

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2023. № 3 (72). С. 138–145.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov. 2023;3(72):138–145.

Научная статья

УДК 631.3: 663.4

doi: 10.34655/bgsha.2023.72.3.016

ФАКТОР РАЗДЕЛЕНИЯ В ВИБРАЦИОННО-ЦЕНТРОБЕЖНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИИ

Андрей Иванович Дарханов¹, Даба Нимаевич Раднаев²

^{1,2}Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

¹632002@mail.ru

²daba01@mail.ru

Аннотация. В данной публикации рассматривается актуальность использования в качестве корма для животных пивная дробина и процесс фильтрации суспензии в центробежном поле с применением поперечных осевых колебаний. Описывается один из основных параметров в теории динамического фильтрования как число Фруда F_r , которое также носит название как фактор разделения фильтруемого материала на жидкую и густую фракции. Далее приводится анализ влияния динамических параметров установки – ω_1 – частота вращения ротора, ω_2 – частота колебаний, A – амплитуда колебаний – на скорость фильтрования суспензии в силовом поле. В процессе проведенного теоретического анализа были получены численные значения фактора разделения фильтра при использовании перепада сил, действующих на движущуюся суспензию по криволинейной полой лопасти на жидкую и густую фракции как без вибрации, так и с вибрацией, также уравнения скорости фильтрования суспензии в силовом поле и производительности вибрационно-центробежной установки, зависящие от геометрических размеров высоты, длины, радиуса кривизны лопасти и кинематических параметров установки. Представлен вывод, учитывающий влияние динамических и геометрических параметров на процесс фильтрования. уравнение производительности.

Ключевые слова: суспензия, фильтрование, фактор разделения, частота вращения, частота колебаний, амплитуда колебаний, скорость фильтрования, производительность.

Original article

SEPARATION FACTOR IN A VIBRATION - CENTRIFUGAL SUSPENSION FILTRATION UNIT

Andrey I. Darkhanov¹, Daba N. Radnaev²

^{1,2}Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov, Ulan-Ude, Russia

¹632002@mail.ru

²daba01@mail.ru

Abstract. The article discusses the relevance of the brewer's spent grain usage as animal feed and the process of filtration of suspension in a centrifugal field using transverse axial vibrations.

In the article, one of the main parameters in the theory of dynamic filtration is described as the Froude number Fr , which is also called a factor of separation of the filtered material into liquid and thick fractions. An analysis of the influence of the dynamic parameters of a unit - ω_1 - the rotor frequency, ω_2 - the frequency of vibrations, A - the amplitude of vibrations - on the filtration rate of the suspension in the force field is provided. After the theoretical analysis, numerical values of the filtrate separation factor on liquid and thick fractions without vibration and with vibration were obtained, under the usage of the difference of forces acting on a moving suspension along a curved hollow blade. Also, the equations of the filtration rate of the suspension in a force field and performance of a vibration-centrifugal unit depending on the geometric dimensions of height, length, the radius of curvature of the blade and the kinematic parameters of the unit are provided. A conclusion is presented that takes into account the influence of dynamic and geometric parameters on the filtering process and the performance equation.

Keywords: suspension, filtration, separation factor, rotation frequency, oscillation frequency, oscillation amplitude, filtration rate, productivity.

Введение. По высокой усвояемости своих составных частей, их благоприятному влиянию на пищеварительную систему и крахмальному эквиваленту (1 : 3,6 %) пивная дробина является очень ценным кормом для скота; она благоприятно отражается на удойности. По питательной ценности 1 кг сухой пивной дробины соответствует 1 кг ячменя. Калорийность сырой пивной дробины – 115, сухой – 440 ккал [1].

Жидкость, отжатая из пивной дробины, может быть использована как лечебное средство скрепляющего действия при вскармливании телят с инфекционным расстройством органов пищеварения.

В решении проблемы утилизации отходов пивоваренного производства и реализации их в качестве кормовых добавок актуальным вопросом является разработка прогрессивного ресурсосберегающего оборудования.

