

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **016918**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2012.08.30

(51) Int. Cl. **C02F 3/32** (2006.01)
C02F 3/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
201000044

(22) Дата подачи заявки
2008.06.19

**(54) СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ОДНОВРЕМЕННЫМ ОТДЕЛЕНИЕМ
ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ФОСФОРА И НАВОЗА**

(31) 11/820,396

(56) US-B1-6893567
US-A1-20070029243
US-B1-6193889

(32) 2007.06.19

(33) US

(43) 2010.06.30

(86) PCT/US2008/067453

(87) WO 2008/157669 2008.12.24

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДЗЕ ЮНАЙТЕД СТЭЙТС ОФ
АМЕРИКА ЭЗ РЕПРЕЗЕНТИД БАЙ
ДЗЕ СЕКРЕТАРИ ОФ АГРИКАЛЧА;
ФЕТТЕРМЕН ЛЬЮИС М. (US)

(72) Изобретатель:
Ванотти Матиас В., Сзоги Ариэль А.,
Феттермен Льюис М. (US)

(74) Представитель:
Ильмер Е.Г., Пантелеев А.С.,
Кузнецова Ю.В. (RU)

(57) Системы очистки сточных вод и процессы извлечения твердых частиц, патогенов, азота и фосфора из муниципальных и сельскохозяйственных сточных вод включают одновременное отделение твердых частиц и фосфора из сточных вод и промышленных сбросов.

B1

016918

016918

B1

Предшествующий уровень техники

Область техники

Настоящее изобретение относится к системе очистки сточных вод, включающей одновременное отделение твердых веществ и фосфорного шлама из сельскохозяйственных и муниципальных сточных вод и сбросных вод промышленных предприятий, и к способам одновременного удаления твердых частиц навоза и фосфора из муниципальных и сельскохозяйственных сточных вод.

Описание уровня техники, относящегося к изобретению

Переработка муниципальных и сельскохозяйственных отходов представляет собой серьезную проблему. Что касается сельскохозяйственных животных, их содержат скученно в закрытых помещениях при недостатке функциональных и поддерживающих систем содержания. Жидкие отходы в основном перерабатывают в больших анаэробных бассейнах-отстойниках, откуда они периодически поступают на почвенную очистку (Stith, P. and Warrick, J., Boss Hog: North Carolina's pork revolution, The News & Observer, 1-3, Feb. 19-26, 1995; USEPA, Proposed regulations to address water pollution from concentrated animal feeding operations, EPA 833-F-00-016, Jan. 2001, Office of Water, Washington, D.C. 20460). Эта система была разработана в начале и середине XX века до возникновения существующей в настоящее время тенденции к скученному содержанию скота. Одной из основных проблем обеспечения выживаемости скота является дисбаланс азота (N) и фосфора (P), внесенных в почву (USEPA, выше; Cochran et al., Dollars and Sense: An economic analysis of alternative hog waste management technologies, Environmental Defense, Washington, D.C., 2000). Питательные вещества содержатся в навозе не в той пропорции, которая необходима для зерновых культур, и если навоз вносят в количестве, достаточном для удовлетворения потребности зерновых культур в азоте, то с ними вносится избыток фосфора, что приводит к накоплению фосфора в почве, вымыванию фосфора и эвтрофикации поверхностных вод (Heathwaite et al., A conceptual approach for integrating phosphorus and азот management at watershed scales, J. Environ. Qual., vol. 29, 158-166, 2000; Sharpley et al., Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: An overview, J. Environ. Qual., vol. 29, 1-9, 2000; Edwards and Daniel, Environmental Impacts of On-Farm Poultry Waste Disposal-A Review, Bioresource Technology, vol. 41, 9-33, 1992).

Переход от небольших индивидуальных животноводческих хозяйств к большим коммерческим предприятиям замкнутого цикла вызвал много проблем в животноводстве, включая выделение аммиака (NH_3) из бассейнов-отстойников. Можно ожидать, что около 50-80% азота (N), попадающего в животноводческие бассейны-отстойники, будет уходить в атмосферу в результате испарения NH_3 (Miner and Hazen, Transportation and application of organic wastes to land, In: Soils for Management of Organic Wastes and Waste Waters, 379-425, eds: L.F. Elliot and F. J. Stevenson, Madison, Wis.: ASA/CSSA/SSSA; Barrington and Moreno, Swine Manure Nitrogen Conservation Using Sphagnum Moss, J. Environ. Quality, vol. 24, 603-607, 1995; Braum et al., Nitrogen Losses from a Liquid Dairy Manure Management System, I: Agron. Abstracts, Madison, Wis., ASA, 1997). Считают, что биологическое удаление азота во время процессов нитрификации и денитрификации является наиболее эффективным и экономически целесообразным способом, применяемым для удаления азота из сточных вод (Tchobanoglous, G. and F.L. Burton, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, Boston, Mass.: Irwin/McGraw-Hill, 1991). Эффективность процесса биологического удаления азота зависит от способности организмов-нитрификаторов окислять ионы аммония (NH_4^+) до нитрита (NO_2^-) и нитрата (NO_3^-). Последующее восстановление молекулярного азота, денитрификация, также может сыграть существенную роль, если необходимо уменьшить содержание общего и аммонийного азота. Этот процесс проходит быстро при наличии углеродсодержащего субстрата и анаэробной среды, т.е. в условиях, которые обычно можно обнаружить в фермерских хозяйствах, на освоенных угодьях или сооружениях для хранения жидкого навоза. Скорость реакции нитрификации чрезвычайно мала по сравнению со скоростью денитрификации, таким образом нитрификация является лимитирующей стадией в процессе удаления биологического азота (Vanotti and Hunt, Transactions of the ASAE, vol. 43(2), 405-413, 2000). Нитрификацию сточных вод можно осуществлять многими способами, такими как, например, нитрификация со свободным ростом во взвешенном слое и нитрификация с ростом на носителе, и так далее. Нитрификация происходит под воздействием бактерий, принадлежащих к двум родам. *Nitrosomonas* окисляют аммиак до промежуточного продукта нитрита, а нитрит превращают в нитрат бактерии рода *Nitrobacter*. Термин нитрификаторы является общим термином, который применим к родам *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, хорошо известным специалистам в данной области. Нитрифицирующие бактерии участвуют почти во всех аэробных биологических процессах, но их количества ограничены. Существует множество аэробных процессов, разработанных для усиления нитрификации (Tchobanoglous G. and F. L. Burton; см. выше). Эти процессы можно разделить на две основные группы: нитрификация со свободным ростом во взвешенном слое и нитрификация с ростом на носителе (Grady, C.P.L., G.T. Daigger, and H.C. Lim. 1999. Biological Wastewater Treatment. 2nd ed. Marcel Dekker, New York, NY). При нитрификации во взвешенном слое нитрифицирующий активный ил, состоящий из свободных бактерий, смешивают с жидкими сточными водами путем аэрации или встряхивания жидкости. Общепринятый процесс с применением активного ила представляет собой процесс свободного роста во взвешенном состоянии, сочетающий уменьшение биологической потребности в кислороде (БПК) и обработку для бактериальной нитрификации (извлечения азота), которые проводятся разными видами

бактерий. В других случаях, процессы окисления углерода и нитрификации осуществляются в разных резервуарах. При нитрификации с ростом на носителе применяются различные устройства таким образом, что нитрифицирующие бактерии прикрепляются к поверхности, примерами таких устройств являются биофильтры, вращающиеся биоконтакты, ферментеры со слоем носителя, поверхности наклонном стоке и другие известные специалистам в данной области. Другой вид системы с ростом на носителе является промежуточным между нитрификацией с ростом во взвешенном слое и нитрификацией с ростом на носителе и представляет собой биологический реактор с псевдоожиженным слоем. В этом типе реактора нитрифицирующие пеллеты остаются взвешенными в жидкости, т.е. оживленными лобовыми силами сопротивления, связываемыми с восходящим потоком воздуха и воды. Нитрифицирующие бактерии прикрепляются к различным легким частицам среды или захватываются полимерными пористыми материалами, изготовленными из поливинилового спирта (ПВС) или полиэтиленгликоля (ПЭГ) и оживаются в резервуаре реактора. Одним из преимуществ применения таких нитрифицирующих пеллет является то, что можно увеличить количество микроорганизмов в реакторе, таким образом способствуя более быстрому удалению аммиака. Независимо от того применяется ли в биологическом реакторе с псевдоожиженным слоем, процесс, который длится 6 ч, или процесс с ростом во взвешенном слое, который длится два дня, изменения характеристик воды после обработки является одинаковыми. Все нитрификаторы являются автотрофными микроорганизмами, потребляющими аммиак, кислород и диоксид углерода, производящими окисленный азот (нитрат и нитрит) и вызывающими кислотность. Таким образом, в процессе нитрификации удаляется и карбонатная основность, и аммиак из сточных вод и возрастает кислотность (Vanotti et al., Trans. ASAE, vol. 46(6), 1665-1674, 2003). В целом любой процесс нитрификации будет работать при условии, что бактерии способны работать при высоких концентрациях аммиака. Патент США 6893567, Vanotti et al., issued May 17, 2005, заключает в том, что в сточных водах свиного скотного двора, после того как в результате предварительной нитрификации существенно уменьшается концентрация аммиака и карбонатная основность, последующее добавление извести быстро увеличивает значение pH жидкости, тем самым удаляя растворимые фосфаты, содержащиеся в сточных водах и содействуя образованию осадка фосфора малыми количествами добавленного химиката.

Основной проблемой, связанной с нитрификацией сточных вод с высоким содержанием органического углерода, является медленный рост количества нитрифицирующих бактерий; время полного завершения клеточного цикла этих микроорганизмов составляет около 15 ч. По сравнению с гетеротрофными микроорганизмами, время полного завершения клеточного цикла которых составляет 20-40 мин, нитрификаторы неконкурентоспособны при ограниченном содержании кислорода и питательных веществ и имеют тенденцию к перерастанию или вымываются из реактора (Figuerola and Silverstein, Water Environ. Res., vol. 64(5), 728-733, 1992; Wijnffels et al., Possibilities of nitrification with immobilized cells in wastewater treatment Model or practical systems, Wat. Sci. Tech., vol. 27(5-6), 233-240, 1993). Нитрификация отстойных бассейнов свиноводческих сточных вод особенно затруднена из-за очень низких количеств *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, обычно обнаруживаемых после анаэробной переработки (Blouin et al., Nitrification of swine waste, Canadian J. Microbiol., vol. 36, 273-278, 1990). Даже если запас кислорода является достаточным, необходим период адаптации для достижения минимальной концентрации бактерий, достаточной для эффективной нитрификации. Для поддержания медленно растущих автотрофных нитрификаторов требуется дополнительное повторение цикла активирования шлама в аэробном реакторе или длительное гидравлическое время удержания (HRT). К сожалению, при отсутствии обогащенных популяций нитрификаторов аэробная обработка бассейнов-отстойников создает дополнительные трудности, такие как выброс аммиака в атмосферу, особенно при применении неконтролируемых или избыточных скоростей потока воздуха (Burton, A review of the strategies in the aerobic treatment of pig slurry: Purpose, theory, and method, J. Agric. Eng. Res., vol. 53, 249-272, 1992).

