

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ИНЕРЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАТЕЛЯ САПРОПЕЛЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

### THE STUDY OF CENTRIFUGAL INERTIAL DEHYDRATOR OF SAPROPEL WITH NATURAL MOISTURE CONTENT

**Ключевые слова:** сапропель, обезвоживание, центрифуга, конический обезвоживатель, производительность.

Качество кормления в значительной степени влияет на развитие животноводства. Дефицит биологически активных и минеральных компонентов может быть восполнен за счет местных ресурсов – озерных сапропелей. Одним из путей повышения эффективности производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля должен стать быстрый и качественный способ снижения естественной влажности сапропеля. Важно совершенствование технических средств для обезвоживания сапропеля с целью улучшения его качественных характеристик. Для его обезвоживания наиболее целесообразно использовать центрифугирование, представляющее собой процесс разделения фаз под действием центробежных сил, которые создаются во вращающемся барабане. Проведен анализ известных конструкций устройств для центрифугирования. Предложено новое устройство непрерывного действия. Очистка корзины обезвоживателя от осушенной массы сапропеля производится направляющими ребрами, установленными под определенным углом к плоскости корзины. В результате исследований получено значение средней скорости подъема сапропеля со дна корзины при ее вращении. Определена относительная потеря сапропелем влаги за время подъема.

Предложена формула производительности предлагаемого обезвоживателя.

**Keywords:** sapropel, dehydration, centrifuge, conical dehydrator, performance.

The quality of nutrition greatly affects the development of animal industry. The deficiency of biologically active and mineral components may be compensated by a local resource – lake sapropel. One of the ways to increase the efficiency of production of vitamin feed supplements based on sapropel should be a fast and high-quality way to reduce the natural moisture content of sapropel. It is important to improve the technical means for the dehydration of sapropel in order to improve its quality characteristics. It is most advisable to use centrifugation for sapropel dehydration. Centrifugation is a process of phase separation under the action of centrifugal forces which are created in a rotating drum. The analysis of known designs of devices for centrifuging was conducted. A new device of continuous operation was proposed. The emptying the dehydrator basket from the dried mass of sapropel is done by the guide ribs set at a certain angle to the drum plane. As a result, the average rate of sapropel lifting from the drum bottom during its rotation was obtained. The relative loss of sapropel moisture during the lifting was determined. The performance formula of the new dehydrator is proposed.

**Игнатенков Валерий Геннадьевич**, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: well\_79@mail.ru

**Тельпук Михаил Борисович**, к.т.н., доцент каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: telpook@vgsa.ru.

**Лаппо Евгений Леонидович**, аспирант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: evgenij\_lappo@yantex.ru.

**Шлапаков Виктор Валерьевич**, магистрант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: shlapakov95@bk.ru.

**Иванов Евгений Александрович**, инженер, ООО Научно-производственное предприятие «Новые технологии телекоммуникаций», г. Санкт-Петербург. E-mail: stalker1290@mail.ru.

**Ignatenkov Valeriy Gennadyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: well\_79@mail.ru.

**Telpuk Mikhail Borisovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: telpook@vgsa.ru.

**Lappo Yevgeniy Leonidovich**, post-graduate student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: evgenij\_lappo@yandex.ru.

**Shlapakov Viktor Valeryevich**, master's degree student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: shlapakov95@bk.ru.

**Ivanov Yevgeniy Aleksandrovich**, Engineer, Research and Development enterprise ООО Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatие "Novye tekhnologii telekommunikatsiy", St. Petersburg. E-mail: stalker1290@mail.ru.

### Введение

Развитие отрасли животноводства тесно связано с совершенствованием кормовой базы и повышением качества кормления. При интенсивном выращивании сельскохозяйственных животных потребности в макро- и микроэлементах возрастают, и их дефицит по ряду биологически активных и минеральных веществ может быть восполнен за счет местных ресурсов – озерных сапропелей.

