

Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий

© 2019. Ю. Н. Терентьев¹, главный технолог, Н. В. Сырчина², к. х. н., доцент,
Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д. т. н., профессор, зав. лабораторией,
Л. В. Пилип^{2,4}, к. в. н., доцент, магистрант,
¹ООО «РГ-АСУ-НАЛАДКА»,

142100, Россия, Московская область, г. Подольск, ул. Федорова, д. 34, стр. 2,

²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

³Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

⁴Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,

e-mail: teryun@yandex.ru, pilip_larisa@mail.ru,
nvms1956@mail.ru, usr11759@vyatsu.ru

Свиноводческие предприятия являются источником интенсивного запахового загрязнения атмосферного воздуха. Укрупнение действующих и строительство новых комплексов приводит к существенному обострению проблемы запахового загрязнения и многочисленным жалобам населения на состояние окружающей среды. Складывающаяся ситуация обуславливает высокую актуальность и практическую значимость исследований, направленных на решение проблемы снижения эмиссии запахообразующих веществ. Цель настоящей работы состояла в разработке экономически и экологически обоснованного технологического решения, позволяющего снизить запаховое загрязнение воздуха за счёт очистки вентиляционных выбросов, снижения интенсивности микробиологических процессов разложения навоза и переработки соответствующих отходов в гранулированное органоминеральное удобрение. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и производственных условиях. В результате исследований установлено, что эффективным методом снижения эмиссии запахообразующих веществ может стать подкисление навозных стоков серной кислотой до pH $4,5 \pm 0,2$ ед. Очистка вентиляционных выбросов может быть проведена реагентным методом непосредственно в газоходах за счёт последовательного орошения загрязнённого воздуха разбавленными растворами серной кислоты и щелочного гипохлорита натрия (отходы производства хлора электрохимическим методом) с последующей утилизацией отработанных растворов реагентов в составе навозных стоков. На основе полученных результатов разработана технологическая схема переработки навозных стоков в органоминеральное удобрение «НПК–глауконит–органика» – 2,5 : 5,5 : 3,2–13–22. Планируемый результат внедрения соответствующего технологического решения в практику заключается в резком сокращении количества отходов, образующихся на свиноводческих предприятиях, существенном снижении запахового загрязнения и оздоровлении экологической обстановки на территориях расположения свинокомплексов.

Ключевые слова: эмиссия газов, запаховое загрязнение, очистка вентиляционных выбросов, переработка свиного навоза, органоминеральные удобрения.

Reducing the emission of odorous substances in industrial pig breeding enterprises

© 2019. Yu. N. Terentyev¹ ORCID: 0000-0001-7812-6007, N. V. Syrchina² ORCID: 0000-0001-8049-6760,
T. Ya. Ashikhmina^{2,3} ORCID: 0000-0003-4919-0047, L. V. Pilip^{2,4} ORCID: 0000-0001-9695-7146,
¹LLC RG-ASU-NALADKA,

Building 2, 34, Fedorova St., Podolsk, Moscow Region, Russia, 142100,

²Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of RAS,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi, Russia, 167982,

⁴Vyatka State Agricultural Academy,
133, Ocyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,

e-mail: teryun@yandex.ru, pilip_larisa@mail.ru,
nvms1956@mail.ru, usr11759@vyatsu.ru

Pig-breeding enterprises are a source of intense odor pollution of atmospheric air. The enlargement of the existing complexes and construction of new ones leads to a significant exacerbation of the problem of odor pollution and numerous public complaints about the state of the environment. The current situation determines the high relevance and practical significance of research aimed at solving the problem of reducing the emission of odorous substances. The purpose of this work is the development of economically and environmentally reasonable technological solution to reduce odor pollution of the air by cleaning ventilation emissions, reducing the intensity of microbiological processes of manure decomposition and processing the corresponding waste into granular organic-mineral fertilizer. Experimental studies were performed in laboratory and production conditions. As a result of research, it was found that acidification of manure runoff with sulfuric acid to a pH of 4.5 ± 0.2 can be an effective method for reducing the emission of odorous substances. Ventilation emissions can be cleaned by the reagent method directly in gas ducts due to the sequential irrigation of polluted air with dilute solutions of sulfuric acid and alkaline sodium hypochlorite (waste of chlorine production by the electrochemical method), followed by utilization of spent reagent solutions in manure. Based on the results obtained, a technological scheme for the processing of manure runoff into the NPK–glaucanite–organic fertilizer with proportion of components 2.5:5.5:3.2–13–22 was developed. The planned result of introducing an appropriate technological solution into practice is to drastically reduce the amount of waste generated at pig-breeding enterprises, significantly reduce odor pollution and improve the environmental situation in the territories where they are located.

