

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СПОСОБА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОСАДКОВ КАРТ ХРАНЕНИЯ КУРИНОГО ПОМЕТА ПРЕПАРАТОМ «ПОЛИАМИНОЛ»

**С. Б. Кунденюк, Д. Л. Марков, В. Н. Волкова,
И. М. Казанцев, В. А. Шаланин**

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»,
Владивосток, Россия*

Ключевые слова: куриный помет; метод Штейнера; обеззараживание; препарат «Полиаминол»; расчет сети орошения.

Аннотация: Проведен анализ методов обеззараживания биогенных осадков. Проведены исследования и разработаны мероприятия по интенсификации обеззараживания отходов, образующихся на птицефабриках. Выявлена экспериментальным путем дозировка препарата исходя из физико-химических и бактериологических исходных показателей осадка. Определены характеристики обработанного куриного помета. Для обеспечения равномерного распределения дезинфицирующей жидкости по поверхности осадка выбран метод – орошение площадей хранения. Поставленная задача решена путем расчетов параметров перфорированного трубопровода методом, основанным на принципе определения минимальной длины для задачи соединения группы точек на плоскости кратчайшим путем.

Введение

Обработка помета и осадка биологических очистных сооружений включает в себя такие мероприятия, как уплотнение, стабилизация органической части осадков, кондиционирование, обезвоживание, утилизация ценных продуктов, ликвидация, а также обеззараживание. Биогенный осадок содержит в себе большое количество гельминтов и патогенных микроорганизмов. В благоприятных условиях яйца гельминтов способны переходить в инвазивную стадию и заражать людей и животных.

Термофильное анаэробное сбраживание, компостирование, тепловая обработка, термическая сушка и сжигание осадка хоть и способны обезза-

Кунденюк Светлана Борисовна – старший преподаватель инженерно-строительного отделения инженерного департамента; Марков Данил Леонидович – магистрант; Волкова Владислава Николаевна – кандидат технических наук, доцент инженерно-строительного отделения инженерного департамента, e-mail: volkova.vn@dvfu.ru; Казанцев Илья Максимович – магистрант; Шаланин Виктор Александрович – старший преподаватель инженерно-строительного отделения инженерного департамента, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия.

разить сточные воды и отходы, но для их применения необходимы или дорогостоящие сооружения, например метантенки, или длительная обработка, например компостирование. Для химического обеззараживания осадка применяют реагенты, изменяющие реакцию среды, вследствие чего сокращается количество патогенных микроорганизмов. Используют реагенты: известь, аммиак, формальдегид, мочевины и овициды [1].

В соответствии с санитарными нормами и правилами РФ на очистных сооружениях хозяйственно-бытовых, производственных, смешанных стоков надлежит проводить дезинвазионные мероприятия в обязательном порядке, вне зависимости от результатов санитарно-паразитологического контроля, а согласно приказу Роспотребнадзора [2], не допускается использование иловых площадок и длительного хранения осадков как самостоятельных методов дезинвазии. Таким образом, выбор метода становится очевидным, так как обеззараживание овицидами требует значительно меньших затрат. Эффективный препарат «Полиаминол» применяется в качестве многофункционального реагента для обеззараживания (дезинфекции), дезинвазии, дегельминтизации и дезодорации хозяйственно-бытовых сточных вод [3], жидких и биогенных осадков.

Включенный в реагент комплекс меди обеспечивает бактерицидные свойства за счет связывания с белками мембран клеток и подавление патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. Также под воздействием препарата происходит химическая реакция соединения тяжелых металлов в нетоксические соединения, а за счет снижения преимущественно метанового брожения осадка снижается канализационный запах. Под действием препарата происходит связывание ионов тяжелых металлов в нетоксичные комплексные соединения, среди которых соединения меди, цинка, хрома и никеля активизируют воссоздание нормального биоценоза в продукте.

Технология рекомендована в качестве метода для обработки биогенных осадков и обеспечивает изменение структуры (разделение на твердую и жидкую фазу), обеззараживание и получение сырья для почвогрунта. На вторичное сырье, получаемое из осадков сточных вод, обработанных препаратом «Полиаминол», получено свидетельство Минсельхоза РФ [4] о государственной регистрации агрохимиката как органического удобрения на основе осадков сточных вод. Данный агрохимикат можно использовать при выращивании газонных трав, декоративных деревьев, кустарников для рекультивации земель, полигонов твердых бытовых отходов и др.

