

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМ-ОТКАЧНЫХ СРЕДСТВ
С ПУЛЬСИРУЮЩИМ АКТИВНЫМ ПОТОКОМ****И.Р. Нафиков, Р.К. Хусайнов, Р.Р. Лукманов, И.Г. Галиев, М.А. Лушнов, И.И. Кашапов**

Реферат. Вакуум-откачные средства, предназначенные для дозирования, смешивания, транспортирования и раздачи кормов; доения коров; переработки молока и других технологических процессов в сельском хозяйстве относятся к числу основных составляющих технологических процессов животноводства. С целью улучшения технических характеристик вакуум-откачных устройств, широко применяемых во всех отраслях промышленности, предложено использование пульсирующего струйного аппарата, установленного на всасывающем окне водокольцевого вакуумного насоса. Для характеристики стационарного потока обычно используют приведенную скорость и число Рейнольдса, а при пульсирующем течении к ним добавляют относительную частоту и относительную амплитуду пульсаций, которые необходимы для определения конструктивных и технологических параметров. Один из основных конструктивных параметров работы струйного вакуум-откачного устройства – коэффициент эжекции, повышение которого достигается путем преднамеренного нарушения стационарного режима течения материала с помощью добавления пульсирующего устройства. Объектом экспериментальных исследований был струйный аппарат с пульсирующим движением активного потока. В качестве прерывающего механизма для эжектора с пульсирующим движением активного потока целесообразно использовать клапан в форме шара, изготовленный из различных материалов, который благодаря перепаду давления и возвратной пружине может пульсировать с частотой 90...100 уд/мин. При проведении экспериментов определяли изменение подачи водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом в зависимости от материалов клапана шарового типа (стальной, резиновый и текстолитовый), величины давления всасывания (1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60 кПа), частоты пульсации клапана (85; 100; 115; 130 уд/мин) и давления на входе в эжектор (20; 30; 50; 60 кПа). Наилучший результат отмечен при использовании клапан в форме шара, изготовленного из стали. В этом варианте подача водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом увеличивается до 14,5 м³/мин, а максимальная подача обеспечивается при частоте пульсации 90...100 уд/мин.

Ключевые слова: вакуум, эжектор, пульсирующий поток, пульсатор, сопло, камера смешения.

Введение. Основная задача агропромышленного комплекса – производство качественной сельскохозяйственной продукции, которое в современных условиях невозможно без механизации технологических процессов [1, 2, 3]. Исследования по поиску эффективных технических решений для их совершенствования ведутся постоянно [4, 5, 6].

Среди основных элементов технологических процессов в животноводстве можно назвать вакуум-откачные средства, предназначенные для дозирования, смешивания, транспортирования, сушки и раздачи кормов, доения коров, переработки молока и др. К недостаткам существующих вакуум-откачных средств можно отнести ограниченность выходных параметров техническими характеристиками насоса, из-за которой повышение производительности технологического процесса транспортировки материала достигается только посредством подбора более мощного оборудования. Это связано с дополнительными капиталовложениями, что отражается, в конечном счете, на себестоимости продукции [7, 8, 9].

Исследованиями установлено, что одним из способов повышения эффективности вакуум-откачных средств для осуществления смешивания и дозирования газообразных сред и сыпучих материалов, может быть прерывистое (пульсирующее) течение активного потока [10, 11]. Применение пульсирующих струйных вакуум-откачных устройств (эжекторов) позволяет, наряду с понижением остаточного давления, значительно снизить затраты энер-

гии при одинаковых габаритах [12]. Использование нестационарных потоков способствует более эффективному обмену энергией между активной и пассивной средой [13].

Эффективность воздействия на среду, параметры которого зависят от времени, можно объяснить передачей движения от активной среды к пассивной под действием волн давления, а также организацией процесса с последовательным и параллельным присоединением дополнительной массы.

Результаты анализа эффективности эжекторов с активными нестационарными потоками, по сравнению с аналогами со стационарными потоками, свидетельствуют об увеличении коэффициента эжекции в 1,5...2,0 раза [13].

Цель исследования – повышение эффективных показателей работы водокольцевого вакуумного насоса с предвключённым пульсирующим струйным аппаратом.

