

НИКИТЕНКО АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДАЧИ ОБЪЁМНО - ФИЛЬТРУЮЩИХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАКРЫТОГО
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА**

Специальность: 06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новочеркасск – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Научный руководитель:

Коршиков Александр Алексеевич

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Тарасьянц Сергей Андреевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия», профессор кафедры «Водоснабжения и водоотведения»

Кузнецов Евгений Владимирович

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», зав. кафедрой «Гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»).

Защита диссертации состоится «24» октября 2013 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 220.049.01 в ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» по адресу: 346428, г. Новочеркасск, Ростовская область, ул. Пушкинская, 111, ауд. 339.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научном отделе библиотеки ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» по адресу: 346428, г. Новочеркасск, Ростовская область, ул. Пушкинская, 111.

Автореферат разослан «23» сентября 2013 г. и размещён на официальных Интернет - сайтах ВАК РФ и НГМА

Учёный секретарь

диссертационного совета

Иванова Нина Анисимовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По данным Федерального агентства кадастра объектов недвижимости 52,7% орошаемых площадей Южного федерального округа подвержены вторичному засолению, которое обусловлено интенсивным поднятием уровня грунтовых вод (УГВ) из-за низкой эффективности работы закрытого горизонтального дренажа (ЗГД).

Установлены три основных фактора снижения эффективности работы ЗГД: ошибки проектирования, строительные дефекты, неправильная эксплуатация. Большая часть отказов дренажа в первые годы его эксплуатации приходится на долю строительных дефектов, что связано в первую очередь с недостаточной изученностью процессов укладки ЗГД.

По современной узкотраншейной технологии строительства дренажа укладку дренажных труб на дно траншеи с одновременной их обсыпкой объёмно-фильтрующими материалами производят бункерами дреноукладчиков. Исследования конструкций бункеров как отечественного, так и зарубежного производства показали, что ограниченное пространство бункера дреноукладчика в совокупности с физико-механическими свойствами фильтрующей обсыпки провоцируют образование внутри бункера статически устойчивых сводов. При этом процесс подачи объёмно-фильтрующего материала (ОФМ) осуществляется прерывисто с образованием пустот, что приводит к возникновению сифонных перегибов, нарушению целостности дренажных линий, сдавливанию дренажной трубы и способствует в дальнейшем интенсивному засорению и заиливанию дрены.

В связи с этим совершенствование технологии и агрегатов, обеспечивающих высокое качество строительства ЗГД, устойчивое и высокоэффективное функционирование дренажных систем является важной и актуальной проблемой.

Степень разработанности темы. Существующая технология подачи ОФМ к месту его укладки и послойного распределения для защиты дренажной трубы не предусматривает возможности контроля и управления процессом дозирования ОФМ в автоматическом режиме, что приводит к образованию многочисленных строительных дефектов. Основы теории и практики по обеспечению бесперебойной подачи сыпучих материалов бункерными устройствами изложены в трудах А. Н. Панченко (1977, 1979, 1985), Р. Л. Зенкова (1964, 1977, 1987), К. В. Алферова (1946, 1955), Л.В.

Гячева (1968), В. А. Богомяцкого (1973, 2007), С.К. Янчина (1966), Э. В. Дженике (1968) и других учёных с обоснованием изыскания, проектирования и конструирования дозирующих бункерных устройств.

Цель исследования - повышение эффективности, надёжности и долговечности работы закрытого горизонтального дренажа за счёт совершенствования технологии обсыпки пластмассовых дренажных труб сыпучим объёмно-фильтрующим материалом.

Задачи исследования:

- выполнить анализ существующих технологий и средств строительства ЗГД в зоне орошения, а так же конструкций дренажных фильтров;
- провести анализ факторов, влияющих на качество обсыпки дренажных труб сыпучим ОФМ при строительстве ЗГД узкотраншейным способом;
- разработать математическую модель процесса подачи ОФМ в зону его послойного распределения и обосновать параметры устройства для механизированного разрушения статически устойчивых сводов из ОФМ в бункере узкотраншейного дренажукладчика
- разработать методику расчёта сводоразрушающего устройства;
- разработать технологию обсыпки дренажных труб ОФМ и провести опытно-производственную проверку бункера оснащённого сводоразрушающим устройством;
- выполнить технико-экономическое обоснование результатов исследований.

Научная новизна исследования:

- установлены факторы, провоцирующие образование статически устойчивых сводов из ОФМ в бункере узкотраншейного дренажукладчика;
- разработана математическая модель процесса подачи ОФМ в зону его послойного распределения;
- разработана методика расчёта оптимальных параметров сводоразрушающего устройства для осуществления обсыпки пластмассовых дренажных труб сыпучим ОФМ без образования статически устойчивых сводов в бункере-дозаторе дренажукладочного устройства;
- предложена технология обсыпки дренажных труб объёмно-фильтрующим материалом с применением разработанного сводоразрушающего механизма;

Теоретическая и практическая значимость работы. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана математическая модель про-

цесса подачи ОФМ в зону его послойного распределения, которая позволила определить условия образования статически устойчивого свода ОФМ в бункере дренаукладчика, получить выражения для определения режимов работы сводоразрушающего устройства, зависимости для определения необходимых конструктивных и режимных параметров бункерного устройства дренаукладчика.

На основании проведённых исследований производству предложены новая технология подачи объёмно-фильтрующих материалов при строительстве и реконструкции закрытого горизонтального дренажа, а так же комбинированный рабочий орган для механизированного разрушения сводов в бункере узкотраншейного дренаукладчика (патент РФ E02F 5/10 76356 U1).

Работа выполнена по плану Межведомственной координационной программы фундаментальных исследований по научному обеспечению АПК РФ на 2011 – 2015 г.г., тема: «Разработка орудий, средств и технологий механизации строительства, восстановления и эксплуатации мелиоративных систем и объектов природообустройства».

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены на базе математических и логических методов познания объекта, экспериментальные - с использованием стандартных и частных методик проведения экспериментов и методов их планирования. Опытные данные научных исследований получены в результате использования общеизвестных методик натурных и лабораторных экспериментов, метрологически аттестованных приборов и стандартного оборудования промышленного изготовления.

