

УДК 636.075:8

UDC 636.075:8

05.20.00 Процессы и машины агроинженерных систем

Processes and machines of Agroengineering systems

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА**PROCESS OPTIMIZATION OF POULTRY BIOLOGICAL WASTE TRANSPORTATION**

Сторожук Татьяна Александровна

Storozhuk Tatyana Alexandrovna

к.т.н., доцент

Cand.Tech.Sci., docent

Scopus Author ID: 443761

Scopus Author ID: 443761

РИНЦ SPIN-код:1864-1806

RSCI SPIN-code: 1864-1806

storozjuk.t.a@gmail.com

storozjuk.t.a@gmail.com

*Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

На основании анализа средств транспортирования сельскохозяйственных грузов предложен вариант использования пневматической установки напорного принципа действия, которая позволяет перемещать биологические отходы птицеводства.

Pressure mode compressed-air installation use that allows transfer of biological poultry wastes was based on the investigation of agricultural cargo hauling equipment. The installation includes a compressor with a receiver, a conduit, a cork forming section, a valve and a reservoir. As a result of using the installation the energy intensity and consumption of the process are reduced during the transportation of the material, labor costs are reduced and the issue of environmental protection is resolved. To optimize the working process of the compressed-air installation, the volume of the blow-off boiler, the length and diameter of the pipeline were determined. It was established that the most important technological parameter of the installation, which is productivity, depends on its design parameters and physical and mechanical properties of the initial material. The determining influence on the performance is the air pressure and the speed of product movement. The required air pressure is regulated by the compressor, and the speed of transportation is due to the design parameters of the installation and the physical and mechanical properties of the material. These aspects are taken into account in this project for process optimization of the poultry biological waste transportation

Установка включает в себя компрессор с ресивером, трубопровод, участок формирования пробки, клапан и накопитель. В результате использования установки при транспортировании материала снижаются энергоёмкость и материалоемкость процесса, снижаются затраты труда и решается вопрос охраны окружающей среды. Для оптимизации рабочего процесса пневматической установки определили объём продувочного котла, длину и диаметр трубопровода. Установили, что важнейший технологический параметр установки, производительность, зависит от её конструктивных параметров и физико-механических свойств исходного материала. Определяющее влияние на производительность оказывают давление воздуха и скорость перемещения продукта. Необходимое давление воздуха регулируется компрессором, а скорость транспортирования обусловлена конструктивными параметрами установки и физико-механическими свойствами материала. Данные аспекты учитываются в настоящей работе для оптимизации процесса транспортирования биологических отходов птицеводства

Ключевые слова: БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОТХОДЫ ПТИЦЕВОДСТВА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ, СКОРОСТЬ, ДАВЛЕНИЕ

Keywords: BIOLOGICAL POULTRY WASTE, TRANSPORTATION, SPEED, PRESSURE

Doi: 10.21515/1990-4665-137-003

Введение. Пневмотранспортные установки делятся на три основных вида: всасывающие; нагнетательные; смешанные. Основными элементами пневмотранспортных установок являются: загрузочные устройства, затворы, фильтры, разгрузочные устройства, трубопроводы, ресиверы, маслоот-

делители.

Все основные элементы всасывающего вида установок находятся под разрежением. Преимуществом такого вида установок является то, что материал не проходит через вентилятор. Однако в таких установках происходит большой подсос воздуха, в связи с чем повышается расход электроэнергии на привод установки.

В установке нагнетательного типа все элементы находятся под повышенным давлением. Недостатком нагнетательной пневмотранспортной установки является возможность завала нагнетательного трубопровода кусковым грузом на начальном участке трубопровода, где скорость воздушного потока минимальна, или необходимость создания в нагнетательном трубопроводе достаточно большого динамического напора для обеспечения необходимой скорости витания для исключения выпадения кусков транспортируемого груза на дно трубопровода.