В крупных масштабах на уровне водосборного бассейна управление сельскохозяйственными источниками фосфора и азота с целью уменьшения их влияния на качество воды требует сбалансированного и всеобъемлющего подхода (Heathwaite et al., J. Environ. Qual., vol. 29, 158-166, 2000). В прошлом основные усилия прилагались для регулирования азота с целью снизить его потери в грунтовых водах. Хотя высокая растворимость и подвижность нитрата в пределах сельскохозяйственных систем возможно оправдывает эти усилия, такая тенденция игнорирует другие критичные элементы, особенно фосфор.

Фосфор, при попадании в пресную воду, ускоряет зарастание водоемов, и, как было показано, является основной причиной ухудшения качества воды (Sharpley et al., 2000, см. выше). Из-за ускорения роста нежелательных водорослей и сорняков, приводящего к уменьшению концентрации кислорода, вызываемому их гибелью и разложением, зарастание водоемов ограничивает использование таких водоемов для рыболовства, для отдыха, в промышленности и в качестве питьевой воды. Также согласно мировому опыту на поверхности воды периодически появляются массивные налеты цианобактерий. Эти налеты также относятся к широкому спектру проблем, связанных с водой, включая гибель рыбы летом, плохое вкусовое качество питьевой воды и образование тригалогенметана при хлорировании воды. Потребление налетов цианобактерий или высвобождающихся водорастворимых нейро- и гепатотоксинов при гибели этих налетов может вызвать гибель скота и нанести серьезный вред людям. Недавние вспышки появления видов планктона *Pfiesteria piscicida* в прибрежных водах восточной части Соединенных Штатов так-

же возможно связаны с обогащением нутриентами. Хотя непосредственная причина этих вспышек остается неясной, ученые соглашаются в том, что избыточное содержание нутриентов помогает создать среду, обогащенную микробиологическими кормовыми продуктами и органической материей, которую употребляют в пищу *Pfiesteria* и морская североамериканская рыба менгаден семейства сельдевых. В долгосрочной перспективе уменьшение минеральной нагрузки уменьшит зарастание водоемов и, вероятно, понизит риск вспышек появления токсичных составных частей планктона, таких как *Pfiesteria* и других вредных налетов водорослей. Эти вспышки и осознание опасности эвтрофикации водоемов увеличили потребность решения вопросов, связанных с выбросами фосфора.

Недавние попытки удаления фосфора из сточных вод посредством химического осаждения оказались тщетными из-за высокой потребности в химикатах и некоторого количества побочных продуктов, таких как квасцовый шлам или из-за колоссальных потерь аммиака при высоких значениях pH, требующихся для осаждения фосфора солями кальция (Ca) и магния (Mg) (Westerman and Bicudo, Tangential flow separation and chemical enhancement to recover swine manure solids and phosphorus, ASAE Paper № 98-4114, St. Joseph, Mich.: ASAE, 1998); Loehr et al., Development and demonstration of nutrient removal from animal wastes, Environmental Protection Technology Series, Report EPA-R2-73-095, Washington, D.C.: EPA, 1973). Другие способы, применяемые для удаления фосфора, включают флокуляцию и седиментацию твердых веществ добавлением полимеров, озонирование, смешивание, аэрацию и фильтрование (см. патент США № 6193889, Teran et al.). В патенте США № 6153094, Craig et al., указывается, что при добавлении карбоната кальция в форме измельченного известняка образуется минеральный фосфат кальция. В патенте также описана адсорбция фосфора на оксигидроксидах железа в кислой среде.

С целью усовершенствования способов и аппаратов для переработки сельскохозяйственных, животноводческих и муниципальных сточных вод были предприняты продолжающиеся попытки. В патентах США № 5472472 и 5078882 (Northrup) раскрывается способ переработки сточных вод от животноводства, заключающийся в том, что твердые вещества удаляются в реакторе для твердых веществ, причем отработанный шлам аэробно и анаэробно перерабатывается с образованием активной биомассы. Водный слой, содержащий биоконвертированный фосфор, пропускают в зону доочистки экоректора, в котором по меньшей мере часть шлама превращается в полезный гумус. Для функционирования система требует многочисленных добавок химикатов и ряда увлажненных участков, содержащих микроорганизмы, животные и растения. См. также патенты США № 4348285 и 4432869 (Groeneweg et al.); патент США № 5627069 (Powlen); патенты США № 5135659 (Wartanessian) и 5200082 (Olsen et al.) (по отношению к остаткам пестицидов); патенты США № 5470476 (Taboga) и 5545560 (Chang).

Патенты США № 6177077 (Lee et al.) и 6200469 (Wallace), оба, относятся к удалению азота и фосфора из сточных вод, отличаются тем, что фосфат удаляется микроорганизмами, абсорбирующими фосфор, высвобождающийся из сточных вод, в аэробных резервуарах. См. также патент США № 6113788, Molof et al., патент США № 6117323, Haggerty; патент США № 6139743, Park et al.

В настоящее время проявляется интерес к возникновению и распространению заболеваний посредством сточных вод. Например, существует глубокая заинтересованность распространением в странах мира ящура. В настоящее время во многих странах, где население не страдает ящуром, существуют программы, имеющие целью предотвратить возникновение или распространение заболевания. Ирландский национальный центр по пищевым продуктам (Teagasc) осуществляет план защиты от ящура из 12 пунктов, включающий ограничение внесения жидкого навоза на поля, позволяющий его внесение только в тех случаях, когда есть вероятность переполнения емкостей для хранения навоза. Если поражение занесено, оно может распространяться капельным способом по мере внесения жидкого навоза. Вирус может находиться в аэрозольной форме в течение длительного времени. Считают, что количество вирусов, достаточное для инициирования инфекции в аэрозольной форме, может переноситься на расстояние до 100 км (Blood, D.C., Radostits, O.M., and Henderson, J.A., Veterinary Medicine, 6^{sup}.th addition, pages 733-737, 1983. Bailliere Tindall, London, UK). Вирус является резистентным к обычным дезинфицирующим средствам и к традиционному процессу хранения. Но он особенно восприимчив к отклонениям значения pH от нейтрального или к температурному воздействию с помощью автоклавирования под давлением. Жидкий свиной навоз при нормальных условиях имеет значение pH от около 6 до 8, и вирус ящура жизнеспособен в этом диапазоне pH. Сдвиг значения pH в направлении либо ниже 5, либо выше 9 ухудшает условия для выживания. Поэтому инвазионная способность вируса ящура может эффективно подавляться химикатами, такими как кислоты и щелочи (Callis, J., and Gregg, D., Foot-and-mouth disease in cattle, pages 437-439, 1986. In J.L. Howard (ed.), Current Veterinary Therapy 3. W.B. Saunders Company. Philadelphia, Pa.). К сожалению, жидкий свиной навоз содержит внутренне присущие ему буферные агенты, в основном карбонаты и аммиак, что предотвращает изменение значений pH, в случае применения небольших количеств химикатов. Кроме того, что требуется применение большого количества химикатов, добавление кислоты к жидкому навозу приводит к внезапному высвобождению сероводорода и риску отравления газом. С другой стороны, увеличение pH до значений выше 9 добавлением щелочных химикатов, таких как гидроксид кальция (известь) или гидроксид натрия, запрещено аммиачным равновесием. Это означает, что щелочь расходуется на превращение всего аммиака в газообразную форму до того, как достигается возрастание pH до эффективных значений выше 9. Испарение аммиака из животновод-

ческих устройств само по себе создает экологическую проблему.

Патент США 6893567, выданный 7 мая 2005 г. (Vanotti et al.), относится к системам сточных вод и процессам удаления твердых веществ, патогенов, азота и фосфора из муниципальных и сельскохозяйственных сточных вод, которые включают нитрификацию сточных вод и возрастание значения pH денитрифицированных сточных вод добавлением металлосодержащей соли и гидроксида для осаждения фосфора, что приводит к образованию пригодных к применению сбросных вод, имеющих заданное соотношение азот:фосфор, которые могут быть пригодны в качестве удобрения или жидкости для разбрызгивания или с целью исправления зараженных почв. Система также уменьшает присутствие инфекционных микроорганизмов, таких как энтеробактериогенные бактерии и пикорнавирусы. Осажденный фосфор извлекается и применяется для образования пригодных для применения фосфорсодержащих продуктов.

Полимер ПАМ (полиакриламид) интенсивно применяется в качестве осадителя в пищевых технологиях и упаковке, производстве бумаги, обработке горных и муниципальных сточных вод, в качестве осветлителя при экстракции сахаров и обработке питьевой воды и в качестве почвоулучшителя для уменьшения водной эрозии при ирригации (Barvenick, Soil Science, vol. 158, 235-243, 1994). Также было показано, что катионные ПАМы применимы для существенного увеличения разделения взвешенных твердых веществ, органических питательных веществ и углеродных соединений из жидкого навоза животного происхождения (Vanotti and Hunt, Trans. ASAE, vol. 42(6), 1833-1840, 1999; Chastain et al., Appl. Engr. Agric, vol. 17(3), 343-354, 2001; Vanotti et al., Trans. ASAE, vol. 45(6), 1959-1969, 2002; Walter and Kelley, Biores. Technol., vol. 90, 151-158, 2003; Timby et al., Appl. Engr. Agric, vol. 20 (1), 57-64 2004; Estevez Rodriguez et al., Appl. Engr. Agric, vol. 21 (4), 739-742, 2005; Vanotti et al., Proc. WEFTEC'05, 4073-4092, 2005(c)).

Несмотря на то что для обработки сточных вод с целью удаления твердых веществ, патогенов, азота и фосфора было разработано много систем; в данной области все еще сохраняется потребность в более эффективной системе обработки сточных вод. Настоящее изобретение, в отличие от различных предшествующих систем, предлагает систему, образующую один поток твердых веществ, вместо двух, что облегчает контроль и функционирование. Она исключает стадию обезвоживания и уменьшает применение полимеров. В настоящем изобретении два или более шлама с контрастирующими химическими свойствами могут объединяться с применением одного и того же полимерного флокулянта и одного общего обезвоживающего оборудования, что уменьшает суммарные капитальные инвестиции и эксплуатационные расходы по обезвоживанию, важной стадии обработки сточных вод.

Краткое описание изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание системы очистки сточных вод, в которой указанная система одновременно разделяет твердые вещества из двух источников и образует один поток твердых веществ.

Дополнительной задачей настоящего изобретения является создание системы очистки воды, в которой для одновременного разделения твердых веществ из двух потоков с различными химическими и физическими свойствами применяют по меньшей мере один полимерный флокулянт.

Еще одной дополнительной задачей настоящего изобретения является создание системы для очистки сточных вод, в которой указанный полимер представляет собой полиакриламид.

Еще одной дополнительной задачей настоящего изобретения является создание системы для очистки сточных вод, в которой указанный полиакриламид является полиакриламидом катионной природы.

Еще одной задачей настоящего изобретения является создание способа очистки сточных вод, отличающегося тем, что смешиваются два шлама из сточных вод, имеющие разные химические и физические характеристики, с целью разделения твердых веществ в указанной смеси смесь обрабатывается полимером с образованием единственного потока твердого вещества и потока сбросных вод, и проводится дополнительная обработка указанного потока сбросных вод для извлечения азота нитрификацией и денитрификацией с последующей стадией осаждения фосфорного шлама и сбросом переработанной воды.

Дополнительной задачей настоящего изобретения является создание способа очистки сточных вод, отличающегося тем, что указанными двумя видами шлама сточных вод являются свиной навоз и фосфорный шлам.