Положения, выносимые на защиту:

- технология обсыпки дренажных труб объёмно-фильтрующим материалом с применением разработанного сводоразрушающего механизма;
- физико-механическая модель сыпучего ОФМ;
- математическая модель процесса подачи сыпучего ОФМ в зону его послойного распределения;
- конструкция рабочего органа для механизированного разрушения статически устойчивых сводов из ОФМ в бункере узкотраншейного дренаукладчика (патент РФ E02F 5/10 76356 U1);
- методика расчёта параметров рабочего органа для разрушения статически устойчивых сводов в бункере узкотраншейного дренаукладчика.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждена достаточным объёмом экспериментального материала, применением стандартных методик математико-статистической обработки экспериментальных данных, удовлетворимой сходимостью экспериментальных и теоретических данных, критическим анализом и заключением экспертов.

Материалы диссертации и результаты исследований обсуждены и одобрены на межвузовских научно-технических конференциях «Совершенствование технологий и средств механизации производственных процессов в АПК» (г. Новочеркасск, 2007, 2009, 2011 гг.), международных научно-практических конференциях МГУП (г. Москва, 2008, 2009 гг.), международной научной конференции «Человек в современном мире» (г. Ростов на Дону, 2010 г.), донской аграрной научно-практической конференции «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы» (г. Зерноград, 2012 г.), международной научно-практической конференции «Интеграция науки и образования - стратегия устойчивого развития водно-мелиоративного комплекса» (г. Новочеркасск, 2013 г.).

По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ общим объёмом с учётом долевого участия в коллективных публикациях 3,3 п.л., из них лично автора 2,8 п.л. Получен патент на полезную модель.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, научные результаты выносимые на защиту, достоверность и апробация работы

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» изложено современное состояние проблемы с анализом отечественного и зарубежного опыта повышения эффективности дренажных систем и совершенствования технологий строительства: Е.Д. Томин (1987), В. А. Духовный (1979, 1981), В. Н. Бердянский (1964, 1981), Н. Н. Бредихин (1987, 1988), А. А. Коршиков (1982, 1990, 1997), А. В. Колганов (1982, 1998), Г. А. Сенчуков (1993, 2003), В. Н. Щедрин (2001, 2005), В. И. Миронов (1992, 1997, 2001, 2002, 2004), Н. Г. Пивовар (1980, 1982, 1985), А. Т. Лисконов (1992), Ц. Е. Мирцхулава (1974), А. И. Мурашко (1973, 1978, 1982), Э. Е. Фишер (1973, 1989), L. Awenson (1977), L. S. Fisher, A. R. Jarret (1984) и другие учёные.

Обобщение результатов исследований показало, что эффективность и эксплуатационная долговечность закрытого горизонтального дренажа главным образом определяются качеством устройства и надёжностью работы дренажных фильтров. В работах Н.Н. Бредихина (1984), А. К. Бехбудова (1978), В. А. Васильченко (1981), В. А. Шрейдера (1970), А. И. Мурашко (1982), Г. Г. Шилера (1997) и ряда других авторов показано, что наиболее оптимальной является конструкция дрены, выполненная с фильтром из синтетических нетканых полотен (геополотно) и обсыпкой объёмными фильтрующими материалами (песчано-гравийная смесь).

При узкотраншейном способе строительства дренажа операция укладки дрены включает процесс изоляции дренажной трубы ОФМ с его одновременным распределением вокруг дрены. В связи с малой шириной траншеи, вводятся ограничения на геометрические параметры бункера. Опыт укладки дрен показал, что раскладка фильтра и дренажных труб бункерами имеет ряд недостатков: слой фильтра распределяется неравномерно, что приводит к волнообразной укладке труб; внутри грузового отсека образуются статически устойчивые своды, которые приводят к прерывистой подаче или полному прекращению истечения ОФМ; после укладки тело фильтровой обсыпки не имеет конечного агрегатного состояния и в нем протекают структурные деформации, приводящие к изменению проектных уклонов.

Строительство горизонтального пластмассового дренажа узкотраншейным способом осуществляется специализированными дреноукладчиками. Бункеры как отечественных, так и зарубежных дреноукладчиков выполнены по общей конструктивной схеме с нераздельной совместной раскладкой подстилающего и застилающего слоёв песчано-гравийного фильтра. Основным недостатком применяемых конструкций заключается в образовании внутри бункера статически устойчивых сводов, которые препятствуют свободному истечению ОФМ через щелевой распределитель. Такое положение вызвано, прежде всего, недостаточной изученностью технологии формирования защитной изоляции дрены, отсутствием адекватной математической модели процесса и, как следствие, нерациональными с точки зрения сводообразования параметрами бункеров.

Таким образом, существенным резервом улучшения технологии распределения слоёв фильтра является применение устройств способствующих непрерывному истечению ОФМ, обеспечивающих требуемое качество укладки дрены и повышение производительности дреноукладчиков.

Решением задачи по обеспечению бесперебойной подачи ОФМ является оснащение бункеров побудителями провоцирующими истечение материала через разгрузочные отверстия на базе физико-математических моделей описывающих процессы, происходящие при истечении сыпучих материалов. Исследованием закономерностей движения сыпучего материала из дозирочных бункеров занимались Л.В. Гячев (1968), В.А. Богомягких (2007), Э. В. Дженике (1968) и другие, однако работы большинства авторов направлены на изучение процесса дозирования при свободном истечении сыпучих тел. При этом следует особо подчеркнуть, что процессы движения ОФМ в бункере дозаторе дренаукладчика практически не рассматривались.

Во второй главе «Математическое моделирование процесса подачи ОФМ в зону его послойного распределения» на основании комбинированной механической модели сыпучего тела Л.В. Гячева и В.А. Богомягких, подчиняющейся закону Кулона, объяснен механизм статического сводообразования ОФМ в бункере дренаукладчика, определены условия устойчивости сводчатых структур, их основные параметры, а также влияние этих параметров на расходные характеристики щелевого распределителя бункера дренаукладчика.

