Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, Associate Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, email: vacuum2008@yandex.ru.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 25.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 27.02.2022

УДК 621.516
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69

АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРИВОДА КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

[1,2]Никитин Дмитрий Вячеславович
[1,2]Родионов Юрий Викторович
[1]Рыбин Григорий Вячеславович
[1]Воронин Николай Владимирович
[1]Галкин Павел Александрович
[1]Иванов Олег Олегович

[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

Реферат. *Применение вакуумных технологий и оборудования в процессах переработки продукции сельского хозяйства позволяет существенно снизить потери биологически активных веществ и функциональных компонентов в конечном продукте. В работе рассмотрены жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН). Существенным недостатком ЖВН является низкий КПД (порядка 50 %), что обусловлено гидравлическими потерями на трение жидкости о неподвижный корпус насоса и перерасходом мощности на сжатия газовой фазы. Предложена новая конструкция комбинированного ЖВН с кинематическим замыканием и регулируемым нагнетательным окном (ЖВН КМ). Установлено, что конструкция позволяет уменьшить затраты мощности на трение рабочей жидкости о корпус; на начальных режимах работы – минимизировать пересжатие и перетекание газовой фазы из области нагнетания в область всасывания; на предельных режимах работы – обеспечить вытеснение газовой фазы из рабочей полости и исключить эффект «запирания», сопровождаемый дестабилизацией рабочего процесса. Представлен типоразмерный ряд ЖВН КМ для различных технологических процессов. Для ЖВН КМ особо большой быстроты действия предложено осуществлять рабочий процесс посредством вращения корпуса с лопатками через спроектированный привод. Описана схема и методика расчета привода на основании ГОСТов и известных методик расчёта зубчатого зацепления. С целью снижения массогабаритных показателей ЖВН КМ предложено изготавливать детали привода и насоса из полимерных материалов с последующим упрочнением магнито-термическим способом.*

Ключевые слова: *жидкостнокольцевой вакуумный насос, повышение эффективности, механический привод, зубчатая передача, мультипликатор, методика расчета.*

ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE DRIVE OF THE COMBINED DESIGN OF A SINGLE-STAGE LIQUID RING VACUUM PUMP

[1,2]Nikitin Dmitry
[1,2]RodionovYuriy
[1]Rybin Gregory

[1]Voronin Nikolay
[1]Galkin Pavel
[1]Ivanov Oleg

[1]FSBEI HE "Tambov State Technical University"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"

Abstract. *The use of vacuum technologies and equipment in the processing of agricultural products can significantly reduce the loss of biologically active substances and functional components in the final product. Liquid ring vacuum pumps (LHVN) are considered in the work. A significant disadvantage of the LHVN is its low efficiency (about 50%), which is due to hydraulic losses due to friction of the liquid against the stationary pump casing and excessive power consumption for compressing the gas phase.*

A new design of a combined LHVN with a kinematic lock and an adjustable discharge window (LHVN KM) is proposed. The design allows to reduce the power consumption for the friction of the working fluid against the body; in the initial modes of operation - to minimize over compression and overflow of the gas phase from the injection area to the suction area; at limiting operating modes - to ensure the displacement of the gas phase from the working cavity and eliminate the effect of "locking", accompanied by destabilization of the working process. A standard size range of LHVN KM for various technological processes is presented. For LHVN KM of especially high speed of action, it is proposed to carry out the working process by rotating the body with blades through the designed drive. The scheme and methodology for calculating the drive on the basis of GOSTs and known methods for calculating gearing are described. In order to reduce the weight and size parameters of the LHVN KM, it is proposed to manufacture drive and pump parts from polymeric materials with subsequent hardening by a magneto-thermal method.