Условия, материалы и методы. Пульсация подачи активной среды в камеру смешивания может быть достигнута периодическим открытием и закрытием проходного сечения сопла, которое осуществляется с помощью регулирующих элементов, совершающих возвратно-поступательное (эжекторы клапанного типа) или вращательное (устройство шторно-целевого и барабанного типов) движение. В условиях сельскохозяйственного производства экономически более целесообразны эжекторы клапанного типа (рис. 1) [14].

Пульсирующий эжектор содержит высоконапорное сопло 1 подачи активной среды (см.

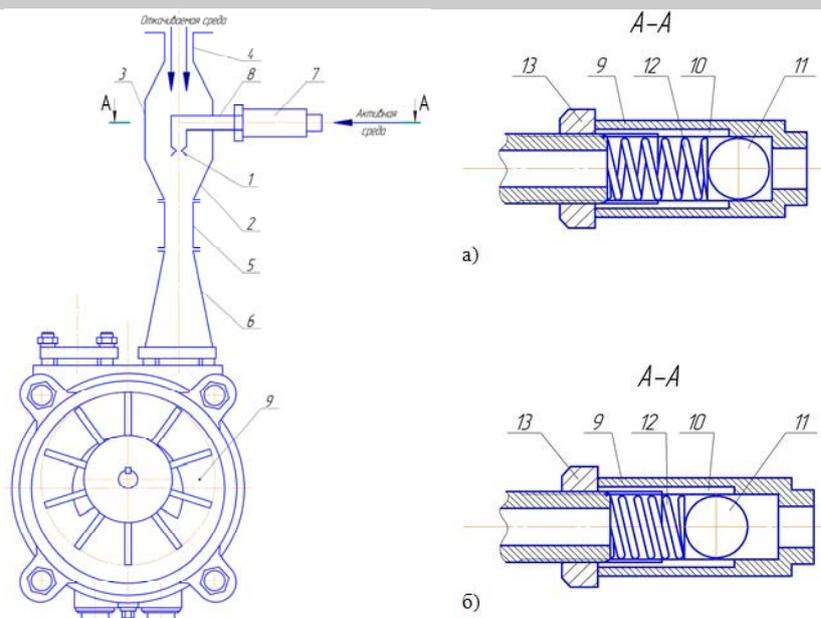


Рис. 1 – Схема пульсирующего эжектора в составе ВВН: а – прерывающий механизм в момент запираания подачи активной среды; б – прерывающий механизм при подаче активной среды; 1 – высоконапорное сопло; 2 – откачиваемой среды; 3 – приемная камера; 4 – патрубок подачи откачиваемой среды; 5 – камера смешивания; 6 – диффузор; 7 – прерывающий механизм; 8 – входной патрубок; 9 – водокольцевой вакуумный насос (ВВН)

рис. 1), выполненное в форме сужения (в зависимости от агрегатного состояния активной среды может быть выполнено в форме сужения-расширения). В линии подачи активной среды, перед центральным активным соплом установлен прерывающий механизм, который состоит из цилиндрической гильзы, в которой предусмотрены каналы для подвода высоконапорной среды (см. рис. 1, а, б). Для обеспечения прерывистости высоконапорного потока внутри гильзы установлены шарик и пружина. Открытие отверстия входного патрубка осуществляется воздействием высоконапорного потока на шарик, запираение выполняется тем же шариком под силовым воздействием цилиндрической пружины, упругость которой регулируется установкой гильзы путем наворачивания ее на входной патрубок струйного аппарата.

Для обоснования конструктивных параметров пульсатора необходимо определить закономерности влияния частоты пульсации на производительность технологического процесса. Это возможно путем преобразования закономерностей, характеризующих движение одномерных нестационарных уравнений газовой динамики, которые включают в себя уравнения расхода-неразрывности (1), сохранения импульса (2) и энергии (3) [12].

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho S) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V S) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho V S) + \frac{\partial}{\partial x} \left[S \left(\rho V^2 + p \right) \right] = p \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \Delta l \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left[\rho S \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho V S \left(e + \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} \right) \right] = 0 \quad (3)$$

где t – время, с;
 x – продольная координата;
 ρ – плотность газа, кг/м³;
 p – давление, Па;
 V – скорость потока, м/с;
 S – площадь поперечного сечения канала, м²;
 e – основание натурального логарифма, $e = 2,73$;

Δl – потери энергии газа на трение и местные потери.

