

А.Ю. Брюханов,
Е.В. Шалавина ✉,
Э.В. Васильев

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

✉ shalavinaev@mail.ru

Поступила в редакцию:
01.06.2022

Одобрена после рецензирования:
29.08.2022

Принята к публикации:
15.09.2022

Aleksandr Yu. Briukhanov,
Ekaterina V. Shalavina ✉,
Eduard V. Vasilev

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ shalavinaev@mail.ru

Received by the editorial office:
01.06.2022

Accepted in revised:
29.08.2022

Accepted for publication:
15.09.2022

Методика расчетов комбинированной ресурсосберегающей системы навозоудаления на свиноводческих комплексах

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Использование в качестве технической воды при навозоудалении жидкой фракции навоза является ресурсосберегающим решением. Для реализации этого решения при проектировании комбинированных ресурсосберегающих систем навозоудаления требуется наличие методик проведения расчетов и учета количества входящих в состав навоза биогенных и взвешенных веществ, переходящих в твердую и жидкую фракцию при сепарации навоза. Целью исследований была разработка методики расчетов количественных и качественных характеристик фракций навоза с учетом использования части жидкой фракции в системе навозоудаления.

Методы. Расчеты были выполнены по данным свиноводческого комплекса, расположенного в Ленинградской области, с единовременным поголовьем 65 100 голов.

Результаты расчетов сравнили с фактическими значениями по протоколам лабораторных исследований.

Результаты. Разработанная методика позволит хозяйству составить более точный план учета питательных веществ, переходящих в органическое удобрение, а также позволит сэкономить до 47 450 тонн чистой воды для системы навозоудаления в год.

Ключевые слова: свиной навоз, навозоудаление, органическое удобрение, общий азот, ресурсосбережение

Для цитирования: Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика расчетов комбинированной ресурсосберегающей системы навозоудаления на свиноводческих комплексах. *Аграрная наука.* 2022; 363 (10): 136-142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-136-142>

© Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В.

Calculation methods of a combined resource-saving system of manure removal on pig-rearing complexes

ABSTRACT

Relevance. The use of liquid fraction of pig manure as technical water for manure removal is a resource-saving solution. Applying this solution in designing combined resource-saving manure removal systems requires calculation and accounting methods for the manure nutrients and suspended matter, which pass into the solid and liquid fractions during manure separation. The study aimed to develop a methodology for calculating the quantity and quality of manure fractions for the case when a part of the liquid fraction would be used in the manure removal system.

Methods. Calculations were based on the data from a pig rearing complex located in the Leningrad region, with 65,100 heads on the complex at any one time. The calculation results were compared with the actual values from the protocols of laboratory analyses.

Results. The developed methodology will allow the farm to make a more efficient accounting plan for nutrients passing into organic fertilisers. It will also save up to 47 450 tons of clean water for the manure removal system per year.

Key words: pig manure, manure removal, organic fertiliser, total nitrogen, resource saving

For citation: Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasilev E.V. Calculation methods of a combined resource-saving system of manure removal on pig-rearing complexes. *Agrarian science.* 2022; 363 (10): 136-142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-136-142> (In Russian).

© Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasilev E.V.

Введение / Introduction

За последние 40 лет количество чистой пресной воды из расчета на одного человека уменьшилось на 60%. Сельское хозяйство — самый большой потребитель пресной воды. На сегодняшний день этот сектор экономики потребляет почти 70% от всего объема используемой человеком пресной воды [1]. Учитывая, что свиной навоз на 85% состоит из воды, ресурсосберегающим решением будет перерабатывать его и повторно использовать в качестве воды — оборотное водоснабжение.

Основным ресурсом в системе навозоудаления на свиноводческих комплексах является вода, которая необходима для изначального наполнения навозных ванн, мойки и дезинфекции полов и станочного оборудования и других технологических нужд. При добавлении к экскрементам воды, гранулометрический состав навоза и его влажность изменяются. Установлено, что при влажности навоза 90% и более остаточный слой навоза в системе навозоудаления увеличивается, что объясняется интенсивным расслоением навоза на фракции. Проведенными ранее исследованиями установлено, что при увеличении влажности навоза с 88% до 90% остаточный слой уменьшается, что можно объяснить уменьшением значения предельного напряжения сдвига. Затем, с увеличением влажности сверх 91%, остаток увеличивается, что объясняется ин-

тенсивным расслоением навоза на фракции. Таким образом, оптимальная влажность навоза, поступающего в систему навозоудаления, составляет 89–91%. В производственных условиях она может находиться в пределах 89–92% [2]. Излишнее количество воды в системе крайне нежелательно, так как оно способствует заливанию ванны вследствие интенсивного расслоения на фракции и увеличивает объем утилизируемого навоза [3]. Использование самой же жидкой фракции навоза совместно с чистой водой в системе навозоудаления позволит не только снизить потребление чистой воды, но и сделать навозоудаление оптимальным.