Keywords: *liquid ring vacuum pump, efficiency improvement, mechanical drive, gear, multiplier, calculation method.*

Введение. Вакуумная техника с каждым годом получает все более широкое распространение в процессах переработки продукции сельского хозяйства: сушка, экстрагирования и выпаривание. Применение вакуума в указанных процессах позволяет существенно снизить потери биологически активных веществ и функциональных компонентов в конечном продукте (высушенном сырье, экстрактах, концентратах) [1]. Вакуумные системы применяются для перемещения сыпучих и жидких материалов (мука, зерно, молоко, горюче-смазывающие жидкости и пр.). Такие системы обладают рядом преимуществ: снижение травмируемости, перемещаемого сырья, обеспечение требуемых норм взрывобезопасности при транспортировании мелкодисперсных растительных материалов, высокие санитарно-гигиенические условия и отсутствие технологических нарушений воздушной среды [2].

Широкое распространение в качестве самостоятельных откачных средств, а также устройств для создания разрежения в технологических линиях и установках АПК получили жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН). Насосы этого типа способны откачивать газы, содержащие пары и капельную жидкость, работать в условиях загрязнения рабочей жидкости инородными включениями, отсутствие масла в рабочем пространстве позволяет не загрязнять откачиваемый газ парами масла. При этом ЖВН характеризуются простой конструкции, надежностью в эксплуатации и низким уровнем шума.

Вместе с тем существенным недостатком ЖВН является низкий КПД (порядка 50 %), что обусловлено гидравлическими потерями на трение жидкости о неподвижный корпус насоса и перерасходом мощности на сжатия газовой фазы. Снижение этих потерь является одной из важнейших задач в проектировании новых высокоэффективных конструкций ЖВН. Также в существующих трудах недостаточно описываются методики расчета привода ЖВН особо большой быстроты действия.

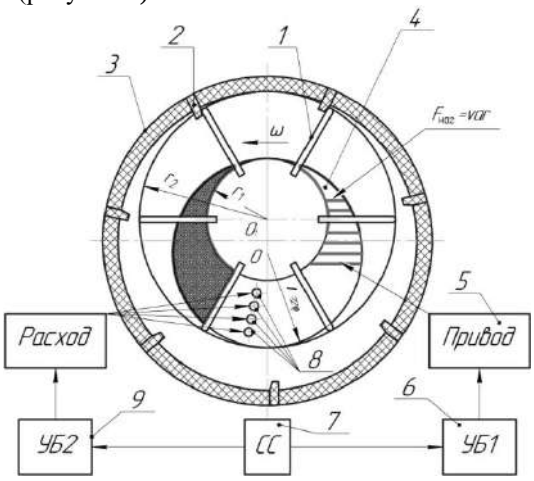
Цель работы: разработка комбинированной конструкции ЖВН и методики расчёта привода для ЖВН особо большой быстроты действия.

Материалы и методы

Проектированием новых конструкций и разработкой методик расчета ЖВН для процессов АПК занимаются российские ученые Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Наумов В.А. [3-5], изучением

и интенсификацией процессов АПК с использованием ЖВН Рудобашта С.П., Дмитриев В.М., Зорин А.С., Иванова И.В., Иванова Е.П. и др. [6-12].

Для снижения гидравлических потерь и мощности на сжатие газовой фазы в ЖВН на кафедре «Механика и инженерная графика» ТГТУ была разработана конструкция комбинированного жидкостнокольцевого вакуумного насоса (ЖВН КМ) с регулируемым нагнетательным окном и кинематическим замыканием (рисунок 1).



1 – Рабочее колесо, 2 – лопатки корпуса, 3 – корпус, 4 - нагнетательное окно, 5 – привод, 6,9 – блоки управления, 7 – система слежения за параметрами рабочего процесса, 8 – штуцеры для подачи дополнительной рабочей жидкости