Регулирование статического давления и расхода эжектора за некоторое время обычно осуществляется путем изменения площади поперечного сечения проходного канала прерывающего механизма. Предполагается, что давление и площадь проходного сечения изменяются по гармоническому закону (4). С учетом этого задаются амплитуда, частота, фазовый угол. Изменение давления на границе определяется как:

$$p = p_{avg} + p_{max} \sin(2\pi f \tau + \varphi_0) \quad (4)$$

где p_{avg} – среднее значение давления в камере смешения, Па;

p_{max} – амплитудное значение давления в пульсаторе, Па;

f – частота пульсации, с-1;

φ_0 – начальная фаза.

Для увеличения коэффициента эжекции и сохранения высокой степени сжатия в эжекторе, камера смешивания выполнена в виде цилиндрической горловины. С учетом этого среднее давление в камере смешивания и амплитуда давления в пульсаторе определяют давление в откачиваемой среде. Тогда формула давления откачиваемой среде будет выгля-

Таблица 1 – Зависимость подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от давления всасывания ($P_{всac}$) и материала клапана, $m^3/ч$

Pвсac, Па	Материал клапана		
	сталь	резина	текстолит
1·103	4,5	1	-
5·103	10,6	9,1	4,8
10·103	12	10,3	8
20·103	12,4	13,2	8,5
30·103	13,6	13,9	10,7
40·103	14,8	12,8	7,8
50·103	15,2	14,4	10,5
60·103	14,6	14,1	11,7

деть следующим образом:

$$p_{avg} = \frac{p^*}{\sqrt{(u+1)(1+u\theta+g)} \frac{q(\lambda_1)}{1+1/\alpha} \frac{q(\lambda_2)}{q(\lambda_3)}} \quad (5)$$

где p^* – полное давление газа, Па;
 u – коэффициент эжекции, m^2/m^1 ;
 m^2 – масса газа на выходе эжектор, кг;
 m^1 – масса газа на входе эжектор, кг;
 q – отношение температур в эжекторе;
 a – геометрический коэффициент $\alpha = F1/F2$;

$F1$ – выходная площадь активного сопла, m^2 ;

$F2$ – выходная площадь пассивного сопла, m^2 ;

$q(l)$ – газодинамическая функция расхода.

С учетом этого уравнение (4) примет следующий вид:

$$p_{\Sigma} = \frac{p^*}{\sqrt{(u+1)(1+u\theta+g)} \frac{q(\lambda_1)}{1+1/\alpha} \frac{q(\lambda_2)}{q(\lambda_3)}} + p_{max} \sin(2\pi f\tau + \phi_0) \quad (6)$$

Эта формула дает возможность описать и рассмотреть все процессы при использовании вакуумных эжекторов с пульсатором.

Проведенные предварительные расчеты показали, что существует граница скоростей и давлений, на которой пульсация оказывает незначительное влияние. В то же время, в широ-

Таблица 2 – Зависимость подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от частоты пульсации (W) клапана шарового типа из стали и давления на входе в эжектор, $m^3/ч$

W, уд/ мин	Давление всасывания, кПа			
	20	30	50	60
85	14,3	14,6	14,9	15,4
100	13,5	14,4	14,7	14,8
115	13,6	13,6	13,9	14,7
130	12,5	13,1	13,4	13,7

ком диапазоне изменения этих параметров, особенно в зоне сверхзвуковых течений, ее эффект очень значителен.

