Тип статьи: научная
УДК 621.521
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-7-16

# ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

***Юрий Викторович Родионов*** [1]***, Дмитрий Вячеславович Никитин*** [2]***,***
***Григорий Вячеславович Рыбин*** [3]***, Александр Викторович Щегольков*** [4]***,***
***Игорь Александрович Елизаров*** [5]***, Михаил Сергеевич Блохин*** [6]
[1,2,3,4,5] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2,6] *Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru,* [2] *vacuum2008@yandex.ru,* [3]*enot1237@gmail.com*
[4]*energynano@yandex.ru,* [5]*elial68@yandex.ru,* [6]*mig@tstu.ru*

Автор ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, enot1237@gmail.com
Corresponding author: Grigory Rybin, enot1237@gmail.com

***Реферат.*** *Обосновано применение одно- и двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуумных насосов комбинированного типа для процессов АПК: сушки, экстрагирования, вакуумного выпаривания и транспортирования растительных материалов.*

*Сформулирована цель статьи, заключающаяся в разработке метода теоретического расчета для выбора жидкостнокольцевых вакуумных насосов комбинированного типа для представленных процессов. Представлены ученые, которые занимались и продолжают в настоящее время исследования данной проблемы. Описана общая методика расчёта быстроты действия с поправкой на коэффициент подачи и геометрических параметров жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН). Описана технологическая схема процессов двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушки (ДКВИС), экстрагирования и обосновано применение для них двухступенчатого ЖВН. Представлена методика расчёта быстроты действия исходя из технологических параметров используемых аппаратов. Также описана методика определения быстроты действия для ДКВИС и экстрагирования в случае применения импульсного воздействия на перерабатываемый растительный материал. Обоснована рациональность создания импульсов при ДКВИС в дополнительной ёмкости или одном корпусе (при использовании многокорпусного аппарата). Описана технологическая схема процесса вакуумного транспортирования сухого сыпучего растительного материала. Предложено использовать для данного процесса одноступенчатый ЖВН. Описана методика подбора вакуумного насоса исходя из требуемой производительности и расхода воздуха. На основании представленных материалов сделаны выводы и заключение.*

***Ключевые слова:*** *вакуумные насосы, транспортирование, сушка, экстрагирование, выпаривание, эффективная мощность, быстрота действия.*

# LIQUID RING VACUUM PUMPS OF A COMBINED TYPE FOR ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR PROCESSING PLANT RAW MATERIALS

***Yuri Rodionov*** [1]***, Dmitry Nikitin*** [2]***, Grigory Rybin*** [3]***, Alexander Shchegolkov*** [4]***,***
***Igor Elizarov*** [5]***, Mikhail Blokhin*** [6]
[1,2,3,4,5] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1,2,6] *Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]*rodionow.u.w@rambler.ru,* [2] *vacuum2008@yandex.ru,* [3]*enot1237@gmail.com*
[4]*energynano@yandex.ru,* [5]*elial68@yandex.ru,* [6]*mig@tstu.ru*

***Abstract.*** *The use of one- and two-stage liquid ring vacuum pumps of a combined type for agricultural processes is justified: drying, extraction, vacuum evaporation and transportation of plant materials. The purpose of the article is formulated, which is to develop a method of theoretical calculation for the selection of liquid ring vacuum pumps of a combined type for the presented agricultural processes. Scientists who have been and are currently continuing research on this problem are presented. The general methodology for calculating the speed of action, adjusted for the flow rate and geometric parameters of a liquid ring vacuum pump (LVN), is described. The technological scheme of the processes of two-stage convective-vacuum-pulse drying (DCVID) and extraction is described and the use of a two-stage liquid-vitrochemical drying agent for them is justified. A method for calculating the speed of action based on the technological parameters of the devices used is presented. A method for determining the speed of action for DKVIS and extraction in the case of using pulsed action on the processed plant material is also described. The rationality of creating pulses during DCVIS in an additional container or one housing (when using a multi-body apparatus) is substantiated. A technological scheme of the process of vacuum transportation of dry bulk plant material is described. It is proposed to use a single-stage liquid liquid pump for this process. A method for selecting a vacuum pump based on the required performance and air flow is described. Based on the presented materials, conclusions and conclusions are drawn.*

***Keywords:*** *vacuum pumps, transportation, drying, extraction, evaporation, effective power, speed of action.*

**Для цитирования:** Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Рыбин Г.В., Щегольков А.В., Елизаров И.А., Блохин М.С. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа для энергоэффективных технологических процессов переработки растительного сырья // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 7-16. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-7-16.