Рисунок 1 – Принципиальная схема ЖВН КМ

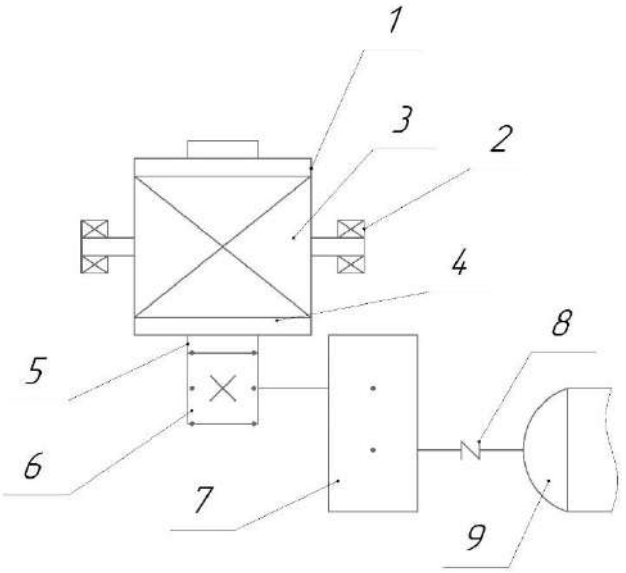
В ЖВН КМ рабочее колесо с лопатками передаёт вращение лопаткам, вращающегося вместе с рабочей жидкостью корпуса, что обеспечивает существенное снижение затрат мощности на трение рабочей жидкости о корпус. Механизм регулирования проходного сечения нагнетательного окна по мере создания вакуума изменяет размер проходного сечения. Это позволяет: на начальных режимах работы вакуум-насоса – исключить пересжатие газовой фазы и перетекание газовой фазы из области нагнетания в область всасывания; на предельных режимах работы насоса – обеспечить вытеснение газовой фазы из рабочей полости и исключить эффект «запирания» вакуумного насоса, сопровождаемый дестабилизацией рабочего процесса. Во всасывающей области расположены штуцеры, через которые подаётся дополнительная рабочая жидкость, с целью снижения перетечек откачиваемого газа из области сжатия в область всасывания.

Для различных технологических процессов АПК разработаны 12 типоразмеров ЖВН КМ (таблица 1). Для ЖВН КМ особо большой быстроты действия (типоразмеры 10,11,12, таблица 1) с целью повышения КПД и снижения потребляемой мощности предложено осуществлять вращение за корпус с помощью механического привода (рисунок 2).

Таблица 1 – Геометрические параметры ЖВН КМ типоразмерного ряда

Быстрота действия S, [м^3/ч]	Малая			Средняя			Большая			Особо большая		
Типо-размер / Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радиус рабочего колеса *r*, мм	45	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
Радиус корпуса *R*, мм	54	96	144	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Эксцентриситет *e*, мм	9	16	24	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Число лопаток на рабочем колесе z_1	7	12	12	15	15	20	20	25	25	30	30	35
Число лопаток на корпусе z_2	6	10	10	12	12	16	16	20	20	24	24	28
Передаточное отношение U_{12}	0,875	0,83(3)	0,83(3)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Относительный эксцентриситет ε	0,16(6)	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25



1 – корпус, 2 – подшипниковые опоры, 3 – лопатки рабочего колеса, 4 – лопатки корпуса, 5 – зубчатое колесо, 6 – шестерня, 7- мультипликатор, 8 – муфта, 9 – асинхронный электродвигатель

Рисунок 2 – Схема привода ЖВН КМ

Схема предлагаемого привода ЖВН КМ состоит из корпуса 1 с лопатки 4 на подшипниковых опорах 2. Корпус с лопатками осуществляет вращение рабочего колеса 3 посредством кинематического замыкания (аналог зубчатого зацепления). Посредством внешнего зацепления прямозубой цилиндрической передачи, состоящей из венца зубчатого колеса 5 и шестерни 6, находящейся на выходном (быстроходном) валу мультипликатора 7, происходит вращения корпуса 1 с лопатками 4. Входной (тихоходный) вал мультипликатора через муфту 8 соединен с асинхронным электродвигателем 9.

Результаты и их обсуждение. Расчет зацепления открытой зубчатой пары в приводе корпуса ЖВН КМ ведется из условия первоначального производства венца. Первоначально задается размер корпуса, на который устанавливается зубчатый венец (наружный диаметр) и передаточное число зацепления U, а также кинематические и динамические характеристики звеньев n_i,- частота вращения [мин$^{-1}$], ω_i– угловая скорость [с$^{-1}$], P_i,- мощность [Вт], T_i,- вращающий момент [Н·м]. Число зубьев Z_1 – шестерни передачи определяется из условия плавности и надежности, принимается равным $Z_1 = 21$.