Результаты анализа существующих технологий использования сапропеля на кормовые добавки показали, что специфические условия формирования и залегания сапропеля приводят к образованию материала, богатейшие запасы которого используются слабо. Одним из путей повышения эффективности производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля должен стать быстрый и качественный способ снижения естественной влажности сапропеля до граничных условий начала его переработки перед скармливанием. Не менее важно последующее совершенствование технических средств для обезвоживания сапропеля с целью улучшения качественных характеристик этого ценного органического сырья.

Для обезвоживания сапропеля наиболее целесообразно использовать центрифугирование или шнековые прессы [1, 2]. Центрифугирование представляет собой процесс разделения фаз под действием центробежных сил, которые создаются во вращающемся барабане. Основным показателем работы является фактор разделения, характеризующий степень раздела фаз под действием центробежных сил в сравнении с аналогичным показателем под действием сил гравитации. По этому признаку центрифуги делятся на тихоходные, нормальные и скоростные.

Центрифуги подразделяются на два основных вида, один из них – это фильтрующие центрифуги, а другой – осадительные. В осадительных центрифугах стенки барабана не имеют перфорации и отделение фильтрата в этом случае происходит за счет осадения или всплытия осадка сапропеля. В фильтрующих центрифугах стенки барабанов перфорированы и покрыты изнутри фильтровальной перегородкой. Центрифуги более эффективно осушают шнековые фильтр-прессы, однако они требуют повышенного расхода энергии и поверхность фильтрования у них намного меньше. Центрифуги бывают периодического действия, работающие циклично и с ручной

выгрузкой осадка, и непрерывного, где осадок удаляется автоматически.

Центрифуги непрерывного действия делятся на аппараты с пульсирующей и шнековой выгрузкой осадка. При пульсирующей выгрузке твердая фаза удаляется из центрифуги во время обратного движения поршня. Предназначены для разделения жидкой и крупнодисперсной твердой фазы с размером частиц не менее 0,1 мм, а также с объемной их концентрацией, составляющей более 20%. Шнековая выгрузка осадка имеется у центрифуг, отделяющих твердую фазу с размерами частиц от 5 до 1000 микрон, при концентрации исходной суспензии по объему от 1 до 40%. Такие центрифуги, в зависимости от направления движения обезвоженного осадка и подаваемого на обработку, делятся на два типа – прямоточные и противоточные, различаясь также и формой ротора, который может иметь как коническую, так и цилиндрическую форму и быть расположенным вертикально или горизонтально. Осадительные центрифуги со шнековой выгрузкой, предназначенные для обезвоживания, разделяют высококонцентрированные суспензии с размерами частиц от 25 микрон, они отличаются высокой производительностью, и осадок после них имеет сравнительно низкую влажность, их фактор разделения составляет около 2000. Осадительные центрифуги универсального типа разделяют средне- и малоконцентрированные суспензии с размером частиц от 10 микрон и еще в большей степени отделяют твердую фазу от жидкой. Фактор разделения в этом случае находится в пределах от 2000 до 3000. Универсальный тип предназначен для разделения суспензий низкой концентрации от твердой фазы, находящейся в тонкодисперсном состоянии, и имеет фактор разделения более 2500 [4].

### Материалы и методы исследований

После анализа известных конструкций устройств для центрифугирования нами предлагается новое устройство непрерывного действия, где очистка корзины обезвоживателя от осушенной массы сапропеля производится направляющими ребрами, установленными под определенным углом к плоскости корзины.

Конический проволочный обезвоживатель сапропеля представляет собой корзину, обтянутую внутри водонепроницаемой тканью. Скорость вращения корзины варьируется, для этого использу-

ется электродвигатель с преобразователем частоты.

Добытый со дна озера сапропель имеет значительную влажность и непригоден сразу для использования при приготовлении кормовых добавок [3].

Для быстрого обезвоживания сапропеля нами изготовлено устройство, представляющее собой коническую корзину из металлической сетки с шестью ребрами жесткости, которые при вращении корзины создают эффект всасывания.