При обработке осадков препаратом важное значение имеет равномерное распределение жидкости по площадям хранения осадка.

При проектировании систем орошения рассчитываются распределительные перфорированные трубопроводы. В данной работе рассматриваются линейные дренажно-распределительные системы с точечной подачей на оросители препарата «Полиаминол». Основная гидравлическая особенность таких трубопроводов – наличие потоков с переменной массой (отсоединением водных масс).

В работе [5] представлен аналитический обзор исследований с переменной массой. Показано, что проблема равномерного распределения не решена в настоящее время. При возведении малых оросительных систем

(с малым количеством распределительных оголовков) зачастую пренебрегают детальным гидравлическим расчетом и производят монтаж системы из труб одного диаметра, что приводит к избыточным потерям напора и неравномерному распределению транспортируемой жидкости.

В представленной работе предлагается использовать геометрический метод проектирования распределительной сети, основанный на построении сети Штейнера для группы точек на плоскости. Под построением «дерева» Штейнера на евклидовой плоскости понимается проблема нахождения кратчайшего расстояния, связывающего m заданных точек плоскости M . Допускается введение при необходимости новых вершин дерева N , отличных от основных точек (точки N носят название «точек Штейнера») [6]. Метод построения сети Штейнера основан на экстремальном принципе наименьшего удлинения, при котором линии, связывающие точки, должны быть кратчайшими [6, 7].

В научно-технической литературе данный метод рассматривался различными авторами как основа для построения трубопроводных сетей перекачки жидкости [8], а также лесотранспортных сетей [9] и автомобильных дорог [10]. Общим недостатком всех представленных работ является отсутствие какой-либо экспериментальной проверки или практического применения представленных авторами алгоритмов и методик расчета. В данной работе осуществлено сравнение результатов гидравлического расчета распределительного трубопровода для линейно расположенной группы одиночных распылителей с последовательным соединении при использовании сети Штейнера. Такие распределительные трубопроводы можно встретить в системах полива, распределения воды в фонтанах, установках автоматического пожаротушения, а также в распределительных системах биофильтров очистки сточных вод.

Цель исследования – разработка мероприятий по интенсификации обеззараживания куриного помета за счет внедрения препарата «Полиаминол» и обеспечения его равномерного орошения.

Материалы и методы

Обработка осадка включает в себя такие мероприятия, как уплотнение, стабилизацию органической части осадков, кондиционирование, обезвоживание, утилизацию ценных продуктов, ликвидацию, а также обеззараживание. Осадок сточных вод содержит в себе большое количество гельминтов и патогенных микроорганизмов. В благоприятных условиях яйца гельминтов способны переходить в инвазивную стадию и заражать людей и животных. В таблице 1 приведен анализ классических методов обработки биогенных осадков.

Несмотря на то что термофильное анаэробное сбраживание, компостирование, тепловая обработка, термическая сушка и сжигание способны обеззаразить осадки, но для их применения необходимы или дорогостоящие сооружения, например метантенки, или длительная обработка, например компостирование. Анализируя вышеперечисленные способы для обеззараживания куриного помета, в данном случае, наиболее эффективно использовать реагентный метод обработки.

Таблица 1

Результаты обработки биогенных осадков различными способами

Способ обработки биогенных осадков	Результаты обработки осадков		
	Снижение влажности	Стабилизация	Обеззараживание
Гравитационное уплотнение	Да	–	–
Флотация			
Анаэробное сбраживание: – мезофильное – термофильное	–	Да	– Да
Аэробная стабилизация			–
Компостирование			Да
Сушка на иловых площадках	Да	–	–
Вакуум-фильтрация			
Фильтр-прессование			
Центрифугирование			
Тепловая обработка	–	Да	Да
Термическая сушка			
Сжигание			
Реагентная обработка: – негашеная известь – хлорная известь			

Экспериментальные исследования выполнены на натуральных осадках в лабораторных условиях по стандартным методикам определения загрязняющих веществ. Для построения оросительной сети применена свободно распространяемая программа Кристиана Клингенберга (Университет Манчестера) Find Steiner Tree.