При разработке Технологических регламентов переработки и использования навоза в качестве удобрения в ИАЭП — филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ — был проведен анализ натурных данных 15 свиноводческих комплексов, применяющих технологию — «самосплав». Свиноводческие комплексы были разной мощности и имели поголовье в диапазоне 6000–168 000 голов. Регионы размещения свиноводческих комплексов: Калининградская область, Ленинградская область, Псковская область, Томская область, Калужская область, Республика Бурятия и Красноярский край. Данные по массе технологической воды брались по счетчикам свиноводческих комплексов (рисунок 1, 2).

Как видно из рисунка 1, масса технической воды, необходимая на 1 подсосную свиноматку, составляет

Рисунок 1. Масса технологической воды на 1 подсосную свиноматку в сутки

Figure 1. Mass of process water per 1 suckling sow per day



Рисунок 2. Масса технологической воды на 1 животное в сутки

Figure 2. Mass of process water per 1 animal per day



от 15,3 до 19,8 литров в сутки. Масса технической воды, необходимой на 1 супоросную или холостую свиноматку, составляет от 1,0 до 2,1 литров в сутки. Как видно из рисунка 2, масса технической воды, необходимой на 1 поросенка-отъемыша, составляет от 0,7 до 1,8 литров в сутки. Масса технической воды, необходимой на 1 голову ремонтного молодняка, составляет от 1,4 до 2,2 литров в сутки. Масса технической воды, необходимой на 1 голову откормочного поголовья, составляет от 0,9 до 2,2 литров в сутки [4]. В соответствии с РД-АПК 1.10.02.04-12 «Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов», масса технологической воды на 1 подсосную свиноматку с приплодом составляет 20 л/гол./сут.; на 1 супоросную или холостую свиноматку — 7 л/гол./сут.; на 1 поросенка-отъемыша — 1,5 л/гол./сут.; на 1 голову откормочного или ремонтного поголовья — 4,5 л/гол./сут. Сравнив нормативные и фактические значения можно сделать вывод, что фактические значения меньше нормативных.

Учитывая, что жидкая фракция свиного навоза содержит биогенные элементы (общий азот и фосфор), корректный учет ее количественных и качественных характеристик является приоритетной задачей при проектировании технологических решений, задействованных при работе со свиным навозом [5–10].

На сегодняшний день в Российской Федерации не существует методик расчета количественных и качественных характеристик навоза при использовании вместо чистой воды в системе навозоудаления жидкой фракции самого навоза, после блока разделения навоза на фракции. Расчет осуществляется на основании технических характеристик сепаратора и РД-АПК 1.10.15.02-17* «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета».

Целью исследований была разработка методики расчетов количественных и качественных характеристик фракций навоза с учетом использования части жидкой фракции в системе навозоудаления.

Материал и методы исследования / Materials and method

Исследование проведено на свиноводческом комплексе, расположенном Ленинградской области, с единовременным поголовьем 65 100 голов.

Для удаления навоза в свинарниках для содержания всех половозрастных групп свиней применяется самотечная система навозоудаления периодического действия, которая состоит из секций бетонных навозоприемных ванн с проложенными под ними пластиковыми канализационными трубами и входит в состав специального сельскохозяйственного оборудования системы навозоудаления и навозонакопителей. После завершения каждого цикла производства предусматривается мойка и дезинфекция станочного оборудования и навозоприемных ванн с использованием передвижных моечных установок высокого давления производительностью 150–900 л/час и напором 100–150 атм.

Весь навоз из помещений содержания животных самотеком поступает в подземный приемный резервуар, выполненный из бетона, объемом 2000 м³. Наземная часть приемного резервуара выполнена в виде одноэтажного здания, в котором располагается технологическое оборудование. Для поддержания свиного навоза в однородном состоянии в резервуаре установлены 2 погружных миксера «Landia POP-lms 160 EM 1020»

(основной и резервный), мощностью 18 кВт каждый. Для откачки навоза в цех разделения на фракции установлены 2 погружных насоса «Landia DG-I 105 MS 160» (основной и резервный), мощностью 15 кВт каждый. Транспортирование навоза к месту разделения навоза на фракции осуществляется по пропиленовым трубам диаметром 100 мм, расположенным под землей. Для регулирования глубины погружения насосов смонтирован монорельс, на который через электропроводную каретку подвешена электрическая таль «BE 102M». Запуск работы оборудования производится автоматически, уровень навоза фиксируется датчиками. Вся информация выводится на пульт управления оператора.