Пневматические установки нагнетательного типа оптимально использовать тогда, когда материал груза необходимо перемещать от единственного места погрузки к одной или нескольким точкам выгрузки. За счёт того, что сжатый воздух позволяет достигать значительных разностей давлений - в начале и в конце трубопровода - в отличие от аналогичных показателей при использовании разреженного воздуха, то при применении нагнетательных пневмоустановок достигается гораздо большая производительность [1], [2]. При этом также создаётся возможность передачи материала, груза на более дальние расстояния, чем при работе всасывающих установок.

Смешанный пневматический транспорт представляет собой комбинацию всасывающего и нагнетающего устройств: из разгрузателя всасывающего устройства материал через шлюзовой затвор поступает в воронку нагнетающего устройства. Установки смешанного типа забирают груз из нескольких загрузочных мест и подают одновременно в несколько пунк-

тов. Достоинством установок смешанного типа является то, что они проще решают вопрос забора и выгрузки материала. Однако следует учесть, что узел вентилятора, подвергается повышенному износу - за счёт абразивного воздействия частиц материала.

Предлагаемые системы пневмотранспорта обладают рядом важных преимуществ по сравнению с транспортированием механическими средствами. Перемещение на значительные расстояния: до 100 м по горизонтали; до 25 м по вертикали; возможность забирать материал прямо из насыпи; возможность транспортировки материала в труднодоступные места; отсутствие пыли при транспортировке; простота и надежность механизмов; частичная очистка от мелких примесей; непрерывность процесса.

Цель исследования – снижение энергоемкости и металлоемкости процесса транспортирования биологических отходов птицеводства, а также снижение затрат труда на процесс за счет использования пневматической транспортирующей установки. Нами предлагается экспериментальная пневматическая установка для транспортировки биологических отходов птицеводства, продувочной частью которой является компрессор с ресивером, см. рисунок 1.

В соответствии с технологическим процессом транспортирования биологических отходов птицеводства, представленная экспериментальная установка работает следующим образом. Запускается электродвигатель, который приводит в действие компрессор; в свою очередь, последний накачивает воздух в ресивер, где воздух находится под повышенным давлением (сжатый воздух). Затем в загрузочную воронку подаётся материал (помёт или иные биологические отходы), который перемещается в накопитель, после чего запускается ресивер и под действием сжатого воздуха материал перемещается в хранилище, клапан закрывается автоматически под действием сжатого воздуха и не даёт материалу выходить за пределы трубопровода.

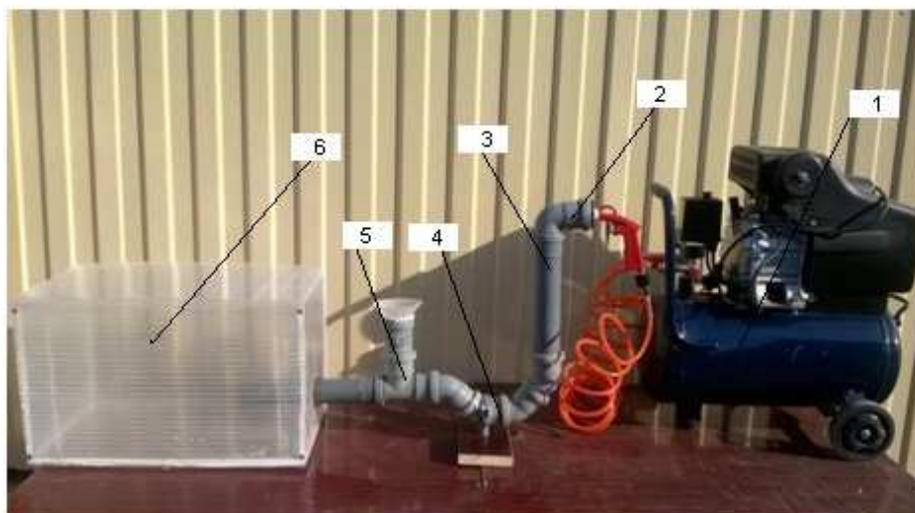


Рисунок 1 – Общий вид макетного образца пневматической установки:
 1 – компрессор с ресивером на 25 литров; 2 – соединение компрессора и лабораторной установки; 3 – трубопровод; 4 – участок формирования пробки; 5 – клапан; 6 – накопитель;

