

Основные направления проектирования усовершенствованных энергоэффективных жидкостнокольцевых вакуумных насосов в АПК

Сычёв М.В., Рыбин Г.В.

Аннотация. Вакуумные технологии нашли широкое применение в технологически процессах агропромышленного комплекса. Например, активно развиваются системы пневмотранспортирования, работающие на давлении разрежения. Они подходят как для перемещения сухих сыпучих материалов, так и для перемещения жидкостей (молока, растворов для промывки оборудования, жидких удобрений и др.). Также применение вакуума является хорошим способом интенсификации процессов переработки, таких как сушка, экстрагирование, выпаривание и др. Под вакуумом происходит низкотемпературное кипение жидкости, что позволяет производить процессы быстро и сохраняя максимальное количество биологически активных веществ. Среди машин, организующих вакуум, одними из наиболее перспективных для исследований являются жидкостнокольцевые вакуумные насосы. Они простые и надёжные в эксплуатации, обладают низким уровнем шума и вибраций и способны откачивать воздух, содержащий пары, капельную жидкость и твёрдые включения. Однако, существуют недостатки – низкая глубина вакуума, низкий КПД в следствие необходимости затрачивать большое количество мощности на вращение жидкостного кольца и др. Минимизировать данные проблемы можно за счёт внедрения в конструкцию регулирования проходного сечения нагнетательного окна и вращающегося корпуса насоса, который будет кинематически замыкаться с рабочим колесом. При проектировании ЖВН в первую очередь определяют необходимое количество рабочих ступеней исходя из заданных технологических параметров процесса, для которого насос применяется. Затем производят эскизное проектирование, определяют принципиальную схему и разрабатывают основную геометрию участвующих компонентов с учётом существующих ограничений. Перспективами направлениями исследований в этой области являются усовершенствование существующих конструкций, а также внедрение предложенных конструктивных решений в конструкцию двухступенчатых насосов.

Ключевые слова: жидкостнокольцевой вакуумный насос, комбинированный, одноступенчатый, двухступенчатый, кинематическое замыкание, регулируемое нагнетательное окно.

Для цитирования: Сычёв М.В., Рыбин Г.В. Основные направления проектирования усовершенствованных энергоэффективных жидкостнокольцевых вакуумных насосов в АПК // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 3. С. 68–73.

The main directions of designing improved energy-efficient liquid ring vacuum pumps in the agro-industrial complex

Sychev M.V., Rybin G.V.

Abstract. Vacuum technologies have found wide application in the technological processes of the agro-industrial complex. For example, pneumatic conveying systems operating on vacuum pressure are actively developing. They are suitable both for handling dry bulk materials and for handling liquids (milk, equipment flushing solutions, liquid fertilizers, etc.). Also, the use of vacuum is a good way to intensify processing processes, such as drying, extraction, evaporation, etc. Low-temperature boiling of the liquid occurs under vacuum, which allows you to process quickly and retain the maximum amount of biologically active substances. Among machines that organize vacuum, liquid ring vacuum pumps are among the most promising for research. They are simple and reliable in operation, have a low level of noise and vibration and are capable of pumping air containing vapors, dropping liquid and solid inclusions. However, there are disadvantages - low vacuum depth, low efficiency due to the need to expend a large amount of power on the rotation of the liquid ring, etc. These problems can be minimized by introducing into the design the regulation of the flow section of the discharge window and the rotating pump housing, which will kinematically close with the working wheel. When designing a LHVN, first

of all, the required number of working stages is determined based on the given technological parameters of the process for which the pump is used. Then, a preliminary design is made, a schematic diagram is determined and the main geometry of the participating components is developed, taking into account the existing restrictions. Prospects for research in this area are the improvement of existing designs, as well as the introduction of the proposed design solutions in the design of two-stage pumps.

Keywords: liquid ring vacuum pump, combined, single-stage, two-stage, kinematic closure, adjustable discharge window.

For citation: Sychev M.V., Rybin G.V. The main directions of designing improved energy-efficient liquid ring vacuum pumps in the agro-industrial complex. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2022. Vol. 9. No. 3. pp. 68–73. (In Russ.).