Keywords: gas emissions, odor pollution, cleaning of ventilation emissions, processing of pig manure, organic-mineral fertilizers.

В настоящее время запахи рассматриваются как один из факторов загрязнения окружающей среды, оказывающий отрицательное влияние на здоровье и благополучие человека [4]. Неприятные запахи, даже при содержании запахообразующих веществ (ЗОВ) в воздухе ниже установленных значений ПДК, вызывают чувство раздражения, дискомфорта, ухудшение самочувствия [2–5]. Это обусловлено тем, что пороги восприятия запахов многих веществ имеют более низкие значения, чем значения ПДК соответствующих соединений в атмосферном воздухе [6]. Особенную остроту проблема загрязнения воздуха ЗОВ приобретает в районах размещения свиноводческих предприятий. Запаховое загрязнение приводит к многочисленным жалобам населения, проживающего на территориях, граничащих с санитарно-защитными зонами свинокомплексов. По мнению американских специалистов, рентабельность, устойчивость и объёмы производства свинины будут зависеть от того, смогут ли свиноводческие предприятия уменьшить выброс запахообразующих веществ до уровня, который окружающее население будет в состоянии терпеть [7].

Основными причинами загрязнения атмосферного воздуха ЗОВ на современных свинофермах являются источники выбросов от зданий свинарников: отверстия вытяжной вентиляции и аэрационные фонари, а также навозохранилища [8, 9]. Свойственный свинофермам неприятный запах формируется широким спектром разнообразных летучих веществ. В воздухе помещений для содержания свиней идентифицировано более 300 различных соединений, многие из которых имеют характерный запах [10]. Важнейшим источником неприятного запаха является на-

воз животных. Особенности запаха свиного навоза (СН) обусловлены главным образом летучими жирными кислотами, органическими соединениями серы, фенолами и индолами [11]. Многие из этих соединений представляют серьёзную угрозу для здоровья человека и животных.

Попытки решить проблему устранения неприятных запахов, генерируемых свиноводческими предприятиями, предпринимаются учёными и специалистами разных стран на протяжении многих лет. К настоящему времени разработан широкий спектр различных подходов к решению данной задачи, включая маскировку, связывание, деструкцию или снижение эмиссии ЗОВ, однако выпускаемые отечественной промышленностью и зарубежными производителями установки очистки воздуха имеют слишком высокую стоимость и энергоёмкость, что ограничивает их массовое внедрение в практическое свиноводство. Оснащение свиноферм таким оборудованием неизбежно приведёт к существенному повышению себестоимости и снижению конкурентоспособности производимой продукции. В связи с этим поиск экономичных способов снижения эмиссии ЗОВ до социально и экологически приемлемого уровня имеет большое практическое значение.

Цель работы состояла в разработке экономически и экологически обоснованного технологического решения проблемы снижения эмиссии запахообразующих веществ из производственных помещений для содержания животных, пригодного для практического внедрения в условиях промышленных свиноводческих предприятий.

В основу разрабатываемого решения был положен комбинированный подход, вклю-

чающий ограничение интенсивности микробиологического разложения СН в анаэробных условиях в навозных ваннах (за счёт подкисления навозных стоков серной кислотой), очистку вентиляционных выбросов (с помощью растворов серной кислоты и щелочного раствора гипохлорита натрия) с последующей утилизацией отработанных растворов реагентов в составе навозных стоков, переработку СН в гранулированное органоминеральное удобрение (ОМУ).

Планируемый результат внедрения соответствующего технологического решения в практику предполагает резкое сокращение количества отходов, образующихся на свиноводческих предприятиях, и оздоровление экологической обстановки на территориях их расположения.