Еще одной дополнительной задачей настоящего изобретения является создание способа очистки сточных вод, где полимер представляет собой полиакриламид.

Еще одной дополнительной задачей настоящего изобретения является создание способа очистки сточных вод, где полиакриламид представляет собой катионный полиакриламид.

Дополнительные задачи и преимущества изобретения будут очевидны из последующего описания.

Краткое описание графических материалов

Фиг. 1А и 1Б представляют собой схематический вид системы для переработки свиного навоза без бассейна-отстойника. На фиг. 1А изображена система, известная из уровня техники, раскрытая в патенте США 6893567, выданном 17 мая 2005 г. Фиг. 1Б представляет собой вид системы согласно настоящему изобретению, показывающий разделение и обезвоживание фосфорного шлама в устройстве для разделения твердых веществ.

Фиг. 2 представляет собой рисунок, схематически показывающий конфигурацию процесса согласно настоящему изобретению, предназначенного для одновременного отделения твердых веществ из фосфорного шлама и жидкого свиного навоза, представляющего собой необработанный отход.

Фиг. 3 представляет собой график, показывающий удаление суммарного фосфора (ТР) и суммарного количества взвешенных твердых веществ из смесей жидкого свиного навоза и осажденного фосфорного шлама (ФС) с применением флокуляции и скрининга ПАМ. Каждая точка является средней из шести испытаний. Результаты полного анализа обработанных сбросных вод даны в табл. 6.

Фиг. 4 представляет собой график, показывающий эффективность применения полимера при увеличении количества фосфорного шлама, добавляемого к жидкому свиному навозу. Эффективности применения полимера были рассчитаны по отношению к суммарному фосфору и удалению взвешенных твердых веществ с учетом данных, представленных на фиг. 3. Каждая точка является средней из 6 испытаний.

Фиг. 5 представляет собой график, показывающий общий фосфор, извлеченный из твердых веществ, отделенных от жидкого свиного навоза и фосфорного шлама (ФС), применением флокуляции ПАМом и скрининга. Данные показывают извлечение фосфора сверх количества, извлеченного в контроле без добавления фосфорного шлама ($268,8 \pm 81,5$ мг, табл. 7). Каждая точка является средней из двух параллельных определений.

Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение представляет собой систему очистки сточных вод, в которой отсутствует бассейн-отстойник и одновременное разделение потоков твердых веществ двух типов, а образуется только один поток твердых веществ (фиг. 1Б). В системе 10 по настоящему изобретению исключается подача отходов на поверхность и в грунтовые воды, значительно уменьшается выделение аммиака и запахи, исключается высвобождение векторов-переносчиков болезней и переносимых по воздуху патогенов и уменьшается или исключается загрязнение почвы и воды питательными веществами и тяжелыми металлами. По настоящему изобретению взятый в целом поток отходов обрабатывается с применением трехстадийной системы с последовательным разделением твердых веществ, нитрификацией/денитрификацией и удалением растворенного фосфора. С помощью системы 10 очищается сбрасываемая навозная жидкость и разделяется два вида материалов, твердый навоз и твердые щелочные фосфаты кальция. До того как покинуть устройство для обработки эти материалы обезвоживаются. Похожая система, раскрываемая в патенте США 6893567, выданном 17 мая 2005 г. (содержание которого включено в настоящее изобретение посредством ссылки), включает три основных последовательных процесса в двух потоках разделения: разделения твердого и жидкого необработанного свиного навоза (СН) с применением катионного полиакриламида (ПАМа) и последующей обработки жидкости нитрификацией-денитрификацией, и с применением устройства для удаления растворимого фосфора. В устройстве для удаления фосфора для осаждения фосфора применяется гашеная известь и анионный ПАМ для улучшения обезвоживания шлама богатого фосфором (ФС).

Настоящее изобретение относится к системе, в которой отсутствует бассейн-отстойник и в которой одновременно флокулирует и обезвоживается как шлам обогащенный фосфором, так и необработанный свиной навоз, применяя одно и то же устройство и образуя только один поток твердых веществ. Шлам, обогащенный фосфором, имеет более высокое значение pH, чем необработанный свиной навоз, pH 10,1 (ФС) против 7,5 (СН) и содержит в пять раз большее суммарное количество взвешенных частиц, $29,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ (ФС) против $5,7 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ (СН); и суммарно в девять раз больше фосфора, $2,7 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ для ФС против $0,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ для СН. Если шлам, обогащенный фосфором, добавляют к необработанному свиному навозу, шлам остается в твердом состоянии и все твердые вещества эффективно разделяются при однократном внесении полимера. Разделяется более 90% твердых веществ. Полимеры, применимые в настоящем изобретении, включают катионный ПАМ, катионный полиэтиленмин (ПЭИ) и естественные полимерные флокулянты, такие как хитозан и полисахариды. Процесс одновременного разделения не требует увеличивать количество полимера по сравнению с количеством, которое бы нормально применялось для эффективной обработки только необработанного свиного навоза. Та же дозировка полимера, приблизительно $60 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, оставалась эффективной, даже если смесь содержала суммарно примерно на 43% больше взвешенных твердых веществ и суммарно приблизительно на 94% больше фосфора, как результат добавления шлама богатого фосфором до концентрации приблизительно $150 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$. Эффективность полимера в исчислении суммарно взвешенных твердых веществ или суммарного фосфора при одновременном процессе разделения возрастала от около 108 до около 160 от суммарного количества взвешенных частиц г^{-1} полимер $^{-1}$, и от около 4,7 до около 11,4 суммарного фосфора г^{-1} полимер $^{-1}$. Степень эффективного удаления массы при более высоком содержании шлама обогащенного фосфором была около 96,8%

суммарно для взвешенных частиц и суммарно около 94,7 % для фосфора. Также улучшалось качество воды в обработанной жидкости, и значительно увеличивалось содержание фосфора из разделенных твердых веществ от около 9,5 до около 16,9% P_2O_5 .

При применении полимеров для улучшения разделения твердых веществ от жидкости (Vanotti and Hunt, Trans. ASAE, vol. 42(6), 1833-1840, 1999; Szogi et al., Biores. Technol., vol. 97, 183-190, 2006), общепринятой практикой в отрасли является подбор конкретных полимеров для каждого типа материала шлама (WERF, 1993), с последующей обработкой каждого шлама отдельно. Обработка промышленных и животноводческих сбросных вод часто генерирует на одном и том же предприятии более чем один тип шлама. Виды шлама с разными химическими и физическими характеристиками типично обезвоживают в специальном оборудовании, таком как насосы для приготовления полимеров, миксеры, осветлители, фильтры, прессы и т.д., например, для того, чтобы изготовить высушенные твердые вещества, поддающиеся транспортировке и/или окончательному захоронению.

Полимеры для применения по настоящему изобретению включают, например, полиакриламиды (ПАМы). Полиакриламиды представляют собой линейные водорастворимые полимеры средней или высокой молекулярной массы. Длинноцепочечные полимерные молекулы дестабилизируют взвешенные заряженные частицы, адсорбируясь на них, и образуя мостики между отдельными взвешенными частицами. При флокуляции из-за агрегации маленьких частиц в частицы большего размера, или хлопья, они легче отделяются от жидкости и обезвоживаются. ПАМы имеют различные характеристики, такие как молекулярные массы и тип заряда: +, 0, -, плотность распределения зарядов от 0 до 100%, структуру цепей и сомомеры, что придает им многообразие характеристик химического поведения и применений. Полимеры, полезные в настоящем изобретении, включают ПАМы, включая катионные ПАМы, примерами различных ПАМов являются, например, ПАМ-С, такой как Magnifloc 494С, представляющий собой катионный ПАМ, имеющий плотность зарядов около 20 мол.% и содержащий около 85% активного полимера, Magnifloc 496С, который является сухим катионным ПАМом с зарядовой плотностью около 35 мол.% и содержащий около 85% активного полимера, эмульсионные рецептуры катионных ПАМов Magnifloc 1594С и 1596С с 20 и 40 мол.% зарядовой плотности, соответственно и 34% активного полимера, катионные ПАМы Magnifloc 1598С с около 55% зарядовой плотности и 41% активного полимера (все из Cytec Industries Inc., West Paterson, N.J.); SNF Floerger FO4290, FO4350, FO4400, FO4440, FO4490, FO4550, FO4650 и FO4690, которые являются сухими катионными полиакриламидными флокулянтами с зарядовой плотностью около 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55 и 60 мол.% зарядовой плотности и их эмульсионные эквиваленты (SNF Floerger Chemtall, Riceboro, GA) и т.д.

Система 10 (фиг. 1Б) настоящего изобретения включает систему сбора навоза под свинарником 12 с дощатыми полами и систему для замены лотков (не показана). В системе 10 имеются три очистных модуля: (1) в первом очистном модуле 2 происходит отделение твердых веществ из двух химически и физически различных потоков сточных вод с применением полиакриламидного (ПАМ) полимерного флокулянта; (2) во втором очистном модуле 6 происходит биологическое превращение аммония (NH_4-N) в газообразный N_2 путем нитрификации 6а и денитрификации 6б и (3) в третьей очистном модуле 10 происходит осаждение фосфора в виде твердого фосфата кальция (Vanotti et al., Trans. ASAE, vol. 46(6), 1665-1674, 2003) и уничтожение патогенов благодаря высокому значению pH процесса (Vanotti et al., Biores. Technol., vol. 96, 209-214, 2005a).

Очистной модуль 1 включает в себя гомогенизатор 2 и устройство для смешивания полимера и отделения твердых веществ 4, которое включает в себя устройство для скрининга 4а, разделяющее твердые вещества и жидкость (см. фиг. 2). Смешивание с полимером, отделение твердого вещества и жидкого навоза в 4 и обезвоживание фосфорсодержащего шлама происходит одновременно, образуя только один поток твердых веществ (см. фиг. 1Б). Необработанный навоз, смытый со скотного двора 12, перемешивают в гомогенизаторе. В качестве устройства для разделения твердого вещества и жидкости применяется, например, модуль для разделения Ecorupin (Selco MC, Castellon, Испания). Он обеспечивает введение катионного ПАМа, взаимодействие в камере смешения 4 и отделение флокулированного твердого навоза в устройстве для скрининга 4а, которое представляет собой, например, вращающийся грохот с клиновидными колосниками с диаметром отверстий около 250 мкм, сделанный из нержавеющей стали. Небольшой пресс на основе ленточного фильтра (Monobelt, Tecknofanghi S.R.L., Италия) (не показан) дополнительно обезвоживает отсеянные твердые вещества. Сепараторный модуль 1 для разделения твердого вещества и жидкости удаляет приблизительно 93% от суммарного количества взвешенных твердых веществ, содержащихся в необработанном навозе (Vanotti et al., 2005с, выше). В зависимости от размера хлопьев, который зависит от характеристик навоза, типа и дозы применяемого полимера, и типа сепараторного модуля, для обеспечения наилучшего суммарного количества взвешенных частиц и осветления сбросных вод без засорения грохота размеры отверстий грохота можно выбирать в диапазоне от около 200 до 1000 мкм. При испытаниях с различными стационарными грохотами полиакриламидные полимеры, применяемые для разделения жидкости и твердого вещества из свиного навоза, Vanotti et al., Trans. ASAE, vol. 45(6), 1959-1969, 2002, сформировали хлопья, которые достаточно велики, чтобы эффективно задерживаться на грохоте с отверстиями 1 мм (эффективность по суммарному количеству взвешенных частиц 95%). Аналогичной оказалась эффективность при размере 0,8 мм. Но применение грохота с от-

верстиями большего диаметра (1,6 мм) сильно уменьшило качество отделения (эффективность 67% по суммарному количеству взвешенных частиц).