Известно, что основным недостатком пивной дробины является относительно небольшой срок хранения из-за высокой влажности, создающий ряд проблем при её использовании, поэтому необходимо проводить обезвоживание пивной дробины в центрифугах с последующей сушкой или прессованием, что позволит длительное время хранить сухой корм до его реализации [1–3]. Но в настоящее время очень остро стоит проблема реализации отходов пивного, спиртового производств из-за отсутствия материальных средств в хозяйствах. Одним из путей решения этой проблемы может быть филь-

трация и седиментация суспензии, что позволит хранить и сохранять длительное время питательные свойства в виде сухого корма.

Процессы седиментации и фильтрации могут проходить пассивно под действием сил тяжести или разностей давлений жидкости до и за стеной перегородки. Большой эффект процесса можно получить изменением пористости и толщины слоя осадка на стенки перфорированного ротора. Процесс этот можно интенсифицировать, используя дополнительные силы, например, в центрифугах и других установках с активным рабочим органом.

С учетом вышесказанного следует отметить, что активное кинематическое воздействие на фильтрат в силовом поле вращения лопастного ротора центрифуги, в сравнении со статическими центробежными машинами, где ротор вращения выполнен в виде цилиндра или конуса (роторы осадочного типа), использующиеся в горной и химической промышленности, отличается по принципу приложенных динамических сил, воздействующих на суспензию [4]. Вместе с тем следует отметить, что на сегодня уже существуют такого типа установки, как ЦЛС-100, ЦЛС-200 (центробежно-лопастное сито) [5], лопастная центрифуга «Задрабай» (Чехия) [6], но без применения дополнительных динамических усилий на вращающееся центробежное поле, таких как осевые (поперечные) колебания, то есть вибрация.

Период нахождения суспензии внутри

рабочего органа – центробежно-лопастого ротора – гораздо меньше, чем в машинах другого типа исполнения ротора, а также не имеет устройств для выгрузки обработанного материала.

Все выше перечисленные способы воздействия динамических сил и существующие установки характеризуются таким важным параметром, как скорость фильтрации суспензий или понятием, как фактор разделения фильтрата на жидкую и густую фракции.

Метод исследования и условия движения суспензии по криволинейной лопасти в центробежном поле при воздействии осевых колебаний. Эффективность центрифуг оценивается по величине фактора разделения. Он характеризует превышение максимального центробежного ускорения твердых частиц в центрифуге над ускорением свободного падения, т.е. центробежное фильтрование сопоставляют с фильтрованием под гидростатическим давлением. По величине фактора разделения промышленные центрифуги делятся на нормальные (менее 3500) и скоростные, или сверхцентрифуги (более 3500) [7].

Одним из условий для эффективной интенсификации процесса разделения суспензии на жидкую и густую фракции в центробежном поле является использование перепада сил, действующих на движущуюся суспензию по криволинейной полой лопасти, в центробежном поле при воздействии осевых колебаний. Перепад сил, действующих на плоскость полой криволинейной лопасти при воздействии поперечных вращению осевых колебаний, интенсифицирует динамику сепарации суспензии с использованием внешнего возмущения, к примеру, осевую вибрацию как процесс интенсификации фильтрации суспензий в центробежном поле [8].

Ключевым фактором при воздействии перепада сил на рабочий орган можно принять период времени динамического разделения суспензии в центробежной установке, подобием которого является безразмерная величина, так называ-

емое безразмерное число Фруда F_r .

Число Фруда дает возможность описания действующих сил в силовом поле, развиваемых в центробежной установке, которые превышают силы гравитационного притяжения [9]:

$$F_r = \frac{\omega_1^2 \cdot r}{g}, \quad (1)$$

где ω_1^2 – угловая частота, с^{-1} ;

r – радиус центробежного поля, м;

g – ускорение свободного падения $\text{м}/\text{с}^2$.

Формула (1) применима для рабочих прямолинейных органов гравитационных силовых установок, для криволинейных же рабочих органов, с динамичными радиально расположенными направляющими, число Фруда можно представить в следующем виде [10]:

$$F_r = \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot v_r}{g}, \quad (2)$$

где v_r – скорость движения частицы в силовом поле гравитации, $\text{м}/\text{с}$.

Формула (2) описывает процесс перепада сил, действующих на суспензию во время движения по криволинейной поверхности лопасти от центра к периферии вращения ротора в силовом поле. При условии, когда рабочий орган выполнен в виде криволинейной поверхности с активным расположением, то фактор разделения, учитывая число Фруда, имеет вид:

$$F_r = \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot v_r + \omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi}{g}, \quad (3)$$

где $\omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi$ – выражение, учитывающее силу трения при движении суспензии по криволинейной поверхности лопасти.