Следует отметить, что при обосновании конструктивных параметров, работа эжекторов рассмотрена в рамках одномерной теории движения потоков, поскольку сложность математических расчетов для двумерных потоков делают такие задачи неразрешимыми. Кроме того, результаты расчетов, проведенных с таким допущением, хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Объектами экспериментальных исследований были эжектора с пульсирующим движением активного потока. Величину вакуума рассчитывали с использованием разработанных в Казанском ГАУ методов оптимизации [15, 16]. Основной задачей экспериментов было определение зависимости подачи водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от материалов клапана шарового типа (стальной, резиновый и текстолитовый), величины давления всасывания (1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60 кПа), частоты пульсации клапана (85; 100; 115; 130 уд/мин) и давления на входе в эжектор (20; 30; 50; 60 кПа). Экспериментальные исследования проводили согласно разработанному алгоритму с использованием водокольцевого насоса. Каж-

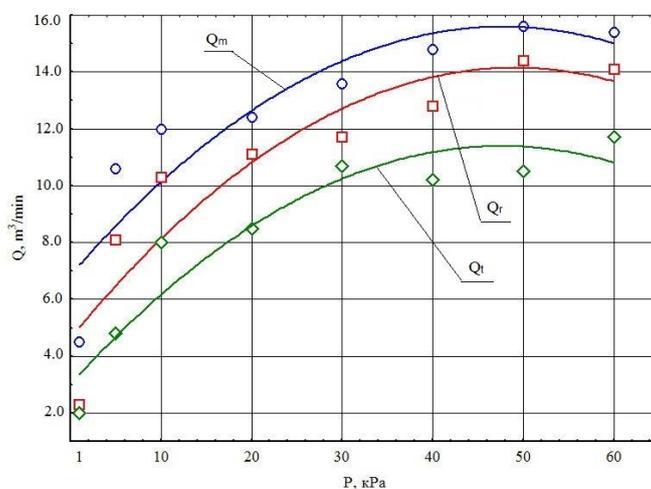


Рис. 2 – Зависимость подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от давления всасывания ($P_{всac}$) при различных материалах клапана шарового типа (стальной, резиновый и текстолитовый): Q_m – сталь; Q_r – резина; Q_t – текстолит

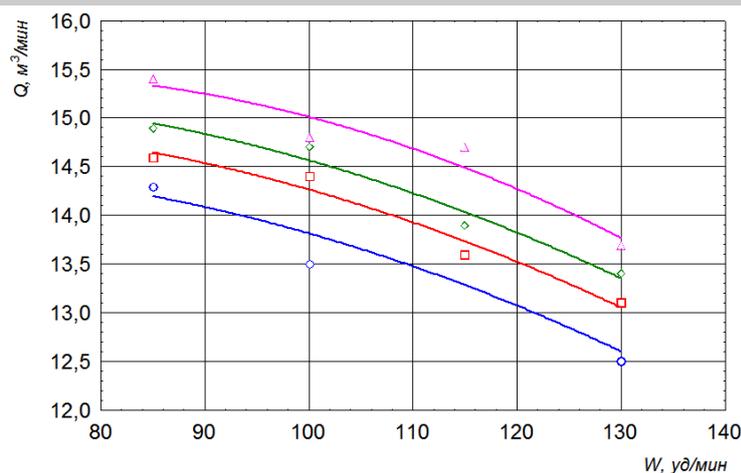


Рис. 3 – Зависимость подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от частоты пульсации (W) и давления на входе в эжектор

дый параметр измеряли по 3 раза, после чего определяли среднюю величину, которую использовали в дальнейшей работе.

Достоверность зависимостей определяли с использованием коэффициента корреляции (R) и его ошибки (mR) [17, 18]. Зависимость считали достоверной при выполнении условия $R > 3 \cdot mR$.

Результаты и обсуждение. На работу пульсирующего эжектора, кроме отмеченных ранее параметров, большое влияние оказывает выбор материала клапана в форме шара и частота пульсации, обеспечивающие прерывистую подачу активного потока.

В результате математической обработки результатов экспериментальных исследований (табл. 1), были получены зависимости подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от давления всасывания ($P_{всас}$) при различных материалах клапана шарового типа и их математические модели (рис. 2):

$$Q_m = 6.8541 + 0.3659 \cdot P - 0.0038 \cdot P^2;$$

$$Q_r = 4.6446 + 0.3874 \cdot P - 0.0039 \cdot P^2;$$

$$Q_t = 3.0155 + 0.352 \cdot P - 0.0037 \cdot P^2,$$

где Q_m – зависимость для клапана из стали;

Q_r – из резины;

Q_t – из текстолита.