После смешивания с полимером и флокуляции для отделения твердых веществ можно применять и другие сепараторные модули и способы разделения, известные специалистам в данной области, такие как ротационные прессы, устройства для вакуумного фильтрования, гравитационное осаждение, центрифуги и т.д. В технологии на основе ротационных прессов после смешивания с полимером и флокуляции применяется, например, движущаяся камера или головка (роторный пресс). Головка содержит боковой грохот, который разделяет хлопья от жидкости и для удаления влаги из хлопьев по мере их выхода из головки, образуя очень сухой осадок. Примерами ротационных сепараторных модулей являются ротационный пресс Фурнье (Fournier Industries Inc., Thetford Mines, Quebec, Канада) и Prime Solution роторно-лопастной пресс (Prime Solution, Inc., Allegan, MI, США).

Согласно настоящему изобретению количество окисленного азота (нитрат+нитрит), содержащегося в обработанных сбросных водах (система 10, фиг. 1), может быть доведено до желаемого значения изменением степени внутренней рециркуляции жидкости в модуле нитрификации и модуле денитрификации (6b) биореактора (6a). Например, низкие расходы внутренней рециркуляции, менее чем 3:1 (т.е. 3 объема рециркуляции между резервуаром для нитрификации и резервуаром для денитрификации, на один объем притока в очистную установку 6, фиг. 1), будут обуславливать вытекающие потоки с очень низким содержанием аммиака, но высоким содержанием окисленного N. Например, при функционировании системы при степенях рециркуляции 3:1, 2:1, 1:1 и 0:1 соответственно около 25, 33, 50 и более 90% аммиака, поступившего с приточной жидкостью, переходит в окисленный N. С другой стороны, для сбросных вод с низкими концентрациями аммиака и окисленного N желательны высокие степени рециркуляции от 3,5:1 до 10:1. Более высокие количества окисленного нитрата в сбросных водах желательны для ремонта и очистки старых бассейнов-отстойников, подлежащих замене на систему настоящего изобретения. Это является следствием того, что нитрат эффективно потребляет шлам, накопленный в бассейнах-отстойниках; поэтому при сбросе воды из системы в старый бассейн-отстойник, значительно уменьшится количество шлама, которое необходимо отвести, что предоставит фермеру значительную экономическую выгоду.

Обращаясь к фиг. 2, фосфорный шлам, содержащий фосфат кальция, сначала смешивают со свиным навозом (СН) в гомогенизаторе 2 и смесь переводят в резервуар для смешивания с полимером 4, в котором он взаимодействует с ПАМ для флокуляции. Твердые вещества в хлопьях, содержащие навоз, и добавленный фосфор отделяют, пропуская жидкость через грохот 4a.

Анализ сточных вод и фосфорного шлама включал определение суммарного количества взвешенных частиц (TTS), химическое потребление кислорода (COD), определение азота по Кьельдалю N (TKN) определение общего фосфора (TP), растворимого P (орто- PO_4 аммиака-N ($\text{NH}_4\text{-N}$), pH и щелочности. Все анализы были сделаны согласно Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Суммарное количество взвешенных частиц определяли по остатку на стекловолоконном фильтре с диаметром пор 1,5 мкм (Whatman grade 934-AH, Whatman Inc., Clifton, NJ), высушенном при температуре около 105°C (стандартный способ 2440 D). Химическое потребление кислорода (COD) измеряли в замкнутой системе рециркуляции, колориметрическим способом (стандартный способ 5220 D). Растворимый P определяли автоматизированным способом с применением аскорбиновой кислоты (стандартный способ 4500-P F) после фильтрования через мембранный фильтр 0,45 мкм (Gelman type Supor-450, Pall Corp, Ann Arbor, MI). Тот же самый фильтрат применяли для измерения $\text{NH}_4\text{-N}$ автоматизированным фенолятным способом (стандартный способ 4500- NH_3 G). Суммарный фосфор и суммарный азот по Кьельдалю определяли способом на основе аскорбиновой кислоты и фенолятным способом соответственно, адаптированным для вываренных экстрактов (Technicon Instruments Corp., 1977). Щелочность определяли кислотным титрованием до конечной точки по бромкрезоловому зеленому (pH 4,5) и выражали как мг $\text{CaCO}_3/\text{л}$.

Нижеследующие примеры направлены только на дополнительную иллюстрацию изобретения и не предназначены для ограничения объема притязаний изобретения, который определяется формулой изобретения. В качестве модельной системы по настоящему изобретению применяются сточные воды свиноводческого хозяйства.

Пример 1.

Смывтый необработанный свиной навоз (СН) и фосфорный шлам (ФШ), применяемый во всех примерах, собирали из гомогенизатора и модуля отделения фосфора соответственно системы, описанной в патенте США 6893567 выше и показанной на фиг. 1А при стационарном функционировании предприятия. Образцы свиного навоза собирали непосредственно после смыва в гомогенизатор около 136 м³ навоза из трех скотных дворов. Имеющийся погружной миксер (3,5 кВт, 12,1 м³/мин, ABS Pumps, Inc., Meriden, CT) хорошо перемешивал навоз во время взятия пробы. Свиной навоз отбирали из серединной части гомогенизатора, применяя пластиковую трубку, соединенную с сэмплером на основе перистальтического насоса (Sigma 900, American Sigma, Inc., Medina, NY), и собирали в пластиковые контейнеры вместимостью 20 л. Образцы фосфорного шлама отбирали со дна резервуара для осаждения фосфора модуля для извлечения фосфата (фиг. 1А), применяя имеющиеся ручные вентили, и тоже собирали в пла-

стиковые контейнеры вместимостью 20 л. Контейнеры в больших холодильниках, наполненных льдом, транспортировали в лабораторию и до применения по нижеследующим примерам выдерживали при температуре 4°C. Характеристики свиного навоза и фосфорного шлама подытожены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики смывого свиного навоза и осажденного фосфорного шлама

	Смывой свиной навоз (1)	Осажденный фосфорный шлам (2)	Отношение (2)/(1)
Суммарное содержание взвешенных веществ в жидкости вещества (г/л)	5,72 (1,59) ^[a]	29,51 (0,14)	5,16
Химическое потребление кислорода г/л	8,41 (1,69)	6,89 (1,07)	0,82
Общий фосфор мг/л	302 (55)	2741 (92)	9,08
Растворимый фосфор мг/л	71,6 (8,0)	0,2 (0,2)	0,03
Суммарный азот по Кьельдалю (мг/л)	942 (176)	251 (52)	0,27
Аммиак-N (мг/л)	557 (76)	87 (29)	0,16
pH	7,5 (0,1)	10,1 (0,1)	1,35

[a] Данные являются средними из девяти образцов (в скобках стандартное отклонение).

Пример 2.

С целью оценки возможности возвратного растворения фосфорный шлам смешивали с необработанным свиным навозом, отменили добавление ПАМ и скрининг. Фосфорный шлам смешивали с необработанным свиным навозом со скоростью приблизительно 33 мл/л при постоянном перемешивании смеси со скоростью около 60 об/мин в течение 24 ч, применяя программируемый тестер качества воды с шестью рабочими станциями (модель PB-900, Phipps & Bird, Inc., Richmond, VA.). Выбор скорости добавления приблизительно 33 мл фосфорного шлама на 1 л свиного навоза проведен, исходя из среднесуточных потоков свиного навоза в гомогенизатор приблизительно 39 м³ и потоке приблизительно 26 м³ жидкости в фосфорный реактор (Vanotti et al., 2005c) и скорости образования фосфорного шлама около 50 мл на 1 л обработанного в фосфорном реакторе материала (Vanotti et al., 2003). Контролем служил необработанный свиной навоз без добавления фосфорного шлама. Данный эксперимент повторяли три раза. Образцы объемом около 30 мл отбирали из миксера в начале эксперимента и через временные промежутки около 0,5, 1, 2, 3, 18 и 24 ч и анализировали на растворимый фосфор и pH. Фосфорный шлам, содержащий суммарно около 3143 мг фосфора на 1 л и менее 1 мг растворимого фосфора на 1 л, добавляли к необработанному свиному навозу со скоростью около 33 мл/л. Результаты показали, что концентрации растворимого фосфора в смеси с необработанным свиным навозом значительно уменьшились, примерно наполовину относительно свиного навоза (табл. 2 ниже). Данное уменьшение происходило моментально, как только фосфорный шлам приводили в контакт со свиным навозом (время около 0 ч) и сохранялось в течение 24-часового периода перемешивания (табл. 2).

Жидкий свиной навоз имеет высокую буферную емкость (Fordham and Schwertmann, 1977; Sommer and Husted, 1995), что затрудняет увеличение pH добавлением щелочей (Vanotti et al., 2003). Результаты, полученные при 24-часовом перемешивании (табл. 2), показали, что при добавлении щелочного фосфорного шлама значение pH смеси увеличилось незначительно (р более 0,05) по сравнению с контролем, не содержащим фосфорного шлама (табл. 2). Хотя значение pH после 24-часового перемешивания увеличилось приблизительно на 0,9 единицы, данное увеличение было аналогичным при обоих способах обработки, со шлагом и без шлама. Увеличение значения pH вероятно объясняется аэрацией необработанного свиного навоза, благодаря постоянному перемешиванию. Эксперименты по анаэробной аэрации необработанного свиного навоза (Vanotti и Hunt, Trans. ASAE, vol. 43(2), 405-413, 2000; Zhu et al., J. Environ. Sci. & Health (Part B), vol. 36(2), 209-218, 2001) показали аналогичное увеличение значения pH приблизительно на одну единицу после первых суток обработки аэрацией.

Таблица 2

Оценка возвратного растворения осадка фосфора в гомогенизаторе путем измерения изменений концентраций растворимого фосфора и pH после его добавления и смешивания с жидким свиным навозом

Время (ч) ^[a]	Смешиваемая жидкость рН		Смешиваемая жидкость растворимый фосфор (мг/л)	
	без добавления ФШ	с добавлением ФШ ^[b]	без добавления ФШ	с добавлением ФШ
0	7,6 (0,02) ^[c]	7,7 (0,02)	65,9 (4,1)	33,8(4,6)
0,5	7,7(0,05)	7,8 (0,04)	65,2 (1,0)	36,8 (2,7)
1	7,7 (0,01)	7,8 (0,02)	63,3 (3,9)	36,3 (1,1)
2	7,8 (0,01)	7,9 (0,01)	62,1 (7,5)	38,4 (3,8)
3	7,9 (0,01)	7,9 (0,01)	65,7 (1,7)	42,7 (3,8)
18	8,4 (0,01)	8,4 (0,01)	53,1 (1,4)	32,4 (0,9)
24	8,4 (0,02)	8,4 (0,03)	50,8 (0,7)	28,9 (0,8)

[a] Данный эксперимент оценивает изменения в растворимом фосфоре и pH в смеси смывного необработанного свиного навоза (СН) и осаждаемого фосфорного шлама (ФШ) во время перемешивания в гомогенизаторе (фиг. 2) без какого-либо добавления ПАМ. Также включен контроль, состоящий из СН без добавления ФШ.