При использовании осевых поперечных колебаний на вращающийся ротор, что способствует интенсивному разделению движущегося материала по криволинейной поверхности лопасти, с учетом действующих сил число Фруда равно:

$$F_r = \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot v_r + \omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi}{g \cdot \left(1 - \frac{A \cdot \omega_2^2 \cdot \sin \omega_2 \cdot t}{g}\right)}, \quad (4)$$

где составляющая $1 - \frac{A \cdot \omega_2^2 \cdot \sin \omega_2 \cdot t}{g}$

описывает действующие силы перепада давления при применении на вращающийся ротор с динамическими лопастями поперечных осевых колебаний, что способствует интенсификации процесса фильтрации материала;

где величины: A – амплитуда осевых колебаний, мм ;

ω_2 – частота осевых колебаний, c^{-1} .

Формула (4) включает в себя величины A , ω_2 , отображающие изменения процесса сепарации суспензии в силовом гравитационном поле как без осевых колебаний, так с применением осевых колебаний, дающие возможность для теоретического анализа изменения числа Фруда (табл. 1 и 2), где столбцы 1, 2, 3, 4 – это количество секторов вывода влаги за перфорированной сеткой, разделяющих лопасть от центра к периферии вращения ротора.

Таблица 1 – Изменения числа Фруда (F_r) без вибрации, при $\omega_1 = 52,36 c^{-1}$, $\omega_2 = 0, c^{-1}$ $A = 0$ мм

	1	2	3	4
F_r	65,56	65,34	65,24	65,02
$t \cdot 10^{-3}, c$	15,07	30,27	43,45	60,90

Таблица 2 – Изменения числа Фруда (F_r) с вибрацией, при $\omega_1 = 52,36 c^{-1}$, $\omega_2 = 62,83, c^{-1}$ $A = 4$ мм

	1	2	3	4
F_r	69,68	89,62	69,27	69,15
$t \cdot 10^{-3}, c$	15,59	31,38	45,32	63,26

Далее определяется динамика интенсификации процесса сепарации суспензии на жидкую и густую фракции [11]:

$$v_{\phi} = \frac{k}{\mu} \cdot \rho_t \cdot g \cdot F_r \quad (5)$$

где: v_{ϕ} – величина, описывающая динамику сепарации фильтрата, м/с ;

μ – величина, учитывающая вязкость материала, $10^{-6} m^2/c$;

k – коэффициент пропускаемости влаги через фильтрат;

ρ_t – концентрация суспензии, г / cm^3 .

Значение k находится опытным путем расположения суспензии на перфорированной сетке, что дает численное значение коэффициента пропускаемости влаги через фильтрат в статических условиях [12]:

$$k = \frac{0,246 \cdot B^3}{S^2 (1-B)^2}, \quad (6)$$

где B – доля твердой фракции в суспензии ($B \approx 0,7$);

S – величина удельной поверхности частицы 1/м.

$$S = 6/d, \quad (7)$$

где d – эквивалентный диаметр частицы.

Учитывая значения k и S , получаем выражение:

$$v_{\phi} = \frac{0,246 \cdot B^3 \cdot d^2}{36 \cdot (1-B)^2 \cdot \mu} \cdot \rho_t \cdot g \cdot F_r \quad (8)$$

При отсутствии воздействия осевой вибрации получим:

$$v_{\phi} = \frac{0,246 \cdot B^3 \cdot d^2}{36 \cdot (1-B)^2 \cdot \mu} \cdot \rho_t \cdot (2\omega_1 \cdot v_r + \omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi) \quad (9)$$

При использовании осевых колебаний в силовом гравитационном поле на процесс сепарации суспензии процесс динамики фильтрования окончательно имеет вид и описывается выражением:

$$v_{\phi} = \frac{0,246 \cdot B^3 \cdot d^2}{36 \cdot (1-B)^2 \cdot \mu} \cdot \rho_t \cdot \left(\frac{2\omega_1 \cdot v_r + \omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi}{1 - \frac{A \cdot \omega_2^2 \cdot \sin \omega_2 \cdot t}{g}} \right) \quad (10)$$

Выражение (10) представлено с учетом значений A , ω_2 , учитывающих динамические величины установки, а также

значения собственных свойств фильтруемого материала d , μ , ρ_t , что в итоге можем определить величину, описывающую динамику сепарации фильтрата.