Модель сыпучего ОФМ дополнена допущениями, которые позволяют учитывать реальную форму частиц ОФМ через коэффициенты формы - k_ϕ и искажения формы - $k_{u.\phi}$ и приводить произвольную форму ОФМ к условно шаровой - d_y , что существенно влияет на адекватность результатов теоретических исследований. По наблюдениям форма реальной частицы ОФМ близка к форме параболического бочонка, для которого справедливо:

$$d_y = k_\phi \cdot k_{u.\phi} \cdot c, \quad (1)$$

где $K_\phi = 0,72$ - коэффициент, характеризующий форму частицы ОФМ;

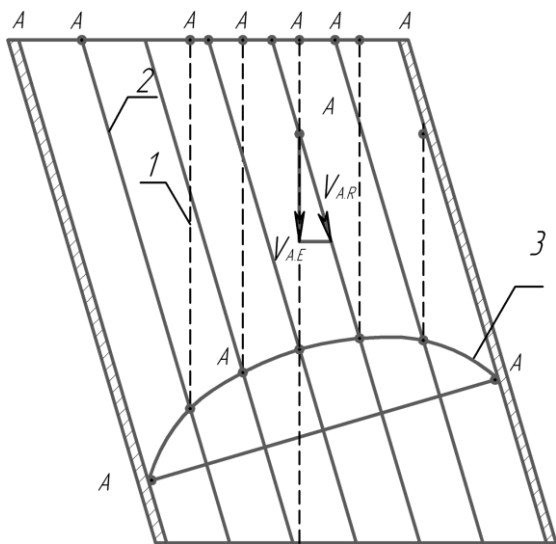
$$K_{u.\phi} = \sqrt[3]{b \cdot (2a^2 + ac + 0,75c^2)}, \quad (2)$$

где $K_{u.\phi}$ - коэффициент, характеризующий искажение формы реальной частицы ОФМ от формы шара;

a, b, c – соответственно, ширина, длина и толщина частицы ОФМ.

$$d_y \cong 0,72 \cdot \sqrt[3]{b \cdot (2a^2 + ac + 0,75c^2)} \quad (3)$$

Согласно предложенной модели любая частица «А» ОФМ в потоке участвует, в двух движениях – поступательном со скоростью $V_{A.E}$ и относительном - $V_{A.R}$ (рисунок 1).



1 – линии переносного движения; 2 – линии скольжения относительного движения; 3 – статически устойчивый свод

Рисунок 1 – Процесс движения ЗФМ в желобе бункера

частица ОФМ, расположенная на стенке желоба (рисунок 2). Для равновесия опоры свода необходимо выполнение условия $Q \leq F$. При $Q = F$ условие устойчивости опоры свода для гидравлического движения ЗФМ в желобе имеет вид:

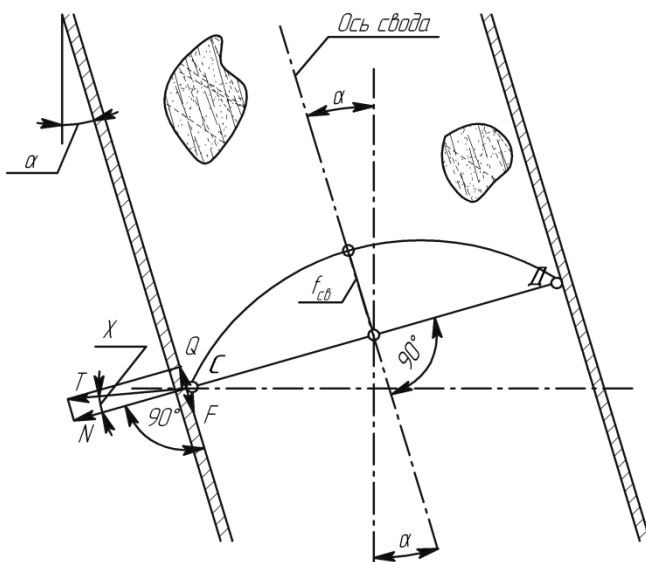


Рисунок 2 – Схема условия образования статически устойчивого свода

Такой характер перемещения частиц в потоке является следствием того, что в процессе движения частицы сближаются. Происходит «эффект» сужения потока, ведущий к увеличению сил трения между частицами, что приводит к появлению тормозящих импульсов, которые препятствуют движению и обуславливают возникновение неустойчивых и статически устойчивых сводов.

В момент образования статически устойчивого свода его опорой является

$$\chi = \alpha \pm \varphi_{cm}, \quad (4)$$

где φ_{cm} - угол трения частиц ОФМ о стенку желоба.

Из приведенного выше следует, что равновесие опоры статически устойчивого свода не нарушится даже тогда, когда $\varphi_{cm} = 0$. В этом случае условие устойчивости опоры статически устойчивого свода запишется в виде:

$$\chi = \alpha \quad (5)$$

Из указанных зависимостей следует, что при гидравлическом движении

ОФМ в желобе устойчивость опоры статического свода зависит от угла наклона стенки желоба. Статический свод наиболее устойчив при диаметре жёлоба меньшим

или равным наибольшему сводообразующему размеру:

$$R_{жс} \leq R_{н.св} \quad (6)$$

Таким образом, статически устойчивый свод (рисунок 3) образуется при выполнении выше указанных условий (1, 2 и 3).