Объекты и методы

В качестве источника запахообразующих веществ для проведения исследований использовался свежий бесподстилочный СН, влажностью $83 \pm 2\%$, отобранный из помещения откормочного типа. Поскольку в число основных компонентов, обуславливающих запах СН, входят вещества, проявляющие основные (аммиак) и кислотные свойства (летучие жирные кислоты, сероводород, индолы и др.), а также широкий спектр легко окисляемых соединений (альдегиды, сульфиды, меркаптаны и др.), в качестве реагентов для поглощения ЗОВ были выбраны и испытаны раствор серной кислоты (H_2SO_4) и щелочной раствор гипохлорита натрия ($NaOCl$). Оба реагента достаточно широко используются в практике сельского хозяйства и при правильном подходе к применению и утилизации не представляют опасности для окружающей среды. Для разбавленных растворов $NaOCl$ характерны бактерицидные, фунгицидные, антипротозойные, иммуномодулирующие свойства, а также отсутствие токсичных, мутагенных и канцерогенных эффектов, поэтому $NaOCl$ широко применяется в качестве ветеринарного препарата для лечения различных заболеваний животных [12]. Серная кислота находит применение на свинофермах Швеции и Дании для подкисления навоза до pH 5,5, с целью снижения эмиссии аммиака (NH_3) из навозных стоков [13].

Для приготовления рабочих растворов применялись 82% H_2SO_4 и щелочной раствор $NaOCl$, содержащий 3–5% гидроксида натрия и 5–9% гипохлорита натрия. Оба реагента

представляли собой отходы производства хлора электрохимическим методом (электролизом раствора $NaCl$). Применение отходов в качестве реагентов для обработки СН и поглощения ЗОВ позволяет снизить расходы на приобретение реагентов более чем в 10 раз. В качестве загрязняющих компонентов отходная H_2SO_4 содержала хлор в количестве 0,01%. Щелочной раствор $NaOCl$ не содержал значимых количеств загрязняющих компонентов. Следует отметить, что присутствие остаточного хлора в растворе H_2SO_4 позволяет обеспечить дезинфицирующий эффект при обработке навозных стоков и вентиляционных выбросов. При правильном применении реагента опасность воздействия остаточного хлора на животных и работников свиноферм полностью исключается. Из исходного раствора H_2SO_4 методом разбавления водой готовились 30% раствор для подкисления СН и 2–3% раствор для поглощения NH_3 абсорбционным методом. Серная кислота нелетучая и не имеет запаха, т. е. использование данного реагента в абсорберах не приводит к дополнительному загрязнению воздуха. Для приготовления рабочего раствора щелочного $NaOCl$ исходный раствор реагента разбавлялся водой таким образом, чтобы концентрация $NaOCl$ в растворе составляла 3–5%.

Изучение влияния добавки H_2SO_4 на эмиссию летучих соединений из СН выполнялось в лабораторных и производственных условиях. В лабораторных условиях проводились исследования, направленные на изучение влияния подкисления на общее выделение газов из навоза. Для этого в стеклянные конические колбы объёмом 2000 см^3 помещались образцы СН массой 1 кг. В одной из колб навоз подкислялся раствором H_2SO_4 (30%) до pH $4,5 \pm 0,2$ ед. Колбы закрывались каучуковыми пробками с газоотводными трубками и выдерживались в термостатируемых условиях при температуре 25 °С. Выделяющиеся газы собирались в многоразовые пакеты для образцов газа Chemware из фторполимерной (PVF) плёнки толщиной 0,05 мм.

В производственных условиях выполнялся анализ воздуха свинарников на содержание NH_3 , H_2S и меркаптанов. Газовый состав воздуха исследовали линейно-колористическим методом аспиратором сифонным АМ-5М.00.000 ПС с использованием индикаторных трубок.

Изучение возможности и эффективности применения абсорбирующих растворов для поглощения ЗОВ проводилось с помощью ла-

бораторной установки, включающей ёмкость с навозом, электрический воздушный компрессор и два последовательно расположенных абсорбера с растворами H_2SO_4 и щелочного $NaOCl$. При барботаже через два абсорбера с растворами реагентов расход загрязнённого воздуха находился в пределах от 1,5 до 2,5 м³/час, при этом время контакта абгазов с поглощающими растворами оценочно составляло 0,5–1,5 с. Контроль интенсивности запаха проводился органолептическим методом группой экспертов из 5 человек. Следует иметь в виду, что порог восприятия запаха метилмеркаптана составляет 0,4 мкг/м³, сероводорода – 14 мкг/м³, что значительно ниже ПДК соответствующих соединений в воздухе рабочей зоны (ПДК метилмеркаптана в воздухе рабочей зоны составляет 0,8 мг/м³; сероводорода – 10 мг/м³) [14].