**For citation:** Rodionov Yu., Nikitin D., Rybin G., Shchegolkov A., Elizarov I., Blokhin M. Liquid ring vacuum pumps of a combined type for energy-efficient technological processes of processing plant raw materials. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 7-16. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-7-16.

**Введение.** Технологические процессы сушки, экстрагирования, выпаривания и транспортирования широко применяются в АПК.В частности, сушка используется при заготовке семенного фонда, производства чипсов, транспортирование – дляперемещения сухих сыпучих растительных материалов, экстрагирование и выпаривание используют для производства напитков, продуктов питания и лекарств [1-5]. Для сохранения биологически активных веществ (БАВ), повышения качества готовых продуктов, снижения взрыво- и пожароопасности, повышения производительности эти процессы часто проводят с использованием вакуума. В качестве машин, создающих вакуум целесообразно использовать жидкостнокольцевые вакуумныенасосы (ЖВН) [6-8].

Расчетом и проектированием ЖВН занимались ученые ВГУ им. Н.Э. Баумана, ФГБОУ ВО «КГТУ» [9,10]. В настоящее время продолжают исследования ЖВН совместно с процессами АПК: доение, хранение, сушка, экстрагирование, выпаривание, измельчение и транспортирование учеными ФГВОУ ВО «ТГТУ» [11-16]. Также ведутся исследования в данном направлении за рубежом [17]. В лаборатории НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнологии им. Ю. Г. Скрипникова» созданы экспериментальные установки по определению предельного давления, быстроты действия, энергетических затрат и других рабочих характеристик различных типов ЖВН. Проводятся испытания по сокращению потерь на трение, потерь мощности сжатия в процессе работы вакуумных насосов в одном и двухступенчатом исполнении.

**Объекты и методы исследований**. Объектами исследований являлись одно- и двухступенчатые жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированной модификации (ЖВН КМ). Их основное отличие от насосов классической конструкции состоит в наличии механизма регулировки проходного сечения нагнетательного окна и кинематического замыкания лопаток вращающегося корпуса с лопатками рабочего колеса. Исследовались теоретические зависимости

рабочих характеристик и геометрических размеров от требуемых технологических параметров конкретных процессов АПК. Использовались классические методы математического анализа, моделирования и выведения теоретических закономерностей.

**Результаты и их обсуждение**. Подбор вакуумного насоса начинаем с определения действительной быстроты действия (БД) жидкостнокольцевого вакуумного насоса $S_{Д}$ (м$^3$/с) комбинированноймодификации (ЖВН КМ), требуемой для конкретного процесса, которая определяется как произведение теоретической БД на коэффициент подачи:

$$S_{Д} = S_{Т} \cdot \lambda_{П}, \quad (1)$$

где $S_{Т}$ – теоретическая быстрота действия, м$^3$/с; $\lambda_{П}$ – коэффициент подачи.

Для одноступенчатого ЖВН КМ используем формулу без изменений. В дальнейшем индексом «1» будем обозначать величины, определяемые для первой ступени, «2» - для обеих.

Для первой ступени двухступенчатого ЖВН КМ:

$$S_{Д1} = S_{Т1} \cdot \lambda_{П1}. \quad (2)$$

Для двух ступеней двухступенчатого ЖВН КМ:

$$S_{Д2} = S_{Т1} \cdot \lambda_{П1} \cdot \lambda_{П2}, \quad (3)$$

или

$$S_{Д2} = S_{Д1} \cdot \lambda_{П2}. \quad (4)$$

Коэффициент подачи ЖВН КМ и ДЖВН КМ в ступенях определяется:

$$\lambda_{П1} = 1 - \lambda_{З}, \quad (5)$$

где $\lambda_{З}$ – коэффициент, учитывающий потери в результате испарения. Данный коэффициент определяется зависимостью:

$$\lambda_{З} = \frac{V_{исп} \cdot z}{\pi(r_{22}^2 - r_1^2)b\psi}, \quad (6)$$

где $V_{исп}$ – объем испарившейся жидкости, м$^3$;$z$ – количество лопаток рабочего колеса; $r_{22}$ – радиус внутренней поверхности жидкостного кольца, м; $r_1$ – радиус ступицы рабочего колеса, м;

$b$– ширина ступени, м; $\psi$ – коэффициент, учитывающий уменьшение рабочего объёма за счёт толщины лопаток.