Делительный диаметр d_2 зубчатого венца определяется как

$$d_2 = d_0 + 6m \quad (1)$$

где d_0– внутренний диаметр венца – наружный диаметр корпуса ЖВН КМ, мм; m – модуль зацепления, мм;

Определим модуль зацепления по формуле:

$$m = \sqrt[3]{\frac{3T_1 K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{FS} Y_{ES}}{(z_1 \psi_m [\sigma_F]}} \quad (2)$$

где $K_{F\alpha}$, $K_{F\beta}$, K_{FS} – коэффициенты расчётной нагрузки в расчётах по напряжениям изгиба; Y_{ES} – коэффициент формы зуба; ψ_m– коэффициент ширины колеса по модулю; σ_F – напряжение в сечении вблизи хорды основной окружности, МПа.

Мелкомодульные колеса с большим числом зубьев предпочтительнее по условию плавности хода передачи (поскольку увеличивается коэффициент торцового перекрытия ε_α) и экономичности [13]. Вместе с тем силовые воздействия оказывают существенное влияние на прочность, что ограничивает применение модуля для передачи кинематического замыкания менее *1,5 мм*, а число зубьев шестерни ограничивается числом *21*, что ранее определило выбор Z_1.

Полученный модуль округляем до стандартного значения. Затем считаем диаметр шестерни зацепления, как

$$d_1 = m \cdot Z_1 \quad (3)$$

Осуществляем проверку звеньев зубчатой пары на допускаемые контактные напряженияσ_H и напряжения перегрузки$\sigma_{\text{H}max}$, как

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{H}max} \leq [\sigma_{Hmax}] \quad (5)$$

где $[\sigma_H]$ – максимальное допускаемое контактное напряжение, МПа;$[\sigma_{\text{H}max}]$ – максимальное напряжение перегрузки, МПа.[14]

Определяем передаточное отношение привода:

$$i_{\text{привода}} = i_{\text{ц.з.п}} \cdot i_{\text{м}} = 1 \quad (6)$$

где $i_{\text{ц.з.п}}$ – передаточное отношение цилиндрической зубчатой передачи, $i_{\text{м}}$ – передаточное отношение мультипликатора.

Определяем d_2 зубчатого венца, как дополнительное условие.

$$d_1 = m \cdot Z_1 \quad (7)$$

$$d_2 = m \cdot Z_2 = d_0 + 5{,}5m \quad (8)$$

где d_0 – внутренний диаметр корпуса.

Определяем потери в кинематической цепи привода ЖВН КМ, т.е. КПД:

$$\eta_0 = \eta_{\text{ЖВН КЗ}} \cdot \eta_{\text{зз}}^{\text{внеш}} \cdot \eta_{\text{мульт}} \cdot \eta_{\text{м}}, \quad (9)$$

где $\eta_{\text{кз}}$ – КПД кинематического замыкания, $\eta_{\text{зз}}^{\text{внеш}}$ – КПД внешнего зубчатого зацепления, $\eta_{\text{мульт}}$ – КПД мультипликатора, $\eta_{\text{м}}$ – КПД муфты.

Определяем мощность электродвигателя:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{ЖВН КМ}}}{\eta_0} \quad (10)$$

где $P_{\text{ЖВН КМ}}$ – мощность ЖВН КМ.

Общее передаточные отношение привода принимаем равным *1*, т.е. передаточное число U_0 = *1*, тогда частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв}} = n_1 \cdot U_0 \quad (11)$$

То есть

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{\pi n_{\text{д}}}{30} \quad (12)$$

$$n_{\text{раб. лоп}} = n_{\text{дв}} \quad (13)$$

Вращающий момент электродвигателя определяем по формуле:

$$T_{\text{э}} = \frac{P_{\text{э}}}{\omega} \quad (14)$$

На основании полученных данных подбираем характеристики стандартного асинхронного электродвигателя [15].