Цех разделения на фракции включает в себя механический фильтр с гидравлическим приводом, гидроциклон, усреднитель, измельчитель с электроприводом и два вихревых насоса «Caprari KKCW100LA». Все технологические элементы оборудованы датчиками уровня. Часть жидкой фракции свиного навоза после цеха сепарации по трубопроводу перекачивается в лагуны, вторая часть по отдельному трубопроводу перекачивается обратно на свиноводческий комплекс в приемный резервуар. В резервуаре происходит разбавление жидкой фракции водой, после чего жидкость используется для удаления навоза гидросмывом.

Жидкая фракция свиного навоза, перекачанная в лагуны, перерабатывается в жидкое органическое удобрение методом длительного выдерживания. Твердая фракция навоза перерабатывается в органическое удобрение методом пассивного компостирования.

Расчет массы экскрементов животных $M_{Э}$, их влажности и содержания в них общего азота $N_{Э}$ проводился на основании метода баланса масс [11–14]. Данные по кормам, приростам и среднегодовому количеству поросят на 1 свиноматку предоставлены свиноводческим комплексом.

Масса жидкости, используемой для гидросмыва (после цеха сепарации), $M_{ГС}$, — это фиксированное постоянное значение, полученное на основании данных приборов учета Приемного резервуара 2. Масса жидкости, поступающая в систему навозоудаления, включает в себя $M_{ГС}$ и массу чистой воды (50 тонн в сутки).

Масса общего азота в жидкости для гидросмыва определялась двумя способами: расчетным и экспериментальным.

Расчетным путем масса общего азота в жидкости для гидросмыва определялась по формуле 1:

$$N_{ГС} = N_{Н} - N_{Э}, \quad (1)$$

где $N_{ГС}$ — расчетная масса общего азота в жидкости для гидросмыва, т/сут.;

$N_{Н}$ — масса общего азота в навозе, т/сут.;

$N_{Э}$ — масса общего азота в экскрементах животных, т/сут.

Фактическая масса общего азота в жидкости для гидросмыва определялась экспериментальным путем на основании данных протоколов лабораторных анализов. Из Приемного резервуара 2 отбиралась проба жидкой фракции навоза, в которой определялось значение общего азота N_{tot} . Масса общего азота в жидкости для гидросмыва рассчитывалась по формуле 2:

$$N_{ГС} = N_{tot} \cdot M_{ГС} / 100, \quad (2)$$

где $N_{\text{ФГС}}$ — фактическая масса общего азота в жидкости для гидросмыва, т/сут.;

N_{tot} — содержание общего азота в жидкости для гидросмыва (жидкая фракция навоза), %;

$M_{\text{ГС}}$ — масса жидкости для гидросмыва, т/сут.

Масса свиного навоза (экскременты и жидкая фракция навоза для гидросмыва) определялись двумя способами: расчетным и экспериментальным.

Расчетным путем масса свиного навоза (экскременты и жидкая фракция навоза для гидросмыва) рассчитывалась по формуле 3:

$$M_{\text{Н}} = M_{\text{Э}} + M_{\text{ГС}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{Н}}$ — масса навоза, поступающая в приемный резервуар цеха сепарации, т/сут.;

$M_{\text{Э}}$ — масса экскрементов животных, полученная расчетным путем, т/сут.;

$M_{\text{ГС}}$ — масса жидкой фракции свиного навоза, поступающей после цеха сепарации обратно на свиноводческий комплекс, т/сут. $M_{\text{ГС}} = 130$ тонн в сутки.

Фактическая масса свиного навоза определялась экспериментальным путем. В приемном резервуаре установлены приборы учета (датчики уровня), контролирующие заполняемость резервуара. Как только датчик сигнализировал о том, что приемный резервуар заполнен, производилась откачка навоза. Умножая число раз заполнения резервуара на объем резервуара, определяли фактическую массу навоза.

Расчетным способом масса общего азота в навозе определялась на основании метода баланса масс, скорректированного поправочным коэффициентом.

Фактическая масса общего азота в навозе определялась экспериментальным путем на основании результатов протоколов лабораторных анализов. Проба навоза отбиралась из Приемного резервуара 1. В пробе определялось значение общего азота. Масса общего азота в навозе рассчитывалась по формуле 3:

$$N_{\text{Н}} = N_{\text{tot}_\text{Н}} \cdot M_{\text{Н}} / 100 \quad (4)$$

где $N_{\text{Н}}$ — фактическая масса общего азота в навозе, т/сут.;

$N_{\text{tot}_\text{Н}}$ — содержание общего азота в навозе, %;

$M_{\text{Н}}$ — масса навоза, т/сут.

Расчет массы, влажности и общего азота в твердой и жидкой фракции свиного навоза проводился на основании разработанной ранее методики [15].