Затем на основании представленных механизмов определения быстроты действия проводим расчёт геометрических параметров жидкостнокольцевого вакуумного насоса по следующему алгоритму:

1. Определяем теоретическую быстроту действия первой ступени:

$$S_{Т1} = \frac{S_{Д2}}{\lambda_{П1}}. \quad (7)$$

2. Принимаем относительный радиус ступицы рабочего колеса

$$\upsilon = \frac{r_1}{r_2}. \quad (8)$$

3. Принимаем

$$Н = \frac{b_0}{r_2} = 2, \quad (9)$$

где $b_0$– ширина рабочего колеса, м.

4. Находим наружный радиус лопаток рабочего колеса:

$$r_2 = \sqrt{\frac{2S_{Д1}}{\psi \upsilon_2 H(1-\upsilon^2)}}\,. \qquad (10)$$

5. Далее определяем частоту вращения рабочего колеса

$$n_2 = \frac{\upsilon_2}{2\pi r_2}\,. \qquad (11)$$

6. Рассчитываем угловую скорость из соотношения:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}\,. \qquad (12)$$

7. Ширину второй ступени находим из соотношения:

$$b_2 = 0,4b_1\,. \qquad (13)$$

Для одноступенчатого ЖВНпроизводится аналогичный расчёт первой ступени.

В двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушке (ДКВИС) растительных материалов жидкостнокольцевой вакуумный насос используется для интенсификации процесса во второй ступени процесса сушки, когда осуществляется ее второй период. Схема установки сушки растительных материалов представляет собой взаимосвязь двух сушилок - конвективной со взвешенным слоеми вакуумного шкафа, к которому подключен ДЖВН КМс линией рециркуляции и охлаждения рабочей жидкости.

Выбор ЖВН КМначинаемс создания им устойчивого предельного давления разрежения. Величина давления разрежения понижает температуру кипения жидкости, что влияет на качество высушиваемого растительного материала [18-19]. При этом давление разрежения должно быть таким, чтобыкипение жидкости происходило при температуре ниже критического значения для термолабильных биологически активных веществ (БАВ).Для большинства растительных материалов эта температура – около 60°С. Для обеспечения кипения жидкости давлениев вакуумном шкафу должно быть не более 13 кПа. Для лекарственных растений температура денатурации не превышает 40 °С, а для части из них не более 30 °С. По предельному давлению разрежения выбираются одно или двухступенчатая конструкция ЖВН для процессов АПК:

$$p = p_0\left[\frac{V_{во}}{S_{Т2}} + \left(1 - \frac{V_{вс}}{S_{Т2}}\right)e^{-at}\right], \qquad (14)$$

где $p$ – предельное давление разрежения, кПа; $p_0$ –начальное давление разрежение в вакуумной камере, $p_0 = p_{атм}$, кПа; $V_{во}$ –объём аппарата, заполонённый воздухом, м$^3$; $S_{Т2}$ – теоретическая быстрота действия ДЖВН, м$^3$/с; $t$–время, за которое должно быть достигнуто разрежение, с;

$a$ – коэффициент, определяемый из соотношения:

$$a = \frac{S_{Д2}}{V_{вс}}\,. \qquad (15)$$

Для ДКВИС далее определяем ДЖВН КМ по типоразмеру, который характеризуется быстротойдействия. Она рассчитывается в зависимости от производительности ДКВИС.В конвективно-вакуумно-импульснойсушилке (КВИС) с помощью ДЖВН КМимеемдве стадии:

- первая стадия: нагрев теплоносителем-воздухом растительного материала до температуры кипения влаги под давлением разрежения в растительном материале при условииминимальной потериБАВ;

-вторая стадия: вакуумирование до данного давления разрежения и выдержка под ним шкафа.