Характеристики *n, ω, P, T* по валам определяем, предварительно подобрав передаточные отношения механизмов

$$U_0 = U_{\text{зз}}^{\text{внутр}} \cdot U_{\text{зз}}^{\text{внеш}} \cdot U_{\text{м}} \quad (15)$$

где $U_{\text{зз}}^{\text{внутр}}$ – передаточное число внутреннего зубчатого зацепления, $U_{\text{зз}}^{\text{внеш}}$ – внешнего зубчатого зацепления, $U_{\text{м}}$ – передаточное число мудьтипликатора.

Из условия $U_0 = 1$ внутреннее зацепление лопаток рабочего колеса о лопатки корпуса рассчитано в зависимости от быстроты действия *S* ЖВН [16].

$U_{\text{зз}}^{\text{внутр}}$определено $U_{\text{зз}} = \alpha$.

Далее определяем мультипликатор по $T_э$, с передаточным числом $U= 0,5 – 0,8$, $U_м = \delta$.

Определяем передаточное число внешней зубчатой открытой передачи с

$$1 = \alpha \cdot c \cdot \delta \quad (16)$$

$$c = \frac{1}{\alpha \cdot \delta} \quad (17)$$

где α – передаточное отношение между лопатками рабочего колеса и лопатками ротора, δ – передаточное отношение мультипликатора.

Находим

$$U_{зуб.зуб.}^{внеш} = c \quad (18)$$

Далее рассчитываем кинематические и динамические характеристики по валам привода по формулам, представленным в таблице 2.

Таблица 2 –Формулы для определения кинематических и динамических характеристик по валам привода

N п/п	Характеристики по валам	Первый вал	Второй вал	Третий вал
1	Мощность, кВт	$P_1 = P_2 \cdot \eta_{ЖВН}$	$P_2 = P_3 \cdot \eta_{з.з}$	$P_з = P_э \cdot \eta_м \cdot \eta_{мульт}$
2	Частота вращения, мин$^{-1}$	$n_1 = \frac{n_2}{U_{з.з}}$	$n_2 = \frac{n_3}{U_{з.з}}$	$n_з = \frac{n_4}{U_{мульт}}$
3	Угловая скорость, с$^{-1}$	$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30}$	$\omega_2 = \frac{\pi n_2}{30}$	$\omega_3 = \frac{\pi n_3}{30}$
4	Крутящий момент, Н·м	$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$	$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2}$	$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3}$

В конце расчёта проверяем динамические и кинематические характеристики на валу ЖВН КМ с рассчитанными параметрами вакуумирования, определенными по методике эффективной мощности вакуумного насоса.

Для снижения массы, стоимости и металлоёмкости всей конструкции предлагается изготавливать некоторые детали, а именно открытую зубчатую передачу и лопатки рабочего колеса, из полимерных материалов, упрочненных посредством магнито-термического внедрения частиц внутрь поверхности изделия полимерного материала [17].

Расчёт лопаток кинематического замыкания осуществляется по условиям прочности зубьев рабочего колеса и корпуса по контактным напряжениям и напряжениям изгиба. При этом должно соблюдаться условие прочности [18].

Заключение. В статье разработана новая конструкция ЖВН КМ и описана методика расчёта привода ЖВН КМ особо большой быстроты действия на основании действующих методик и стандартов расчёта зубчатых зацеплений.

Для улучшения массогабаритных показателей ЖВН КМ предложено изготавливать детали привода и насоса из полимерных материалов с последующим упрочнением магнито-термическим способом.

Список литературы

1. Матвеев Д.А., Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Рыбин Г.В., Данилин С.И. Жидкостное экстрагирование растительных материалов с максимальным сохранением биологически активных веществ // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. - №1. – С. 164-172

2. Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов /П.С. Платицин и др. // Научно- теоретический журнал «Инновационная техника и технология». Пенза. 2017. № 1 (10). С.9-15

3. Родионов, Ю.В. Повышение эффективности и эксплуатационных характеристик двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуумнасосов: дис.… канд. техн. наук: 05.04.09: защищена 14.06.00: утв. 10.11.00 / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2000. – 135 с.