Результаты и обсуждение

Для химического обеззараживания осадка сточных вод применяют реагенты, изменяющие реакцию среды, вследствие чего сокращается количество патогенных микроорганизмов. Используют следующие реагенты: известь, аммиак, формальдегид, мочевины и овициды. Таким образом, выбор метода становится очевиден, так как обработка овицидами требует значительно меньших затрат. Под описание метода обработки осадка овицидами, фактически подходит эффективный препарат «Полиаминол», применяющийся в качестве многофункционального реагента: дезодорирующего и дезинфицирующего средства для обеззараживания и обезвоживания различных осадков (отходов) животноводческих и птицеводческих комплексов. В отличие от осадков сточных вод, куриные отходы с птичников поступают с подстилкой (используются преимущественно опилки) и свозятся с отдельных птичников на каналные площадки.

В иловой карте в зависимости от глубины (расстояния от поверхности) осадки по составу и влажности распределены неравномерно. У дна карты осадки сточных вод имеют более высокую влажность и представляют собой классическую дисперсную систему – суспензию или шлам (в виде так называемой жижи), при этом на поверхности может образовываться корка в виде слипшихся комьев. На эффективность обработки напрямую влияет дозировка и степень перемешивания [11] препарата с обрабатываемым субстратом или равномерное орошение.

Дозировка препарата определена экспериментальным путем исходя из физико-химического и бактериологического анализа. Расход препарата для обработки осадка птицефабрики составляет 0,32 литра полиаминола на 1 м³ осадка. В таблицах 2 и 3 представлены результаты обработки осадка препаратом «Полиаминол».

Влажность осадка после обработки уменьшается более чем на 10 % (см. табл. 2). Данное явление свидетельствует об эффективном взаимодействии и связке химических веществ, входящих в состав осадка, с мицеллярными структурами. В результате этого процесса уменьшается приток воды к молекулам, что в свою очередь способствует снижению влажности. Такой эффект может иметь важное значение для дальнейших технологических операций, например, при сушке или переработке осадков, так как он позволяет повысить их стабилизированность и снизить энергетические затраты на удаление влаги, содержание сухого вещества незначительно уменьшилось, когда органики в сухом веществе стало больше на 7 %, водородный показатель почти не изменился, содержание азота увеличилось в 2 раза, фосфора практически не изменилось.

Результаты (см. табл. 3) подтверждают эффективность выбранных методов обработки осадка с точки зрения поддержания его санитарных характеристик. Стабильность показателей позволяет рекомендовать использование данного метода в практической деятельности без риска ухудшения санитарно-эпидемиологической ситуации.

Таблица 2

Результаты обработки куриного помета препаратом «Полиаминол»

Показатель	До переработки	После переработки
Содержание влаги (воды), %	82	69,8
Содержание сухого вещества, %	41,2	37,7
Содержание органики в сухом веществе (потеря при прокаливании $t^0 = 550^{\circ}\text{C}$), %	59,8	52,8
Реакция среды водная (осадок : вода = 1,0 : 2,5), ед. рН	6,9	7,2
Валовое содержание азота (N) в сухом веществе, %	3,1	6,2
Валовое содержание фосфора (P ₂ O) в сухом веществе, %	5,6	5,3

Санитарно-биологические показатели обработанного осадка

Наименование показателя	Значение		Метод
	до переработки	после переработки	
Бактерии группы кишечной палочки, индекс, клеток/г	<1		МУ по санитарно-микробиологическому исследованию почвы № 2293-81
Патогенные микроорганизмы, клеток/г	Не обнаружены		
Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты простейших, экз./100 г			
Наличие жизнеспособных личинок и куколок синантропных мух, экз. с площади 20×20 см	Не обнаружены		МУК 4.2.2661-10
			МУ 2.1.7.2657-10

Кроме того, отсутствие существенных изменений в параметрах осадка после обработки способствует снижению затрат и повышению экологической безопасности при организации процессов утилизации или повторного использования осадка. В дальнейшем рекомендуется провести дополнительные исследования для подтверждения длительной стабильности показателей и оценки возможных влияний при расширении масштабов обработки.