Результаты и их обсуждение

В результате исследований установлено, что эмиссия газов из СН нарастает в процессе хранения соответствующего отхода в обогреваемых помещениях, т. е. количество выделяющихся газов зависит не только от количества накопленного навоза, но и от времени нахождения СН в навозных ваннах. Так, на 4-е сутки хранения СН в анаэробных условиях при температуре 25 °С общее количество выделяющихся газов возрастает более чем в 2,3 раза. Подкисление СН до pH 4,5 приводит к существенному снижению эмиссии газообразных веществ (рис. 2). Содержание NH_3

в выделяемых из СН газах уменьшается на 80–90% по сравнению с контролем, что обусловлено связыванием NH_3 в кислой среде в нелетучие аммонийные соли. Эмиссия газообразных соединений из подкисленного СН также увеличивается в процессе хранения, однако остаётся на более низком уровне, чем эмиссия газов из СН без добавки H_2SO_4 (рис. 1).

Снижение эмиссии газообразных продуктов разложения под влиянием H_2SO_4 способствует улучшению климата в помещениях для содержания животных и уменьшению нагрузки на системы вентиляции.

При последовательном барботировании загрязнённого воздуха через водный раствор H_2SO_4 (2–3%) и щелочной раствор $NaOCl$ (3–5%) происходит полное устранение неприятного запаха СН.

В растворе H_2SO_4 происходит связывание NH_3 . При избытке H_2SO_4 в ходе соответствующей реакции образуется хорошо растворимый гидросульфат аммония:



В соответствии с уравнением реакции (1), 100 кг 3% раствора H_2SO_4 обеспечивает связывание 685 л NH_3 . Серная кислота (особенно в виде отхода производства) является одним из наиболее дешёвых реагентов, поэтому предлагаемый способ поглощения NH_3 является экономически обоснованным.

После удаления NH_3 очищаемый воздух пропускался через абсорбер, заполненный

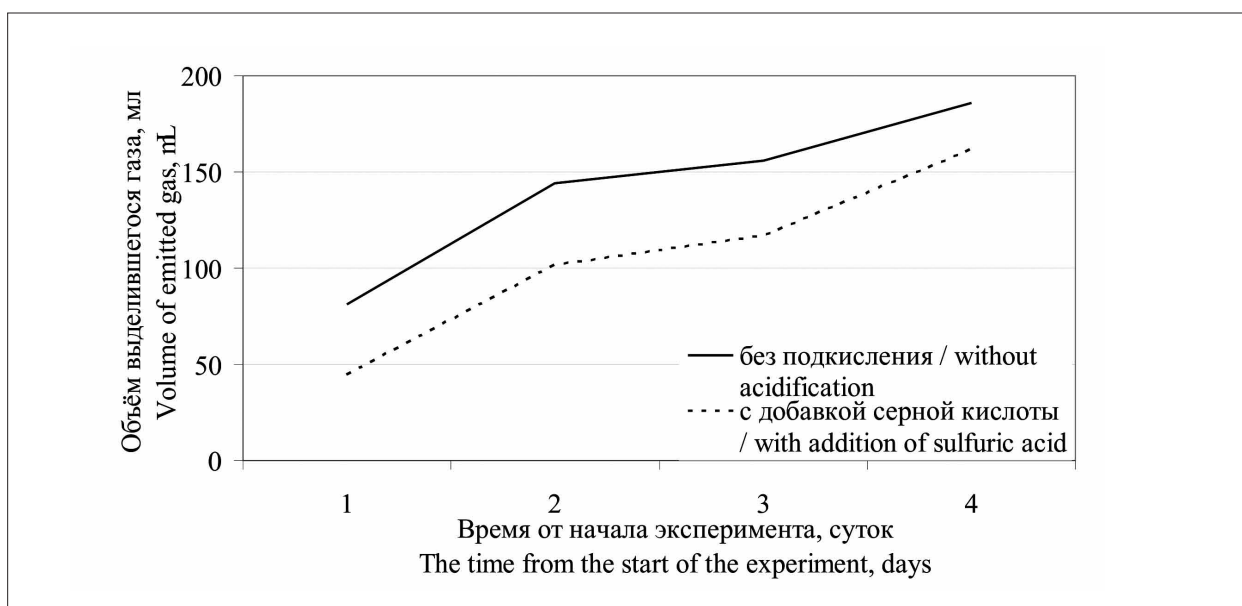


Рис. 1. Объём выделяющихся газов из свиного навоза
 Fig. 1. The amount of released gases from pig manure

щелочным раствором NaOCl. Окисление H₂S гипохлоритом натрия в щелочной среде может быть представлено следующим уравнением реакции:



Согласно уравнению реакции (2), на окисление 100 кг H₂S (65882 л) расходуется 876,5 кг NaOCl. Расход реагентов может быть существенно снижен (в 1,5–2 раза), если в свинарниках будет применяться система подкисления навозных стоков в навозных ваннах серной кислотой.