Это позволяет интенсивно удалять влагу из растительного материалакипением. Для первой стадии процесса целесообразно использовать только первую ступень ДЖВН. На стадии вакуумирования, соответственно, используем полную мощность насоса. Рациональную скорость продувки назначаем в пределах 3-6 м/с. Ее диапазон выбирается взависимости отмассы и формы

растительного материала.Действительная быстрота действия первой ступени ДЖВН КМ определяем поформуле [20]:

$$S_{Д1} = \sum_{i=1}^{j} F_i \cdot \varepsilon \cdot v_{прод.}\ , \qquad (16)$$

где $F_i$ – площадь $i$ – го лотка, м$^2$; ε - порозность высушиваемого материала на лотках;

$v_{прод.}$ - скорость продувки материала, м/с; $j$ – количество лотков, шт.

По принятомуранее алгоритму имея быстроту действия, рассчитываем геометрические параметры и подбираем насос.

Для интенсификации процесса сушкивозможно применение вакуумных импульсов. Определяем время набора вакуума, соответственно, время импульса в сушильном шкафу [12]:

$$t = \frac{V_{С.Ш.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (17)$$

где $V_{С.Ш.}$ – объем вакуумного шкафа с трубопроводами, м$^3$; $p_0$ ,$p_к$ – начальное и конечное давление разрежения в вакуумной камере, кПа.

Однако, как правило быстрота действия ДЖВН не позволяет создать необходимую величину импульсов. Рациональное использование типоразмера ДЖВН КМ возможно за счёт применения отельной емкости для импульсов или внедрение многокорпусной вакуумной сушилки. В этом случае время импульса для отдельной ёмкости определяем по формуле (16), для одного корпуса по формуле (17):

$$t = \frac{V_{Д.Е.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (18)$$

где $V_{Д.Е.}$ – объёмдополнительной ёмкости, равной ёмкости лотка, м$^3$.

Для многокорпусной сушилки:

$$t = \frac{V_{О.К.}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}\ , \qquad (19)$$

где $V_{О.К.}$ – объёмодного корпуса, м$^3$.

Это позволяет не увеличивать быстроту действия ДЖВН КМ, и, соответственно, типоразмер для осуществления импульсов, что существенно сокращает материальные затраты на создание вакуумного насоса. Следующим этапом, ведем расчет мощности ДЖВН КМ. Применение регулируемого нагнетательного окна второй ступени и вращающегося корпуса первой в данной конструкции позволяет экономить до 30% энергозатрат [20].

При проектировании аппаратного комплекса для вакуумного экстрагирования также рационально использовать ДЖВН КМ. Как правило процесс экстрагирования совмещаем с выпариванием. Принципиальная схема установки для вакуумного экстрагирования состоит из рабочей ёмкости, в которую помещаются растительный материал и экстрагент, ёмкости для сбора дистиллята, соединяющего их холодильника и трубопроводов.

Вакуум создающийся ДЖВН КМ также позволяет кипеть экстрагенту при определенной температуре, что интенсифицирует процесс без потери БАВ.Фактическая быстрота действия ДЖВН КМ определяется из условия откачки парогазовой смеси из верхней части емкости экстрактора за один оборот рабочего колеса.

БД ДЖВН КМ для процесса экстрагирования:

$$S_{Д2} = V_{ввэ} \cdot \omega\ , \qquad (20)$$

где $V_{ввэ}$– верхнийвоздушный объем рабочей ёмкости экстрактора, незаполненный экстрагентом, м$^3$; ω – угловая скорость, с$^{-1}$.

Причем воздушный объём экстракционной установки, из которого он выкачивается с парогазовой смесью считаем, как:

$$V_{ввэ} = V_э - V_ж, \quad (21)$$

где $V_э$ – рабочий объём экстрактора, м$^3$; $V_ж$ – объём жидкости, м$^3$.

С учётом коэффициента $k_1$ потерь на верхнюю перфорированную сетку, трубопровод и заслонку:

$$S_{Д2} = V_{ввэ} \cdot \omega \cdot k_1, \quad (22)$$

где $k_1$ – коэффициент, учитывающий потери, варьируется в переделах 0,8-1.

Также для интенсификации экстрагирования проводим определение вакуумных импульсов для сухого материала. Определяем время набора вакуума, соответственно, время импульса как:

$$t = \frac{V_{ввэ}}{S_{Д2}} \cdot \ln \frac{p_0}{p_к}, \quad (23)$$

где $V_{ввэ}$ – объем вакуумного шкафа с трубопроводами, м$^3$; $p_к$ – начальное и конечное давление разрежение в рабочей камере, кПа.