Введение

Жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) широко применяются для различных технологических процессов механизации и переработки растительной продукции, в частности для вакуумного транспортирования сухих сыпучих материалов и жидкостей [1-2], вакуумной сушки плодовой, овощной и ягодной продукции [3-4], её же вакуумного экстрагирования и выпаривания [5-6], вакуумной экструзии пищевого сырья [12, 13, 14].

Технологической особенностью данного типа насосов является то, что рабочая ячейка в нём ограничивается рабочим колесом и жидкостным кольцом. В качестве рабочей жидкости может использоваться вода, спирт, тосол и другие химические вещества, которые позволяют насосу работать при широком диапазоне температур и использовать его как химический реактор.

Преимуществами ЖВН являются низкий уровень шума и вибраций, простота и надёжность конструкции, возможность откачивать воздух, содержащий пары, капельную жидкость и твёрдые примеси. Это позволяет при работе с процессами АПК исключить большую часть оборудования по фильтрации входящего в насос воздуха, которое необходимо другим насосам.

Существенными недостатками ЖВН, ограничивающими область их применения, и снижающими их конкурентоспособность являются недостаточное давление разрежения (глубина вакуума), низкий КПД, связанный с высокими потерями мощности на трение жидкостного кольца о неподвижный корпус насоса и узкий диапазон допустимых частот вращения рабочих колес, что значительно ограничивает возможные режимы работы насосов и приводит к дополнительным энергозатратам, связанным с неоптимальным режимом работы. Сложности, связанные со сборкой и регулировкой насосов, не позволяют проводить без существенных трудозатрат модификацию имеющихся экземпляров машин с целью изменения рабочих характери-

стик для соответствия различных технологических процессов.

Перечисленные недостатки позволяют сформулировать основные направления модернизации ЖВН: повышение КПД, снижение энергопотребления и повышение технологичности, включающее процесс изготовления, сборки и эксплуатации, расширение допустимого диапазона рабочих частот вращения рабочего колеса и реализацию возможности регулирования фаз газораспределения, создание двухступенчатых ЖВН.

Объекты и методы исследований

Исследованием жидкостнокольцевых вакуумных насосов занимались В.А. Наумов, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин. Исследованием технологических процессов АПК, для которых применяются ЖВН, - А.С. Зорин, И.В. Иванова, Е.П. Иванова, В.М. Дмитриев, С.П. Рудобашта. При сборе информации о существующих конструкциях и технологических решениях использовались открытые источники в сети Интернет.

Результаты

В результате проведения анализа существующих конструкций и научно-исследовательских работ, связанных с жидкостнокольцевыми насосами в качестве основного решения, предназначенного для увеличения КПД, диапазона рабочих режимов и снижения количества потребляемой энергии применяются регулируемое нагнетательное окно (автоматически или в ручном режиме), независимо вращающийся корпус и кинематическое замыкание рабочего колеса и корпуса посредством эвольвентного зацепления лопаток.

Первым этапом при создании ЖВН является определение количества необходимых рабочих ступеней. Это будет зависеть от диапазона устойчивого вакуума, который задаётся для того или иного процесса. Так, например, при сушке, экстрагировании и выпаривании глубина вакуума будет зави-