[b] ФШ добавляли в соотношении приблизительно 33 мл на 1 л СН. Характеристики СН до смешивания были: pH равно 7,53, ТР (суммарный фосфор) равен 342 мг/л, растворимый Р равен 66 мг/л. Характеристики осаждаемого фосфорного шлама были: pH равно 10,24, ТР равен 3143 мг/л, растворимый Р равен 0,8 мг/л.

[c] Данные являются средними в трех параллельных определениях со стандартным отклонением.

Успешное внедрение способа одновременного разделения твердого фосфорного шлама и жидкого свиного навоза основано на том, что осадок фосфата кальция, образующийся при pH более 10,5, не растворяется, если фосфорный шлам смешивают со свиным навозом при значении pH приблизительно 7,5 в гомогенизаторе (фиг. 2). Это важно, потому что последующее вовлечение в процесс ПАМ должно агломерировать взвешенные твердые частицы в перемешанной жидкости. ПАМ не является эффективным средством для удаления растворенного Р, содержащегося в жидком свином навозе (Vanotti and Hunt, 1999). Отсутствие обратного растворения фосфора из шлама было подтверждено оценкой уровней растворенного фосфора в смеси свиной навоз/фосфорный шлам в течение 24-часового периода перемешивания и сравнением результатов с результатами, полученными в контроле, состоящем в перемешивании свиного навоза без добавления фосфорного шлама (табл. 2 выше). В данном примере фосфорный шлам, содержащий 3143 мг общего фосфора на 1 л и менее 1 мг растворимого фосфора, добавляют к свиному навозу со скоростью приблизительно 33 мл/л. В ситуации полного обратного растворения это добавление фосфорного шлама увеличило бы концентрации растворенного фосфора в смеси свиной навоз/фосфорный шлам приблизительно на 104 мг/л. Вместо этого результаты показали, что концентрации растворенного фосфора в смеси свиной навоз/фосфорный шлам значительно уменьшились, примерно наполовину по отношению к свиному навозу (табл. 2). Данное уменьшение происходило сразу после того, как фосфорный шлам вступал в контакт со свиным навозом (время 0 ч), и оно сохранялось в течение всего 24-часового периода перемешивания (табл. 2). Из данного факта вытекают два заключения: (1) осадок фосфата кальция, образовавшийся в процессе удаления растворенного фосфора (Vanotti et al., 2003 и 2005b), не растворяется вновь при перемешивании со свиным навозом; поэтому он пригоден для одновременного разделения флокулянтами; и (2) его добавление к необработанному свиному навозу дополнительно удаляет растворенный фосфор из жидкой фазы.

Для успешного внедрения процесса одновременного разделения жидкого свиного навоза и твердого фосфорного шлама добавление щелочного фосфорного шлама не должно существенно увеличивать значение pH перемешиваемой жидкости. Высокое значение pH (более 9) содействует конверсии NH_4^+ в NH_3 и выделению газообразного азота, что входит в противоречие с функцией всей системы. Жидкий навоз имеет высокую буферную емкость (Fordham and Schwertmann, 1977; Sommer and Husted, 1995), что делает затруднительным увеличение значения pH в щелочных условиях (Vanotti et al., 2003). Результаты, полученные в 24-часовом эксперименте перемешивания (табл. 2), показали, что при добавлении щелочного

фосфорного шлама рН смешанной жидкости увеличилось незначительно (p более 0,05) по сравнению с контролем, без добавления фосфорного шлама (табл. 2). Хотя значение рН за 24 ч перемешивания увеличилось приблизительно на 0,9 единиц, это увеличение было одинаковым при использовании обоих способов обработки (с добавлением фосфорного шлама и без добавления фосфорного шлама). Таким образом, оно не было связано с добавлением фосфорного шлама. Оно возможно связано с аэрацией свиного навоза благодаря постоянному перемешиванию, поскольку эксперименты по аэрации анаэробного свиного навоза (Vanotti and Hunt, 200; Zhu et al., 2001) показали аналогичное увеличение значения рН примерно на единицу в течение первого дня аэрации.

Пример 3.

В данном примере сравнивается эффективность катионных (+), нейтральных (0) и анионных (-) ПАМов для разделения смесей жидкого свиного навоза и твердого шлама. Применяемые полимеры представляли собой композиции ПАМов, имеющиеся в продаже (табл. 3). Для катионных ПАМов оценивали два типа: один с зарядовой плотностью приблизительно 20% и другой с зарядовой плотностью приблизительно 75%. Обработку ПАМами применяли к смеси необработанного свиного навоза и фосфорного шлама (приблизительно 33 мл фосфорного шлама на 1 л свиного навоза), применяя рабочие условия при интенсивности приблизительно 60 мг активного ингредиента на литр. Рабочими растворами для ПАМов были приблизительно 0,2% вторичные растворы после приготовления (разбавления) из приблизительно 0,5% первичных растворов (WERF, 1993). Свиной навоз, фосфорный шлам и ПАМ смешивали в течение приблизительно 30 с и для разделения смеси на твердые и жидкие (фильтрат) компоненты ее выливали на грохот с отверстиями 0,25 мм. Действенность обработки определяли по разнице между суммарным количеством взвешенных твердых веществ, химическому потреблению кислорода (COD) и суммарным концентрациям фосфора в фильтрате и теми же параметрами в первоначальной смеси свиного навоза и фосфорного шлама до внесения ПАМа и скрининга. Данный эксперимент повторяли дважды, также включив контрольную обработку без добавления полимера.

Влияние знака и плотности заряда ПАМ на общее содержание взвешенных твердых веществ, химическое потребление кислорода и суммарное отделение фосфора из смеси необработанного свиного навоза и фосфорного шлама показано в табл. 4. Смесь необработанного свиного навоза и фосфорного шлама (приблизительно 33 мл на 1 л необработанного свиного навоза) обрабатывали различными ПАМами (см. табл. 3), обладающими различными типами зарядов (анионных, нейтральных и катионных) и зарядовой плотностью (в рамках катионной группы) при постоянном расходе 60 мг/л. Данные, представленные в табл. 4, показывают характеристики обработанной жидкости после скрининга (при диаметре отверстий приблизительно 0,25 мм) и включают контрольную обработку без добавления ПАМа (только скрининг). Без добавления ПАМа сбросные воды были мутными (суммарно приблизительно 4030 мг взвешенных твердых частиц на 1 л), отсутствие ПАМа обусловило низкую (менее 38%) суммарную эффективность отделения взвешенных частиц, незначительное влияние на ХПК и суммарное содержание фосфора по отношению к первоначальной смеси необработанного свиного навоза и фосфорного шлама. Тип полимера оказывал очень важное влияние на общую оцениваемую эффективность одновременного процесса разделения твердого вещества и жидкости. Как анионные, так и сильно заряженные катионные ПАМы (ПАМ-А и ПАМ-НС, табл. 4) оказались в данном приложении бесполезными; ПАМ-А показал общую плохую эффективность, не отличаясь от контроля, и ПАМ-НС оказался эффективным в захвате твердых частиц навоза (около 88%), но неблагоприятно взаимодействовал с фосфорным шламом, что приводило к низкой эффективности удаления суммарного фосфора (около 12%) и показало худшие результаты, чем в контроле. В противоположность нейтральные и умеренно заряженные катионные ПАМы (ПАМ-Н и ПАМ-С, табл. 4) показали превосходную эффективность, что доказывалось измеренными показателями качества воды, причем ПАМ-С обладал наивысшей и наиболее желательной эффективностью удаления взвешенных твердых частиц (приблизительно на 96%), ХПК (приблизительно на 75%) и общего фосфора (приблизительно на 83%). Поэтому для последующих экспериментов был отобран ПАМ-С катионный ПАМ с плотностью заряда приблизительно 20 мол.%. Взаимодействие между ПАМ-С и смесью необработанного свиного навоза и фосфорного шлама было моментальным и привело к образованию темно-коричневых хлопьев с белыми вкрапленными в хлопья частичками фосфата кальция. В свою очередь, хлопья, содержащие в твердом виде как необработанный свиной навоз, так и фосфорный шлам, легко отсеивались, оставляя заметно более прозрачные сбросовые воды (после концентрации взвешенных твердых частиц приблизительно 240 мг/л) (табл. 4).

Таблица 3

Характеристики полиакриламидов (ПАМ)

Химическая обработка	Название полимера ^[a]	Тип заряда	Плотность заряда моль%	Активный полимер %	Физическая форма
ПАМ-N	Magnifloc 985N	Нейтральный	0	85	Порошок
ПАМ-A	Magnafloc 120L	Анионный	34	50	Жидкость
ПАМ-C	Magnifloc 494-C	Катионный	20	85	Порошок
ПАМ-НС	Excel Ultra 5000	Катионный	75	27	Жидкость

[a] Рецептуры, имеющиеся в продаже: 985N, 494C и Excel Ultra 5000 были получены из Cytec Industries Inc., West Patterson, N.J.; Magnafloc 120L был получен из Ciba Specialty Chemicals Water treatment, Inc., Suffolk, VA.

Таблица 4

Влияние знака заряда полиакриламида (ПАМ) на отделение общего количества взвешенных частиц, ХПК и суммарное количество фосфора (ТР) в смеси смытого необработанного свиного навоза и осажденного фосфорного шлама в результате флокуляции и скрининга ^[a]

Химическая обработка ^[b]	Суммарное количество взвешенных частиц		Химическое потребление кислорода		Суммарное содержание фосфора	
	Концентрация в сбросных водах, г/л	Эффективность удаления ^[c] %	Концентрация в сбросных водах, г/л	Эффективность удаления %	Концентрация в сбросных водах, мг/л	Эффективность удаления, %
Контроль	4,03 (1,79) ^[d]	38,0	6,01(1,59)	27,4	244 (73)	36,6
ПАМ-N	1,32 (0,14)	79,7	2,61 (0,38)	68,5	74 (0,4)	80,7
ПАМ-A	3,71 (1,43)	42,9	5,82 (1,53)	29,7	218 (74)	43,2
ПАМ-C	0,24 (0,02)	96,3	2,09 (0,04)	74,8	65 (5)	83,1
ПАМ-НС	0,77 (0,33)	88,2	2,86 (0,11)	65,5	337 (11)	12,1

[a] Конфигурация экспериментальной установки показана на фиг. 2. Смесь смытого необработанного свиного навоза (СН) и осажденного фосфорного шлама (ФС) обрабатывали различными ПАМами с различными типами зарядов. Данные содержат характеристики обработанной жидкости после скрининга.

[b] Расход ПАМов составил приблизительно 60 мг активного полимера на 1 л; Заряды: N - нейтральный, A - анионный, C - катионный с плотностью заряда 20%, НС - катионный с плотностью заряда 75% (табл. 3). Контроль соответствует сбросным водам без добавления ПАМ.

[c] Эффективность удаления по отношению к концентрациям в смеси СН и ФС (гомогенизация, фиг. 2). Смесь суммарно содержала приблизительно 6,50 г взвешенных частиц на 1 л, 8,28 г ХПК на 1 л и суммарно 384 мг фосфора на 1 л. Фосфорный шлам вносил вклад в суммарное количество взвешенных частиц приблизительно 16%, в ХПК 4% и в общее количество фосфора 22% соответственно.