Количество импульсов определяется экспериментально для соответствующих экстрактов. Влияние импульсов по сухому и влажному материалу во время работы подлежит исследованию.

При проектировании вакуумного выпаривания также выгодно использовать ДЖВН КМ. БД ДЖВН КМ для процесса выпаривания:

$$S_{Д2} = V_{вв} \cdot \omega, \quad (24)$$

где $V_{вв}$ - воздушный объём выпарного аппарата, м$^2$.

Воздушныйобъем определяется при условии максимального объёма жидкости в начальный момент выпаривания, то есть до образования определенного количествауперенногоэкстракта в концентрат (гель) по формуле:

$$V_{вв} = V_е - V_{нагр} - V_ж, \quad (25)$$

где $V_е$ – объём, занимаемый ёмкостью выпаривания, м$^3$; $V_{нагр}$ – объём, занимаемый нагревателем, м$^3$; $V_ж$ – объём, занимаемый жидкостью, варьируется от максимального, до минимального значения в зависимости от степени упаривания м$^3$.

Вводим коэффициент $k_2$ учитывающий образование концентрата (геля)

$$S_{Д2max} = V_{вв} \cdot \omega \cdot k_2, \quad (26)$$

$k_2$ – коэффициент, учитывающий образование концентрата (геля), варьируется в пределах 0,8-1.

Для транспортирования растительных порошков наиболее целесообразно использовать одноступенчатые ЖВН КМ. Такжеэтот насос можно использоватьв качестве вакуумного жидкостного пневмотранспорта. Он определяется, как и другие процессы АПК на базе ДЖВН КМ–экстрагирование, выпаривании, сушка.

Принципиальная схема системы вакуумного транспорта сухих сыпучих растительных порошков состоит из заборного устройства, через которое материал попадает в транспортный трубопровод, а затем в циклонный фильтр, отделяющий материал от потока воздуха, который после этого попадает в пылеуловитель и затем в вакуумный насос.

При вакуумном транспортировании дополнительно возможна подсушка растительного материала.

Расход воздуха [м$^3$/с] в вакуумном транспорте определяем по формуле:

$$Q_в = \frac{G_M \cdot \upsilon_{кр}^2}{2 \cdot p_0}, \quad (27)$$

где $G_M$ – производительность установки по растительному сыпучему материалу, кг/с; $\upsilon_{кр}$ – средняя скорость материала в системе, м/с.

Принимаем:

$$Q_в = S_{Д1}\,. \tag{28}$$

$S_{Д1}$определяем по формуле (2).

Условие подачи воздуха вакуумным насосом проверяем:

$$Q_в \le S_ф(p)\,, \tag{29}$$

где $S_ф(p)$ – фактическая быстрота действия (производительность) при полученном давлении всасывания, м$^3$/с.

Далее производим расчёт по представленному выше алгоритму.

**Заключение.** Технологические процессы вакуумной сушки, вакуумного экстрагирования, вакуумного выпаривания, вакуумного транспортирования широко применяются в АПК. Для создания вакуума в них наиболее целесообразном является одно- и двухступенчатые жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа. Первым параметром по выбору вакуумного насоса для перечисленных процессов является создания устойчивого предельного разрежения. Для энергоэффективных процессов сушки, экстрагирования и выпаривания желательно использовать двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос комбинированного типа для транспортирования сухих растительных порошков в АПК – одноступенчатый жидкостнокольцевой вакуумный насос комбинированного типа. Представлены основные и дополнительные зависимостиопределения быстроты действия предложенных для конкретного процесса жидкостнокольцевых вакуумных насосов. На основании предложенных зависимостей предлагается методикаопределения основных геометрических параметров вакуумных насосов.

**Список источников**

1. Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий / И. В. Иванова, Т. В. Белкина, М. В. Белоглазова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 1(9). – С. 43-47. – EDN WNFZSL.

2. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции. Под ред. Н.К. Синха, И.Г. Хью. Пер. с англ., СПб.: Профессия, 2014, 896 с.

3. Á. Calín-Sánchez, L. Lipan, M. Cano-Lamadridand etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. Foods. 2020.No 9(9). 1261. DOI: 10.3390/foods9091261.

4. Зорин, А. С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зорин Александр Сергеевич, 2019. – 156 с. – EDN UUXHCZ..