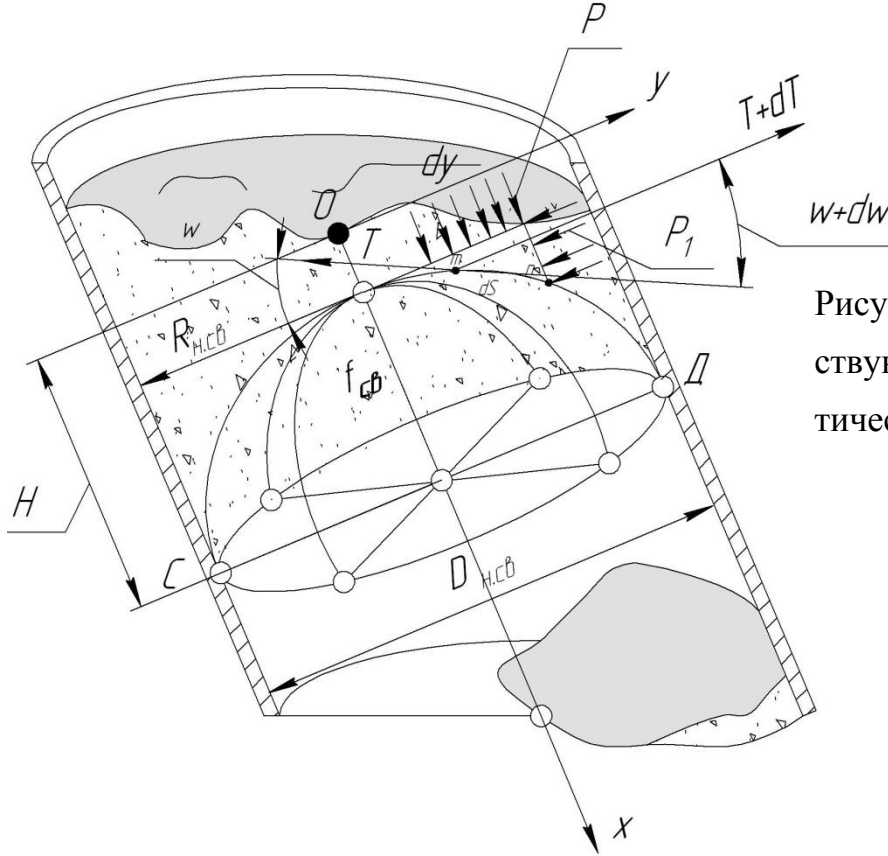


Рисунок 3 - Схема сил, действующих на элемент «dS» статически устойчивого свода

Уравнения равновесия свода примет вид:

$$\sum y = 0; \quad (T + dT) \cdot \cos(w + dw) - T \cdot \cos w - P \cdot dx = 0; \quad (7)$$

$$\sum x = 0; \quad (T + dT) \cdot \sin(w + dw) - T \cdot \sin w + P_1 \cdot dy = 0, \quad (8)$$

где w - угол, образованный элементом дуги «dS» с осью Oy ;

P_1 и P - усилия, приходящиеся на единицу длины проекций свода.

Их интегрирование позволит получить систему:

$$\begin{cases} T \cdot \frac{dy}{dS} = P' \cdot x + c_1; \\ T \cdot \frac{dx}{dS} = -P \cdot x + c_2. \end{cases} \quad (9)$$

Решением системы относительно «T», будет дифференциальное уравнение

$$(P \cdot x + c_1) \cdot \frac{dx}{dy} = -P' \cdot y + c_2. \quad (10)$$

Его решение при начальных условиях $x = H - f_{св}$ и $y = 0; \frac{dx}{dy} = 0$

$$x^2 + \frac{2c}{P_1} \cdot x = -\frac{P}{P_1} \cdot y^2 + (H - f_{св})^2 + \frac{2c}{P_1} (H - f_{св}). \quad (11)$$

Приводя уравнение (11) при $c = -(P \cdot R \cdot \text{ctg} \chi + H \cdot P_1)$ к явному виду относительно «у», получим уравнение кривой статически устойчивого свода в продольном сечении желоба:

$$y = \pm \sqrt{-\frac{P_1}{P} \cdot x^2 + \frac{2(H \cdot P_1 + P \cdot R \cdot \text{ctg} \chi)}{P} \cdot x + \frac{P_1}{P} \cdot (H - f_{св})^2 - \frac{2(H \cdot P_1 + P \cdot R \cdot \text{ctg} \chi) \cdot (H - f_{св})}{P}}. \quad (12)$$

Преобразование уравнения (12) и его решение позволит определить высоту свода:

$$f_{св} = A \cdot R_{н.св} \cdot \text{ctg} \chi \pm R_{н.св} \cdot \sqrt{A^2 \cdot \text{ctg}^2 \chi + A}, \quad (13)$$

Для гидравлического вида движения ОФМ в желобе коэффициент «А» равен:

$$A = 2(\text{ctg}(\beta + \varphi_{np}) + (\text{tg} \alpha + \varphi_{\sigma})), \quad (14)$$

где β – угол укладки частиц ОФМ в желобе

Наибольший сводообразующий размер желоба бункера:

$$D_{н.св} = \frac{dy[A(2a \cdot \eta + 3\gamma) \cdot \text{tg}(\beta + \varphi_{cm}) + 3\gamma \cdot \sin 2\beta \cdot \text{tg} \chi]}{3\gamma \cdot \sin \beta(1 + \delta \cdot \text{tg} \chi) \cdot \lambda_o}. \quad (15)$$

где η – плотность частицы «m», кг/м³; γ – удельный вес частицы «m»; λ_o – осевая податливость свода.

В формуле (15)

$$a = \frac{\text{tg}(\varphi_{cm} + \alpha) \cdot \text{tg}(\beta + \varphi_{np})}{\left[1 + \text{tg}(\varphi_{cm} + \alpha) \cdot \text{tg}(\beta + \varphi_{np}) \cdot \cos \beta\right]}. \quad (16)$$

теоретический коэффициент для гидравлического истечения ОФМ из бункера.

Разрушение статически устойчивого свода происходит при разовом и достаточном импульсе, но вместо него на этом же месте сразу же образуется новый. На основании этого можно предположить, что время разрушения «старого» свода равно времени образования «нового», то есть, $t_{раз} = t_{обр}$.

При подаче внешнего импульса на его «замковую» частицу, последняя начинает свободное падение с высоты, равной стреле $f_{св}$ свода, под действием гравитационной силы « G_m » – силы тяжести замковой частицы «m».

Дифференциальное уравнение свободного падения замковой частицы « m » по оси x' с высоты, равной стреле $f_{св}$ свода, будет иметь вид:

$$m \cdot \frac{d^2 x'}{dt^2} = m \cdot g. \quad (17)$$

Решение данного уравнения позволит получить:

$$f_{св} = g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{t^2}{2}, \quad t_{раз} = \sqrt{\frac{2f_{св}}{g \cdot \cos \alpha}} \quad (18)$$

Формула (18) не учитывает осевую податливость « λ_o » статически устойчивого свода и, следовательно, темп его разрушения. Полное время разрушения устойчивого свода в $10 \div 15$ раз больше $t_{раз}$.