Компания ООО «НПО «Квантовые технологии» предлагает вводить препарат путем подачи высоконапорной струи (рис. 1). При этом присутствует человеческий фактор, что не гарантирует равномерное распределение и экономичное расходование препарата.

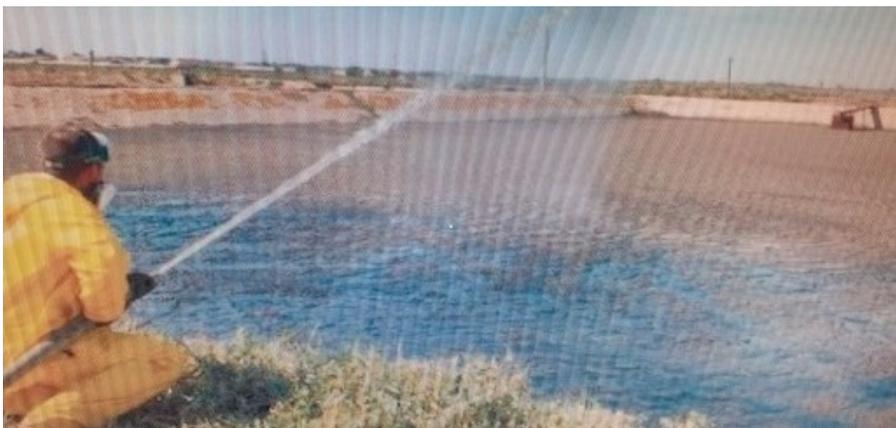


Рис. 1. Орошение иловых площадок препаратом «Полиаминол»

Источник: презентация компании ООО «НПО «Квантовые технологии», www.npo-gt.ru

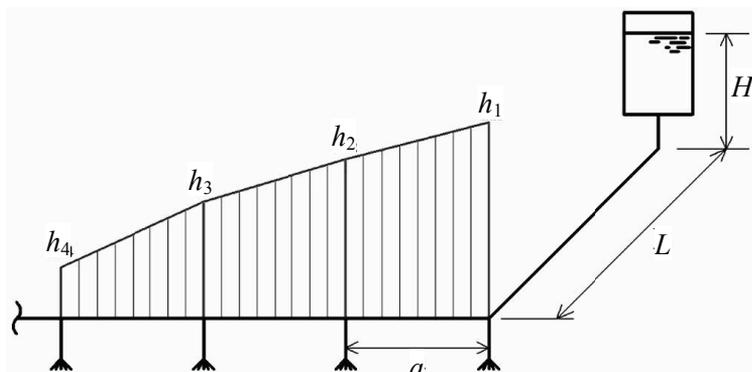


Рис. 2. Линейная схема распределительной оросительной сети:

H – высота столба воды в напорном баке; L – длина подводящего трубопровода;
 a – расстояние между оросителями; h_i – пьезометрический напор в патрубке оросителя

В нашем случае для обработки помета, складываемого в накопителях канальной конфигурации, эффективнее использовать оросители. В качестве схемы введения реагента выбран линейный распределительный трубопровод с подачей воды из напорного бака. Расстояние между патрубками оросителей принято равным. Схема системы представлена на рис. 2.

При построении сети Штейнера для системы орошения использована свободно распространяемая программа Кристиана Клингенберга (Университет Манчестера) Find Steiner Tree, основанная на программном коде Уоррена Смита (рис. 3). В результате расчета получены схемы распределительных трубопроводов при различных значениях L/a в диапазоне 1,0...5,5.