На основе результатов выполненных экспериментов была разработана технологическая схема (рис. 2), позволяющая существенно сократить эмиссию ЗОВ и переработать СН в ОМУ, содержащее полный комплекс макро- и микроэлементов, необходимых для питания растений. Для практической реализации предлагаемой схемы требуется определённая модернизация типовых систем принудительной приточно-вытяжной вентиляции, которыми обычно оборудуются свинарники.

Соответствующая модернизация заключается в обеспечении отдельного удаления воздуха из верхней зоны помещений для содержания животных и из навозосборников, расположенных под решётчатым полом. При этом воздух из верхней зоны выбрасывается в атмосферу через шахты, оборудованные осевыми вентиляторами (1), а наиболее загрязнённый воздух из навозосборников направляется на очистку реагентным методом. Через верхнюю зону удаляется 90%, а через навозосборники – 10% воздуха. Объём приточного воздуха не изменяется. Навозные стоки в навозосборниках подкисляются раствором 30% H₂SO₄ до pH 4,5–5,0. Подача раствора H₂SO₄ осуществляется через отдельный блок дозирования, состоящий из полиэтиленового еврокуба с мембранным насосом-дозатором. Воздух из канала навозоудаления и подземного навозосборника пропускается через два последовательно расположенных участка орошаемого газохода (6, 7), оборудованных форсунками тонкого распыла для подачи реагентов (2–3% растворов серной кислоты и щелочного гипохлорита натрия). Для подачи реагентов предусмотрены отдельные ёмкости (4, 5). Для улавливания капель орошающих растворов в конце соответствующих участков газохода установлены сепараторы в виде сетчатого рукава. Уловленная влага сливается через дренаж газохода в подземный сборник

навоза с мешалкой (2) и пульповым насосом (3). Слив отработанных реагентов в один навозосборник позволяет частично решить проблему нейтрализации H₂SO₄ щелочным раствором NaOCl. Очищенный воздух из канала навозоудаления через вентилятор (8) выбрасывается на высоту не менее 20 м для рассеивания в атмосфере. СН из навозосборников направляется в подземный сборник с рамной мешалкой и погружным пульповым насосом (2, 3), в который добавляется тонкодисперсная фосфоритная мука, содержащая соединения кальция (например, фосфоритная мука Вятско-Камского месторождения, которая содержит до 37,5% CaO [15]). За счёт фосфоритной муки pH навозных стоков доводится до 5,5, т. е. до уровня, обеспечивающего коррозионную устойчивость оборудования, используемого в технологическом процессе. При взаимодействии H₂SO₄ с солями кальция образуется свежесождённый гипс, улучшающий последующую сепарацию твёрдого остатка на центрифугах. Частичное обезвоживание навозных масс на центрифугах является важнейшим условием обеспечения экономически приемлемой технологии переработки СН в ОМУ. На осадительной центрифуге (9) навозные стоки разделяются на 2 фракции: кек, содержащий 30% сухого остатка и фугат, влажностью 98–99%. Кек в двухвальном смесителе (10) смешивается с KCl и другими добавками для стандартизации состава ОМУ по содержанию основных элементов минерального питания. Обогащение СН фосфором достигается за счёт вносимой в навозные стоки тонкодисперсной фосфоритной муки (на стадии нейтрализации подкисленного СН) и глауконитсодержащего эфеля (на стадии частичной очистки фугата). Смешанный с минеральными добавками кек подаётся на турболопастной смеситель-гранулятор (11) для получения крупки, которая направляется в барабанный гранулятор-сушилку (12). Сушильный агент из газового калорифера (13) при температуре 200 °С подаётся в сушилку с такой скоростью, чтобы минимизировать пылеунос в систему пылегазоочистки. Крупка высушивается до влажности 10–12% и окатывается. Высушивание крупки в течение 30–40 мин. при температуре в слое продукта не менее 100–135 °С позволяет обеспечить надёжное устранение биологических патогенов. Готовое ОМУ конвейерно-элеваторным транспортом направляется на склад для охлаждения и затаривания в мешки или биг-беги. Согласно расчётам, производство 1 т органоминераль-