Анализ построенных зависимостей подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от давления всасывания ($P_{всас}$) указывает на то, что наилучшие результаты обеспечивает использование клапана шарового типа, изготовленного из стали. Это дает возможность повысить подачу до 14,5 м³/мин.

В результате математической обработки

экспериментальных данных (табл. 2) были получены зависимости подачи водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от частоты пульсации при различных величинах вакуума на входе в эжектор и их математические модели (рис. 3):

при $P = 20$ кПа

$$Q_1 = 13.515 + 0.0363 \cdot W - 0.0003 \cdot W^2;$$

при $P = 30$ кПа

$$Q_2 = 13.965 + 0.0363 \cdot W - 0.0003 \cdot W^2;$$

при $P = 50$ кПа

$$Q_3 = 14.265 + 0.0363 \cdot W - 0.0003 \cdot W^2;$$

при $P = 60$ кПа

$$Q_4 = 13.366 + 0.0609 \cdot W - 0.0004 \cdot W^2.$$

Анализ построенных зависимостей подачи (Q_{cp}) водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от частоты пульсации (W) с использованием клапана шарового типа, изготовленного из стали, и давления на входе в эжектор показал, что максимальная подача обеспечивается при частоте пульсации 90...100 уд/мин.

Выводы. В результате исследования были найдены зависимости подачи водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом от давления всасывания, материалов клапана шарового типа (стальной, резиновый и текстолитовый), частоты пульсации и давления на входе в эжектор. Наилучшие результаты обеспечило использование клапана в форме шара, изготовленного из стали. В этом случае подача водокольцевого вакуумного насоса с пульсирующим струйным аппаратом увеличивается до 14,5 м³/мин, а максимальная подача обеспечивается при частоте пульсации 90...100 уд/мин.

Литература

1. Инжекционный смеситель твердых сыпучих материалов / Н.Х. Зиннатуллин, Б.Г. Зиганшин, И.М. Нафиков и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т.12. №3. С. 68–71.
2. Study of efficiency of peeling machine with variable deck / A. Dmitriev, B. Ziganshin, D. Khaliullin, et al. // Engineering for Rural Development : 19, Jelgava, 20–22 мая 2020 года. Jelgava. 2020. P. 1053–1058. doi: 10.22616/erdev.2020.19.tf249.
3. Теория распыливания жидкости форсунками / Б.Л. Иванов, Б.Г. Зиганшин, Р.Ф. Шарафеев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 95–99.

4. Галиев И.Г., Хусаинов Р.К. Оценка условий функционирования тракторов в аграрном производстве // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 13-15.
5. Исследование движения воздушно-зерновой смеси в рабочей зоне семенорушки аэромеханического типа / Д. Т. Халиуллин, А. В. Дмитриев, Р. Н. Хафизов, et al. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4(63). С. 27–37. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.27.
6. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies / D. Khaliullin, I. Badretdinov, I. Naficov, et al. // Engineering for Rural Development. 2021. P. 1501–1506. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF321.
7. Техническое решение для повышения эффективности машинного доения коров / Б. Г. Зиганшин, Ю.Х. Шогенов, Р.Р. Лукманов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 1 (39). С. 77–81.
8. Лушнов М.А. Построение классификационной схемы и анализ устройств для тепловой обработки полужидких кормосмесей // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2013. № 5 (36). С. 65–68.
9. Sabirov R. F., Ivanov B. L., Lushnov M. A. Calibration of soil humidity sensors of automatic irrigation controller // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). Kazan: EDP Sciences, 2020. P. 00249. doi: 10.1051/bioconf/20201700249.
10. Теоретические исследования катка для малогабаритной почвообрабатывающей машины / Г. С. Юнусов, Н. Н. Андержанова, А. В. Алешкин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 80–85. doi: 10.12737/2073-0462-2021-80-85.
11. Рудаков А.И., Асадуллин Н.М. Пульсирующее транспортирование псевдопластических жидкостей по трубам в животноводстве // Вестник Казанского ГАУ. 2006. №4. С.62–67.
12. Теория турбулентных струй / под ред. Г.Н. Абрамовича. М.: Наука, 1984. 716 с.
13. К определению конструктивно-технологических параметров двухроторного вакуумного насоса / Б.Г. Зиганшин, И.Н. Гаязиев, И.И. Кашапов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2012. Т. 7. № 4 (26). С. 75–78.
14. Патент 2097606 РФ, МКИ 6 F 04 F 5/04. Пульсирующий эжектор /А.И. Рудаков, Н.М. Асадуллин. №94009704/06. Заявл. 15.03.94; опубл. 27.11.97, бюлл. №33. – С. 4
15. Мустафин А.А., Зиганшин Б.Г. Анализ результатов экспериментальных исследований двухроторного вакуумного насоса // Вестник Казанского ГАУ. 2013. №1(27). С. 63–68.
16. Исследование неравномерного развития четвертей вымени животных / И. И. Кашапов, Б. Г. Зиганшин, Ю. А. Цой и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3(59). С. 84–87. doi: 10.12737/2073-0462-2020-84-87.
17. Методика расчета двухроторного вакуумного насоса с эвольвентным зацеплением / А.А. Мустафин, Б.Г. Зиганшин, Р.Р. Гайнутдинов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2012. №1(23). С. 102–104.
18. Комбинированная установка для охлаждения молока с использованием искусственного и естественного холода / А.И. Фокин, Ю.А. Цой, Б.Г. Зиганшин и др. // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 11–12.