Гидравлический расчет проводился в свободно распространяемой программе EPANET при следующих допущениях:

– в каждом из оросителей задается постоянный расход, не зависящий от напора у насадки, $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = \text{const}$ (подразумевается применение регуляторов расхода);

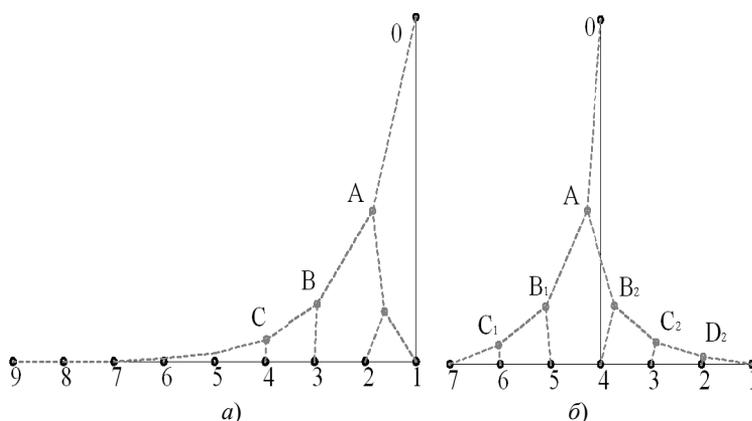


Рис. 3. Линейная схема распределительной сети с последовательным подключением и при использовании сети Штейнера:

0 – начальная точка сети (место подключения напорного резервуара);

1 – 9 – патрубки оросителей; A, B, C и A_i, B_i, C_i, D_i – точки Штейнера, представляющие собой дополнительные узловые точки

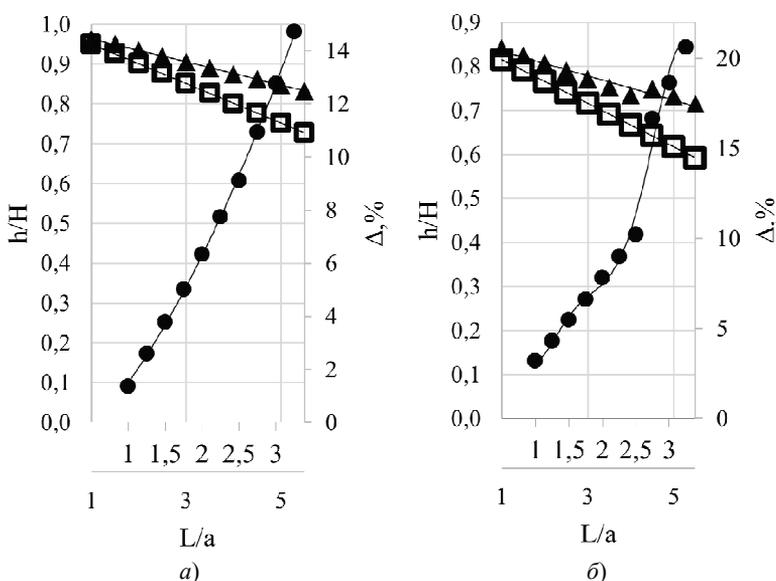


Рис. 4. Сравнение величины безразмерного пьезометрического напора для начального (а) и конечного (б) оросителей:

▲ – h/H для сети Штейнера; □ – h/H для последовательного соединения;
● – процентное расхождение

– местными потерями напора можно пренебречь (трубопровод достаточно длинный);

– коэффициент гидравлического трения постоянен, $\lambda = \text{const}$ (поток находится в квадратичной области сопротивлений на всех участках трубопровода).

В результате гидравлического расчета получены значения пьезометрического напора в различных точках сети, что позволило оценить эффективность работы распределительной сети. Данные расчетов показывают, что метод геометрического проектирования сети по методу Штейнера дает результаты лучше, чем при последовательном соединении трубопроводов для обеих расчетных схем. Результаты сравнения пьезометрического напора для различных схем представлены на рис. 4 и 5.

Полученные расчетные данные показывают, что при принятых допущениях схема с использованием дерева Штейнера имеет большую эффективность, чем последовательное подключение распылителей. При этом разница в величине потерь напора h/H увеличивается с увеличением отношения L/a . Данный факт позволяет уменьшить высоту размещения напорного резервуара или применять насосное оборудование с меньшим рабочим давлением.

Заключение

Представлен анализ методов обеззараживания биогенных осадков. Проведены исследования и разработаны мероприятия по обработке препаратом «Полиаминол» отходов, образующихся на птицефабриках.