Рис. 1. Двухступенчатый ЖВН

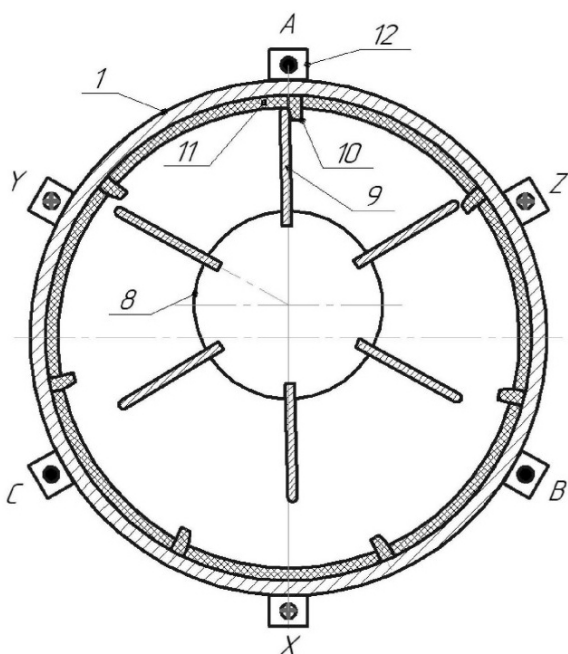


Рис. 2. Схема ЖВН с кинематическим замыканием

сеть от рабочей температуры процесса (давление разряжения должно быть достаточно высоким для кипения жидкости при заданной температуре), для пневмотранспортирования – от заданной скорости движения материала. Так при предельном давлении разряжения до 20 кПа применяем одноступенчатый ЖВН, при необходимости создания остаточного разряжения до 2 кПа – двухступенчатый ЖВН модульного типа.

Расширение диапазона возможных режимов работы связано с возможностью изменения производительности насосов в зависимости от конкретного технологического процесса или этапов отдельно взятого технологического процесса. Наиболее оптимальным решением, позволяющим выполнять регулирование производительности является изменения проходного сечения нагнетательного окна, позволяющая производить регулировку в том числе и непосредственно во время работы насоса.

После выбора конкретных технических решений необходимо провести эскизное проектирование. На данном этапе необходимо определить не-

посредственно принципиальную схему выбранных решений, разработать основную геометрию участвующих в ней компонентов, определить ограничения, которые накладываются на конструкцию и особые требования, которые необходимо учесть.

Применение вращающегося корпуса подразумевает установку внутри корпуса насоса тонкостенной полый втулки, имеющей на внутренней поверхности лопажки, образующие высшую кинематическую пару с лопажками рабочего колеса, и фактически представляющую собой эвольвентное зубчатое зацепление (рисунок 2) [7].

Передачу вращения кольцу жидкости для ЖВН малой и средней быстроты действия целесообразно осуществлять через рабочее колесо. Расчет эффективной мощности и быстроты действия (производительности) данной конструкции представлен в статье [8]. Для ЖВН большой и особо большой быстроты действия передача вращения осуществляется через вращающийся корпус, посредством специального привода [9].

Обсуждение

При проектировании конструкции с вращающимся корпусом, следует учитывать тот факт, что для достижения заявленных целей в плане энергопотребления втулка должна быть установлена на подшипниках, или она должна быть выполнена из материала, который обеспечил бы наилучшее скольжение втулки внутри корпуса. Внедрение втулки не должно влиять на конструкцию других компонентов изделия, должна обеспечиваться максимальная взаимозаменяемость деталей для данного насоса и машины с неподвижным корпусом.

Лопатки втулки будут взаимодействовать с лопатками рабочего колеса, и для них должен быть выполнен прочностной расчет на изгиб и ударные нагрузки в жидкой среде. Профиль лопаток вращающейся втулки при работе насоса не должен вступать в контакт с лопаткой рабочего колеса вне момента зацепления.

Для системы регулирования нагнетательного окна также справедливо требование технологичности, не допускающее влияние данной системы на форму и расположение других компонентов насоса. Расчет технических характеристик данной конструкции опубликован в статье [10]. Для соблюдения данного требования система должна полностью располагаться внутри стойки, содержащей всасывающее и нагнетательное окна и не выходить за их габариты. Управляющий механизм также не должен выходить за габариты изделия и контактировать с крепежными элементами насоса. Решение должно иметь компоновку, обеспечивающую наиболее простую сборку и регулировку системы. Регулируемое нагнетательное окно не должно иметь зазоров, допускающих утечку газа в нагнетательный трубопровод в закрытых областях.