Методика исследований. Объём продувочного котла V_k , или приёмной трубы, в m^3 пневмотранспортной установки для подачи помёта от помещений птицефермы в хранилище может быть определен по следующей методике [3]:

$$V_k = \frac{Q_c}{k \cdot m \cdot \rho_n \cdot k_3} \quad (1)$$

или

$$V_k = \frac{\Sigma \cdot n_i \cdot q_i}{k \cdot m \cdot \rho_n \cdot k_3} \quad (2)$$

где Q_c – суточный выход помёта на ферме, кг;

n_i – число птиц каждого вида, которых обслуживает установка;

q_i – суточная норма выхода помёта от одной птицы каждого вида, кг;

k – число циклов работы установки за одну уборку;

m – число уборок (кратность уборки) в течение суток;

ρ_n – плотность помёта, kg/m^3 ;

k_3 – коэффициент заполнения котла, или трубы.

Длина трубопровода L_n будет равна:

$$L_n = \frac{4 \cdot v_k}{\pi \cdot d_n^2}, \quad (3)$$

где L_n – длина приёмной трубы, м;

d_n – диаметр приёмной трубы, м;

Оптимальной формой продувочного котла считается цилиндр или усеченный конус с углом примерно 39° и высотой равной среднему диаметру. При этом днище выполняется в виде полусферы или конуса с углом до 150° .

Производительность установки Q_n , $\text{м}^3/\text{ч}$, с одним продувочным котлом равна:

$$Q_n = V_{nk} \cdot n, \quad (4)$$

где V_{nk} – объем помёта транспортируемого за один цикл, м^3 ;

n – число циклов работы продувочного котла в час, м^3

$$n = \frac{3600}{t_3 + t_{nb} + t_{mp} + t_{всп}}, \quad (5)$$

где t_3 – время загрузки, с;

t_{nb} – время подачи в котёл сжатого воздуха до начала движения навоза из котла, с;

t_{mp} – время вытеснения помёта из котла и транспортирования его по трубопроводу, с;

$t_{всп}$ – вспомогательное время на цикл, с.

Время загрузки продувочного котла определяется исходя из производительности устройств загружающих котёл:

$$t_3 = \frac{V_{nk}}{n_3 \cdot Q_3}, \quad (6)$$

где n_3 – число загрузочных устройств;

Q_3 – производительность загрузочного устройства, м³/с

Время вытеснения помёта из котла и транспортирования его по помётопроводу равно:

$$t_{mp} = \frac{4 \cdot v_{nk}}{\pi d_2 \cdot v} + \frac{L}{v}, \quad (7)$$

где d – диаметр помётопровода, м;

v – скорость движения навоза в помётопроводе, м/с;

L – длина помётопровода, м.

Результаты исследований. Опыт эксплуатации пневмотранспортных установок показывает, что наиболее оптимальным диаметром помётопровода является 120...180 см. Скорость движения помёта 1...3 м/с.

При расчете диаметра помётопровода следует исходить из производительности установки только при транспортировании помёта $Q_{нт}$:

$$Q_{нт} = \frac{Q_c}{t'_{mp} \cdot \rho_n}, \quad (8)$$

где t'_{mp} – время транспортирования помёта, с;

Зная $Q_{нт}$, диаметр помётопровода определится:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{нт}}{h \cdot v}}, \quad (9)$$

Если установка имеет несколько продувочных котлов (или приемных труб) при одном общем магистральном помётопроводе и помёт удаляется из этих котлов последовательно, то производительность такой установки будет равна:

$$Q_y = V_{nk} \cdot \frac{3600}{T_{ц}}, \quad (10)$$

где $T_{ц}$ – продолжительность одного цикла работы всей установки, с.

Для определения $T_{ц}$ следует построить совмещенный график работы

всех котлов установки [3]. Схема такого графика, для установки имеющей четыре продувочных котла приведена на рисунке 2.