Фактические масса твердой фракции свиного навоза определялась путем подсчета количества прицепов заданной вместимости, транспортировавших твердую фракцию навоза на бетонированную площадку. Расчет сделан с учетом поправки на плотность материала (формула 5):

$$M_{\text{ТФ}} = K_{\text{П}} \cdot V_{\text{П}} \cdot \rho_{\text{ТФ}}, \quad (5)$$

где $M_{\text{ТФ}}$ — фактическая масса твердой фракции навоза, т/сут.;

$K_{\text{П}}$ — количество прицепов вывезенной твердой фракции навоза за сутки, шт.;

$V_{\text{П}}$ — вместимость 1 прицепа, м³;

$\rho_{\text{ТФ}}$ — плотность твердой фракции, кг/м³.

Фактическая масса жидкой фракции свиного навоза определялась на основании данных приборов учета, установленных в Приемном резервуаре 2. Полученные данные проверялись по формуле (6).

$$M_{\text{Н}} = M_{\text{ТФ}} + M_{\text{ЖФ}}, \quad (6)$$

где $M_{\text{Н}}$ — масса навоза, т/сут.;

$M_{\text{ТФ}}$ — масса твердой фракции навоза, т/сут.;

$M_{\text{ЖФ}}$ — масса жидкой фракции навоза, т/сут.

Фактические данные по влажности твердой и жидкой фракций взяты из протоколов лабораторных анализов, полученных из аккредитованной лаборатории «Центральная научно-методическая ветеринарная лаборатория» (ФГБУ ЦНМВЛ) в соответствии с ГОСТ 26713-85 «Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка».

Фактическая масса общего азота в твердой и жидкой фракции определялась экспериментальным путем на основании данных протоколов лабораторных анализов, полученных из аккредитованной лаборатории в соответствии с ГОСТами. Из Приемного резервуара 2 отбиралась проба жидкой фракции навоза. Из прицепа, транспортирующего твердую фракцию к месту переработки, отбиралась проба твердой фракции навоза. В пробах определялся общий азот. Масса общего азота рассчитывалась по формулам 7 и 8:

$$N_{\text{ТФ}} = N_{\text{tot}_\text{ТФ}} \cdot M_{\text{ТФ}} / 100 \quad (7)$$

где $N_{\text{ТФ}}$ — масса общего азота в твердой фракции навоза, т/сут.;

$N_{\text{tot}_\text{ТФ}}$ — содержание общего азота в твердой фракции навоза, %;

$M_{\text{ТФ}}$ — масса твердой фракции навоза, т/сут.

$$N_{\text{ЖФ}} = N_{\text{tot}} \cdot M_{\text{ЖФ}} / 100 \quad (8)$$

где $N_{\text{ЖФ}}$ — масса общего азота в жидкой фракции навоза, т/сут.;

N_{tot} — содержание общего азота в жидкой фракции навоза, %;

$M_{\text{ЖФ}}$ — масса жидкой фракции навоза, т/сут.

Масса жидкой фракции свиного навоза, возвращающаяся на свиноводческий комплекс в качестве жидкости для гидросмыва $M_{\text{ГС}}$, бралась на основании данных приборов учета. Масса жидкой фракции свиного навоза, поступающая на блок длительного выдерживания, рассчитывается по формуле 9:

$$M_{\text{ЖФ}_\text{ДВ}} = M_{\text{ЖФ}} - M_{\text{ГС}} \quad (9)$$

где $M_{\text{ЖФ}_\text{ДВ}}$ — масса жидкой фракции, перерабатываемая в органическое удобрение методом длительного выдерживания, т/сут.;

$M_{\text{ЖФ}}$ — масса образуемой после цеха сепарации жидкой фракции свиного навоза, т/сут.;

$M_{\text{ГС}}$ — масса жидкой фракции свиного навоза, используемой на комплексе для гидросмыва, т/сут.

Масса общего азота в жидкой фракции навоза, поступающей на блок длительного выдерживания, рассчитывается по формуле (10):

$$N_{\text{ЖФ}_\text{ДВ}} = \frac{M_{\text{ЖФ}_\text{ДВ}}}{M_{\text{ЖФ}}} \cdot N_{\text{ЖФ}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{ЖФ_ДВ}}$ — масса общего азота в жидкой фракции навоза, перерабатываемой в органическое удобрение методом длительного выдерживания, т/сут.

Масса общего азота в жидкой фракции навоза, используемой на комплексе для гидросмыва, определяется по формуле 11:

$$N_{\text{ФГС}} = N_{\text{ЖФ}} - N_{\text{ЖФ_ДВ}} \quad (11)$$

Масса общего азота в жидкости для гидросмыва, полученная расчетным путем по формуле 11, уточняется фактическими замерами с перерасчетом по формуле (2).