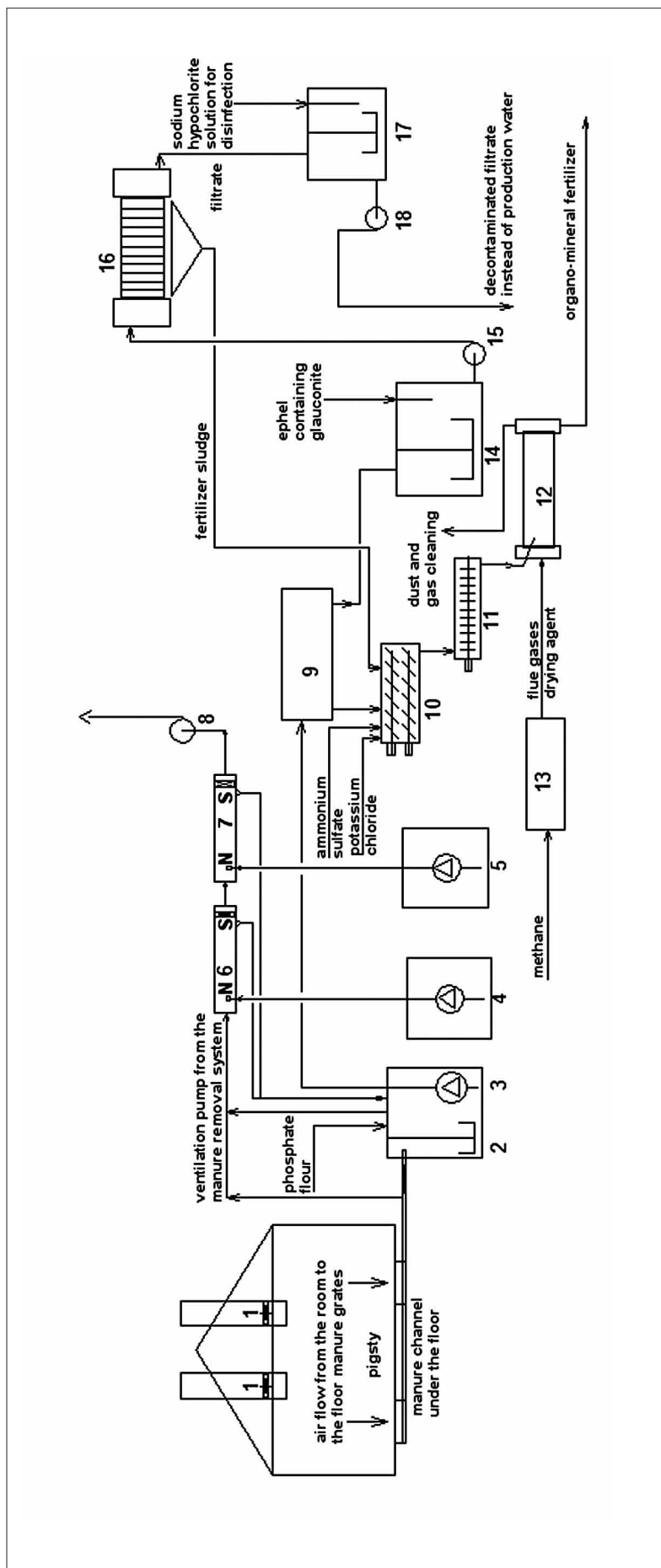


Рис. 2. Блок-схема дезодорации выбросов из помещений свинарников и переработки свиного навоза в органоминеральное удобрение (описание схемы приведено далее в тексте статьи)

Fig. 2. Block diagram of deodorization of emissions from the pigsty and processing of pig manure into organic-mineral fertilizer (the description of the scheme is given later in the text of the article):

- 1) shafts with exhaust fans; 2) manure collector with stirrer; 3) pulp pump; 4) reservoir of sulfuric acid solution with a pump; 5) a flue irrigated with alkaline-hypochlorite solution with nozzles and a droplet separator; 6) a reactor with a stirrer for the absorption of fugate pollution by glauconite; 7) a reactor with a stirrer for the absorption of fugate pollution by glauconite; 8) drum granulator-dryer; 9) exhaust fan; 10) manure sedimentation centrifuge; 11) dust and gas cleaning; 12) organo-mineral fertilizer; 13) methane burner; 14) turbo-paddle mixer-granulator; 15) frame press-filter; 16) decontaminated filtrate; 17) sodium hypochlorite solution for disinfection; 18) pump.

ного удобрения позволит утилизировать 5 т свиного навоза влажностью 95%.