[d] Данные являются средними из двух параллельных определений, в скобках приводится стандартное отклонение.

Для успешного внедрения процесса одновременного отделения жидкого свиного навоза и твердого фосфорного шлама была предпринята по меньшей мере одна обработка ПАМом, способная одновременно повлиять на оба вида твердых веществ в смеси. Влияние типа и плотности заряда ПАМа на суммарное количество взвешенных частиц, химическое потребление кислорода и отделение общего фосфора из смеси свиного навоза и фосфорного шлама показано в табл. 4. Смесь свиного навоза и фосфорного шлама при приблизительно 33 мл фосфорного шлама на 1 л свиного навоза обрабатывали различными ПАМами (табл. 3) с различными типами заряда (анионный, нейтральный, катионный) и значениями зарядовой плотности (в пределах катионной группы), при их одинаковом расходе приблизительно 60 мг/л. Данные, представленные в табл. 4, показывают характеристики обработанной жидкости после скрининга (при размере отверстий приблизительно 0,25 мм), а также включают контрольную обработку без добавления ПАМа (только скрининг). Без добавления ПАМ сбросовая вода была мутной (суммарно приблизительно 4030 мг взвешенных частиц на 1 л), что указывает на низкую (менее 38%) эффективность отделе-

ния взвешенных частиц, изменения химического потребления кислорода и общего фосфора по отношению к первоначальной смеси свиного навоза и фосфорного шлама. Тип полимера оказывал очень важное влияние на общую эффективность оцениваемого процесса одновременного разделения твердых веществ и жидкости. Как анионные, так и катионные ПАМы с высокой плотностью заряда (ПАМ-А и ПАМ-НС, табл. 4) оказались бесполезными в данном применении; ПАМ-А был неэффективен: результаты не отличались от контроля, а ПАМ-НС эффективно захватывал твердые частички навоза (приблизительно 88%), но неблагоприятно воздействовал на фосфорный шлам, что привело к низкой эффективности удаления фосфора (приблизительно 12%), меньшей, чем для контрольного опыта. В противоположность, нейтральные умеренно заряженные катионные ПАМы (ПАМ-Н и ПАМ-С, табл. 4) показали более высокую эффективность, что нашло отражение в оцениваемых индикаторах качества воды, причем ПАМ-С обладал наивысшей и наиболее желаемой эффективностью по отношению к влиянию на суммарное количество взвешенных частиц (приблизительно 96%), химическое потребление кислорода (приблизительно 75%) и общее содержание фосфора (приблизительно 83%). Поэтому для применения были выбраны катионные ПАМы с приблизительно 20 мол.% зарядовой плотностью (ПАМ-С). Взаимодействие ПАМ-С со смесью свиного навоза и фосфорного шлама было моментальным и обусловило образование больших темно-коричневых хлопьев с вкраплениями белых частиц фосфата кальция. В свою очередь, хлопья, содержащие и свиной навоз, и твердый фосфорный шлам легко отсеивались на грохоте, оставляя заметно более прозрачные (суммарная концентрация взвеси 240 мг/л) сбросовые воды (табл. 4).

Пример 4.

Чтобы выяснить, улучшает ли предобработка фосфорного шлама твердо-жидкое разделение смеси необработанного свиного навоза и фосфорного шлама катионным ПАМом, была проведена обработка фосфорного шлама анионным ПАМом. Фосфорный шлам в отдельных стеклянных сосудах подвергали предобработке анионным ПАМом (Magnafloc 120L, табл. 2) в пропорции приблизительно 0, 15, 30 и 60 мг/л, а затем добавляли к необработанному свиному навозу. Предварительно обработанный фосфорный шлам смешивали со свиным навозом в гомогенизаторе. Затем смесь свиного навоза и фосфорного шлама обрабатывали приблизительно 60 мг/л катионного ПАМа (Magnifloc 494C; табл. 2) и пропускали через грохот, описанный ранее в примере 3. Эффективность обработки определяли путем оценки качества: общей взвеси твердых веществ, химической потребности в кислороде, растворимого фосфора, суммарного азота по Кельдалю, и $\text{NH}_4\text{-N}$ в сравнении с исходными значениями. В контроле не осуществляли обработку полимером ПАМ-А, а вносили только полимер ПАМа-С в количестве приблизительно 60 мг/л (табл. 5). Эксперимент повторяли два раза.

Предобработка фосфорного шлама приблизительно 15-30 мг/л анионного ПАМа не привела к повышению эффективности катионного ПАМа по сравнению с контролем, а более высокие количества анионного ПАМа, приблизительно 60 мг/л, ухудшили качество сбросной воды (табл. 5). Внесение только полимера (контроль) обеспечило удаление из смеси свиного навоза и фосфорного шлама приблизительно 96% общего количества взвешенных твердых частиц, уменьшение химической потребности в кислороде приблизительно на 68%, и уменьшение общего фосфора приблизительно на 83% и приблизительно на 35% суммарного азота по Кельдалю.

В системе согласно патенту '567 (выше), (фиг. 1А), анионный ПАМ применяли для флокуляции фосфорного шлама, чтобы обеспечить эффективное отделение осадка фосфата кальция с помощью специального оборудования для фильтрации и обезвоживания. В системе согласно настоящему изобретению анионный ПАМ не требуется, поскольку применение катионного ПАМа позволяет оптимизировать разделение смеси свиного навоза и фосфорного шлама.

Таблица 5

Уменьшение количества твердых веществ, химической потребности в кислороде, фосфора и азота (TKN, общий азот по Кьельдалю) в смеси смытого необработанного свиного навоза и флокулированного фосфорного шлама (ФШ) после флокуляции ПАМ и скрининга^[a]

Анионный ПАМ внесённый в ФШ ^[b] мг/л	Расход катионного ПАМа ^[c] мг/л	Характеристики воды в обработанной жидкости					
		Суммарные взвешенные частицы г/л	Химическое потребление кислорода г/л	Общий Фосфор мг/л	Растворённый Фосфор мг/л	TKN мг/л	NH ₄ -N мг/л
0	60	0,23 (0,06) ^[d]	2,66 (0,96)	66,4 (8,8)	32,4 (0,2)	542 (11)	431 (4)
15	60	0,31 (0,07)	2,30 (0,08)	66,6 (2,6)	32,3 (5,5)	544 (19)	446 (0,6)
30	60	0,32 (0,12)	1,98 (0,48)	66,6 (6,0)	33,9 (0,6)	543 (12)	450 (12)
60	60	0,44 (0,08)	2,45 (0,53)	78,8 (10,6)	40,7 (2,7)	582 (27)	462 (2)

[a] Экспериментальная установка показана на фиг. 2.

[b] Расходы выражены в мг активного полимера на 1 л фосфорного шлама.

[d] Данные являются средними по двум повторам (в скобках стандартное отклонение).

Начальная смесь содержала суммарно 6,50 г/л взвешенных частиц, имела химическое потребление кислорода 8,28 г/л, содержала 383,5 мг/мл общего фосфора, 54,6 мг/мл растворенного фосфора, 840 мг/мл суммарного азота по Кьельдалю и 445 мг/мл NH₄-N. При этом на фосфорный шлам приходилось суммарно 16% взвешенных твердых частиц, 4% химического потребления кислорода, 22% общего фосфора, 0,1% растворенного фосфора, 1% суммарного азота по Кьельдалю и 0,1% NH₄-N.

Пример 5.

Расход ПАМа, вносимого в смесь свиного навоза и фосфорного шлама, сравнивали с оптимальным расходом, требующимся для обработки только свиного навоза, без добавления фосфорного шлама. Свиной навоз добавляли в десять стеклянных реакционных сосудов, но только в половину из них загружали фосфорный шлам в количестве приблизительно 33 мг/л (3,3%/л). Затем в каждую группу вносили ПАМ при пяти различных значениях его количества: приблизительно по 0, 30, 60, 90 и 120 мг/л. Использовали катионный ПАМ с приблизительно 20% зарядовой плотностью (Magnifloc 494C, табл. 3). Внесение полимера и последующий скрининг проводили, как ранее описывалось в примере 3. Эффективность флокуляции и фильтрации определяли путем оценки качества жидкого фильтрата, которая включала определение суммарного количества взвешенных частиц, химическую потребность в кислороде, общего фосфора и растворенного фосфора. Данное исследование проводили на трех образцах природного навоза различной концентрации и повторяли два раза.

Результаты показывают, что добавление фосфорного шлама к необработанному свиному навозу не увеличило количество ПАМа, который потребовался бы для эффективной обработки свиного навоза (см. табл. 6). Расходы ПАМа, превышающие или приблизительно равные 60 мг/л, либо в смесях свиного навоза и фосфорного шлама или при применении только свиного навоза, обеспечивали устойчивую высокую эффективность разделения всех взвешенных частиц и химическую потребность в кислороде (более 90% и более 70% соответственно, табл. 6). В обоих случаях отфильтрованный сбросовые воды после применения ПАМа осветлялись и суммарное содержание твердых частиц в них было относительно мало, приблизительно 0,21-0,38 мг/л, по сравнению с мутными сбросными водами, которые получали без применения ПАМ и которые содержали суммарно приблизительно 2,75-3,16 мг/л взвешенных частиц, или по сравнению суммарными первоначальными уровнями в гомогенизаторе (приблизительно 3,93-4,40 мг/л). Однако при равных расходах ПАМа эффективность удаления общего фосфора была выше для смеси свиного навоза и фосфорного шлама по сравнению со случаем, когда применяли только свиной навоз (приблизительно 78-80% против приблизительно 60-64% соответственно). Повышенная эффективность удаления фосфора из смесей свиного навоза и фосфора объясняется отчасти повышенными количествами частиц фосфора (количество частиц фосфора равно количеству общего фосфора за вычетом количества растворенного фосфора), поддающихся разделению в системе твердое вещество-жидкость: приблизительно 212 против 145 мг/л, и отчасти дополнительным захватом растворенного фосфора добавленным фосфорным шламом, составляющим около 30%, фракции, которая обычно не отделяется при обработке только ПАМом (табл. 6).

Хлопья, получаемые при внесении ПАМа в смесь свиного навоза и фосфорного шлама, отделялись

с грохота легче, поскольку они были не такими липкими, как хлопья, получаемые при внесении только ПАМ. Эта операция самоочистки обеспечивает значительные преимущества в процессе одновременно-го разделения, поскольку при разделении твердого и жидкого навоза с применением ПАМ и грохота необходимы частые промывки для поддержания системы в рабочем и незасоренном состоянии.

Данные, представленные в табл. 6 и на фиг. 3, показывают, что качество воды в обработанной жидкости действительно улучшалось при увеличении количества фосфорного шлама, добавленного к свиному навозу: данное улучшение согласно оценке составляло приблизительно до 15% или приблизительно до 150 мл/л. Та же доза ПАМ, приблизительно 60 мг/л, позволяла отделить твердые частицы во всех шести смесях свиного навоза и фосфорного шлама, даже в случаях, когда добавление фосфорного шлама увеличило суммарную концентрацию взвешенных частиц приблизительно на 43% (с приблизительно 6,93 до приблизительно 9,93 г/л, фиг. 3); и концентрацию общего фосфора примерно на 94% (с приблизительно 373 до приблизительно 724 мг/л, фиг. 3). Значения эффективности удаления, полученные при более высоком расходе фосфорного шлама, приблизительно 150 мл/л, составили около 96,8% суммарно взвешенных твердых частиц, около 94,7% по общему фосфору, около 85,4% по химической потребности в кислороде, около 61,5% по растворенному фосфору, около 39,5% для азота по Кьельдалю и около 64,8% по щелочности.