Далее определяем объём суспензии, подвергающийся фильтрованию в единицу времени как показатель производительности [8-13];

$$V_{\phi} = \xi \cdot F \cdot v_{\phi} \quad (11)$$

где F – площадь фильтрационной поверхности лопасти, m^2

ξ – удельная площадь отверстий фильтрационной поверхности;

$$\xi = \frac{S_{от8}}{F_e} \cdot n \quad (12)$$

$S_{от8}$ – площадь одного отверстия фильтрационной поверхности, m^2 ;

F_e – величина площади фильтрационной поверхности, m^2 ;

n – количество отверстий на фильтрационной поверхности.

$$F = H_{л} \cdot S_r \quad (13)$$

$H_{л}$ – высота лопасти, m .

Высоту перфорированной плоскости лопасти вращающегося ротора определяем с учетом высоты распределения материала во время вращения в цилиндрическом роторе, где фильтрат при распределении вдоль стенки поверхности имеет криволинейную форму в виде параболы:

$$H_{л} = \frac{\omega_1^2 \cdot r}{2g} \quad (14)$$

При условии, когда процесс фильтрации происходит по криволинейной поверхности лопасти, динамически расположенной на роторе, и суспензия движется от центра к периферии вращения, высота лопасти выражается как:

$$H_{л} = \frac{v_a^2}{2g} \quad (15)$$

v_a – динамическая величина перемещения суспензии по криволинейной поверхности рабочего органа установки, m/s .

По теореме косинусов v_a равно [12]:

$$v_a = \sqrt{v_e^2 + v_r^2 - 2v_e \cdot v_r \cdot \cos v_e \wedge v_r} \quad (16)$$

Принимая во внимание (14), получим:

$$H_{л} = \frac{v_e^2 + v_r^2 - 2v_e \cdot v_r \cdot \cos v_e \wedge v_r}{2g} \quad (17)$$

Выражение (17) будет неполным, так как не учитывается величина амплитуды. В итоге имеем вид:

$$H_{л} = \frac{v_e^2 + v_r^2 - 2v_e \cdot v_r \cdot \cos v_e \wedge v_r}{2g} \cdot K_1 + A \cdot K_2 \quad (18)$$

K_1, K_2 – безразмерные величины, учитывающие время динамического процесса фильтрации [14]:

$$K_1 = \frac{t}{T_1} \quad (19)$$

$$K_2 = \frac{t}{T_2}, \quad (20)$$

где t – временной период движения суспензии по криволинейной поверхности лопасти рабочего органа установки, s ;

T_1 – временной период одного оборота ротора, s ;

T_2 – временной период одного колебания, s .

Величины K_1 и K_2 характеризуют временной период движения суспензии по криволинейной поверхности лопасти вращающегося ротора, что влияет на производительность вибрационной центрифуги.

Для определения высоты криволинейной лопасти используем величину единовременно находящегося фильтрата в рабочем органе установки τ , выбираем значения от 0,6 до 0,8. Далее τ , высота рабочей криволинейной поверхности $H_{л}$ в итоге будет иметь вид:

$$H_{л} = \frac{1}{\tau} \cdot \left(\frac{v_e^2 + v_r^2 - 2v_e \cdot v_r \cdot \cos(90 - \varphi)}{2g} \cdot K_1 + A \cdot K_2 \right) \quad (21)$$

С учетом полученных значений $H_{л}$, S_r , v_{ϕ} (21) окончательно формула производительности объёма суспензии, подвергающейся фильтрованию в единицу времени, принимает вид V_{ϕ} , m^3/c [16]:

$$V_{\phi} = \xi \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \left(\frac{v_e^2 + v_r^2 - 2v_e \cdot v_r \cdot \cos(90 - \varphi)}{2g} \cdot K_1 + A \cdot K_2 \right) \cdot \left(\frac{1}{4} \pi \left(r - \frac{1}{16} \cdot r \cdot f^2 \right) \right) \cdot \left(\frac{0,246 \cdot B^3 \cdot d^2}{36(1-B)^2 \cdot \mu} \cdot \rho_1 \cdot \left(\frac{2\omega_1 \cdot v_r + \omega_1^2 \cdot r \cdot \sin \varphi}{1 - \frac{A \cdot \omega_2^2 \cdot \sin \omega_2 \cdot t}{g}} \right) \right) \quad (22)$$

В таблицах 3 и 4 приведены данные изменения производительности установ-

ки, в зависимости кинематических параметров ω_2 , A .