Линейная частота возникновения или разрушения статически устойчивого свода равна:

$$\nu = \frac{1}{t_{н.обр}} = \frac{1}{k_p} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot f_{св}}}, \quad (19)$$

где $t_{и.раз}$ - полное время разрушения свода.

Частота вращения сводоразрушающего устройства:

$$n_с = \frac{60}{k_p} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{2 \cdot R_{св} \cdot \delta}} \quad (20)$$

Формула (19) определяет максимально допустимые обороты сводоразрушающего устройства, при которых достигается околорезонансное разряжение ОФМ, предотвращающее возникновение статически устойчивых сводов.

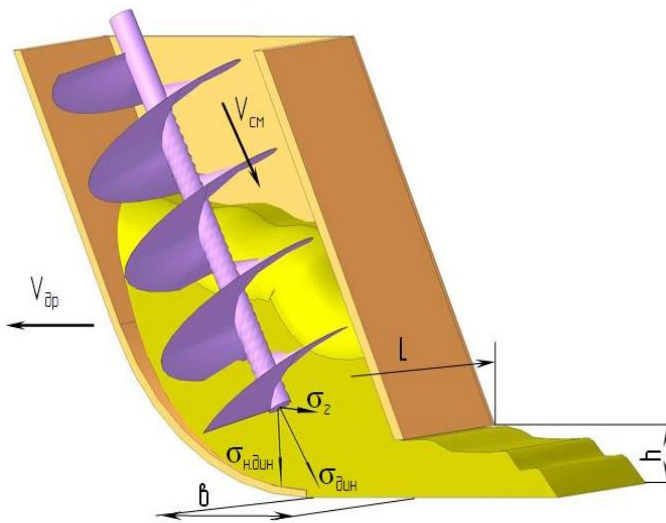


Рисунок 4 – Схема подачи шнеком ОФМ к выпускной щели бункера

Процесс дозирования ОФМ сводоразрушающим устройством представлен на рисунке 4. Шнек транспортирует объем ОФМ (V_1) плотностью (ρ_1) к выпускной щели бункера размером $b \times l$, где b - ширина щели, а l - её длина.

Объем V_1 уплотняется под действием динамического давления

шнека и становится равным V_2 . Тогда, $V_2 \cdot \rho_2 = m_2$, где ρ_2 – плотность укладываемого ОФМ. Определяя массу ОФМ через число частиц n_q в объёме V , плотность отдельной частицы – η и условный диаметр частицы d_y , находится дефицит частиц $n_{\partial,ч}$ в объёме V_1 :

$$n_{\partial,ч} = n_{q,в} - n_{q,д} = \frac{6 \cdot V_1}{\pi \cdot d_y^3} \cdot \left(1 - \frac{\rho_1}{\eta}\right), \quad (21)$$

где $n_{\partial,ч}$, $n_{q,в}$ – действительное и возможное число частиц в объёме ОФМ.

В выражении (21) сомножитель $(1 - \rho_1/\eta)$ – относительная скважность ОФМ в объёме V_1 , выраженная в долях единицы $c_1 = (1 - \rho_1/\eta)$. Аналогично решается задача по определению относительной скважности ОФМ в объёме V_2 . Тогда, $\frac{c_1}{c_2} = \mu = \frac{\eta - \rho_1}{\eta - \rho_2}$ – коэффициент относительной скважности в объёмах V_2 и V_1 .

При укладке дренажная труба испытывает давление от создаваемого напором шнека динамического давления $\sigma_{н.дин}$ и давления слоя ОФМ σ_h , то есть, $\sigma_{abc} = \sigma_{н.дин} + \sigma_h$. Условие сохранения кольцевой устойчивости дренажной трубы имеет вид:

$$[\sigma_{см}] \geq \sigma_{abc} = \frac{\rho_1 \cdot V_{o.ш}^2 \cdot \cos \alpha}{2} + \rho_2 \cdot g \cdot h. \quad (22)$$

В третьей главе «Методика лабораторно-полевых исследований» представлена методика и программа проведения экспериментов, описано оборудование и материально-хозяйственные условия объекта исследования.

На первом этапе исследований согласно ГОСТ 25100-82 «Грунты. Классификация» проведены лабораторные испытания песчано-гравийной смеси (ПГС) для определения её основных физико-механических свойств.

На втором этапе исследований был изготовлен в металле экспериментальный образец бункера дреноукладчика с сводоразрушающим механизмом в виде двух наклонных комбинированных шнеков (рисунок 5). Исследования проводились в грунтовом канале кафедры «Машины природообустройства» НГМА.

Для определения величины максимально возможной нагрузки на стандартную гофрированную дренажную трубу были проведены натурные испытания дрен с

обсыпкой ОФМ и без обсыпки кратковременными механическими нагрузками на одноосное сжатие.



а



б

а) механизм сводоразрушения; б) привод механизма сводоразрушения

Рисунок 5 – Экспериментальный бункер дреноукладчика

Качество обсыпки дрены ПГС экспериментальным бункером дреноукладчика со сводоразрушающим устройством осуществлялось визуально по специальным параметрам, объединённым в оценочные группы «неудовлетворительно», «удовлетворительно» и «хорошо».

Для проведения трёхфакторного эксперимента с целью определения оптимальных параметров и режимов работы сводоразрушающего устройства использован план Бокса-Бенкина.

Полевые исследования проводились в ЗАО «Краснокутское» Веселовского района, где в рамках диссертационной работы была проведена реконструкция дренажной линии, путем замены поврежденного участка дрены длиной 250 м на новый, уложенный по разработанной технологии. После чего в период с 2010 по 2012 г.г. исследовалась её работоспособность. Укладка дренажных труб осуществлялась экскаватором ЭТЦ – 208, который оснащён бункером-трубоукладчиком предложенной конструкции (рисунок 6).