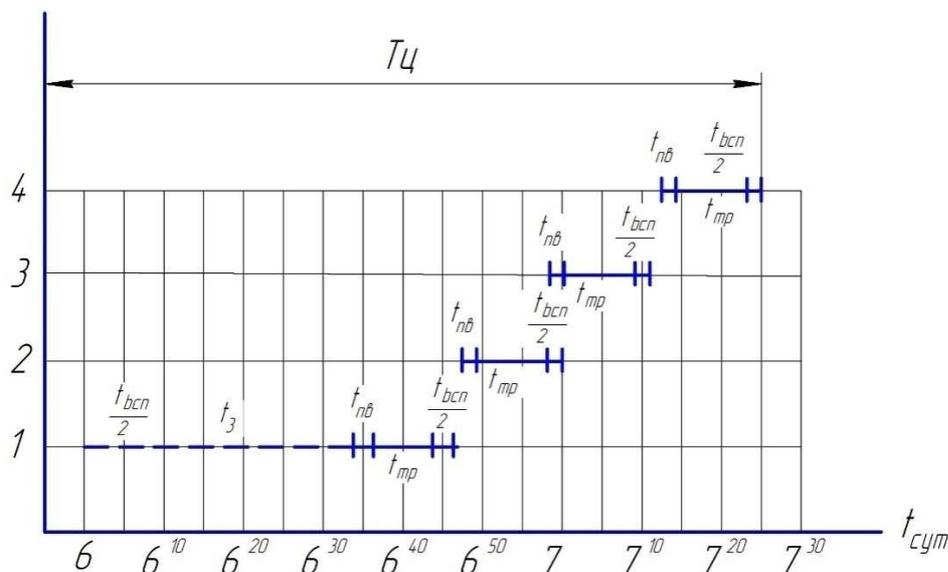


Рисунок 2 – График работы пневмоустановки с четырьмя продувочными котлами (для определения $T_{ц}$).

По оси отложено время суток (часы и минуты), по оси ординат указаны номера котлов. Первый котёл начинает работу с шести часов. Вспомогательное время ($t_{всп}$) равномерно разделено на две части - до и после работы котла. За первой частью его отложено время загрузки котла $t_з$, затем время подачи в котёл сжатого воздуха $t_{пб}$, дальше время вытеснения помёта из котла и транспортирования его по помётопроводу $t_{мп}$ и вторая часть вспомогательного времени $\frac{t_{всп}}{2}$. Для второго и остальных котлов откладываем только то время, которое не должно совпадать с временем работы предыдущих котлов. Очевидно, что это будет время $t_{пб}$, $t_{мп}$ и $t_{всп}$. Остальные операции могут выполняться параллельно работе предыдущих котлов. Суммарное время цикла $T_{ц}$ определяется, как показано на графике.

Помётопровод следует закладывать с уклоном в сторону помётохранилища. Этот уклон должен находиться в границах:

$$0 \leq h \leq \frac{40 \cdot \tau_0}{\rho_H \cdot d}, \tag{11}$$

где h – уклон помётопровода, %;

τ_0 – предельное сопротивление сдвигу помёта, Н/м²;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность помёта, кг/м³;

d – диаметр помётопровода, м.

Давление, которое должна развивать компрессорная станция P , Па, чтобы подать из продувочного котла помёт с нужной скоростью на определенное расстояние может быть определено так:

$$P = \Delta H_{\text{в}} + \Delta H_{\text{р}} + \Delta H_{\text{л}} + \Delta H_{\text{м}} + \Delta H_{\text{г}}, \quad (12)$$

где $\Delta H_{\text{в}}$ – потери давления в воздухопроводе от компрессорной станции до продувочного котла, Па;

$\Delta H_{\text{р}}$ – потери давления на разгон помёта (до скорости транспортирования), Па;

$\Delta H_{\text{л}}$ – линейные потери давления в помётопроводе, Па;

$\Delta H_{\text{м}}$ – местные потери давления в помётопроводе, Па;

$\Delta H_{\text{г}}$ – потери давления, зависящие от высоты подачи помёта, Па.