Расчет количественных и качественных характеристик получаемых твердого и жидкого органических удобрений выполнялся по стандартным методикам в соответствии с РД-АПК 1.10.15.02-17*. Расчетные значения сравнивались с фактическими.

Отборы проб выполнялись с трехкратной повторностью. Экспериментальные данные были обработаны в программе «Microsoft Excel».

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На пилотном свиноводческом комплексе ежегодно образуется в среднем 440 тонн свиного навоза (смесь экскрементов всех групп животных и жидкой фракции свиного навоза, используемой для гидросмыва). Фактическая средняя масса навоза определялась на основании приборов учета, установленных в Приемном резервуаре 1 свиноводческого комплекса. В соответствии с технологической схемой предприятия, весь свиной навоз по трубопроводу подается в Приемный резервуар 1. Из приемного резервуара отобраны пробы навоза для определения в них влажности и общего азота. Весь свиной навоз из Приемного резервуара 1 подается в цех сепарации. Жидкая фракция подается в Приемный резервуар 2, а твердая фракция сгружается в прицепы для транспортировки твердой фракции на бетонированную площадку (рисунк 3).

В процессе работы отбирались пробы твердой фракции свиного навоза из прицепа, жидкой фракции свиного навоза из Приемного резервуара 2.

Твердая фракция навоза на свиноводческом комплексе перерабатывается методом пассивного компостирования. После переработки 11 600 тонн твердого органического удобрения (ТОУ) с содержанием общего азота 42,31 тонн, вносятся на земельные угодья сельскохозяйственного назначения. Из Приемного резервуара 2 130 тонн жидкой фракции свиного навоза возвращается на свиноводческий комплекс для использования ее в системе навозоудаления. Оставшиеся 276,4 тонны жидкой фракции перекачиваются в лагуны для переработки в жидкое органическое удобрение (ЖОУ) методом длительного выдерживания. В результате переработки на земельные угодья вносится 87 780 тонн ЖОУ с содержанием общего азота 332,92 тонны.

Сравнение расчетных и фактических значений представлено в таблице 1.

Сравнение расчетных и фактических значений, отраженное в таблице 1, показывает, что предложенная методика расчета достоверна.

При использовании жидкой фракции свиного навоза в системе навозоудаления экономится такой ресурс, как чистая вода. Согласно данным Международного института управления водными ресурсами (IWMII), за последние 100 лет потребление воды возросло в 6 раз, а к 2050 — удвоится, соответственно возрастут осуществленные в разных странах оплаты услуг за водоснабжение. По статистике на 1 чел. приходится 2,5–3 л/сут. По прогнозам ООН население планеты к 2025 г. увеличится до 8,5 млрд. чел., потребуются дополнительно около 6 тыс. км³ пресной дорогостоящей воды [16–18].

Учитывая, что на 1 января 2021 года по данным Росстата поголовье свиней в России составило 26,2 млн голов, а в среднем на 1 голову на технологические нужды приходится 2 литра чистой воды в сутки, экономия чистой воды за год по России может достичь 19,1 млн м³.

Только при функционировании 1 комплекса уже экономится 130 тонн в сутки чистой воды, что в год

Рисунок 3. Балансовая схема системы опереработки навоза на пилотном свиноводческом комплексе (фактические значения)

Figure 3. Balance diagram of the manure management system at the pilot pig farm (actual values)