Верхний диаметр корзины внутри  $D_L = 285$  мм, нижний  $D_o = 207$  мм; длина образующей внутри  $L = 250$  мм. Наибольшее число оборотов  $n = 3000$  об/мин. Синус угла наклона образующей к геометрической оси корзины:

$$\sin \alpha = \frac{(D_L - D_o)}{2L} = 0,156.$$

Угол наклона образующей  $\alpha \approx 9^\circ$ .

Максимальная угловая скорость вращения корзины  $\omega = \frac{\pi n}{30} = 314$  рад/с.

### Результаты исследования

Обезвоживание сапропеля происходит следующим образом. На дно вращающейся корзины поступает сверху добытый сапропель. Под действием сил инерции он движется по образующей ткани кверху, теряя при этом жидкость. Жидкость сливается в поддон. При достижении верхнего края подсушенный сапропель выталкивается выступающими частями ребер жесткости наружу.

Для оценки потери влаги рассмотрим движение частиц сапропеля по образующей кверху.

Для скорости движения имеем дифференцированное уравнение Ньютона-Мещерского:

$$m \frac{dv}{dt} = m\omega^2 R \sin \alpha - mg \cos \alpha + \left( \frac{m\eta}{\rho R} \right) \frac{dv}{dR} + u_l \frac{dm}{dt}, \quad (1)$$

где  $m$  – текущая масса частицы, кг;

$v$  – скорость движения частицы по образующей, м/с;

$t$  – текущее время движения частицы от начала движения, с;

$R$  – радиальная координата частицы, м;

$g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$u_l$  – проекция скорости выхода влаги относительно частицы на образующую, м/с;

$\eta$  – вязкость сапропеля, Пас;

$\rho$  – плотность сапропеля, кг/м<sup>3</sup>.

Выход влаги происходит как в радиальном, так и осевом направлениях.

Поэтому:

$$u_l = u_R \sin \alpha - u_H \cos \alpha; \quad (2)$$

где  $u_R = u_{oR} + \omega^2 \int_0^t l \sin \alpha dt; \quad (3)$

$$u_H = u_{oH} - lgt, \quad (4)$$

где  $u_R$  – радиальная скорость выхода влаги, м/с;

$u_{oR}$  – начальная скорость;

$l$  – текущая длина образующей;

$u_H$  – осевая скорость выхода влаги;

$u_{oH}$  – начальная осевая скорость.

У дна корзины  $u_{oH} = 0$ .

Разделим равенство (1) на  $m$  и учтем, что:

$$R = R_0 + l \sin \alpha; \quad (5)$$

$$al = \langle v \rangle t, \quad (6)$$

где  $\langle v \rangle = t^{-1} \int_0^t v dt. \quad (7)$

Средняя скорость подъема на временном интервале  $(0, t)$ .

Проинтегрируем уравнение (1) по частям, заменив при этом интегралом скорость  $v$  на среднюю  $\langle v \rangle$ .

Получим приближенное равенство:

$$v = \omega^2 \left( R_0 t + \frac{1}{2} \langle v \rangle t^2 \sin \alpha \right) \sin \alpha - g \cos \alpha t + \frac{\eta v}{\rho(R_0 + \langle v \rangle t \sin \alpha)} \langle v \rangle \sin \alpha - \frac{\eta}{\rho(R_0 + \langle v \rangle t \sin \alpha) \sin \alpha} + \frac{\eta}{\rho R_0 \sin \alpha} + u_l \ln \left( \frac{m}{m_0} \right), \quad (8)$$

где согласно уравнениям (2)-(4):

$$u_l = \left( u_{oR} + \frac{1}{2} \omega^2 \langle v \rangle t^2 \sin \alpha \right) \sin \alpha - (u_{oH} g t) \cos \alpha. \quad (9)$$

Для оценки средней скорости вычислим среднее значение выражения (8).

После подстановки  $t = l/\langle v \rangle$ , получим:

$$\langle v \rangle = \omega^2 \left( \frac{1}{2} \frac{R_0 l}{\langle v \rangle} + \frac{1}{6} l^2 \sin \alpha \right) (\langle v \rangle) - \frac{\frac{1}{2} l g \cos \alpha}{\langle v \rangle} - \frac{\eta}{\rho R_0 \sin \alpha}. \quad (10)$$

При вычислении среднего от последнего члена в (8) вынесем за знак интеграла первичное значение функции  $\ln \left( \frac{m}{m_0} \right) = \ln \left( \frac{m_0}{m_0} \right) = 0$ .