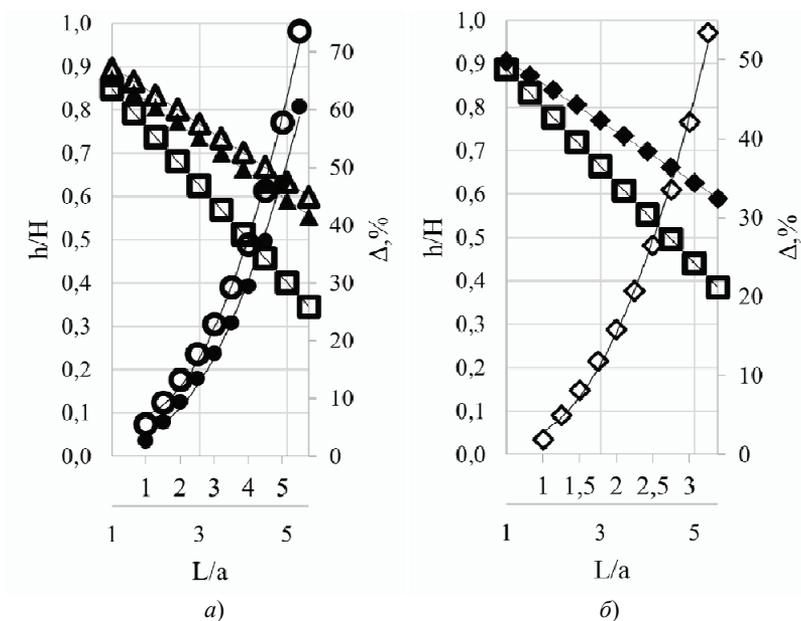


Рис. 5. Сравнение величины безразмерного пьезометрического напора для крайних (а) и центрального (б) оросителей,

$\Delta - h/H$ для сети Штейнера (левая ветвь):

$\blacktriangle - h/H$ для сети Штейнера (правая ветвь); $\blacklozenge - h/H$ для сети Штейнера (центральный ороситель); $\square - h/H$ для последовательного соединения; $\circ -$ процентное расхождение (левая ветвь); $\bullet -$ процентное расхождение (правая ветвь); $\Delta -$ процентное расхождение (центральный ороситель)

Выявлена экспериментальным путем дозировка препарата исходя из физико-химических и бактериологических исходных показателей осадка. Определены характеристики обработанного куриного помета. Для обеспечения равномерного распределения дезинфицирующей жидкости по поверхности выбран способ – орошение площадей хранения. Выполнены расчеты параметров перфорированного трубопровода методом, основанным на принципе определения минимальной длины для задачи соединения группы точек на плоскости кратчайшим путем.

Список литературы

1. Сафиуллин, Р. Т. Овоцидные свойства разных образцов и концентраций дезинфицирующего средства Полиаминол в опыте *in vitro* против яиц *Toxocara cati* / Р. Т. Сафиуллин, Е. О. Качанова, Е. С. Беломытцева // Российский паразитологический журнал. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 117 – 123.
2. О совершенствовании эпидемиологического надзора за паразитозами в Российской Федерации : приказ № 629 от 09.08.2019 Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/561372469> (дата обращения: 14.05.2025).
3. Исследования влияния препарата «Полиаминол» на видовой состав активного ила / В. Н. Волкова, Н. А. Дудник, И. М. Казанцев, С. Б. Кунденюк // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2024. – № 4(61). – С. 105 – 114.

4. Свидетельство о государственной регистрации агрохимиката «Органическое удобрение на основе осадков сточных вод ЭПА» № 727-20-3341-1 от 21.10.2021. – М. : Минсельхоз РФ, 2021. – 1 с.
5. Земляная, Н. В. Параметризация процесса распределения воды в перфорированных трубопроводах / Н. В. Земляная, А. В. Гулякин // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2018. – № 2(35). – С. 77 – 85.
6. Куспеков, К. А. Алгоритм построения кратчайшей сети сбора и транспорта нефти / К. А. Куспеков // Вестник КузГТУ. – 2011. – № 4. – С. 35 – 38.
7. Протасов, В. Ю. Максимумы и минимумы в геометрии / В. Ю. Протасов. – М. : Изд-во Московского центра непрерывного математического образования, 2005. – 56 с.
8. Багов, М. А. Задачи проектирования трубопроводной сети Штейнера / М. А. Багов // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2016. – № 4-1(16). – С. 78 – 82.
9. Борисов, Г. А. Об оптимизации параметров лесотранспортных сетей в современных условиях / Г. А. Борисов, В. Д. Кукин // Известия вузов. Лесной журнал. – 2009. – № 1. – С. 60 – 66.
10. Волков, В. Я. Алгоритм построения кратчайшей сети автомобильных дорог / В. Я. Волков, К. А. Куспеков // Вестник КузГТУ. – 2011. – № 4. – С. 64 – 74.
11. Разработка эффективных методов перемешивания при реагентной обработке суспензии сточных вод / А. Н. Григорьева, Р. Ш. Абиев, Ф. И. Лобанов, О. Ю. Тарарыков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 10. – С. 48 – 54.