Фугат подаётся в реактор с мешалкой (14), куда добавляется глауконитсодержащий эфель для адсорбции и осаждения растворённых и взвешенных загрязняющих веществ. Образующаяся пульпа с помощью пульпового насоса (15) для отделения твёрдой фазы (кека) пропускается через рамный фильтр-пресс (16), а фильтрат направляется в реактор с мешалкой (17) для обеззараживания. Обеззараженный фильтрат откачивается насосом (18) и используется в производстве для технических целей в качестве оборотной воды. Кек после фильтр-пресса направляется в двухвальный смеситель для смешения с кеком, полученным после центрифугирования.

Согласно расчётам, для переработки 1 т СН в органоминеральное удобрение потребуется 30 кг серной кислоты (в пересчёте на 100% H_2SO_4), 35 кг тонкомолотой фосфоритной муки, 5 кг глауконитсодержащего эфеля. Примерная формула получаемого по предлагаемой схеме органоминерального удобрения «НРК–глауконит–органика» – 2,5:5,5:3,2–13–22. Удобрение будет обогащено сульфатами, что имеет большое практическое значение, поскольку в настоящее время пахотные земли большинства регионов Российской Федерации характеризуются выраженным дефицитом серы, что приводит к снижению урожайности и уменьшению накопления белка в растениеводческой продукции. Согласно расчётам, себестоимость ОМУ должна составить не более 8000 руб./т, что обеспечивает надёжную конкурентоспособность соответствующего продукта при использовании его для собственных нужд предприятия. Для переработки 100 т СН в час (в расчёте на влажность 95%) в органоминеральное удобрение потребуется линия грануляции и сушки стоимостью 80 млн руб.

Заключение

Выполненные исследования позволяют решить задачу снижения экологического давления на окружающую среду промышленными свиноводческими предприятиями и показывают, что для уменьшения запахового загрязнения атмосферного воздуха отходами свиноводства может быть использован комплексный подход, включающий снижение эмиссии ЗОВ за счёт подкисления навозных стоков серной кислотой; очистку вентиляционных выбросов от ЗОВ с помощью последовательного орошения удаляемого воздуха

в воздуховодах 2–3% растворами H_2SO_4 и щелочного NaOCl; переработку СН и отработанных реагентов в ОМУ; очистку и использование для технических целей удаляемой из навозных стоков воды. Для снижения затрат в качестве реагентов могут быть использованы отходы производства хлора электрохимическим методом, а также отходы обогащения фосфоритов (глауконитсодержащий эфель). Включение соответствующих отходов в переработку позволяет значительно повысить экологическую значимость предлагаемой технологии. К преимуществам технологии следует отнести системный подход к решению заявленной проблемы, комплексное использование вторичных сырьевых ресурсов, относительно низкие затраты на внедрение технологии в практику, возможность модернизации технологической схемы в зависимости от конкретных условий, складывающихся на животноводческом предприятии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» №5.4962.2017/БЧ.

Литература

1. Schiffman S.S., Williams C.M. Science of odor as a potential health issue // Journal of Environmental Quality. 2005. V. 34 (1). P. 129–138.
2. Пинигин М.А., Бударина О.В., Сафиулин А.А. Развитие гигиенических основ нормирования и контроля запаха в атмосферном воздухе и пути гармонизации в этой области // Гигиена и санитария. 2012. № 5. С. 72–75.
3. Hangartner M. Recommendations on olfactometric measurements // Environmental Technology Letters. 1985. V. 6. P. 415–420.
4. Winneke G., Sucker K., Both R. Population odour annoyance is influenced by the hedonic quality of industrial odours // Environmental odour management: International Conference. Cologne, 2004. P. 9–12.
5. Sucker K., Muller F., Bischoff M., Both R., Winneke G. Assessment of frequency, intensity and hedonic tone of environmental odours in the field: A comparison of trained and untrained resident // Environmental odour management: International Conference. Cologne, 2004. P. 219–228.
6. Яценко-Хмелевская М.А., Цибульский В.В., Хитрина Н.Г., Короленко Л.И. Ольфактометрические исследования выбросов запаха на российских предприятиях // Биосфера. 2013. Т. 5. № 3. С. 303–310.
7. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. V. 78. P. 93–106.

8. Слаутенко Е.Г., Петросян А.А. Гигиеническое обоснование размеров санитарно-защитных зон для свинокомплексов средней мощности с учётом особенностей распространения запахообразующих химических веществ в атмосферном воздухе // Проблемы здоровья и экологии. 2018. № 1 (55). С. 98–101.

9. Сазанов А.В., Терентьев Ю.Н., Сырчина Н.В., Ашихмина Т.Я., Козвонин В.А. Производство биоорганических удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.