Вращающаяся втулка обладает достаточно

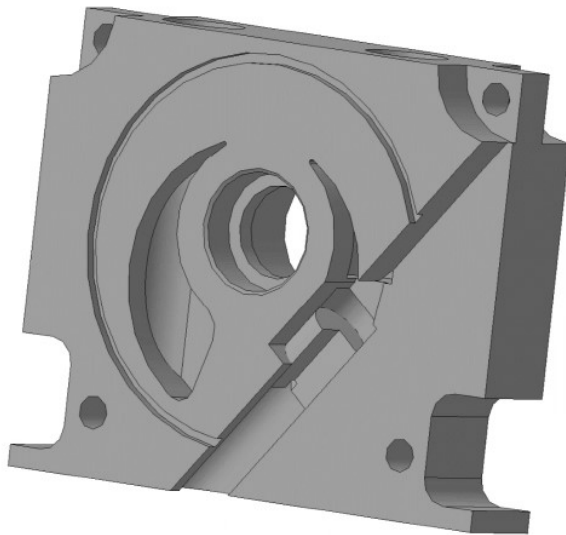


Рис. 3. Схема регулирования сечения

большим диаметром (от 90 мм). Габаритные размеры подшипников качения делают невозможным их монтаж без увеличения габаритов насоса и значительного изменения его конструкции. Применение подшипников скольжения затруднительно в связи с ограниченной номенклатурой представленных на рынке изделий, соответствующих по размерам основным типоразмерам насосов. Наиболее оптимальным решением является изготовление вращающейся втулки из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Химические и физические свойства данного материала полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкции насоса.

Для регулирования сечения нагнетательного

окна в ФГБОУ ВО «ТГТУ» ранее было разработано решение на основе винтовой пары (рисунок 3).

Внутри стенок нагнетательного окна расположено отверстие с резьбой, в которое вкручивается винт, тем самым перекрывая часть сечения окна. Отверстие высверливается в нижней части стойки, под углом, приблизительно равным 45° . Длина отверстия позволяет при полностью открытом нагнетательном окне не выходить винту за габариты стойки.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований позволил создать комбинированную конструкцию одноступенчатого ЖВН [11], объединяющую в себе регулируемое нагнетательное окно и кинематическое замыкание. Дальнейшим этапом проектирования вакуумного насосостроения является создание модифицированной конструкции двухступенчатого ЖВН.

Выводы

В статье рассмотрены общие принципы проектирования жидкостнокольцевых вакуумных насосов различной быстроты действия. Подобраны наиболее оптимальные решения для устранения основных недостатков ЖВН и их эскизная схема реализации. Сформулированные в настоящей работе идеи позволяют при проектировании конкретной модели ЖВН приступить непосредственно к техническому проектированию и проектному расчету машины.

Литература

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Иванова, И. В. Двухступенчатая комбинированная сушка сельскохозяйственных продуктов / И. В. Иванова, Ю. В. Родионов // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 4. EDN GJEJBQ.
- [4] Кузьменко, С. Л. Особенности переработки

References

- [1] Rodionov Yu. V., Kapustin V. P., Koblelev A. V. [et al.] Improving the efficiency of mechanization of transportation of dry bulk plant materials // *Innovatsionnaya tekhnologiya i tekhnologiya*. 2017. No. 1(10). pp. 9-15. EDN YIOSSH.
- [2] Rodionov Yu. V., Platitsin P. S., Vdovina E. S., Chernetsov D. A. Feasibility study for the use of a liquid ring vacuum pump with an automatic adjustable discharge window for the transportation of bulk plant materials // *Food Technologies and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2017. No. 1(15). pp. 92-99. EDN YKSXRH.
- [3] Ivanova, I. V. Two-stage combined drying of agricultural products / I. V. Ivanova, Yu. V. Rodionov // *Science and Education*. 2021. Vol. 4. No. 4. EDN GJEJBQ.
- [4] Kuzmenko, S. L. Processing features of purple stoncrop (*sedumpurpleuml.*) for use in the production of functional drinks / S. L. Kuzmenko, S. I. Danilin, Yu. -practical conference, Michurinsk, November 21–23, 2018 / General. ed. V.A. Babushkin. - Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University, 2018. P. 173-177. EDN YYGNKP.