References

1. Safiullin R.T., Kachanova Ye.O., Belomytseva Ye.S. [Ovicidal properties of different samples and concentrations of disinfectant Poliaminol in vitro against eggs of *Toxocaracati*], *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Parasitology], 2020, vol. 14, no. 4, pp. 117-123. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/561372469> (accessed 14 May 2025).
3. Volkova V.N., Dudnik N.A., Kazantsev I.A., Kundenok S.B. [Studies of the effect of the drug "Polyaminol" on the species composition of activated sludge], *Vestnik inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of the FEFU Engineering School], 2024, no. 4(61), pp. 105-114. (In Russ., abstract in Eng.)
4. [Certificate of State Registration of Agrochemical "Organic Fertilizer Based on Wastewater Sludge EPA" No. 727-20-3341-1 of 21 October 2021], Moscow: Minselhoz RF, 2021, 1 p. (In Russ.)
5. Zemlyanaya N.V., Gulyakin A.V. [Parameterization of water distribution process in perforated pipelines], *Vestnik inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of the FEFU Engineering School], 2018, no. 2(35), pp. 77-85. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Kuspekov K.A. [Algorithm for constructing the shortest network for oil collection and transportation], *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2011, no. 4, pp. 35-38. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Protasov V.Yu. *Maksimumy i minimumy v geometrii* [Maximums and minimums in geometry], Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo tsentra nepreryvnogo matematicheskogo obrazovaniya, 2005, 56 p. (In Russ.)
8. Bagov M.A. [Problems of designing Steiner pipeline network], *Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskie nauki* [Bulletin of KRAUNC. Physical and mathematical sciences], 2016, no. 4-1(16), pp. 78-82. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Borisov G.A., Kukin V.D. [On optimization of parameters of forest transport networks in modern conditions], *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forestry magazine], 2009, no. 1, pp. 60-66. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Volkov V.Ya., Kuspekov K.A. [Algorithm for constructing the shortest network of roads], *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2011, no. 4, pp. 64-74. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Grigoryeva A.N., Abiev R.Sh., Lobanov F.I., Tararykov O.Yu. [Development of effective mixing methods for reagent treatment of wastewater suspensions], *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2021, no. 10, pp. 48-54. (In Russ., abstract in Eng.)

Intensifying the Method of Disinfection of Chicken Manure Storage Cards Sludge with Polyaminol Preparation

**S. B. Kundenok, D. L. Markov, V. N. Volkova,
I. M. Kazantsev, V. A. Shalanin**

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Keywords: chicken manure; Steiner method; disinfection; Polyaminol preparation; calculation of the irrigation network.

Abstract: The analysis of methods of disinfection of biogenic sediments was carried out. The research was conducted and measures were developed to intensify the disinfection of waste generated at poultry farms. The dosage of the preparation was determined experimentally based on the physicochemical and bacteriological initial indicators of the sediment. The characteristics of the treated chicken manure were determined. To ensure uniform distribution of the disinfectant liquid over the sediment surface, the method chosen is irrigation of storage areas. The task set is solved by calculating the parameters of a perforated pipeline using a method based on the principle of determining the minimum length for the task of connecting a group of points on a plane by the shortest path.

© С. Б. Кунденок, Д. Л. Марков, В. Н. Волкова,
И. М. Казанцев, В. А. Шаланин, 2025