электродвигатель масляного насоса;
- 3 – шестеренчатый масляный насос;
- 4 – муфта для подключения манометра;
- 5 – манометр;
- 6 – трубопровод масляный;
- 7 – цилиндр для испытания цеолита на проницаемость;
- 8 – манометр;
- 9 – крышка цилиндра;
- 10 – вентиль;
- 11 – приемный бак;
- 12 – пульт управления;
- 13 – преобразователь частоты электрического тока

### Выводы

1. Физико-механические свойства природных цеолитов позволяют использовать их в качестве фильтрующего материала в фильтровальных перегородках фильтрующих центрифуг (адсорбционная способность, большое количество макро- и микропор, значительная пористость и др.).

2. Цеолит, отработанный в фильтрующих центрифугах, представляет отличный материал для получения минерально-масляных добавок в корм животным. Положительное влияние кормовых добавок из природного цеолита подтверждают исследования многих авторов.

3. Влияние природного цеолита на процесс фильтрации в вертикальных конических

фильтрующих центрифугах недостаточно глубоко изучено, в частности, нет такого показателя фильтровальных перегородок из цеолита, как коэффициент проницаемости. Получена математическая модель для оценки поправочного коэффициента в формуле коэффициента проницаемости фильтровальной перегородки из природного цеолита (5).

#### Библиографический список

1. Харченко Г.М. Механико-технологические основы повышения эффективности процесса центробежной очистки растительных масел: дис. ... докт. тех. наук. – Барнаул, 2009. – 495 с.
2. Использование цеолитов в кормлении животных [Электронный ресурс]. – [biagroferm.ru/archives/1915](http://biagroferm.ru/archives/1915).
3. Подъяблонский С., Носенко Н.А. Использование природных цеолитов в свиноводстве. – Новосибирск, СибИМЭ, 2012 – [Электронный ресурс] <http://zeomix.ru/home/natural-zeolite-agriculture-and-food-industry/livestock-poultry.html>.
4. Макаренко Л.Я. Эффективность использования цеолита Пегасского месторождения в кормлении крупного рогатого скота: дис. ... докт. с.-х. наук: 06.02.02. – Кемерово, 2003. – 289 с. – [Электронный ресурс]. [www.dslib.net](http://www.dslib.net) (библиотека диссертаций).
5. Природные цеолиты – Сокирниты. Опыт применения в процессах очистки воды и стоков [электронный ресурс]. <http://zeomix.ru>.
6. Cheshmedzhiev B.V., Mircheva D., Dzhorova V. et al. Effect of zeolite in ration containing carbamide established by experiments with rams. – *Zhivotnovod nauki*, 1981. – V. 18. – № 6. – P. 64-68.
7. Соколов В.И. Промышленные центрифуги. – М.: Машгиз, 1971. – 453 с.
8. Межгосударственный стандарт. Материалы спеченные проницаемые. Определение проницаемости жидкостей. Permeable

sintered metal materials. Determination of fluid permeability ГОСТ 25283-93 (ИСО 4022-87) [электронный ресурс]. [http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost\\_3197.htm](http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost_3197.htm).

#### References

1. Kharchenko G.M. Mekhaniko-tehnologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti protsessa tsentrobezhnoi ochistki rastitel'nykh masel: dis. dokt. tekhn. nauk. – Barnaul, 2009. – S. 495.
2. Ispol'zovanie tseolitov v kormlenii zhivotnykh (Elektronnyi resurs) [biagroferm.ru/archives/1915](http://biagroferm.ru/archives/1915).
3. Pod'yablonskii S., Nosenko N.A. Ispol'zovanie prirodnykh tseolitov v svinovodstve. – Novosibirsk, SibIME, 2012 (Elektronnyi resurs) <http://zeomix.ru/home/natural-zeolite-agriculture-and-food-industry/livestock-poultry.html>.
4. Makarenko L.Ya. Effektivnost' ispol'zovaniya tseolita Pegasskogo mestorozhdeniya v kormlenii krupnogo rogatogo skota: dis. dokt. s.-kh. nauk: 06.02.02. – Kemerovo, 2003. – S. 289. (Elektronnyi resurs) [www.dslib.net](http://www.dslib.net).
5. Prirodnye tseolity – Sokirnity. Opyt primeneniya v protsessakh ochistki vody i stokov. (Elektronnyi resurs). <http://zeomix.ru>.
6. Cheshmedzhiev V.V., Mircheva D., Dzhorova V., et al. Effect of zeolite in ration containing carbamide established by experiments with rams. *Zhivotnovod nauki*, 1981, V. 18. – No. 6. – P. 64-68.
7. Sokolov V.I. Promyshlennyye tsentrifugi. – M.: Mashgiz, 1971. – 453 s.
8. Mezhdgosudarstvennyi standart. Materialy spechennyye pronitsaemye. Opredelenie pronitsaemosti zhidkostey. Permeable sintered metal materials. Determination of fluid permeability. GOST 25283-93 (ISO 4022-87) (Elektronnyi resurs). [http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost\\_3197.htm](http://tehnorma.ru/gosttext/gost/gost_3197.htm).