- очитка пурпурного (sedumpurpleuml.) для использования в производстве функциональных напитков / С. Л. Кузьменко, С. И. Данилин, Ю. В. Родионов // Инновационные технологии в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск, 21–23 ноября 2018 года / Общ. ред. В.А. Бабушкин. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. С. 173-177. EDN YYGNKP.
- [5] Исследование экстрагирования биологически активных веществ из дайкона сорта «Хару» / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. А. Гуськов, А. В. Щегольков // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы) СЭТТ - 2020: Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А.В. Лыкова, Москва, 13–15 октября 2020 года. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2020. С. 192-196. EDN ROKBDU.
- [6] Гуськов, А. А. Получение экстрактов из растительного сырья с помощью вакуумно-импульсных технологий / А. А. Гуськов, С. А. Анохин, Ю. В. Родионов // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. С. 439-443. EDN GLBACY.
- [7] Патент № 2763233 C1 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина : № 2021111225 : заявл. 20.04.2021 : опубл. 28.12.2021 / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. В. Щегольков [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». EDN JTTEIM.
- [8] 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. EDN QSCFXF.
- [9] Анализ расчёта привода комбинированной конструкции одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, Г. В. Рыбин [и др.] // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С. 60-69. DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69. EDN PSWIPX.
- [10] Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin, A. V. Shchegolkov // Modern energy-saving thermal technologies (drying and thermal processes) SETT - 2020: Collection of scientific papers of the Seventh International Scientific and Practical Conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician A.V.Lykova, Moscow, October 13–15, 2020. Moscow: Megapolis Limited Liability Company, 2020, pp. 192-196. EDN ROKBDU.
- [6] Guskov, A. A. Obtaining extracts from plant raw materials using vacuum-pulse technologies / A. A. Guskov, S. A. Anokhin, Yu. V. Rodionov // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: materials of the I All-Russian Conference with international participation, Tambov, May 24–25, 2019. Tambov: Tambov State Technical University, 2019, pp. 439-443. EDN GLBACY.
- [7] Patent No. 2763233 C1 Russian Federation, IPC F04C 7/00, F04C 19/00. Liquid ring machine : No. 2021111225 : Appl. 04/20/2021 : publ. December 28, 2021 / Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. V. Shchegolkov [and others]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University». EDN JTTEIM.
- [8] 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. EDN QSCFXF. Nikitin D.V., Rodionov Yu.V., Rybin G.V. [et al.]
- [9] Analysis of the calculation of the drive of a combined design of a single-stage liquid ring vacuum pump // Nauka in Central Russia. 2022. No. 2(56). pp. 60-69. DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69. EDN PSWIPX.
- [10] Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021 Vol. 57. No 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5. EDN IEAPJM.
- [11] Rodionov Yu. V., Nikitin D. V., Zorin A. S., Rybin G. V. Combined design of a liquid-ring vacuum pump for technological processes of the agro-industrial complex // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2022. V. 14. No. 2. S. 166-176. DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.020. EDN FDKNBB.
- [12] Rational technological parameters in the production of a polycomponent composite based on flax seeds / V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Niva Povolzhya. - 2017. - No. 4 (45). - pp. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [13] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, P. K. Garkina [et al.] // Niva

- Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5. EDN IEAPJM.
- [11] 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. EDN FDKNBV.
- [12] Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В. М. Зимняков, О. Н. Кухарев, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [13] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, П. К. Гарькина [и др.] // Нива Поволжья. – 2019. – № 2(51). – С. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- [14] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу с использованием экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6(22). – С. 103-109. – EDN TKJLIH.
- Povolzhya. - 2019. - No. 2 (51). - pp. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- [14] Optimization of the composition of grain products when obtaining beer wort using extruded barley / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, D. I. Frolov // XXI century: results of the past and problems of the present plus . - 2014. - No. 6(22). - pp. 103-109. – EDN TKJLIH.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Сычёв Михаил Владимирович ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 E-mail: enot1237@gmail.com</p>	<p>Sychev Mikhail Vladimirovich Tambov State Technical University E-mail: enot1237@gmail.com</p>
<p>Рыбин Георгий Вячеславович магистрант «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 Тел.: +7(953) 122-01-46 E-mail: enot1237@gmail.com</p>	<p>Rybin Georgy Vyacheslavovich undergraduate «Agroengineering» Tambov State Technical University Phone: +7(953) 122-01-46 E-mail: enot1237@gmail.com</p>