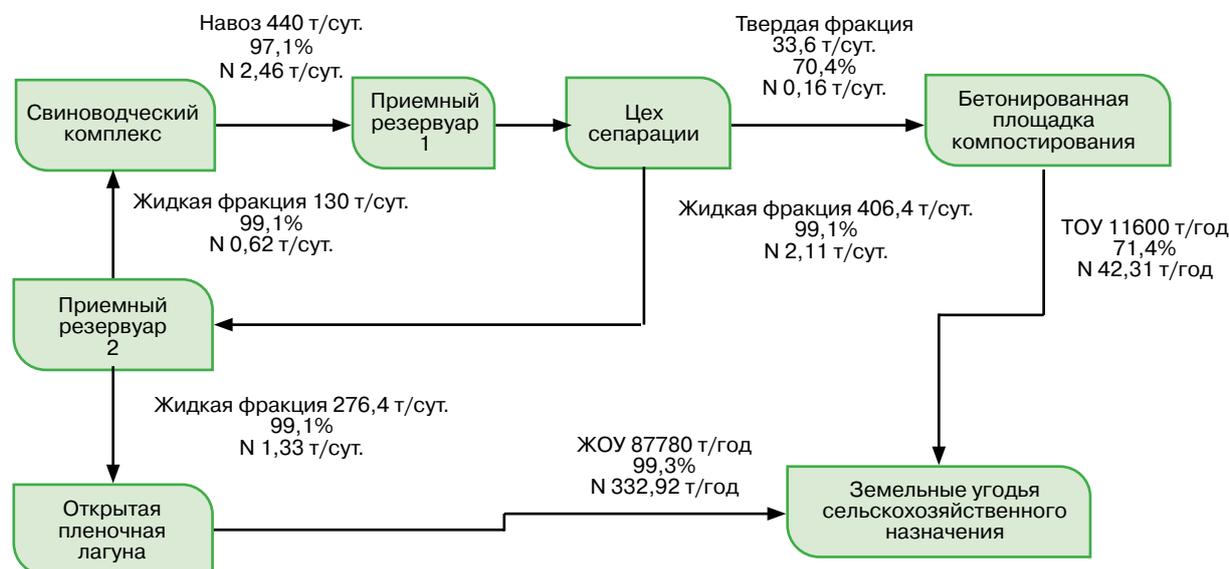


Таблица 1. Сравнение расчетных и фактических значений количественных и качественных характеристик навоза и продуктов из него полученных

Table 1. Comparison of calculated and actual values of quantitative and qualitative characteristics of manure and products obtained from it

Показатель	Расчетное значение	Фактическое значение	Различие, %
Характеристики свиного навоза			
Масса экскрементов, т/сут.	294,7	–	–
Масса общего азота в экскрементах, т/сут.	2,01	–	–
Масса жидкости для гидросмыва, т/сут.	–	130	–
Масса общего азота в жидкости для гидросмыва, т/сут.	0,5	0,46	8,7
Масса навоза, т/сут.	424,7	440	3,5
Масса общего азота в навозе, т/сут.	2,51	2,46	2
Влажность навоза, %	96,8	97,1	0,3
Характеристики твердой фракции навоза			
Масса твердой фракции свиного навоза, т/сут.	34,5	33,6	2,7
Влажность твердой фракции, %	69,7	70,4	–
Масса общего азота в твердой фракции, т/сут.	0,17	0,16	6,3
Характеристики жидкой фракции навоза			
Масса жидкой фракции свиного навоза, т/сут.	390,2	406,4	4
Влажность жидкой фракции навоза, %	99,3	99,1	0,2
Масса общего азота в жидкой фракции навоза, т/сут.	2,15	2,11	1,9
Характеристики жидкости для гидросмыва и сырья для приготовления ЖОУ			
Масса жидкой фракции на длительное выдерживание, т/сут.	276,4	276,4	–
Масса жидкой фракции на гидросмыв, т/сут.	–	130	–
Масса общего азота в жидкой фракции на длительное выдерживание, т/сут.	1,44	1,33	8,3
Масса общего азота в гидросмыве, т/сут.	0,67	0,62	8,1
Характеристики ТОУ и ЖОУ			
Масса ТОУ, т/год	10 703,6	11 600	7,7
Масса азота в ТОУ, т/год	46,54	42,31	10
Масса ЖОУ, т/год	90 797,4	87 780	3,4
Масса азота в ЖОУ, т/год	367,92	332,92	10,5

Таблица 2. Показатели двух сценариев технологических решений

Table 2. Indicators of two scenarios of technological solutions

Показатель	Сценарий 1	Сценарий 2
Масса сэкономленной чистой воды	0	47450
Масса питательных веществ в удобрении, т/год	440,19	375,23
Удобренная площадь, га	2589,4	2207,2
Общие потери азота при переработке, %	40	28

составляет 47 450 тонн (Сценарий 2). Данные представлены в таблице 2.

При применении на свиноводческом комплексе наиболее распространенной технологии длительного выдерживания (без разделения на фракции) (Сценарий 1), экономии чистой воды бы не было, а масса питательных веществ увеличилась бы незначительно.

Выводы / Conclusion

В результате исследований разработана методика расчетов количественных и качественных характеристик фракций навоза с учетом использования части жидкой фракции в системе навозоудаления. Расчеты по действующим методикам скорректированы с учетом наличия общего азота в жидкости, используемой для навозоудаления.

Отличие между расчетными и фактическими значениями по массе общего азота в жидкости для гидросмыва составило 8,7%, отличие по массе навоза — 3,5%, отличие по массе общего азота в навозе — 2%. Отличия между расчетными и фактическими значениями по характеристикам твердой фракции не превысили 6,3%; отличия по характеристикам жидкой фракции не превысили 4%. Максимальная разница между расчетными и фактическими значениями наблюдалась в массе азота в ЖОУ, она составила 10,5%. Сравнение расчетных и фактических значений показывает, что предложенная методика расчета достоверна.