Рисунок 6 – Экскаватор ЭТЦ -208 с экспериментальным бункером

Дрена заложена в соответствии с ВСН 33-2.03-86 по методике, предложенной НГМА и дополненной автором. Водопроводящая часть выполнена из дренажных гофрированных ПВХ труб (ТУ 2248-003-2003) диаметром 110 мм, обернутых в один слой нетканым 3ФМ с обсыпкой по периметру песчано-гравийной смесью (ПГС).

Подача ПГС и формирование фильтра вокруг дренажной трубы, производилась принудительно сводоразрушающим устройством. Требуемая плотность тела фильтра достигалась регулированием частот вращения комбинированных шнеков сводоразрушающего устройства. Это вызывает изменение сил динамического воздействия транспортируемого потока ПГС на укладываемый слой фильтрующей обсыпки, обеспечивая необходимую плотность материала. Диапазон изменения частот находился в пределах от 40 до 100 об/мин в зависимости от скорости движения дреноукладчика. Во время испытаний ходоуменьшитель трактора позволил изменять рабочую скорость передвижения в диапазоне от 0,11 до 0,98 км/ч.

Исследование работы дрены заключалось в определении её технической и мелиоративной эффективности. Исследование технической эффективности дрены выполнялось по методу, предложенному Р.Г. Джанумовым и Ю.Г. Филипповым.

В четвертой главе «Результаты лабораторно-полевых исследований и их анализ» произведён анализ исследований основных физико-механических свойств ПГС, представлены результаты экспериментальных исследований разработанных технологии и устройства для непрерывной подачи ОФМ в зону послойного распределения.

Полученные характеристики ПГС соответствуют требованиям ВСН 33-2.208-86, предъявляемым к фильтрам и обеспечивают образование в теле фильтра пор и фильтрационных ходов, достаточных для свободного выноса в дренах частиц грунта диаметром менее 0,05 мм и задержания частиц диаметром более 0,1 мм.

Хронометраж образования статически устойчивых сводов в бункере дреноукладчика показал, что среднее время простоя бункера составило 27 % от общего времени смены. Отсюда следует, что в бункере необходима установка сводоразрушающего устройства, параметры и режимы которого обеспечивали бы равномерное истечение ОФМ из бункера дреноукладчика.

В результате экспериментальных исследований получено поле частот внешнего воздействия на свод в зависимости от угла наклона стенки бункера α и величины стрелы статически устойчивого свода f_{cm} , образующегося в бункере.

В опытах угол α изменялся от 0° до 90° , а R_b от 0,1 до 0,4 м. В результате получены графики функций одни из которых представлены на рисунках 7, 8.

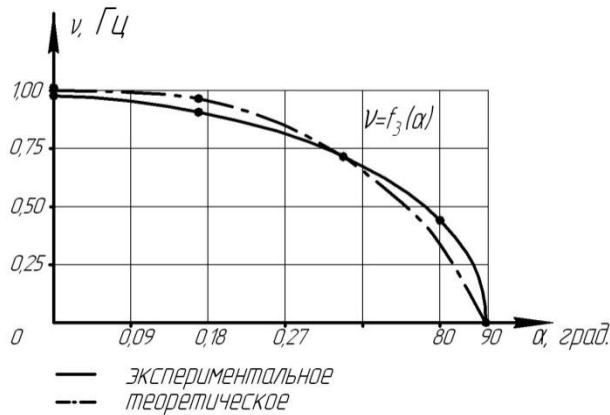


Рисунок 7 – График функции $\nu = f_3(\alpha)$
при $R_b = 0,09$ м

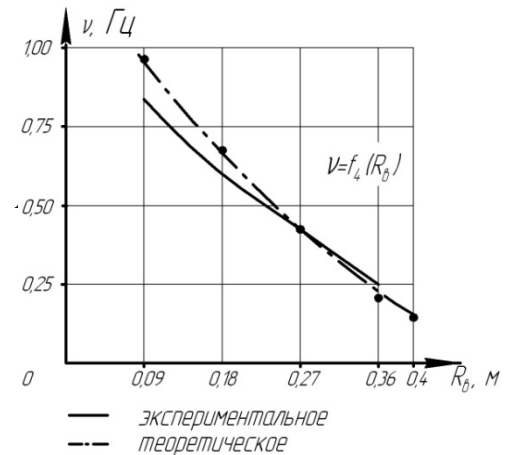


Рисунок 8 – График функции $\nu = f_4(R_b)$ при $\alpha = 10^\circ$

Анализ графиков (рисунки 7, 8) показывает, что каждому значению α и R_b соответствует частота ν возникновения и разрушения статически устойчивых сводов. Следовательно, для каждого значения α и R_b можно определить значения числа оборотов шнека, обеспечивающие заданный расход ОФМ и его разрыхление.

В реальной конструкции угол α находится в диапазоне от 0° до 10° при этом, $R_b = 0,2$ м, что соответствует требованиям укладки дренажа (рисунки 9, 10).