Сведения об авторах:

Нафиков Инсаф Рафитович – кандидат технических наук, доцент кафедры машины и оборудования в агробизнесе; e-mail: insaf-82@mail.ru
 Хусаинов Раиль Камилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машины и оборудования в агробизнесе; e-mail: rail-1312@mail.ru
 Лукманов Руслан Рушанович – кандидат технических наук, доцент кафедры машины и оборудования в агробизнесе; e-mail: look-rus@mail.ru
 Галиев Ильгиз Гакифович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонт машин; e-mail: 2drGali@mail.ru
 Лушнов Максим Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машины и оборудования в агробизнесе; e-mail: maksim-lushnov@mail.ru
 Кашапов Ильдар Ильясович – старший преподаватель кафедры машины и оборудования в агробизнесе; e-mail: ildarc.84@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF VACUUM PUMPING FACILITIES WITH A PULSING ACTIVE FLOW

I.F. Nafikov, R.K. Khusainov, R.R. Lukmanov, I.G. Galiev, M.A. Lushnov, I.I. Kashapov

Abstract. Vacuum pumping devices designed for dosing, mixing, transporting and distributing feed; milking cows; milk processing and other technological processes in agriculture are among the main components of the technological processes of animal husbandry. In order to improve the technical characteristics of vacuum pumping devices, widely used in all industries, it is proposed to use a pulsating jet apparatus installed on the suction port of a liquid ring vacuum pump. To characterize a stationary flow, the reduced velocity and the Reynolds number are usually used, and in the case of a pulsating flow, the relative frequency and relative amplitude of the pulsations are added to them, which are necessary to determine the design and technological parameters. One of the main design parameters of the operation of a jet vacuum pumping device is the ejection coefficient, the increase of which is achieved by deliberately violating the stationary mode of material flow by adding a pulsating device. The object of experimental research was a jet apparatus with a pulsating active flow. As an interrupting mechanism for an ejector with a pulsating active flow, it is advisable to use a ball-shaped valve made of various materials, which, due to the pressure drop and a return spring, can pulsate at a frequency of 90 ... 100 beats/min. During the experiments, the change in the supply of a water-ring vacuum pump with a pulsating jet apparatus was determined depending on the materials of the ball-type valve (steel, rubber and textolite), the suction pressure (1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60 kPa), valve pulsation frequency (85; 100; 115; 130 beats/min) and ejector inlet pressure (20; 30; 50; 60 kPa). The best result is noted when using a valve in the form of a ball made of steel. In this variant, the supply of a water ring vacuum pump with a pulsating jet apparatus is increased to 14.5 m³/min, and the maximum supply is provided at a pulsation frequency of 90...100 beats/min.

Key words: vacuum, ejector, pulsating flow, pulsator, nozzle, mixing chamber.