Скорректированная методика расчетов позволит хозяйству составить более точный план управления питательными веществами навоза для обеспечения более эффективного оборота азота навоза, исключения его избыточного внесения на поля в составе органических удобрений и повышения экономии чистой воды для системы навозоудаления до 47 450 тонн в год.

Разработанная методика позволит осуществить проектирование технологии, обеспечивающее расчет потоков биогенных элементов, переходящих в удобрение, а также жидкости, используемой в качестве технической воды на свиноводческом комплексе.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кухаренко А.А., Орехова В.И. Мировые запасы пресных вод. В сборнике: *Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина.* 2018. 263-265.
2. Морозов Н.М., Денисов В.А. Рекомендации по системам удаления, транспортирования, хранения и подготовки к использованию навоза для различных производственных и природно-климатических условий. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. 2005. 180.
3. Трифанов А.В., Найдено В.К., Брыков Ю.А. Результаты исследований самотечно-сливной системы удаления навоза периодического действия. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства.* 2007. 79. 132-142.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 41-2017 «Интенсивное разведение свиней» Режим доступа: https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT/sprav_NDT_2017 (Дата обращения 20.05.2022)
5. Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L. et al. Solid — liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 2010. 30. 153-180. <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
6. Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J.M., Dourmad J.Y. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal* 2010, 4, 1413-1424, <https://doi.org/10.1017/S1751731110000509>.
7. Regelink I., Ehlerl P., Smit G., Everlo S., Prinsen A., Schoumans O. Phosphorus Recovery from co — Digested Pig Slurry. 2019; Available from: <https://edepot.wur.nl/476731> [Accessed May 20, 2022]
8. Velthof G.L., Rieta R.P. J. J. Nitrogen use efficiency and gaseous nitrogen losses from the concentrated liquid fraction of pig slurries. *International Journal of Agronomy.* 2019, 1. <https://doi.org/10.1155/2019/9283106>
9. Luo Y., Stichnothe H., Schuchardt F., Li G., Huaitalla R.M., Xu W. Life cycle assessment of manure management and nutrient recycling from a Chinese pig farm. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* 2014, 32, 4-12 <https://doi.org/10.1177/0734242X13512715>
10. Pexas G., Mackenzie S., Wallace M., Kyriazakis I. Environmental impacts of housing conditions and manure management in European pig production systems through a life cycle perspective: A case study in Denmark. *Journal of Cleaner Production.* 2020, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120005>.
11. Briukhanov A., Luostarinen S., Trifanov A., Shalavina E., Kozlova N., Vasilev E., Subbotin I. Revision of the total nitrogen and phosphorus content in a cattle manure-based organic fertilizer in North-West Russia. *Agricultural and Food Science.* 2021. 30: 44-52 <https://doi.org/10.23986/afsci.99191>
12. Keener H.M., Zhao L. A Modified mass balance method for predicting NH₃ emissions from manure N for livestock and storage facilities. *Biosystems Engineering.* 2008. 99. 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.006>
13. Poulsen H.D., Lund P., Sehested J., Hutchings N., Sommer S.G. Quantification of nitrogen and phosphorus in manure in the Danish normative system. In: *Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective. Proceedings of the 12th Ramiran International conference.* Slagelse, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences. 2006. 2. 105-107.
14. Luostarinen S., Grönroos J., Hellstedt M., Nousiainen J., Munther, J. Finnish Normative Manure System: System documentation and first results. *Natural resources and bioeconomy studies 48/2017. Helsinki: Natural Resources Institute Finland (Luke).* 2017. 74 p.
15. Шалавина Е.В., Уваров Р.А., Васильев Е.В. Методика расчета распределения общего азота и общего фосфора между фракциями свиного навоза. *Инженерные технологии и системы.* 2022. Т. 32. № 1. 54-70.
16. Исаев О.И. Использование экономической оценки водных ресурсов в управлении водохозяйственной деятельностью. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. М. 2009. 24 с.
17. Эргешев А.А., Усупаев Ш. Э. Водные проблемы на рынке окружающей среды. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 4. 110-115.
18. Глобальная проблема дефицита пресной воды. Режим доступа: <https://www.socionauki.ru/journal/articles/129824/> (Дата обращения 20.05.2022)