Из квадратного уравнения, которое следует из (10), находим:

$$\langle v \rangle = \left( \left( \frac{\eta}{2\rho R_0 \sin \alpha} \right)^2 + \omega^2 \left( \frac{1}{2} R_0 l + \frac{1}{6} \sin \alpha l^2 \right) \sin \alpha - \frac{1}{2} g \cos \alpha l \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{\eta}{2\rho R_0 \sin \alpha}. \quad (11)$$

Зная длину  $l$  подъема сапропеля по образующей корзины из (11), находим среднюю скорость подъема  $\langle v \rangle$  и время подъема:

$$t = l / \langle v \rangle. \quad (12)$$

Оценим относительный выход влаги из сапропеля при его подъеме со дна корзины:

$$\mu = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - \frac{m}{m_0}. \quad (13)$$

Из (8) следует:

$$\ln \left( \frac{m_0}{m} \right) = \frac{w}{u_l} = k, \quad (14)$$

где

$$w = \omega^2 \left( R_0 t + \frac{1}{2} \langle v \rangle t^2 \sin \alpha \right) \sin \alpha - g \cos \alpha t + \frac{\eta v}{\rho(R_0 + \langle v \rangle t \sin \alpha)} \langle v \rangle \sin \alpha - \frac{\eta}{\rho(R_0 + \langle v \rangle t \sin \alpha) \sin \alpha} + \frac{\eta}{\rho R_0 \sin \alpha v}. \quad (15)$$

Из (9) при  $u_{0R} = \omega R_0$  и  $u_{0H} = 0$  получим:

$$u_l = \left( \omega R_0 + \frac{1}{2} \omega^2 \langle v \rangle t^2 \sin \alpha \right) \sin \alpha - g t \cos \alpha. \quad (16)$$

Из (13), (14) определим:

$$\mu = 1 - e^{-k}. \quad (17)$$

Тогда объёмная производительность обезвоживателя:

$$Q = \left( \frac{\pi D_L^2}{4} - S_{\Pi} \right) \langle v_L \rangle,$$

где  $S_{\Pi}$  – площадь сечения потока сапропеля, поступающего в корзину плоскостью верхнего края корзины;

$\langle v_L \rangle$  – средняя скорость сапропеля, выходящего из верхнего края.

Расчет относительного обезвоживания по формулам (11), (15)-(17) типичного сапропеля вязкостью  $\eta = 0,017$  Па и плотностью  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup> дает для установки с длиной, образующей  $l = L = 250$  мм, верхним диаметром корзины  $D_L = 285$  мм, нижним диаметром  $D_0 = 207$  мм и скоростью вращения 3000 об/мин. значение  $\mu = 0,86$ .

### Выводы

Это подтверждают проведенные эксперименты. Потеря влажности при таком значении показателя относительного обезвоживания достаточна для своевременной и эффективной подготовки сапропеля к использованию в качестве важного компонента при производстве витаминно-кормовых добавок для сельскохозяйственных животных.

### Библиографический список

1. Морозов В.В. Технология и комплекс машин для послыйной разработки сапропеля на удобрения (для условий Северо-Западной зоны РФ): дис. ... докт. техн. наук. – Великие Луки, 1995. – 347 с.

2. Карасев Ю.А. Повышение эффективности обезвоживания сапропеля естественной влажности путем совершенствования конструктивных и технологических параметров шнекового пресса: дис. ... канд. техн. наук. – Великие Луки, 1999. – 140 с.

3. Игнатенков В.Г. Повышение эффективности производства витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля путем обоснования конструктивных и технологических параметров смесителя-измельчителя: дис. ... канд. техн. наук / 05.20.01. – Великие Луки, 2005. – 180 с.