4. Никитин, Д.В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов: дис. … канд. техн. наук: 05.02.13: защищена 31.10.10: утв. 11.03.2011 / Никитин Дмитрий Вячеславович. – Тамбов, 2010. – 158 с.

5. Наумов, В. А. Производительность вакуумных рыбонасосных установок большой мощности / В. А. Наумов, Н. Л. Великанов, А. А. Землянов // Рыбное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 101-105. – DOI 10.37663/0131-6184-2020-4-101-105.

6. Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта "мичуринская" / С. П. Рудобашта, А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства : Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, Москва, 22–23 мая 2018 года. – Москва: Издательство "Перо", 2018. – С. 189-196.

7. Жидкостнокольцевые вакуум-насосы для тепло- и массообменных процессов / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, М. А. С. Махмуд [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27. – № 3. – С. 428-441. – DOI 10.17277/vestnik.2021.03.pp.428-441.

8. Попова, И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попова Ирина Викторовна. – Мичуринск, 2009. – 18 с.

9. 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" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Иванова Екатерина Петровна. – Мичуринск, 2016. – 22 с.

10. Родионов, Ю. В. Вакуумные технологии и оборудование для переработки сельскохозяйственного сырья / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации: Материалы 72-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 20 апреля 2021 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 326-331.

11. Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы для сельского хозяйства / М. В. Сычев, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин [и др.] // Наука в центральной России. – 2018. – № 5(35). – С. 61-70.

12. Технология вакуумно-импульсного экстрагирования растворимых веществ из крапивы и хмеля / А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, С. А. Анохин [и др.] // Инновационная техника и технология. – 2018. – № 2(15). – С. 23-27.

13. ГОСТ 13733-77. Колёса зубчатые цилиндрические мелкомодульные прямозубые и косозубые. Типы. Основные параметры и размеры. – Взамен ГОСТ 13733-68; Введ. с 01.01.78 по 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 5 с.

14. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчёт на прочност. – Взамен ГОСТ 21354-75; Введ. 1989-01-01. –М.: Изд-во стандартов, 1993 – 104 с.

15. URL:https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf

16. Родионов Ю.В., Галкин П.А., НикитинД.В., Сычев М.В. Конструктивные особенности жидкостнокольцевого вакуум-насоса с кинематической связью. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов: ИздвоТамб. гос. техн. ун-та, 2016. Т.22. № 3. С.463– 471.

17. Патент № 2761191 C1 Российская Федерация, МПК C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Способ поверхностного упрочнения детали из полимерного материала : № 2021106201 : заявл. 11.03.2021 :опубл. 06.12.2021 / И. С. Филатов, Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

18. Теоретические исследования контактных и изгибных напряжений лопаток рабочего колеса и корпуса жидкостнокольцевого вакуумного насоса из полимеров / Н. В. Воронин, Ю. В. Родионов, А. И. Скоморохова [и др.] // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 85-97. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97.

References

1. Matveev D.A., Rodionov Ju.V., Nikitin D.V., Rybin G.V., Danilin S.I. Zhidkostnoe jekstragirovanie rastitel'nyh materialov s maksimal'nym sohraneniem biologicheski aktivnyh veshhestv // Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitanija. – 2021. - №1. – S. 164-172

2. Povyshenie jeffektivnosti mehanizacii transportirovanija suhih sypuchih rastitel'nyh materialov /P.S. Platicin i dr. // Nauchno- teoreticheskij zhurnal «Innovacionnaja tehnika i tehnologija». Penza. 2017. № 1 (10). S.9-15

3. Rodionov, Ju.V. Povyshenie jeffektivnosti i jekspluatacionnyh harakteristik dvuhstupenchatyh zhidkostnokol'cevyh vakuum nasosov: dis.… kand. tehn. nauk: 05.04.09: zashhishhena 14.06.00: utv. 10.11.00 / Rodionov Jurij Viktorovich. – Tambov, 2000. – 135 s.