REFERENCES

1. Kuharenko A.A., Orekhova V.I. World fresh water reserves. In: *Nauchnoe obespechenie agropromyslennogo kompleksa. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarniy universitet imeni I.T. Trubilina.* 2018. S. 263-265. (In Russian)
2. Morozov N.M., Denisov V.A. Recommendations on systems for the removal, transportation, storage and preparation for use of manure for various production and climatic conditions. M.: Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoy Federacii. 2005. 180. (In Russian)
3. Trifanov A.V., Najdenko V.K., Brykov YU.A. Results of studies of a gravity-flow drainage system for removing manure of periodic action. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkciy rastenievodstva i zhivotnovodstva.* 2007. 79. 132-142. (In Russian)
4. Intensive rearing of pigs. Information and technical BAT reference book. Available from: https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT/sprav_NDT_2017 [Accessed May 20, 2022] (in Russian)
5. Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L. et al. Solid — liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 2010. 30. 153-180. <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
6. Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J.M., Dourmad J.Y. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal* 2010, 4, 1413-1424, <https://doi.org/10.1017/S1751731110000509>.
7. Regelink I., Ehlerl P., Smit G., Everlo S., Prinsen A., Schoumans O. Phosphorus Recovery from co — Digested Pig Slurry. 2019; Available from: <https://edepot.wur.nl/476731> [Accessed May 20, 2022]
8. Velthof G.L., Rieta R.P. J. J. Nitrogen use efficiency and gaseous nitrogen losses from the concentrated liquid fraction of pig slurries. *International Journal of Agronomy.* 2019, 1. <https://doi.org/10.1155/2019/9283106>
9. Luo Y., Stichnothe H., Schuchardt F., Li G., Huaitalla R.M., Xu W. Life cycle assessment of manure management and nutrient recycling from a Chinese pig farm. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* 2014, 32, 4-12 <https://doi.org/10.1177/0734242X13512715>
10. Pexas G., Mackenzie S., Wallace M., Kyriazakis I. Environmental impacts of housing conditions and manure management in European pig production systems through a life cycle perspective: A case study in Denmark. *Journal of Cleaner Production.* 2020, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120005>.
11. Briukhanov A., Luostarinen S., Trifanov A., Shalavina E., Kozlova N., Vasilev E., Subbotin I. Revision of the total nitrogen and phosphorus content in a cattle manure-based organic fertilizer in North-West Russia. *Agricultural and Food Science.* 2021. 30: 44-52 <https://doi.org/10.23986/afsci.99191>
12. Keener H.M., Zhao L. A Modified mass balance method for predicting NH₃ emissions from manure N for livestock and storage facilities. *Biosystems Engineering.* 2008. 99. 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.006>
13. Poulsen H.D., Lund P., Sehested J., Hutchings N., Sommer S.G. Quantification of nitrogen and phosphorus in manure in the Danish normative system. In: *Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective. Proceedings of the 12th Ramiran International conference.* Slagelse, Denmark: Danish Institute of Agricultural Sciences. 2006. 2. 105-107.
14. Luostarinen S., Grönroos J., Hellstedt M., Nousiainen J., Munther, J. Finnish Normative Manure System: System documentation and first results. *Natural resources and bioeconomy studies 48/2017. Helsinki: Natural Resources Institute Finland (Luke).* 2017. 74 p.
15. Shalavina E.V., Uvarov R.A., Vasil'ev E.V. Calculation methods of total nitrogen and total phosphorus distribution in pig manure fractions. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy.* 2022. T. 32. № 1. 54-70. (In Russian)
16. Isaev O.I. Use of economic assessment of water resources in water management. *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata ekonomicheskikh nauk.* M. 2009. 24. (In Russian)
17. Ergeshev A.A., Usupaev Sh.E Water issues in the environment market. *Nauka, novye tekhnologii i innovacii Kyrgyzstana.* 2019. № 4. 110-115. (In Russian)
18. The global problem of fresh water scarcity. Available from: <https://www.socionauki.ru/journal/articles/129824/> [Accessed May 20, 2022] (in Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Александр Юрьевич Брюханов

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ
3, Филътровское шоссе, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Российская Федерация
E-mail: sznii@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

Екатерина Викторовна Шалавина

старший научный сотрудник, кандидат технических наук
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ
3, Филътровское шоссе, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Российская Федерация E-mail: shalavinaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>

Эдуард Вадимович Васильев

ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук
Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства — филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ
3, Филътровское шоссе, пос. Тярлево, Санкт-Петербург, 196625, Российская Федерация E-mail: sznii6@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>

ABOUT THE AUTHORS:

Aleksandr Yuryevich Briukhanov

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Engineering), director of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
3, Fil'trovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, 196625, Russian Federation
E-mail: sznii@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4963-3821>

Ekatereina Viktorovna Shalavina

Senior Researcher, Cand. Sci. (Engineering), Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
3, Fil'trovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, 196625, Russian Federation
E-mail: shalavinaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>

Eduard Vadimovich Vasilev

Leading Researcher, Cand. Sci. (Engineering), Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production — branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM
3, Fil'trovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, 196625, Russian Federation
E-mail: sznii6@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>