Пример 6.

Общую эффективность процесса разделения с участием ПАМа в отношении качества воды и извлечения фосфора оценивали, добавляя к свиному навозу различные количества фосфорного шлама. Извлечение фосфора в твердую фазу определяли по балансу масс, исходя из массы твердых веществ и концентрации фосфора. Данные статистически обрабатывали, вычисляя средние значения и стандартные отклонения (proc MEANS), применяя дисперсионный анализ (proc ANOVA), и проводя тестирование наименьшей значимой разности (LSD) на 5% уровне значимых разностей (SAS Institute, 1988). Для описания извлечения фосфора в твердое вещество как функции фосфора, добавляемого к свиному навозу, применяли линейный регрессионный анализ.

С целью оценки извлечения фосфора после одновременной флокуляции смывого свиного навоза при помощи ПАМа проводили обработки фосфорным шламом при семи его расходах. Определяли содержание фосфора в отделенных твердых частицах. Расходы фосфорного шлама составили приблизительно 0, 15, 30, 60, 90, 120 и 150 мл/л свиного навоза. Применяли катионный ПАМ с зарядовой плотностью приблизительно 20% (Magnifloc 494C, табл. 3). Его вносили в каждую смесь для обработки свиного навоза и фосфорного шлама в концентрации приблизительно 60 мг/л. Внесение полимера и скрининг проводили, как ранее было описано в примере 3. Применяя процедуру разложения твердых блоков по Gallaher et al. (Gallaher, R.N., C.O. Weldon, and F.C. Boswell. 1976. A semiautomated procedure for total nitrogen in plant and soil samples. *So/7 Sci. Soc. Am. J.* 40:887-889), кроме определения качества воды в фильтрате (по параметрам - суммарное количество взвешенных частиц, химическое потребление кислорода, суммарный азот по Кьельдалю, щелочность и pH), в отсеке определяли массу сухого вещества и химический состав (общий фосфор и суммарный азот по Кьельдалю). Общий фосфор и суммарный азот по Кьельдалю определяли способом с применением аскорбиновой кислоты и фенолятным способом, соответственно адаптированным к экстрактам после разложения (Technicon Instruments Corp., 1977). Щелочность определяли кислотным титрованием до конечной точки по бромкрезоловому зеленому (pH приблизительно 4,5) и ее выражали как мг $\text{CaCO}_3/\text{л}$. Сухую массу отделенных твердых частиц определяли по разности между массой фильтра и суммарной массой фильтра и твердых веществ, высушенных при приблизительно 45°C в течение 24 ч в камере под давлением воздуха. Одинаковые опыты с фосфорным шламом проводили на трех образцах, отобранных в естественных условиях в двух параллельных определениях. Контрольный опыт состоял в обработке свиного навоза без добавления фосфорного шлама или ПАМа, он включался в рассмотрение как базовая точка.

Данные из табл. 6 и на фиг. 3 показывают, что по оценкам качество воды в результате обработки действительно улучшалось с увеличением количества фосфорного шлама, добавленного к свиному навозу приблизительно на 15% или приблизительно на 150 мл/л. Одинаковая доза ПАМ, приблизительно 60 мг/л, эффективно отделяла твердые частицы из всех шести смесей свиного навоза и фосфорного шлама, даже при том, что добавление фосфорного шлама увеличивало суммарную концентрацию взвешенных твердых частиц приблизительно на 43% (от около 6,93 до около 9,93 г/л, фиг. 4) и концентрацию общего фосфора приблизительно на 94% (от около 373 до около 723 мг/л, фиг. 3). Эффективности извлечения, полученные при более высоком расходе фосфорного шлама приблизительно 150 мл/л, составили приблизительно 96,8%, по суммарному количеству взвешенных твердых частиц, приблизительно 94,7% по общему фосфору, приблизительно 85,4% по химическому потреблению кислорода, приблизительно 61,5% по растворенному фосфору, приблизительно 39,5% по общему азоту по Кьельдалю и приблизительно 64,8% по щелочности. Соответствующие параметры эффективности применения ПАМ по суммарному количеству извлеченных твердых частиц (масса (г) суммарного количества извлеченных твердых частиц по отношению к массе (г) ПАМ) линейно возрастали от приблизительно 108 до приблизительно 160 г общих отделенных твердых частиц/г ПАМ, по мере возрастания количества добавленного к свиному навозу фосфорного шлама в диапазоне от приблизительно 0 до приблизительно 150 мл/л

(фиг. 4). Эффективность применения полимера также рассчитывали по отношению к общему фосфору, как масса общего отделенного фосфора/масса (г) ПАМ. Эта эффективность аналогично линейно возрас- тала при добавлении фосфорного шлама от приблизительно 4,7 до приблизительно 11,4 г общего фосфо- ра/г ПАМ (фиг. 4). Эти результаты показывают, что процесс одновременного разделения на много эффек- тивнее в отношении потребления полимера по сравнению с ситуацией, когда для разделения одинаковых количеств твердых частиц применяют два обезвоживающих модуля.

Для оптимальной обработки биологического азота важное значение имеют pH и щелочность; если сточная вода обладает недостаточной щелочностью, рост автотрофной биомассы прекратится ввиду от- сутствия неорганического углерода, необходимого микроорганизмам, и из-за кислотного значения pH (Grady et al., 1999; Vanotti and Hunt, 2000). Значения pH и параметры щелочности жидкости после про- цесса одновременного разделения находятся в пределах значений, которые считаются оптимальными для обработки биологического азота в жидком свином навозе. После добавления приблизительно 150 мл/л щелочного фосфорного шлама значения pH незначительно увеличиваются от около 7,9 до около 8,1, что иллюстрирует высокую буферную емкость свиного навоза (см. табл. 6). Значения pH сбросных вод из различных смесей свиного навоза и фосфорного шлама находились в пределах опубликованных значе- ний pH от около 7,7 до около 8,5, при которых оптимизирована обработка свиного навоза нитрификаци- ей (Vanotti and Hunt, 2000). Концентрация щелочных агентов в обработанной жидкости была достаточна для полного удаления биологического азота с применением варианта "нитрификация/денитрификация", как показано на фиг. 2. Например, концентрация щелочных агентов приблизительно 2,66 г/л, полученная при более высоком расходе фосфорного шлама (табл. 6), превышала минимальную потребность в ще- лочных агентах 1,98 г/л, требуемую для нитрификации/денитрификации жидкости, содержащей прибли- зительно 554 мг азот/л (табл. 6), из расчета потребления щелочных агентов приблизительно 3,57 мг CaCO_3 на 1 мг азота, конвертированного в N_2 , т.е. высвобождения приблизительно 2 моль H^+ на 1 моль окисленного NH_4^+ и потребления приблизительно 1 моль H^+ на 1 моль восстановленного NO_3^- (Tcho- banoglous and Burton, 1991).

Более чем около 90% общего фосфора, извлеченного из смеси свиного навоза и фосфорного шлама, извлекалось в виде отдельных твердых частиц, как показано в табл. 7. Расчеты включают исходный фос- фор в навозе, приблизительно 373 мг/л, и фосфор, добавленный к фосфорному шламу, до приблизительно 458,6 мг/л. Если учитывать приращение извлечения фосфора в вышеуказанных твердых частицах, первоначально содержащихся в навозе, процесс одновременного разделения обеспечил количественное удаление фосфора в фосфорный шлак, который был добавлен к свиному навозу (фиг. 5). Вследствие это- го содержание фосфора в отделенном твердом веществе значительно увеличилось от приблизительно 9,5% до приблизительно 16,9% P_2O_5 , что соответствует увеличенным количествам фосфорного шлама, добавляемого к навозу (табл. 7). Увеличенное таким образом содержание фосфора в отделенном твердом материале делает материал более ценным с точки зрения его применения в качестве удобрения. Напри- мер, более высокое содержание фосфора делает его транспортировку более экономичной для приме- нения на полях в неизменном виде или в виде компоста. При получении энергии газификацией зола мате- риала, обогащенного фосфором, становится более ценной.

Таблица 6

Характеристики качества воды для жидкости, обработанной путем одновременного отделения твердого вещества из смеси жидкого свиного навоза и осажженного фосфорного шлама^[a]

Фосфорный шлам, добавленный к свиному навозу		Характеристики качества воды из обработанной жидкости						
мл/л	% (об./об)	Суммарное количество взвешенных частиц г/л	COD г/л	Общий фосфор мг/л	Растворенный фосфор мг/л	Общий азот по Кьельдалю мг/л	Щелочность г/л	pH
ПАМ не добавляли. Применяли только скрининг								
0	0	4,84(1,17) ^[b]	7,33(2,32)	266 (58,8)	74,8 (6,5)	1,001(200)	4,43(0,11)	7,82(0,15)
К смеси добавили приблизительно 60 мг/л катионного ПАМ ^[c]								
0	0	0,45(0,24)	2,09(0,83)	91,7(14,3)	69,4(3,7)	638(162)	3,20(0,60)	7,85(0,15)
15	1,5	0,42(0,21)	2,08(1,16)	74,1(24,9)	55,3(2,7)	621(184)	2,93(0,43)	7,90(0,21)
30	3	0,39(0,24)	1,94(0,85)	68,4(14,4)	47,1(3,4)	623(162)	2,89(0,50)	7,92(0,18)
60	6	0,38(0,13)	1,16(0,06)	54,2(4,1)	33,8(5,4)	608(118)	2,97(0,48)	7,97(0,17)
90	9	0,36(0,08)	1,09(0,09)	36,8(10,9)	25,0(5,9)	546(183)	2,78(0,36)	8,00(0,18)
120	12	0,39(0,03)	1,36(0,47)	37,6(6,1)	17,7(7,4)	544(148)	2,63(0,55)	8,07(0,16)
150	15	0,32(0,08)	1,33(0,56)	38,3(10,8)	15,2(5,9)	554(110)	2,66(0,49)	8,11(0,14)

[a] Экспериментальная оценка показана на фиг. 2.

[b] Данные являются средними из двух параллельных определений трех образцов, взятых в естественных условиях (n=6) (в скобках стандартное отклонение). Параметры не-обработанного свиного навоза составили: суммарное количество взвешенных твердых частиц приблизительно 6,91 г/л, химическое потребление кислорода приблизительно 9,11 г/л, общий фосфор приблизительно 367 мг/л, растворенный фосфор приблизительно 71,8 мг/л, общий азот по Кьельдалю приблизительно 1030 мг/л, щелочность приблизительно 4,42 г/л, pH приблизительно 7,43; параметры фосфорного шлама составили: суммарное количество взвешенных твердых частиц приблизительно 29,9 г/л, химическое потребление кислорода приблизительно 6,37 г/л, общий фосфор приблизительно 3058 мг/л, растворенный фосфор приблизительно 0,3 мг/л, общий азот по Кьельдалю приблизительно 200 мг/л, щелочность приблизительно 8,10 г/л, pH приблизительно 10,1.

[c] Катионный ПАМ представляет собой Magnifloc 494C (табл. 3).