4. Nikitin, D.V. Sovershenstvovanie konstrukcij i obespechenie zadannyh jekspluatacionnyh harakteristik zhidkostnokol'cevyh vakuum-nasosov: dis. … kand. tehn. nauk: 05.02.13: zashhishhena 31.10.10: utv. 11.03.2011 / Nikitin Dmitrij Vjacheslavovich. – Tambov, 2010. – 158 s.

5. Naumov, V. A. Proizvoditel'nost' vakuumnyh rybonasosnyh ustanovok bol'shoj moshchnosti / V. A. Naumov, N. L. Velikanov, A. A. Zemlyanov // Rybnoe hozyajstvo. – 2020. – № 4. – S. 101-105. – DOI 10.37663/0131-6184-2020-4-101-105.

6. Issledovanie i vybor rezhimnyh parametrov ekstragirovaniya biologicheski aktivnyh veshchestv iz tykvy sorta "michurinskaya" / S. P. Rudobashta, A. A. Gus'kov, YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin // Sushka, hranenie i pererabotka produkcii rastenievodstva: Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara, posvyashchyonnogo 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva, Moskva, 22–23 maya 2018 goda. – Moskva: Izdatel'stvo "Pero", 2018. – S. 189-196.

7. ZHidkostnokol'cevye vakuum-nasosy dlya teplo- i massoobmennyh processov / D. V. Nikitin, YU. V. Rodionov, M. A. S. Mahmud [i dr.] // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – T. 27. – № 3. – S. 428-441. – DOI 10.17277/vestnik.2021.03.pp.428-441.

8. Popova, I. V. Sovershenstvovanie tekhnologii i sredstv sushki ovoshchnogo syr'ya : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk / Popova Irina Viktorovna. – Michurinsk, 2009. – 18 s.

9. Ivanova, E. P. Razrabotka tekhnologii prigotovleniya suhoj zakvaski na osnove rastitel'nogo syr'ya dlya proizvodstva hlebobulochnyh izdelij funkcional'nogo naznacheniya : special'nost' 05.18.01 "Tekhnologiya obrabotki, hraneniya i pererabotki zlakovyh, bobovyh kul'tur, krupyanyh produktov, plodoovoshchnoj produkcii i vinogradarstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata sel'skohozyajstvennyh nauk / Ivanova Ekaterina Petrovna. – Michurinsk, 2016. – 22 s.

10. Rodionov, YU. V. Vakuumnye tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki sel'skohozyajstvennogo syr'ya / YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin // Perspektivnye tekhnologii v sovremennom APK Rossii: tradicii i innovacii : MATERIALY 72-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ryazan', 20 aprelya 2021 goda / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva». – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2021. – S. 326-331.

11. ZHidkostno-kol'cevye vakuumnye nasosy dlya sel'skogo hozyajstva / M. V. Sychev, YU. V. Rodionov, D. V. Nikitin [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. – 2018. – № 5(35). – S. 61-70.

12. Tekhnologiya vakuumno-impul'snogo ekstragirovaniya rastvorimyh veshchestv iz krapivy i hmelya / A. A. Gus'kov, YU. V. Rodionov, S. A. Anohin [i dr.] // Innovacionnaya tekhnika i tekhnologiya. – 2018. – № 2(15). – S. 23-27.

13. GOST 13733-77. Koljosa zubchatye cilindricheskie melkomodul'nye prjamozubye i kosozubye. Tipy. Osnovnye parametry i razmery. – Vzamen GOST 13733-68; Vved. s 01.01.78 po 01.01.83. – M.: Izd-vo standartov, 1977. – 5 s.

14. GOST 21354-87. Peredachi zubchatye cilindricheskie jevol'ventnye vneshnego zaceplenija. Raschjot na prochnost. – Vzamen GOST 21354-75; Vved. 1989-01-01. – M.: Izd-vo standartov, 1993 – 104 s.