5. Гуськов, А. А. Совершенствование технологии и технических средств экстрагирования растворимых веществ из растительного сырья: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата ехнических наук / Гуськов Артем Анатольевич, 2019. – 136 с. – EDN EDXKRS.

6. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, А. В. Кобелев [и др.] // Инновационная техника и технология. – 2017. – № 1(10). – С. 9-15. – EDN YIOSSH.

7. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. Г. Однолько, И. В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6(20). – С. 106-110. – EDN RGTFLL.

8. Технико-экономическое обоснование применения жидкостно-кольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном при транспортировании сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, П. С. Платицин, Е. С. Вдовина, Д. А. Чернецов //

Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 1(15). – С. 92-99. – EDN YKSXRH.

9. Автономова, И. В. Исследование ротационных жидкостнокольцевыхвакуумкомпрессоров: дис. … канд. техн. наук / Автономова Инна Владиславовна. – М., 1972. – 166 с.

10. Райзман, И.А. Жидкостнокольцевые вакуум-насосы и компрессоры / И.А. Райзман.– Казань, 1995. – 258 с.: ил.

11. Никитин, Д. В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никитин Дмитрий Вячеславович. – Тамбов, 2010. – 158 с. – EDN QEZDID.

12. Родионов, Ю. В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2013. – 434 с. – EDN SUUYUH.

13. Иванова, Е. П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения : специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Иванова Екатерина Петровна, 2016. – 151 с. – EDN ZTHEJC.

14. Родионов, Ю. В. Влияние конструктивно-технологических параметров на эффективность работы жидкостнокольцевых вакуум-насосов / Ю. В. Родионов, М. М. Свиридов, Д. В. Никитин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2007. – Т. 50. - № 5. – С. 102 - 104. – EDN IANONL.

15. Родионов, Ю. В. Комбинированная конструкция жидкостно-кольцевого вакуумного насоса для технологических процессов АПК / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин, Г. В. Рыбин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 2. – С. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.

16. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D.V.Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55. – No 5-6. – Pp. 473-479. – DOI 10.1007/s10556-019-00648-z.

17. L. Bommes, R. Grundmann, K. Klaes, C. Kramer. Effects of blade design on centrifugal fan noise and performance. // Noise Control Engineering Journal. – 1995. - Vol. 43(4), Pp. 91-101.

18. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ / Д. А. Матвеев, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 1. – С. 164-172. – EDN EZPXZZ.

19. Технологическая линия изготовления функциональных продуктов питания на основе растительного сырья / Ю. В. Родионов, Н. В. Майстренко, А. И. Скоморохова, Д. С. Алексенцев // Инновационная техника и технология. – 2021. – Т. 8, № 4. – С. 48-53. – EDN LOJBYR.

20. Родионов, Ю. В. Обоснование выбора вакуумных насосов для конвективной вакуумной ступени сушки растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. Г. Однолько, И. В. Попова // Вопросы современной науки и практики. Университетим. В.И. Вернадского. – 2009. – № 6(20). – С. 106-110. – EDN RGTFLL.

## References

1. Use and production of fruit and vegetable additives in the production of flour, confectionery and bakery products / I. V. Ivanova, T. V. Belkina, M. V. Beloglazova [etc.] // Technologies of food and processing industry of agro-industrial complex - products healthy eating. – 2016. – No. 1(9). – pp. 43-47. – EDN WNFZSL.

2. Handbook for producers and processors of fruits and vegetables. Ed. N.K. Sinha, I.G. Hugh. Per. from English, St. Petersburg: Profession, 2014, 896 p.

3. B. Calín-Sánchez, L. Lipan, M. Cano-Lamadridand etc. Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. Foods. 2020. No. 9(9). 1261. DOI: 10.3390/foods9091261.

4. Zorin, A. S. Improving the technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Zorin Alexander Sergeevich, 2019. – 156 p. – EDN UUXHCZ.

5. Guskov, A. A. Improving the technology and technical means of extracting soluble substances from plant raw materials: specialty 05.20.01 “Technologies and means of agricultural mechanization”: dissertation for the academic degree of Candidate of Technical Sciences / ArtemAnatolyevichGuskov, 2019. – 136 With. – EDN EDXKRS.