Таблица 7

Содержание фосфора и извлечение его в твердые вещества из смесей жидкого свиного навоза и фосфорного шлама, вызванное применением одновременного процесса отделения^[a]

Фосфорный шлам, добавленный к свиному навозу мг/л	Фосфорный шлам, добавленный к свиному навозу % (объ./объ.)	Общий фосфор, добавленный к свиному навозу мг/л	Суммарный Фосфор в гомогенизаторе (мг)	Общий фосфор в отделённом твёрдом веществе (2) (мг)	Суммарное извлечение фосфора [(2/1) X 100] (%)	Содержание в твёрдом веществе (%P ₂ O ₅)
0	0	0	373,0(96,1) ^b 1	268,8 (81,5)	71,7 (9,5)	9,5 (0,5)
15	1,5	45,8 (1,2)	418,9 (96,9)	381,5 (112,6)	90,2 (7,2)	11,4 (1,6)
30	3	91,8 (2,2)	464,7 (97,6)	417,1 (81,7)	90,0 (5,4)	12,4 (1,4)
60	6	183,4 (4,4)	556,5 (99,2)	525,9 (87,1)	94,9 (8,2)	13,7 (1,4)
90	9	275,2 (6,6)	648,2 (100,8)	635,1 (56,2)	98,8 (8,3)	14,9 (2,1)
120	12	367,0 (8,8)	740,0 (10,5)	748,1 (81,2)	101,4 (4,1)	15,8 (1,6)
150	15	458,6 (11,0)	831,7 (104,1)	881,5 (89,5)	106,6 (10,5)	16,9 (1,3)

[b] Данные являются средними из двух параллельных определений трех образцов, взятых в естественных условиях (n=6) (в скобках стандартное отклонение). Значения общего фосфора являются результатами расчетов масс, относимых к 1 л свиного навоза.

Предшествующее подробное описание дано только в иллюстративных целях. Таким образом, подробное описание приводится исключительно для этой цели, и специалисты в данной области могут вносить в него изменения, не выходя за пределы сущности и объема притязаний изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для очистки сточных вод, содержащая:

- а) гомогенизатор, соединенный посредством текучей среды с модулем для отделения твердых частиц и выходом фосфорного шлама модуля реактора для отделения фосфора;
- б) модуль для удаления твердых частиц, соединенный посредством текучей среды с указанным гомогенизатором;
- в) модуль денитрификации, соединенный посредством текучей среды с осветленными сбросными водами из указанного модуля для отделения твердых частиц;
- г) модуль нитрификации, соединенный посредством текучей среды с указанным модулем денитрификации;
- е) модуль реактора для отделения фосфора, соединенный посредством текучей среды с жидкими сбросными водами из указанного модуля нитрификации.

2. Система по п.1, дополнительно содержащая модуль осветления, соединенный посредством текучей среды с указанным модулем нитрификации и указанным фосфорным модулем.

3. Система по п.1, отличающаяся тем, что в указанном модуле отделения твердых частиц для агрегации взвешенных твердых частиц смеси навоза и фосфорного шлама применяют полимерный флокулянт.

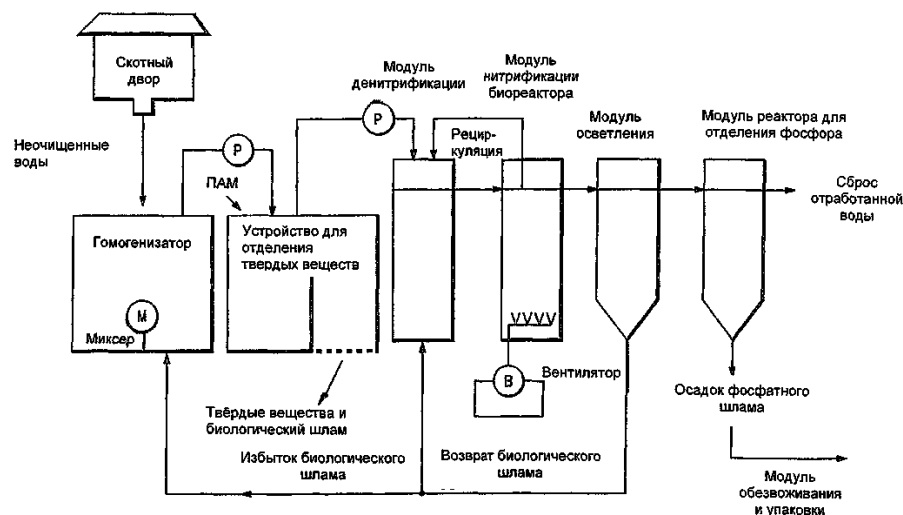
4. Система по п.3, отличающаяся тем, что указанный полимерный флокулянт выбран из группы, состоящей из катионного полиакриламида, катионного полиэтиленimina, хитозана, полисахаридов и их смесей.

5. Способ очистки сточных вод, включающий:

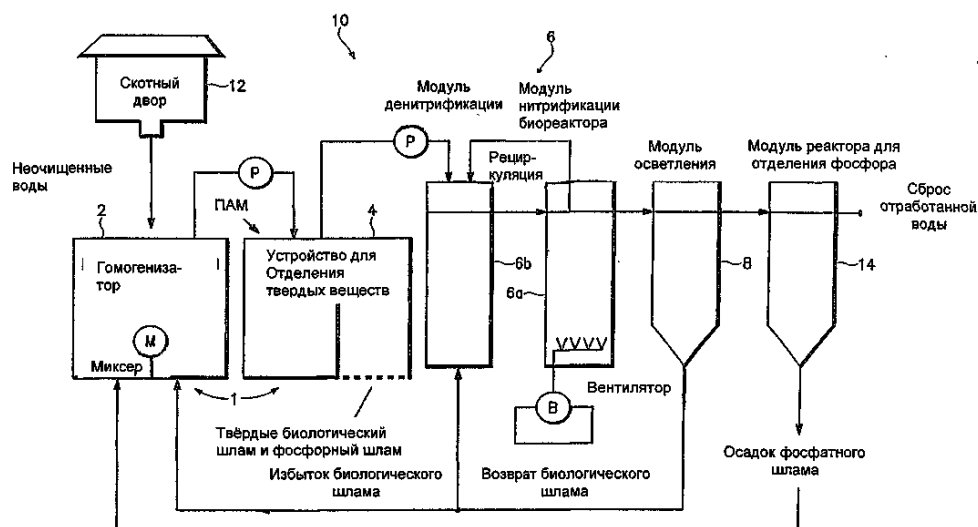
- а) гомогенизацию сточной воды, содержащей смесь навозного шлама и фосфорного шлама;
- б) обработку указанной смеси полимерным флокулянтом для отделения твердых частиц из указанной смеси с образованием единого потока твердых частиц и потока сбросных вод;
- в) обработку указанных сбросных вод для извлечения азота с помощью процесса денитрификации и образования нитрифицированного потока сбросных вод при помощи процесса нитрификации;
- г) обработку указанных нитрифицированных сбросных вод для осаждения фосфора для образования шлама осажденного фосфора и обработанных сбросных вод;

е) возвращение указанного шлама фосфорного осадка в гомогенизатор для образования смеси шлама навоза и шлама фосфорного осадка.

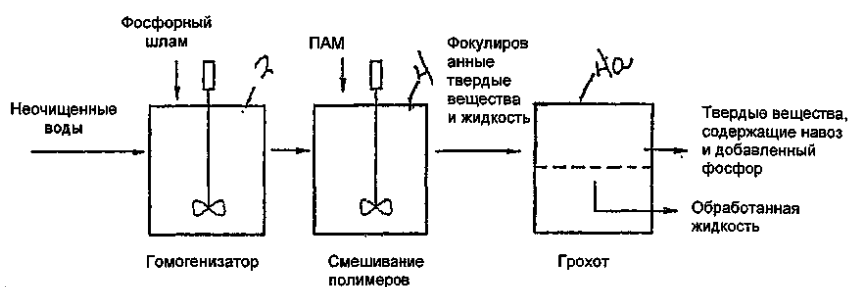
6. Способ по п.5, отличающийся тем, что указанный полимерный флокулянт выбран из группы, состоящей из катионного полиакриламида, катионного полиэтиленimina, хитозана, полисахаридов и их смесей.



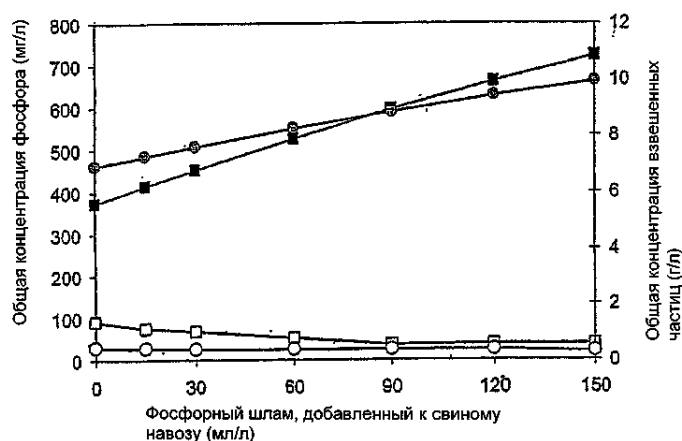
Фиг. 1А



Фиг. 1Б

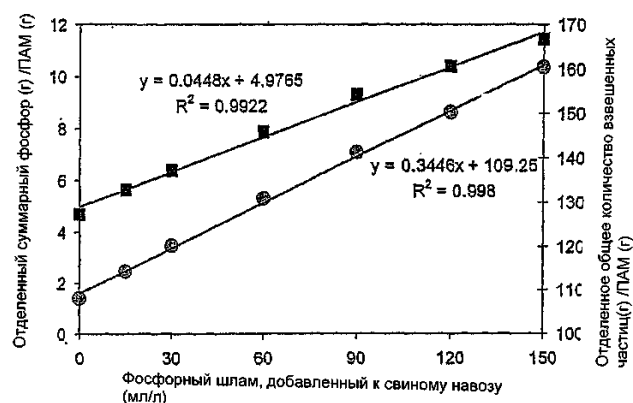


Фиг. 2



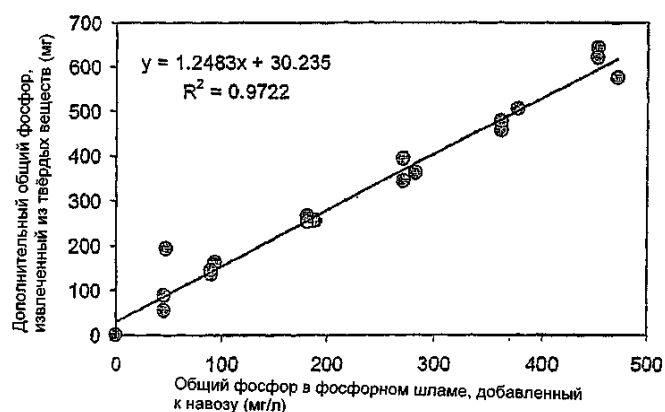
- Суммарный фосфор в навозе + смесь фосфорного шлама
- Суммарный фосфор в переработанной воде
- Общее количество взвешенных частиц в навозе + смесь фосфорного шлама
- Общее количество взвешенных частиц в переработанной воде

Фиг. 3



- Эффективность применения полимера – суммарный фосфор
- Эффективность применения полимера – общее содержание взвешенных частиц

Фиг. 4



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2