Таблица 3 – Изменение производительности V_ϕ установки без вибрации, при $\omega_1 = 52,36 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 0 \text{ с}^{-1}$, $A = 0 \text{ мм}$

Показатели	1	2	3	4
$V_\phi \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{с}$	15,2	14,5	14,2	14,1
$t \cdot 10^{-3}, \text{ с}$	15,1	30,5	43,5	60,9

Таблица 4 – Изменение производительности V_ϕ установки с вибрацией, при $\omega_1 = 52,36 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 62,83 \text{ с}^{-1}$, $A = 4 \text{ мм}$.

Показатели	1	2	3	4
$V_\phi \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{с}$	16,0	15,4	15,3	15,2
$t \cdot 10^{-3}, \text{ с}$	15,6	31,4	45,3	63,3

Результаты и обсуждение. Динамическое воздействие на суспензию, движущуюся по лопасти в горизонтальном центробежном поле, при воздействии поперечных осевых колебаний рассматривается как процесс динамической фильтрации, являющейся частью теории фильтрования. Осадок и фильтровальная перегородка рассматриваются как пористые среды, оказывающие сопротивление через них ламинарному потоку жидкости [10]. Действующие силы по обеим сторонам перегородки лопасти создают избыточное давление на фильтрат, то есть сила, действующая на суспензию до перегородки лопасти, при вращении лопастного ротора подпрессовывает фильтрат, а вакуум, образованный за перегородкой, этому способствует, вследствие чего период фильтрования сокращается. Далее, чтобы разрушить подпрессованный слой фильтрата на перегородке лопасти вращающегося ротора, используются дополнительно силы вибрации, поперечные движению фильтрата по перегородке в центробежном горизонтальном поле, что способствует разрушению подпрессованного слоя суспензии.

В итоге следует отметить, что при таком способе силового воздействия, как вибрация, период фильтрования материала сокращается, а производительность увеличивается, при этом влагосодержание фильтрата снижается.

Заключение. На основании прове-

дённых теоретических исследований и преобразований были выявлено выражение изменения числа Фруда с учетом применения вибрации на центробежном поле вращения. Динамика процесса фильтрования суспензии представлена в таблицах 1 и 2, где процесс фильтрации суспензии рассматривается как без, так и с вибрацией. Также получены уравнения скорости фильтрования v_ϕ и производительности V_ϕ вибрационно-центробежной установки, зависящие от кинематических параметров установки ω_1 – частоты вращения ротора, ω_2 – частоты колебаний, A – амплитуды осевых колебаний как с вибрацией, так без вибрации, таблиц 3 и 4. Далее было получено выражение для определения высоты H_ϕ лопасти с учетом величин K_1 и K_2 , характеризующих временной период движения суспензии по криволинейной поверхности лопасти вращающегося ротора и амплитуды осевых колебаний A . В итоге вышеизложенное позволяет сделать вывод, что процесс фильтрации суспензии в центробежном поле с применением вибрации, где распределенный равномерный по толщине слой движется по криволинейной поверхности лопасти позволяет интенсифицировать процесс характеризующимися значениями фактора разделения суспензии на жидкую и густую фракции без вибрации $F_T = 60,9$, с вибрацией $F_T = 63,3$.