4. Быченков Д.М., Игнатенков В.Г., Лаппо Е.Л., Морозов В.В. Способ обезвоживания сапропеля с использованием пульпосгустителей. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4. – 5 с.

5. Морозов В.В., Игнатенков В.Г. Технология получения и использования витаминно-кормовой добавки на основе сапропеля // XXIII Российская школа по проблемам науки и технологий. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 4 с.

6. Морозов В.В., Милохин В.К. Механическое обезвоживание сапропеля // Информ. листок ЦНТИ. – Псков, 1993. – № 214-93 – 2 с.

7. Антипов С.О. Совершенствование технологических процессов использования сапропеля на кормовые добавки путем обоснования послыйной разработки залежи и конструктивных параметров смесителя: дис. ... канд. техн. наук. – Великие Луки, 1999. – 176 с.

8. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / под ред. И.М. Ялтанца. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. – 373 с.: ил.

**References**

1. Morozov V.V. Tekhnologiya i kompleks mashin dlya posloynoy razrabotki saptopelya na udobreniya (dlya usloviy Severo-Zapadnoy zony RF): dis. ... dokt. tekhn. nauk. – V. Luki, 1995. – 347 s.
2. Karasev Yu.A. Povyslenie effektivnosti obezvozhivaniya saptopelya estestvennoy vlazhnosti putem sovershenstvovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov shnekovogo pressa: dis. ... kand. tekhn. nauk. – V. Luki, 1999. – 140 s.
3. Ignatenkov V.G. Povyslenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove saptopelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Velikie Luki, 2005. – 180 s.
4. Bychenkov D.M., Ignatenkov V.G., Lappo E.L., Morozov V.V. Sposob obezvozhivaniya saptopelya s ispolzovaniem pulposgustiteley // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 4. – S. 148-152.
5. Morozov V.V., Ignatenkov V.G. Tekhnologiya polucheniya i ispolzovaniya vitaminno-kormovoy dobavki na osnove saptopelya // XXIII Rossiyskaya shkola po problemam nauki i tekhnologii. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. – 4 s.
6. Morozov V.V., Milokhin V.K. Mekhanicheskoe obezvozhivanie saptopelya // Inform. listok TsNTI. – No. 214-93. – Pskov, 1993. – 2 s.
7. Antipov S.O. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov ispolzovaniya saptopelya na kormovye dobavki putem obosnovaniya posloynoy razrabotki zalezhi i konstruktivnykh parametrov smesitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk. – V. Luki, 1999. – 176 s.
8. Shtin S.M. Ozernye saptopeli i ikh kompleksnoe osvoenie / pod red. I.M. Yaltantsa. – M.: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2005. – 373 s.: il.



УДК 621.43.031

**С.З. Инсафуддинов, Ф.Р. Сафин, Р.Р. Юльбердин, А.А. Якупова**  
**S.Z. Insafuddinov, F.R. Safin, R.R. Yulberdin, A.A. Yakupova**

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ  
 В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ МЕТОДИКОЙ БАШКИРСКОГО ГАУ**

**DIAGNOSTICS AND REGULATION OF FUEL EQUIPMENT OF DIESEL ENGINES IN FIELD CONDITIONS  
 BY THE TECHNIQUE OF THE BASHKIR STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY**

**Ключевые слова:** *аппаратура топливная, стенд регулировочный, подача цикловая, противодействие впрыску, устройство пропуска, устройство противодействия.*

Показатели работы дизелей в большей степени определяются техническим состоянием их топливной аппаратуры. Диагностирование и регулирование её производится в лабораторных условиях на регулировочных стендах с демонтажем с дизеля. Наиболее трудоемким

процессом является демонтаж и обратный монтаж топливной аппаратуры на дизель, а также затраты на транспортировку её в специализированные центры. В связи с этим большой интерес представляют методики диагностирования и регулирования топливной аппаратуры в полевых условиях. Для реализации возможности диагностирования и регулирования топливной аппаратуры в полевых условиях проводились соответствующие испытания на дизеле 4С11/13. При этом рейка топливного насоса высокого давления устанавливалась на макси-