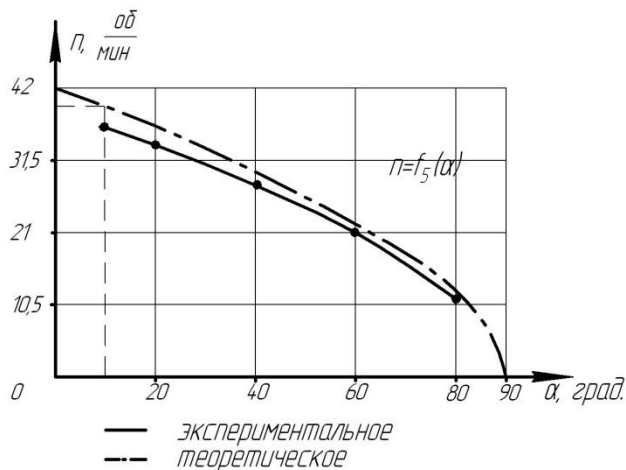


Рисунок 9 – График функции $n = f_5(\alpha)$
при $R_b = 0,2$ м

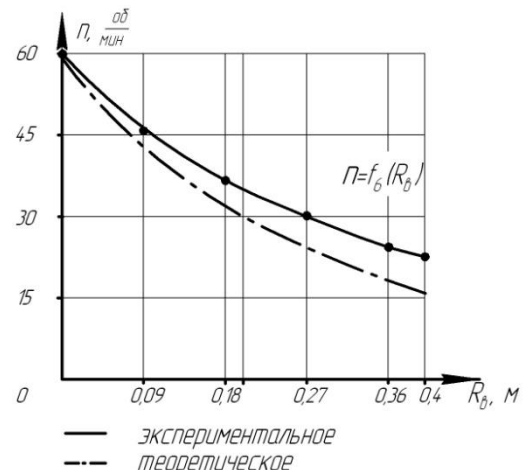


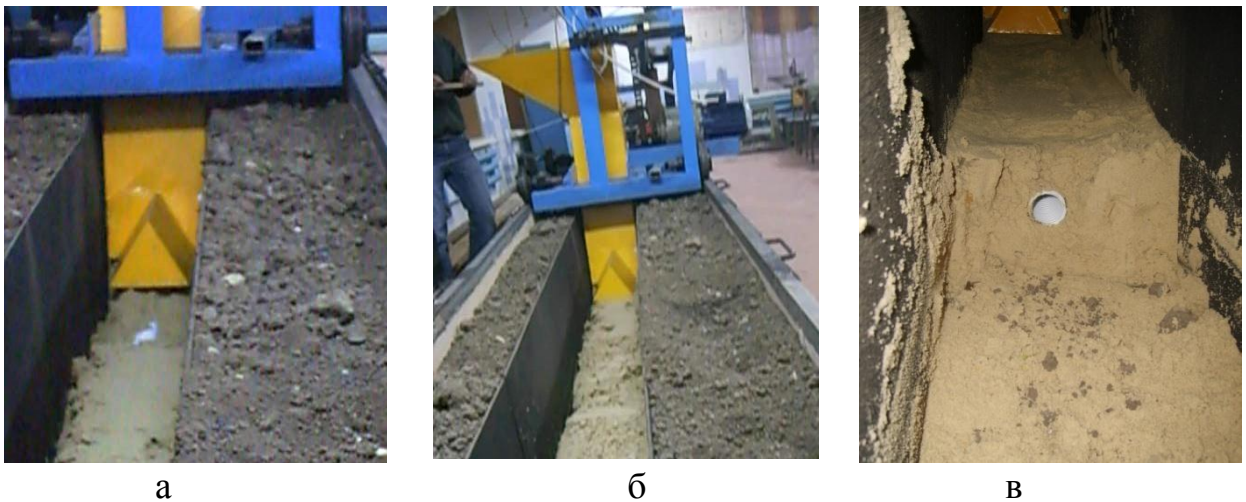
Рисунок 10 – График функции $n = f_6(R_b)$ при $\alpha = 10^\circ$

В связи с тем, что расход ОФМ зависит от осевой подачи шнека, выбор числа оборотов шнека необходимо производить исходя из подачи секундного объема ОФМ, укладываемого вокруг дренажной трубы в процессе строительства дренажа.

Доказано, что основными факторами, влияющими на величину наибольшего сводообразующего размера $D_{н.св}$ выпускной щели бункера, являются размер d_y частиц ОФМ и осевая податливость статически устойчивого свода λ_o , зависящая от физико-механических свойств ОФМ и фрикционных свойств материала бункера.

Теоретические исследования показали, что одним из основных параметров дозирования ОФМ при строительстве дренажа является отношение скоростей $V_{о.ш}/V_{др}$. Это отношение зависит от ρ_1, ρ_2, l, h и $R_b = R_{ж}$. Проведенный эксперимент подтвердил эти выводы и показал, что для любого соотношения $h \cdot \rho_1$ и $R_{ж} \cdot \rho_2$ существует конкретное соотношение $V_{о.ш}/V_{др}$, по которому можно определять $V_{о.ш}$ при заданном значении $V_{др}$, или наоборот.

Проведены сравнительные лабораторные исследования экспериментального и базового бункеров по качеству укладки ОФМ и соответствующих энергетических затрат. На рисунке 11 показана оценка качества укладки.



а – прерывистая укладка ОФМ бункером базового дреноукладчика; б - неравномерная укладка ОФМ бункером со сводоразрушающим устройством при $V_T = 0,03$ м/с, $n = 25,0$ мин⁻¹; в - качественная укладка ОФМ бункера со сводоразрушающим устройством при $V_T = 0,042$ м/с, $n = 40,0$ мин⁻¹

Рисунок 11 – Лабораторные исследования качества укладки ОФМ бункерами базового дреноукладчика и предложенной конструкции

Результаты тяговых сравнительных испытаний показали, что сводоразрушающее устройство позволяет уменьшить тяговое сопротивление, примерно, на 7% за счет нагнетаемого шнеками потока ОФМ и повысить оценку качества укладки с негативной на хорошую. При этом подтверждено, что скорость укладки дренажа

должна обеспечивать соотношение плотностей ОФМ, выходящих из желоба бункера и укладываемых на дно траншеи.

Для выявления степени влияния факторов на процесс дозирования ОФМ был проведён трёхфакторный эксперимент. В него вошли факторы, полученные в результате выполнения априорного ранжирования (z_1 - соотношение ρ_2/ρ_1 ; z_2 - форма выпускного отверстия; z_3 - площадь выпускного отверстия бункера). Математическая модель, полученная в результате описания поверхности отклика уравнением регрессии второго порядка приняла вид:

$$y = 0,6012 + 0,654 \cdot z_1 + 0,0045 \cdot z_2 + 0,0275 \cdot z_3 - 0,0039 \cdot z_1 \cdot z_2 + 0,0750 \cdot z_1 \cdot z_3 + 0,0246 \cdot z_2 \cdot z_3 - 0,0783 \cdot z_1^2 + 0,458 \cdot z_2^2 - 0,034 \cdot z_3^2. \quad (23)$$

Модель проверялась с помощью критерия Фишера и дала хорошие результаты с 95% вероятностью, так как $F_{расч} = 0,12 < F_{табл} = 2,1$.