Список источников

1. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И.Г. Голубев [и др.]. Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.
2. Батищева Н.В. Инновационные способы утилизации пивной дробины // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 6. С. 10–14. URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1121>
3. Балашов О.Ю., Утолин В.В., Лузгин Н.Е. Особенности получения пресованных кормов из побочных продуктов пивоваренного производства // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 1 (22). С. 50–54. EDN: PGPJH
4. Экспериментально-теоретическое исследование оборудования и технологии для пищевых производств. Кемерово : Изд-во Кузбасского политехнического института, 1985. 141 с.
5. Интенсификация процессов и оборудования пищевых производств. Л.: Изд. ЛТИ им. Ленсовета, 1987. 145 с.
6. Дудка А.А. Обоснование технологического процесса и параметров вибрационного фильтра для разделения навоза на фракции: дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 1984.
7. Николаев В.Н. Условия эффективно-го разделения пивной дробины в вибрационно-центробежной центрифуге // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. №1 С. 88-92. EDN: YXZMUX
8. Аснер В.И. Исследование движения дискретной величины в виброцентрифуге // Вибротехника. 1973. № 33. С. 289-293.
9. Аснер В.И., Каминский В.С., Ключко Г.П. и др. Конструкция и расчеты фильтрующих центрифуг. Москва : Недра, 1976. 216 с.
10. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. Москва : Химия, 1968. 411 с.
11. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. Москва : Машиностроение, 1966. 523 с.
12. Леонтьев П.И., Дарханов А.И. Обеспечение постоянной относительной скорости движения материальной частицы по лопатке вращающегося диска // Вестник Челябинского агроинженерного университета. 1994. № 1. С. 5.
13. Стабников В.Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Киев: Вища школа, 1982. 199 с.

14. Дарханов А.И. Разработка и обоснование основных параметров вибрационно-центробежной установки для разделения пивной дробины на жидкую и густую фракции: дис.... кандидата технических наук. Челябинск, 1994. EDN: NLISTZ

References

1. Recycling of waste in the agro-industrial complex: handbook / I.G. Golubev [et al.]. Moscow : Rosinformagrotech, 2011. 296 p. (In Russ.)
2. Batishcheva N.V. Innovative ways of recycling beer pellets. *Scientific Review. Technical sciences*. 2016;6:10-14 (In Russ.)
3. Balashov O.Yu., Utolin V.V., Luzgin N.E. Peculiarities of extruded feed receiving from byproducts of the brewing industry. *Agrarnyi vestnik Verhnevolzhya*. 2018;1(22):50-54 (In Russ.)
4. Experimental and theoretical research of equipment and technology for food production. Kemerovo: Publishing House of the Kuzbass Polytechnic Institute, 1985 (In Russ.)
5. Intensification of processes and equipment of food production. L: Publishing house of LTI im. Lensovet, 1979. 51 p. (In Russ.)
6. Dudka A.A. Substantiation of the technological process and parameters of the vibration filter for the separation of manure into fractions. Candidate's dissertation abstract. Kharkiv, 1984 (In Russ.)
7. Nikolaev V.N. The conditions for the efficient separation of spent grains vibration and centrifugal centrifuge. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2019;1:88-92 (In Russ.)
8. Asner V.I. Investigation of the motion of a discrete quantity in a vibrating centrifuge. *Vibrotechnika*. 1973;33:289-293 (In Russ.)
10. Asner V.I., Kaminsky V.S., Klochko G.P., etc. Design and calculations of filter centrifuges. Moscow. Nedra, 1976. 216 p. (In Russ.)
11. Zhuzhikov V.A. Filtering. Theory and practice of suspension separation. Moscow. Chemistry, 1968. 411 p. (In Russ.)
12. Sokolov V.I. Modern industrial centrifuges. Moscow. Mashinostroenie, 1966. 523 p. (In Russ.)
13. Leontiev P.I., Darkhanov A.I. Ensuring a constant relative velocity of a material particle along the blade of a rotating disk. *Vestnik Chelyabinskogo Agrozhenernogo Universiteta*. 1994;1:5 (In Russ.)

14. Stabnikov V.N. Design of processes and devices of food production. Kiev, 1982. 199 p. (In Russ.)

vibration-centrifugal installation for separating beer pellets into liquid and thick fractions. Candidate's Dissertation (In Russ.)

15. Darkhanov A.I. Development and substantiation of the main parameters of a

Информация об авторах

Александр Иванович Дарханов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»;

Даба Нимаевич Раднаев – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов».

Information about the authors

Alexander I. Darkhanov – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Chair of Electrification and Automation of Agriculture;

Daba N. Radnaev – Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Professor, Chair of Mechanization of Agricultural Processes.

Статья поступила в редакцию 07.06.2023; одобрена после рецензирования 16.07.2023; принята к публикации 22.08.2023.

The article was submitted 07.06.2023; approved after reviewing 09.07.2023; accepted for publication 22.08.2023.