References

1. Zinnatullin NKh, Ziganshin BG, Nafikov IM. [Injection mixer of solid bulk materials]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; Vol.12. 3. 68-71 p.
2. Dmitriev A, Ziganshin B, Khaliullin D. Study of efficiency of peeling machine with variable deck. Engineering for rural development: 19, Jelgava, 20-22 maya 2020 goda. Jelgava. 2020; 1053-1058 p. doi: 10.22616/erdev.2020.19.tf249.
3. Ivanov BL, Ziganshin BG, Sharafiev RF. [Theory of liquid atomization by nozzles]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 2 (53). 95-99 p.
4. Galiev IG, Khusainov RK. [Evaluation of the conditions for the functioning of tractors in agricultural production]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10. 13-15 p.
5. Khaliullin DT, Dmitriev AV, Khafizov RN. [Investigation of air-grain mixture movement in the working area of the aromechanical seed huller]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.12. 4(63). 27-37 p. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.27.
6. Khaliullin D, Badretdinov I, Naficov I. Theoretical justification of design and technological parameters of hulling machine main working bodies. Engineering for Rural Development. 2021; 1501-1506 p. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF321.
7. Ziganshin BG, Shogenov YuKh, Lukmanov RR. [Technical solution for improving the efficiency of machine milking of cows]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016; Vol.11. 1 (39). 77-81 p.
8. Lushnov MA. [Construction of a classification scheme and analysis of devices for heat treatment of semi-liquid feed mixtures]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2013; 5 (36). 65-68 p.
9. Sabirov RF, Ivanov BL, Lushnov MA. Calibration of soil humidity sensors of automatic irrigation controller. [Internet]. BIO Web of Conferences: International scientific and practical conference "Agriculture and food security: technology, innovation, markets, human resources" (FIES 2019). Kazan: EDP Sciences, 2020. 00249 p. doi: 10.1051/bioconf/20201700249.
10. Yunusov GS, Anderzhanova NN, Aleshkin AV. [Theoretical studies of a roller for a small-sized tillage machine]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 80-85 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-80-85.
11. Rudakov AI, Asadullin NM. [Pulsating transportation of pseudoplastic liquids through pipes in livestock]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2006; 4. 62-67 p.
12. Abramovich GN. Teoriya turbulentnykh strui. [Theory of turbulent jets]. Moscow: Nauka. 1984; 716 p.
13. Ziganshin BG, Gayaziev IN, Kashapov II. [To determine the design and technological parameters of a two-rotor vacuum pump]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2012; Vol.7. 4 (26). 75-78 p.
14. Rudakov AI, Asadullin NM. [Pulsating ejector]. Patent 2097606 RF, MKI 6 F 04 F 5/04. №94009704/06. Zayavl. 15.03.94; opubl. 27.11.97, byull. №33. 4 p.
15. Mustafin AA, Ziganshin BG. [Analysis of the results of experimental studies of a two-rotor vacuum pump]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2013; 1(27). 63-68 p.
16. Kashapov II, Ziganshin BG, Tsoi YuA. [Study of the uneven development of animal udder quarters]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 3(59). 84-87 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020-84-87.
17. Mustafin AA, Ziganshin BG, Gaynutdinov RR. [Calculation method of a double-rotor vacuum pump with involute gearing]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2012; 1(23). 102-104 p.
18. Fokin AI, Tsoi YuA, Ziganshin BG. [Combined installation for milk cooling using artificial and natural cold]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10. 11-12 p.

Authors:

Nafikov Insaf Rafitovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department; e-mail: insaf-82@mail.ru
 Khusainov Rail Kamilevich - Ph.D. of Technical sciences, associate professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department; e-mail: rail-1312@mail.ru
 Lukmanov Ruslan Rushanovich - Ph.D. of Technical sciences, associate professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department; e-mail: look-rus@mail.ru
 Galiev Ilgiz Gakifovich - Doctor of Technical sciences, professor of Operation and Repair of Machines Department; e-mail: 2drGali@mail.ru
 Lushnov Maksim Aleksandrovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department; e-mail: maksim-lushnov@mail.ru
 Kashapov Ildar Ilyasovich - senior lecturer of Machinery and Equipment in Agribusiness Department; e-mail: ildarc.84@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia