

Аулін В.В.,  
Панков А.А.,  
Замота Т.Н.

Кіровоградський національний технічний  
університет  
e-mail: aulin52@mail.ru

НАДЕЖНОСТЬ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АПК С  
ЭЛЕМЕНТАМИ ПНЕВМОНИКИ

УДК 631.3-027.45

***Аннотация.** Новые возможности для построения надежных, простых в обслуживании и недорогих устройств для механизации производственных процессов и систем автоматического управления в сельском хозяйстве появились с созданием элементной базы пневмоники. Актуальность исследований заключается в том, что систематизированные сведения и данные в отношении надежности применения элементов и устройств пневмоники в технике АПК отсутствуют. Поэтому исследования направлены на предварительную качественную и количественную оценку надежности технических средств АПК с элементами пневмоники, а также на накопление и систематизацию данных и сведений о надежности рабочих процессов технических средств АПК с элементами пневмоники.*

***Ключевые слова:** надежность, пневмоника, механизация, автоматизация, процесс, управление, устройство, элемент.*

**Введение.** В связи с техническим прогрессом в агропромышленном комплексе (АПК) все более важными становятся вопросы повышения надежности техники — механизмов, машин, аппаратов, приборов, оборудования и систем автоматики. Надежность является важнейшим технико-экономическим показателем качества любого технического устройства или системы. В связи с этим, при широком применении машин и исполнительных механизмов в системах автоматического управления производственными процессами, технический уровень производства и производительность в значительной степени определяются надежностью этих машин и систем. Отказы машин и систем в процессе эксплуатации наносят значительный материальный ущерб народному хозяйству.

Современные машины используются в разнообразных условиях. К этим условиям относятся: изменение температуры и давления окружающего воздуха, высокая влажность, различные агрессивные среды, удары и вибрации, высокие механические перегрузки, то есть нестационарность условий работы. Все эти факторы неблагоприятно влияют на надежность машин и систем [1].

Очевидно, что к машинам, работающим в указанных условиях, можно отнести и технические средства АПК. При этом технические средства и системы АПК должны быть предельно надежны, дешевы и просты.

**Актуальность исследований. Постановка проблемы.** Поэтому в настоящее время актуальным является вопрос разработки и внедрения в производство принципиально новых видов сельскохозяйственной техники с минимальной энергетикой производства и эксплуатации, автоматизацией рабочего процесса и возможностью его управляемости на каждом участке перемещения машины и в любой момент времени ее функционирования.

Новые возможности для построения надежных, простых в обслуживании и недорогих устройств для механизации производственных процессов и систем автоматического управления в сельском хозяйстве появились с созданием элементной базы пневмоники [2].

Пневмоника или пневмоструйная техника — это сравнительно новое направление

автоматики, но перспективность ее применения уже достаточно велика. Однако процессы, связанные с применением элементов и устройств пневмоники в технике АПК и происходящие в струйных элементах при взаимодействии потоков в ограниченном объеме, сложны, недостаточно изучены и объяснены. В связи с этим возникает ряд еще не выясненных до конца вопросов. К ним относятся и вопросы надежности рабочих процессов.

Современное развитие технических систем характеризуется повышением объема и скорости переработки информации, увеличением чувствительности и точности действия технических средств, усложнением алгоритмов функционирования, возрастающими требованиями к надежности работы. Однако средства, широко используемые для автоматизации в настоящее время в сельском хозяйстве, не вполне соответствуют новым задачам, поскольку имеют относительно низкую надежность, малое быстродействие, большие габариты, массу и стоимость и плохо приспособлены для работы в условиях повышенной влажности, запыленности, вибраций, которые характерны для многих производственных процессов. Поэтому не удивительно, что в сельском хозяйстве, где аппаратура работает в более тяжелых условиях, чем в промышленности, отказы в ее работе случаются значительно чаще. Практика показывает, что сложные системы автоматизации здесь способны безотказно работать не более нескольких десятков часов [3].

Сложность, ответственность и большое разнообразие задач механизации и управления порождает, с одной стороны, сложность устройств, осуществляющих механизацию, контроль и управление процессами, а с другой стороны, предъявляет к этим устройствам жесткие и подчас противоречивые требования.

Возросшая сложность устройств контроля и управления привела к тому, что они нередко состоят из большого числа составляющих, что увеличивает объем и вес устройств, поэтому возникает вопрос о разработке и применении принципиально новых элементов, позволяющих свести их размеры и вес к минимуму, уменьшить число коммутирующих связей и соединений. Осуществление этих задач традиционными методами становится чрезмерно дорогим и сложным делом. В электронике выход из такого положения осуществляется посредством создания печатного монтажа, пленочных и кристаллических интегральных схем, микромодульной технологии.

Очевидно, что решение проблемы создания и применения пневматических устройств, способных конкурировать с электронными устройствами возможно, в частности, путем исключения механических подвижных деталей и осуществления непосредственных связей между потоками рабочего тела [4].

Поэтому важной задачей является дальнейшее повышение надежности пневматических приводов и пневматических систем управления. Также одно из основных средств достижения этого — качественная подготовка сжатого воздуха, включающая очистку его от загрязнений. Однако из-за отсутствия соответствующих стандартов и рекомендаций выбор оптимальной степени очистки сжатого воздуха и соответствующих очистных устройств для конкретных систем и условий эксплуатации представляет определенные затруднения. Ошибки, допущенные при этом, приводят к преждевременному выходу из строя пневматических устройств и систем управления. Воздух для питания элементов должен быть тщательно очищен от пыли, влаги, масел и других примесей [5, 6].

Актуальность рассматриваемых задач и проблем усугубляется также тем, что систематизированные сведения и данные в отношении надежности применения элементов и устройств пневмоники в технике АПК отсутствуют.

**Анализ исследований и публикаций.** В связи с тем, что исследований и публикаций по надежности применения элементов и устройств пневмоники в технических средствах АПК недостаточно, анализ осуществляем по аналогии, то есть в отношении

производств, сопоставимых по условиям работы с сельскохозяйственным производством.

Общенаучные методы аналогии (подобия) и моделирования применимы на любом уровне научного познания, как на эмпирическом, так и на теоретическом. Используя аналогию, можно выводить мысль на новый, ранее неизвестный уровень, причем аналогия является наиболее простым и доступным путем движения от старого знания к новому.

Существуют производства, и даже целые отрасли, где применение электроники затруднено. Это пожаро- и взрывоопасные производства – химия, нефтехимия; производства, где приборы постоянно находятся под воздействием влаги, вредных испарений, высоких температур - пищевая промышленность, гальванические и покрасочные производства, где элементы электроники или неприменимы вовсе, или требуют специальной защиты. Есть отрасли, где до 85% средств управления только пневматические. Средства пневматической техники не только надежнее электронных, но и гораздо дешевле. Кроме того, в химии и нефтепереработке 95% исполнительных механизмов – пневматические [7, 8, 9].

Опыт эксплуатации струйных систем управления в течение 10 лет в тяжелых условиях в абразивной и алмазной промышленности показал, что они являются высоконадежными. Заключение о высокой надежности и достаточном быстродействии систем управления, построенных на струйных элементах, сделано и на основании опыта, накопленного и в других отраслях промышленности [2].

В исследованиях [4, 6, 10, 11] также отмечается, что элементы пневмоники отличается высокая эксплуатационная надежность, обеспечиваемая отсутствием в элементах подвижных частей, экономичность и простота обслуживания, удобство и низкая стоимость. Пневмоника уже занимает монопольное положение в таких областях техники, где использование электроники невозможно или затруднительно ввиду высоких температур или радиации.

Конструкции и технология изготовления элементов пневмоники проще; они пожаро- и взрывобезопасны, нечувствительны к воздействию электромагнитных полей, могут работать в широком диапазоне температур, запыленной среде, при вибрациях и ударах [12].

Согласно [13, 14, 15], надежность струйных элементов и устройств выше, чем у других, применяемых в настоящее время элементов автоматики. Она определяется правильностью выбора геометрии элементов, качеством их изготовления и тщательностью очистки воздуха от механических примесей. Особенно выгодно отличаются по надежности струйные элементы, работающие в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Известны случаи, когда элементы пневмоники оказывались единственно приемлемыми при построении систем автоматизации специальных назначений. Так, например, успешно эксплуатируется струйная система управления прессованием абразивных кругов. Система работает в условиях чрезвычайной загрязненности воздуха производственного помещения абразивной пылью, что резко снижает надежность электронных и электромеханических систем управления. Использование элементов с увеличенными проходными сечениями каналов позволяет повысить надежность таких систем. В качестве рабочей среды в элементах пневмоники используется воздух, поэтому струйные элементы помехоустойчивы при воздействии радиации, электрических и магнитных полей, обладают пожаро- и взрывобезопасностью.

При выборе соответствующего материала элементы и устройства пневмоники могут работать при высоких температурах. В настоящее время созданы элементы из кера-

мики, которые работают при температурах более 1000°C; в то же время струйные элементы работоспособны при сверхнизких температурах. Стойкость к механическим воздействиям зависит от подбора материала. В настоящее время разработаны струйные элементы, которые при воздействии больших механических нагрузок не только не разрушаются, но и не теряют работоспособности. Струйные элементы хорошо переносят вибрационные нагрузки и тряску.

Отечественный опыт разработки и внедрения в промышленность систем пневмоники также свидетельствует об их высокой надежности. На струйных элементах «Волга» построено около ста внедренных в эксплуатацию систем различного назначения, по некоторым из которых уже накоплен десятилетний опыт безотказной работы. Для струйных элементов при их испытаниях получены следующие данные по надежности. Среднее число переключений между сбоями — более  $10^{10}$ . Способность струйных элементов к безотказному выполнению такого числа рабочих циклов может рассматриваться как практически неограниченная по сроку службы работоспособность. О высокой надежности устройств и систем пневмоники свидетельствует и опыт их эксплуатации, накопленный за рубежом. Опубликованы сведения о том, что при эксплуатации  $2 \cdot 10^4$  построенных на элементах пневмоники регуляторов фирмы Jonson Service среднее время между отказами составило  $1,8 \cdot 10^6$  часов. На Международном конгрессе IFAC (International Federation of Automatic Control) было сообщено, что успешно прошла испытания струйная система управления химическим процессом, осуществившая  $5 \cdot 10^5$  рабочих циклов, что соответствует десятилетнему сроку ее службы [15].

Однако то, что технические средства с элементами пневмоники могут быть высоконадежными, не означает, что для них вопросы обеспечения надежности несущественны. Изучение условий надежной работы струйных устройств имеет наоборот, первостепенное значение. Высокая надежность получается только в том случае, если правильно выбраны характеристики всех элементов и функциональных блоков системы [15].

**Цель и задачи исследований.** Общая цель исследований — обеспечение достаточно высокой надежности технических средств АПК с элементами пневмоники.

Первой задачей исследований является предварительная качественная и количественная оценка надежности технических средств АПК с элементами пневмоники.

Вторая задача заключается в накоплении и систематизации данных и сведений о надежности рабочих процессов технических средств АПК с элементами пневмоники.

**Результаты исследований.** Рассмотрим вопросы надежности рабочего процесса высевальных систем с элементами пневмоники [16, 17, 18], рис.1-3.

Задачи обеспечения высокой надежности таких высевальных систем являются специфическими — их решение связано с изучением характеристик рабочего процесса струйных и других проточных элементов и устройств в области применения, то есть во взаимосвязи с посевной техникой.

Пневматические импульсы, для последующего усиления и осуществления рабочего процесса посева, вырабатываются в высевальной системе генератором пневматических импульсов, состоящего из пневмоструйного датчика 1 с ниппелями и перфорированного диска 2, который вращается от опорно-приводного колеса машины посредством клиноременной передачи. Далее импульсы калибруются формирователем импульсов постоянной длительности 3, работающим с применением элементов пневмоники 4. Формирователь импульсов вместе с генератором образует блок управления и синхронизации процесса посева со скоростью перемещения. Воздух под давлением поступает от источника избыточного давления через фильтр 5.

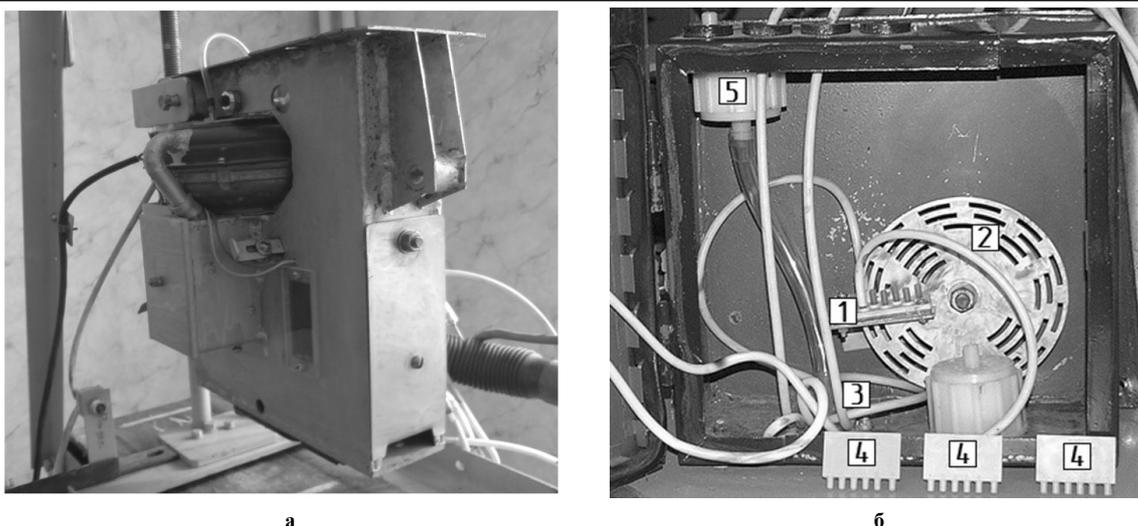


Рис. 1. - Высевающая система с элементами пневмоники для точного однозернового высева:  
а – высевающий аппарат; б – блок управления (обозначения в тексте).



Рис. 2. - Высевающие системы с элементами пневмоники для рядовых культур:  
а – пневмомеханическая; б – без подвижных деталей.



Рис. 3. - Посевная машина с высевающей системой на основе элементов пневмоструйной техники в виде приспособления к пропашному культиватору КРН-4,2

Обобщенное количественное значение надежности системы и технических средств в большинстве случаев трудно непосредственно получить из первичной информации. Кроме того, она не позволяет оценить влияние различных этапов разработки и эксплуатации системы, поэтому надежность целесообразно рассматривать по ее главным составляющим, которые являются свойствами системы и могут характеризоваться как качественно, так и количественно: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

В отношении безотказности работы представленных высевальных систем с элементами пневмоники это означает, что здесь ставится задача обеспечения их работы в течение времени, не меньшего, чем запланированное время работы технического средства [15].

То есть, высевальная система должна безотказно работать на протяжении всего времени годовой загрузки, которое равняется 160 часам, до очередного обслуживания, с обеспечением агротехнических показателей по равномерности и устойчивости посева.

Представленная на рис.3 высевальная система осуществляла посев гречихи и несypучих семян трав в соответствии с агротребованиями на протяжении указанного промежутка времени, что свидетельствует о высоких показателях безотказности.

Долговечность элементов и устройств пневмоники определяется подбором соответствующего материала. Струйные элементы могут быть изготовлены из металла или керамики, и в этом случае долговечность их становится практически неограниченной [13]. В нашем случае применялись элементы пневмоники системы «Волга», изготовленные из пластмассы и имеющие доказанные высокие показатели безотказности и долговечности.

Важным фактором в снижении себестоимости устройств с элементами пневмоники является простота их настройки и эксплуатации. Вследствие этого сводится к минимуму роль обслуживающего персонала. Для эксплуатации пневмоструйных систем требуются, в основном, механики низкой квалификации, так как простота и наглядность работы элементов пневмоники позволяет им овладеть необходимыми знаниями за короткое время [13]. Логические элементы пневмоники стандартизированы и унифицированы по уровням питания, входным и выходным сигналам, нагрузкам и габаритам. Это значительно упрощает процесс проектирования и технологию изготовления различных технических средств, а также облегчает монтаж, наладку и обслуживание аппаратуры. В рассматриваемых системах замена элементов пневмоники предельно проста – из монтажной колодки извлекается один элемент и вставляется другой (рис.1, б), то есть очевидна хорошая ремонтпригодность.

В отношении фильтрации воздуха и устранения загрязнений системы предусмотрена двойная фильтрация рабочего тела – на входе в источник давления (рис.3) и на входе в блок управления (рис.1, б). Также предусмотрено создание небольшого избыточного давления в корпусе блока управления для устранения поступления пылевых частиц в процессе работы.

Если струйная система, находящаяся в трудных условиях эксплуатации, не может быть в достаточной степени защищена от засорений, возникает вопрос о повышении ее надежности путем создания средств самоочистки или же проведения профилактических промывок и продувок для очистки засоренных каналов [15].

Повышение общей надежности системы может быть достигнуто также путем использования методов резервирования и дублирования сигналов блока управления.

С целью повышения надежности работы высевальных систем, силовые элементы высевальных аппаратов изготавливались с увеличенными проходными сечениями питающих и управляющих каналов.

### Выводы

1. Надежность является характеристикой эффективности системы. Если для оценки качества автоматизированной системы достаточно характеризовать ее надежностью выполнения функций в различных состояниях, то надежность совпадает с эффективностью системы.
2. Исследования показывают, что надежность рабочего процесса технических средств АПК с элементами пневмоники является комплексной характеристикой и включает в себя высокие показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

### Литература

1. Шишмарев В. Ю. Надежность технических систем [Текст] / В. Ю. Шишмарев. — М.: Академия, 2010. - 304с.
2. Залманзон Л. А. Специализированные аэрогидродинамические системы автоматического управления [Текст] / Л. А. Залманзон. — М.: Наука, 1978. — 464 с.
3. Бородин И. Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов [Текст] / И. Ф. Бородин. - М.: Колос, 1977. - 328 с.
4. Денисов А. А. Пневматические и гидравлические устройства автоматики [Текст] / А. А. Денисов, В. С. Нагорный. — М.: Высш. Школа, 1978. — 214с.
5. Очистка сжатого воздуха для пневматических систем приводов станков, прессов, литейных и других машин [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zodchii.ws/books/info-181.html>
6. Колбиков Л. О. Струйные мосты для линейных измерений / Л. О. Колбиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1972. - №12. — С. 43-45.
7. Т. Ефремова. Пневмоавтоматика в строю / Т. Ефремова // Работница. — 1984. - №12. — С.5.
8. Ю. Попов. Пневмоника / Ю. Попов, Ю. Пухначев // Наука и Жизнь. — 1965. - №1. — С.10-18.
9. Пневмоника [Электронный ресурс]. URL: [http://motoroller.su/akuna.org.ua/2014\\_pneumonica.htm](http://motoroller.su/akuna.org.ua/2014_pneumonica.htm)
10. Струйная техника [Электронный ресурс]. URL: <http://bse.sci-lib.com/article106904.html>
11. Касимов А.М. Развитие пневматических средств автоматизации [Текст] / Касимов А.М. // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». — 2010. — Москва. — С. 640-652.
12. Левин В. И. Профессии сжатого воздуха и вакуума [Текст] / В. И. Левин. — М.: Машиностроение, 1989. — 256 с.
13. Технические средства автоматизации. Ч. 1. Пневматическая ветвь: Учеб. пособие [Текст] / М. М. Мордасов, Д. М. Мордасов, А. В. Трофимов, А. А. Чуриков. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. - 168 с.
14. Елимелех И. М. Струйная автоматика (пневмоника) [Текст] / И. М. Елимелех, Ю. Г. Сидоркин. - Л.: Лениздат, 1972. - 212с.
15. Залманзон Л. А. Теория аэрогидродинамических систем автоматического управления [Текст] / Л. А. Залманзон. — М.: Наука, 1977. — 416 с.
16. Коваль В. Я. Исследование процесса выноса семени ячейкой-присоской барабана из семенной камеры высевающего аппарата [Текст] / В. Я. Коваль, А. В. Щеглов // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. — Луганськ, 2005. - №49(72). - С. 133-138.

17. Щеглов А.В. Перспективная высевая система. Критерии выбора схемы / А. В. Щеглов // Наук. вісник ЛНАУ. Серія «Технічні науки». - 2010. - № 20. - С. 202-206.
18. Pankov A., Zamota T., Shcheglov A. 2014. The research of application and working process of fluid-jet elements and devices in planting techniques. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol.14, № 1, Lublin, 191-199.