10. Ciganek M., Neca J. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms // Veterinarni Medicina. 2008. V. 53 (12). P. 641–651.

11. Cai L., Koziel J.A., Kerr B., Trabue S. Effects of dietary treatment on odor and VOCs emitted from swine manure lingshuang (Iowa State University Animal Industry Report 2009) [Электронный ресурс] https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1477&context=ans_air (Дата обращения: 08.04.2019).

12. Бердников П.П., Труш Н.В., Сердцев М.И. Стимуляция ферментной активности кишечного химуса в зависимости от вариантов применения цеолита и гипохлорита // Вестник АГАУ. 2012. № 7. С. 64–65.

13. Тарасов С. Скандинавский опыт снижения экологических рисков при интенсивном применении органических удобрений // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 3. С. 32–37.

14. Чепегин И.В., Андрияшина Т.В. Выбросы пахучих веществ в атмосферу. Проблемы и решения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 10. С. 80–83.

15. Минаковский А.Ф., Шатило В.И., Ларионова О.И., Дормешкин О.Б., Стоянова Л.Ф., Ахтямова С.С. Изучение бескислотного метода переработки фосфорита Вятско-Камского месторождения в комплексные удобрения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 8. С. 43–49.

References

1. Schiffman S.S., Williams C.M. Science of odor as a potential health issue // Journal of Environmental Quality. 2005. V. 34 (1). P. 129–138.

2. Pinigin M.A., Budarina O.V., Safiulin A.A. Development of the hygienic bases of rationing and control of the groin in the atmospheric air and ways of harmonization in this area // Gigiena i sanitariya. 2012. No. 5. P. 72–75 (in Russian).

3. Hangartner M. Recommendations on olfactometric measurements // Environmental Technology Letters. 1985. V. 6. P. 415–420.

4. Winneke G., Sucker K., Both R. Population odour annoyance is influenced by the hedonic quality of industrial

odours // Environmental odour management: International Conference. Cologne, 2004. P. 9–12.

5. Sucker K., Muller F., Bischoff M., Both R., Winneke G. Assessment of frequency, intensity and hedonic tone of environmental odours in the field: A comparison of trained and untrained resident // Environmental odour management: International Conference. Cologne, 2004. P. 219–228.

6. Yatsenko-Khmelevskaya M.A., Tsibulsky V.V., Khitrina N.G., Korolenko L.I. Olfactory studies of odor emissions in Russian enterprises // Biosfera. 2013. V. 5. No. 3. P. 303–310 (in Russian).

7. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. V. 78. P. 93–106.

8. Slautenko E.G., Petrosyan A.A. Hygienic substantiation of the size of sanitary protection zones for medium-power pig farms, taking into account the peculiarities of the spread of odor-forming chemicals in the atmospheric air // Problemy zdorovya i ekologii. 2018. No. 1 (55). P. 98–101 (in Russian).

9. Sazanov A.V., Terentyev Yu.N., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Kozvonin V.A. Production of bioorganic mineral fertilizers as a direction for the implementation of non-waste technologies in pig production // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 3. P. 85–90 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090

10. Ciganek M., Neca J. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms // Veterinarni Medicina. 2008. V. 53 (12). P. 641–651.

11. Cai L., Koziel J.A., Kerr B., Trabue S. Effects of dietary treatment on odor and VOCs emitted from swine manure lingshuang (Iowa State University Animal Industry Report 2009) [Internet resource] https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1477&context=ans_air (Accessed: 08.04.2019). doi: 10.31274/ans_air-180814-952

12. Berdnikov P.P., Trush N.V., Serdcev M.I. Stimulation of the enzyme activity of the intestinal chyme, depending on the uses of zeolite and hypochlorite // Vestnik AGAU. 2012. No. 7. P. 64–65 (in Russian).

13. Tarasov S. Scandinavian experience in reducing environmental risks with the intensive use of organic fertilizers // Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. 2017. No. 3. P. 32–37 (in Russian).

14. Chepegin I.V., Andriyashina T.V. Emissions of odorous substances into the atmosphere. Problems and solutions // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. No. 10. P. 80–83 (in Russian).

15. Minakovskiy A.F., Shatilo V.I., Larionova O.I., Dormeshkin O.B., Stoyanova L.F., Akhtyamova S.S. Study of the acid-free method of processing phosphate rock from the Vyatsko-Kamsky deposit into complex fertilizers // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016. No. 8. P. 43–49 (in Russian).