6. Increasing the efficiency of mechanization of transportation of dry bulk plant materials / Yu. V. Rodionov, V. P. Kapustin, A. V. Kobelev [etc.] // Innovative technology and technology. – 2017. – No. 1(10). – P. 9-15. – EDN YIOSSH.

7.Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu. V. Rodionov, V. G. Odnolko, I. V. Popova // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6(20). – pp. 106-110. – EDN RGTFLL.

8. Feasibility study of the use of a liquid ring vacuum pump with an automatically adjustable discharge window when transporting bulk plant materials / Yu. V. Rodionov, P. S. Platitsin, E. S. Vdovina, D. A. Chernetsov // Food Technologies and the processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2017. – No. 1(15). – P. 92-99. – EDN YKSXRH.

9. Avtonomova, I.V. Research of rotary liquid-ring vacuum compressors: dis. ...cand. tech. Sciences / Avtonomova Inna Vladislavovna. – M., 1972. – 166 p.

10. Raizman, I.A. Liquid ring vacuum pumps and compressors / I.A. Raizman. – Kazan, 1995. – 258 pp.: ill.

11. Nikitin, D. V. Improving designs and ensuring the specified operational characteristics of liquid ring vacuum pumps: specialty 02/05/13 “Machines, units and processes (by industry)”: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Nikitin Dmitry Vyacheslavovich. – Tambov, 2010. – 158 p. – EDN QEZDID.

12. Rodionov, Yu. V. Improvement of theoretical calculation methods and justification of parameters and modes of liquid ring vacuum pumps taking into account the features of technological processes in the agro-industrial complex: specialty 05.20.01 "Technologies and means of mechanization of agriculture": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Rodionov Yuri Viktorovich. – Tambov, 2013. – 434 p. – EDN SUUYUH.

13. Ivanova, E. P. Development of technology for the preparation of dry sourdough based on plant raw materials for the production of functional bakery products: specialty 05.18.01 “Technology of processing, storage and processing of cereals, legumes, cereal products, fruits and vegetables and viticulture”: dissertation for the academic degree of Candidate of Agricultural Sciences / Ivanova Ekaterina Petrovna, 2016. – 151 p. – EDN ZTHEJC.

14. Rodionov, Yu. V. Influence of design and technological parameters on the efficiency of liquid ring vacuum pumps / Yu. V. Rodionov, M. M. Sviridov, D. V. Nikitin // News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology. – 2007. – T. 50, No. 5. – P. 102-104. – EDN IANONL.

15. Rodionov, Yu. V. Combined design of a liquid ring vacuum pump for technological processes of the agro-industrial complex / Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin, G. V. Rybin // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University them. P.A. Kostycheva. – 2022. – T. 14. – No. 2. – P. 166-176. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020.

16. Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D.V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. – 2019. – Vol. 55. – No. 5-6. – P. 473-479. – DOI 10.1007/s10556-019-00648-z.

17. L. Bommes, R. Grundmann, K. Klaes, C. Kramer. Effects of blade design on centrifugal fan noise and performance. Noise Control Engineering Journal, 1995, Vol. 43(4), pp. 91-101.

18. Liquid extraction of plant materials with maximum preservation of biologically active substances / D. A. Matveev, Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin [etc.] // Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. – 2021. – No. 1. – P. 164-172. – EDN EZPXZZ.

19. Technological line for the production of functional food products based on plant raw materials / Yu. V. Rodionov, N. V. Maistrenko, A. I. Skomorokhova, D. S. Aleksentsev // Innovative technology and technology. – 2021. – T. 8, No. 4. – P. 48-53. – EDN LOJBYR.

20. Rodionov, Yu. V. Justification for the choice of vacuum pumps for the convective vacuum stage of drying plant materials / Yu. V. Rodionov, V. G. Odnolko, I. V. Popova // Questions of modern science and practice. University named after IN AND. Vernadsky. – 2009. – No. 6(20). – pp. 106-110. – EDN RGTFLL.

**Информация об авторах**

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; Г.В. Рыбин – магистрант; А.В. Щегольков – кандидат технических наук, доцент;
И.А. Елизаров – кандидат технических наук, доцент; М.С. Блохин – аспирант.

**Information about the authors**

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Nikitin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Rybin – master’s student; A. Shchegolkov – candidate of technical sciences, associate professor; I. Elizarov – candidate of technical sciences, associate professor; M. Blokhin - graduate student.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
***Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.***
**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 13.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.12.2023