### Summary

**Aulin V. V., Pankov A. A., Zamota T. N.** The reliability of working process of agricultural technical facilities with the elements of pneumatic automation

*New capabilities for building reliable, easy to maintain and inexpensive devices for mechanization of production processes and automatic control systems in agriculture came with the creation of the element base of pneumatic automation.*

*The relevance of tasks and problems is that systematized information and data in respect of reliability of application of elements and devices of pneumatic automation in the technique of agriculture are absent.*

*The operating experience of jet control systems elements of pneumatic automation for a long period of time, in harsh conditions of work showed that they are highly reliable. The conclusion about high reliability control systems, built on an inkjet elements on the basis of experience gained in different industries.*

*Therefore the aim of the research is ensuring a sufficiently high reliability of technical facilities of agriculture with elements of pneumatic automation.*

*The objectives of the research are preliminary qualitative and quantitative assessment of the reliability of technical means of agriculture with elements of pneumatic automation, as well as the accumulation and systematization of data and information about the reliability of working processes of technical equipment of agriculture with elements of pneumatic automation.*

*The studies shows that the reliability of the working process of technical equipment of agriculture with elements of pneumatic automation is a comprehensive, integrated characteristic and includes highly variables of reliability, durability and maintainability.*

**Keywords:** *reliability, pnevmonika, mechanization, automation, process control, device, component*

### References

1. Shishmarev V. Y. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem [Tekst] / V.Y. Shishmarev. — M.: Akademiya, 2010. — 304 s.
2. Zalmanzon L. A. Specializirovannyye aehrogidrodinamicheskie sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Tekst] / L. A. Zalmanzon. — M.: Nauka, 1978. — 464 s.
3. Borodin I. F. Osnovy avtomatiki i avtomatizacii proizvodstvennyh pprocessov [Tekst] / I. F. Borodin. - M.: Kolos, 1977. - 328 s.
4. Denisov A. A. Pnevmaticheskie i gidravlicheskie ustrojstva avtomatiki [Tekst] / A. A. Denisov, V. S. Nagornyy. — M.: Vyssh. SHkola, 1978. — 214s.
5. Ochistka szhatogo vozduha dlya pnevmaticheskikh sistem privodov stankov, pressov, litejnyh i drugih mashin [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.zodchii.ws/books/info-181.html>
6. Kolbikov L. O. Strujnye mosty dlya linejnyh izmerenij / L. O. Kolbikov // Traktory i selsko-kozyajstvennye mashiny. - 1972. - №12. — S. 43-45.

7. Т. Efremova. Pnevmoavtomatika v stroyu / Т. Efremova // Rabotnica. – 1984. - №12. – S.5.
8. Yu. Popov. Pnevmonika / Yu. Popov, Yu. Puhnachev // Nauka i ZHizn. – 1965. - №1. – S.10-18.
9. Pnevmonika [Elektronnyj resurs]. URL: [http://motoroller.su/akuna.org.ua/2014\\_pneumonika.htm](http://motoroller.su/akuna.org.ua/2014_pneumonika.htm)
10. Strujnaya tekhnika [Elektronnyj resurs]. URL: <http://bse.sci-lib.com/article106904.html>
11. Kasimov A.M. Razvitie pnevmaticheskikh sredstv avtomatizacii [Tekst] / Kasimov A.M. // Trudy konferencii «Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya». – 2010. – Moskva. – S. 640-652.
12. Levin V. I. Professii szhatogo vozduha i vakuuma [Tekst] / V. I. Levin. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 256 s.
13. Tekhnicheskie sredstva avtomatizacii. Ch. 1. Pnevmaticheskaya vetv: Ucheb. posobie [Tekst] / M. M. Mordasov, D. M. Mordasov, A. V. Trofimov, A. A. Churikov. - Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2005. - 168 s.
14. Elimelekh I. M. Strujnaya avtomatika (pnevmonika) [Tekst] / I. M. Elimelekh, Yu. G. Sidorin. - L.: Lenizdat, 1972. - 212s.
15. Zalmanzon L. A. Teoriya aehrogidrodinamicheskikh sistem avtomaticheskogo upravleniya [Tekst] / L. A. Zalmanzon. – M.: Nauka, 1977. – 416 s.
16. Koval V. Ya. Issledovanie processa vynosa semeni yachejkoj-prisoskoj barabana iz semennoj kamery vysevayushchego aparata [Tekst] / V. Ya. Koval, A. V. Shcheglov // Zb. nauk. praz LNAU. Tekhnichni nauki. – Lugansk, 2005. - №49(72). - S. 133-138.
17. Shcheglov A.V. Perspektivnaya vysevayushchaya sistema. Kriterii vybora skhemy / A. V. Shcheglov // Nauk. visnik LNAU. Seriya «Tekhnichni nauki». - 2010. - № 20. - S. 202-206.
18. Pankov A., Zamota T., Shcheglov A. 2014. The research of application and working process of fluid-jet elements and devices in planting techniques. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol.14, № 1, Lublin, 191-199.