Потери давления $\Delta H_{\text{в}}$ в воздухопроводе равны [4]:

$$\Delta H_{\text{в}} = \Delta H_{\text{вл}} + \Delta H_{\text{вм}}, \quad (13)$$

где $\Delta H_{\text{вл}}$ – линейные потери давления в воздухопроводе, Па;

$\Delta H_{\text{вм}}$ – линейные потери давления в воздухопроводе, Па

Линейные потери давления в воздухопроводе, возникающие в результате трения воздушного потока о стенки трубопровода могут быть определены для турбулентного движения с учётом динамического напора следующей формулой:

$$H_{\text{о.л}} = \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{l_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho_{\text{в}} \cdot v_{\text{в}}^2}{2}, \quad (14)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент трения воздуха о стенки трубопровода;

$l_{\text{в}}$, $d_{\text{в}}$ – длина и диаметр прямолинейного воздухопровода, м;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

$v_{\text{в}}$ – скорость движения воздуха, м/с.

Коэффициент трения $\lambda_{\text{в}}$ может быть определен с помощью следующих формул:

для ламинарного режима, когда $R_{\text{е}} < 2320$:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{64}{R_{\text{е}}}, \quad (15)$$

для гидравлически гладких, не вполне шероховатых труб при турбулентном режиме:

$$\lambda_{\text{в}} = 0,1 \cdot \left(1,46E + \frac{100}{R_{\text{е}}}\right)^{0,25}, \quad (16)$$

где $R_{\text{е}}$ – число Рейнольдса.

$$R_{\text{е}} = \frac{v_{\text{в}} \cdot d_{\text{в}}}{\nu_{\text{в}}} \quad (17)$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость воздуха, м/с;

$d_{\text{в}}$ – диаметр трубопровода, м;

$\nu_{\text{в}}$ – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с

E – относительная шероховатость $E = \frac{m}{d_{\text{в}}}$;

m – абсолютная шероховатость, мм.

Местные потери давления в воздухопроводе, или потери давления в результате сопротивлений от местных фасонных частей пневмолинии могут быть выражены так:

$$\Delta H_{\text{вм}} = \Sigma \cdot \xi_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \frac{v_{\text{в}}^2}{2} \quad (18)$$

где $\xi_{\text{в}}$ – коэффициент, определяемый опытным путём.

Если воздухопроводы имеют небольшую длину, значением $\Delta H_{\text{в}}$ можно пренебречь.

Для определения составляющих $\Delta H_{\text{р}}$, $\Delta H_{\text{л}}$, $\Delta H_{\text{м}}$ и $\Delta H_{\text{г}}$ в Па рекомен-

дуют применять следующие выражения:

$$H_p = \frac{\rho_n \cdot v_n^2}{2}, \quad (19)$$

$$\Delta H_{\lambda} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho_n \cdot v_n^2}{2}, \quad (20)$$

$$\Delta H_{\lambda} = \lambda \cdot \frac{\Sigma l_{\text{экв}}}{d} \cdot \frac{\rho_n \cdot v_n^2}{2}, \quad (21)$$

$$\Delta H_{\lambda} = 10 h_{\tau} \cdot \rho_n \quad (22)$$

где ρ_n – плотность помёта, кг/м³;

v_n – скорость движения помёта в трубах, м/с;

λ – линейный коэффициент гидравлического сопротивления;

L – длина трубопровода, м;

d – внутренний диаметр трубопровода, м;

$l_{\text{экв}}$ – длина прямолинейного трубопровода, эквивалентная соответствующему местному сопротивлению, м;

h_{τ} – высота подачи помёта, м.

В эти выражения подставляют обобщенное число Рейнольдса:

$$R'_e = \frac{1}{\frac{\eta}{10 \rho_n \cdot v_n \cdot d} + \frac{1}{80} \cdot \frac{\tau_0}{\rho_n \cdot v_n^2}} \quad (23)$$

где η – пластическая вязкость, Н·с/м²;

τ_0 – предельное сопротивление сдвигу, Н/м².

Можно определять удельные потери напора, Па/м, в трубопроводе следующим образом:

$$i = \frac{3,2 \cdot \eta \cdot v}{\rho \cdot d^2} + 0,4 \cdot \frac{\tau_0}{\rho \cdot d'} \quad (24)$$

Переход к турбулентному режиму движения помёта в трубах начинается при $R'_e = 1200 \dots 1800$. Для имеющихся в настоящее время установок этот переход начинается при скорости помёта 3...4 м/с [5].