15. URL:https://samelectric.ru/wp-content/uploads/downloads/2019/12/setz-air-katalog-220-380-www.samelectric.ru_.pdf

16. Rodionov Ju.V., Galkin P.A., Nikitin D.V., Sychev M.V. Konstruktivnye osobennosti zhidkostnokol'cevogo vakuum-nasosa s kinematicheskoj svjaz'ju. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tambov: Izdvo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2016. T.22. № 3. S.463– 471.

17. Patent № 2761191 C1 Rossijskaja Federacija, MPK C23C 26/00, C23C 24/08, C23C 14/35. Sposob poverhnostnogo uprochnenija detali iz polimernogo materiala : № 2021106201 : zajavl. 11.03.2021 : opubl. 06.12.2021 / I. S. Filatov, N. V. Voronin, Ju. V. Rodionov [i dr.] ; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Tambovskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet».

18. Teoreticheskie issledovanija kontaktnyh i izgibnyh naprjazhenij lopatok rabochego kolesa i korpusa zhidkostnokol'cevogo vakuumnogo nasosa iz polimerov / N. V. Voronin, Ju. V. Rodionov, A. I. Skomorohova [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – № 3(45). – S. 85-97. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-3-85-97.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов. e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru

Рыбин Григорий Вячеславович – студент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail:enot1237@gmail.com

Воронин Николай Владимирович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Галкин Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Иванов Олег Олегович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов.

Author credentials

Affiliations

Nikitin Dmitry – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Rodionov Yury - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

RybinGrigory - student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Voronin Nikolai – postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Galkin Pavel – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov.

Ivanov Oleg - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University", Russia, Tambov.

Поступила в редакцию (Received): 16.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 18.03.2022

УДК 631.331.85
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-69-77

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕМЯН С ЕМКОСТНЫМ ДАТЧИКОМ ВЫСЕВА

[1]Балашов Александр Владимирович
[1]Стрыгин Сергей Петрович
[1]Пустоваров Никита Юрьевич
[2]Ноздрина Анастасия Олеговна
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[2]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Перспективным направлением развития сеялок точного высева является их электрификация с разработкой системы управления вращения диска высевающего аппарата, а также, совершенствование системы контроля высева семян с последующей разработкой алгоритма автоматического управления и регулирования положения съемника двойников. Для обеспечения качественной и надежной работы системы автоматического управления положения съемника двойников необходимо изучить взаимодействие семян с емкостным датчиком высева и определить продолжительность пролета одного семени через его чувствительные элементы. Исследования проводились с семенами различных культур: соя (сорт “Лиссабон”), кукуруза (сорт “Фалькон”), люпин (сорт “Дельта”), сахарная свекла для экспериментов (фракция: 3,50–4,75). Значения времени пролета семян через чувствительные элементы датчика высева с точностью до одной миллисекунды определялись в ходе лабораторных исследований и отображались на дисплее в виде графика, сохранялись в памяти компьютера и затем обрабатывались методами математической статистики. По результатам исследований были получены данные о времени пролета семян через емкостной датчик, которые составляют для: соя - от 11 до 13 мс, люпин – от 11 до 14 мс, сахарная свекла – от 7 до 9 мс, кукуруза – от 12 до 14 мс. Они практически не изменяются в рабочем диапазоне скоростей посевного агрегата (частота вращения высевающего диска 20 – 60 об/мин), и могут быть приняты за время пролета одного семени в дальнейших расчетах. Полученные данные позволят определять более детальную информацию о работе посевного агрегата (пропуски, двойники, повреждённые семена), что значительно увеличит функциональность используемых систем контроля высева.*

Ключевые слова: *высев, семена, датчик высева, контроль высева, время высева.*

RESEARCH OF INTERACTION THE SEEDS WITH A CAPACITIVE SOWING SENSOR

[1]Balashov Alexander
[1]Strygin Sergei
[1]Pustovarov Nikita
[2]Nozdrina Anastasia
[1]FSBSI “All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum products in Agriculture”
[2]FSBEI HE "Tambov State Technical University"