Если подставить в уравнение для определения давления вместо $P_{\text{дон}}$

(обычно его принимают не выше $6 \cdot 10^5$ Па) и значения остальных составляющих его, определённых как изложено выше, то пользуясь этим уравнением можно методом подбора определить диаметр помётопровода с учётом физико-механических свойств помёта и режимов транспортирования.

Выводы:

1. При проектировании средств транспортирования помёта необходимо учитывать физико-механические свойства исходного материала, а также факторы, влияющие на технологические параметры установки.

2. Эффективная работа установки определяется рабочим давлением, создаваемым компрессором, позволяющим нагнетать необходимое для транспортирования количество воздуха в ресивер.

3. Оптимальная конструкция трубопровода предотвращает налипание материала на стенки, а также закупоривание трубопровода налипающими остатками.

Литература

1. Сторожук Т.А. Патент № 2199199 Российская Федерация, МПК7А01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков [Текст] / Т.А. Сторожук, А.Л. Кулакова, И.А. Потапенко, Ю.С. Сторожук // заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2001100329/13; заявл.04.01.2001; опубл. 27.02.2003–3 с. : ил. 1.

2. Сторожук Т.А. Патент № 2248112 Российская Федерация, МПК7А01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков [Текст] / Т.А. Сторожук, И.А. Потапенко, С.В. Сторожук, А.Л. Кулакова // заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2000128866/12; заявл.17.11.2000; опубл. 20.03.2005 –3 с.: ил. 1.

3. Сторожук Т.А. Методика исследования пневматических систем транспортирования биологических отходов птицеводства [Текст] / Сторожук Т.А. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г..2017 г., с.325-326.

4. Применение программного обеспечения для проектирования линии транспортирования биологических отходов животноводческих ферм / Сторожук Т.А.// В книге: Аграрная наука – сельскому хозяйству Сборник статей : в 3 книгах. Алтайский государственный аграрный университет. 2017. С.49-50.

5. Сторожук Т.А. Методика исследования пневматических систем транспортирования биологических отходов птицеводства [Текст] // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2016 г., 2017. С. 325-326.

References

1. Storozhuk T.A. Patent № 2199199 Rossijskaja Federacija, MPK7A01S3/00. Ustrojstvo dlja obezzarazhivaniya navoznyh stokov [Tekst] / T.A. Storozhuk, A.L. Kula-kova, I.A. Potapenko, Ju.S. Storozhuk // zajavitel' i patentoobladatel' Kubanskij go-sudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2001100329/13; zajavl.04.01.2001; opubl. 27.02.2003–3 s. : il. 1.
2. Storozhuk T.A. Patent № 2248112 Rossijskaja Federacija, MPK7A01S3/00. Ustrojstvo dlja obezzarazhivaniya navoznyh stokov [Tekst] / T.A. Storozhuk, I.A. Pota-penko, S.V. Storozhuk, A.L. Kulakova // zajavitel' i patentoobladatel' Kubanskij go-sudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2000128866/12; zajavl.17.11.2000; opubl. 20.03.2005 –3 s.: il. 1.
3. Storozhuk T.A. Metodika issledovaniya pnevmaticeskikh sistem transportirovaniya biologiceskikh othodov pticevodstva [Tekst] / Storozhuk T.A. // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statej po materialam 72-j nauchno-prakticheskoj konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2016 g..2017 g., s.325-326.
4. Primenenie programmnoho obespechenija dlja proektirovaniya linii transportirovaniya biologiceskikh othodov zhivotnovodcheskikh ferm / Storozhuk T.A.// V knige: Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu Sbornik statej : v 3 knigah. Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. 2017. S.49-50.
5. Storozhuk T.A. Metodika issledovaniya pnevmaticeskikh sistem transportirovaniya biologiceskikh othodov pticevodstva [Tekst] // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statej po materialam 72-j nauchno-prakticheskoj konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2016 g., 2017. S. 325-326.