Далее анализируя полученное уравнение регрессии, были построены графики поверхности отклика. Для этого последнее уравнение подверглось каноническому преобразованию, которое в стандартной канонической форме имеет вид:

$$y = 0,597 + 0,0476 \cdot z_2^2 - 0,0364 \cdot z_3^2. \quad (24)$$

Подставляя различные значения «у» в последнее уравнение, получаем уравнения соответствующих контурных линий – гипербол, в совокупности представляющих собой целое семейство сопряженных гипербол (линий равного значения соотношений ρ_1/ρ_2 ОФМ, выходящего из выпускного отверстия бункера, площадь которого соответствует наибольшей сводообразующей площади (рисунок 12)).

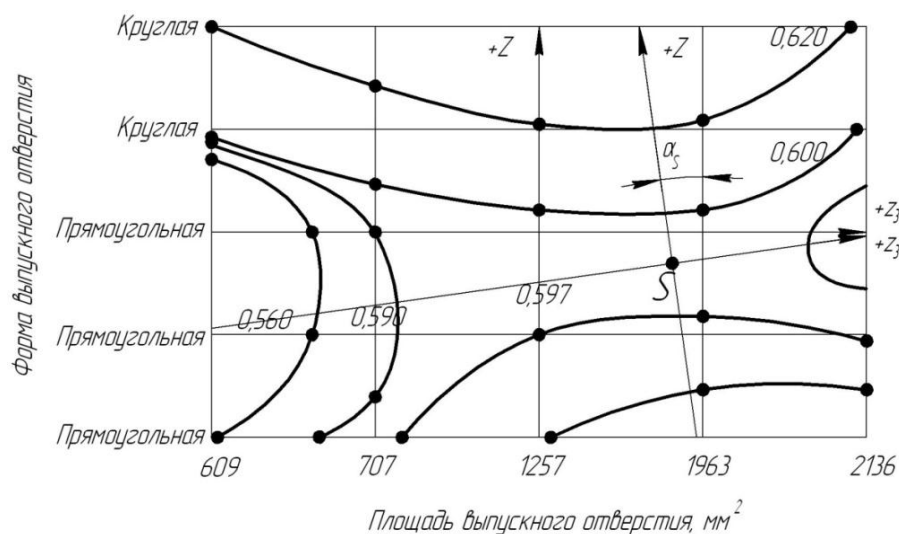


Рисунок 12 - Двумерное сечение поверхности отклика при $z_1 = 0$

Из графика следует, что оптимальный вариант отношения плотностей ОФМ

для круглого сечения жёлоба равен $\rho_1/\rho_2 = 0,62$, или $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{100}{62} \cong 1,61$.

Это условие справедливо для статического уплотнения ОФМ в желобе бункера. В динамике при работающем шнеке уплотнение ОФМ снижается в $1,5 \div 1,7$ раза. Поэтому, оптимальным будет значение $\rho_2/\rho_1 = 1,61/1,5 = 1,073$.

Жёлоб бункера переходит в щелевую форму, при которой, как следует из рисунка 12, $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 0,579$ или $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1000}{579 \cdot 1,5} \cong 1,11$, что отвечает оптимальным условиям. Таким образом, исходя из простоты изготовления бункера с щелевым отверстием, в предлагаемой конструкции устройства принимаем щелевое отверстие с размерами $l \times 2R_{\text{ж}} > 2136 \text{ мм}^2$.

Аналогичным способом строились двумерные сечения при $z_2 = 0, z_3 = 0$.

Результаты трёхфакторного эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1. Форма выпускного отверстия бункера, в принципе, не влияет на соотношение ρ_2/ρ_1 . Следовательно, её следует выбирать конструктивно, исходя из конфигурации укладываемого вала ОФМ.

2. Ширина щелевого отверстия бункера при дозировании ОФМ, должна быть больше сводообразующей, то есть $D_{\text{ж}} > D_{\text{н.св}}$.

3. Соотношение ρ_2/ρ_1 должно находиться в пределах от 1,1 до 1,2.

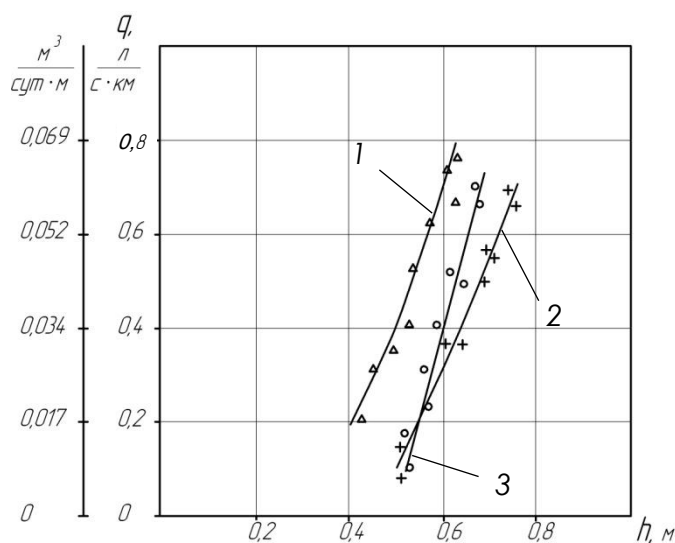
Анализ результатов исследования эффективности работы дрен уложенных по предлагаемой технологии показал, что с наименьшим фильтрационным сопротивлением (таблица 1) работает новая дрена ($\Phi_{\text{с}} = 18,53 \text{ м}$).

Таблица 1 - Средние значения фильтрационных сопротивлений дрен, рассчитанных различными методами

Номер дрен	По А.М. Сойферу			Решение обратных задач		
	Число наблюдений	Фильтрационное сопротивление, м		Число наблюдений	Фильтрационное сопротивление, м	
		дрена	тип конструкции		дрена	тип конструкции
3Др-1	16	17,52	17,52	14	18,53	18,53
3Др-2	16	18,58	18,32	14	22,22	21,69
3Др-3	16	18,06		14	21,16	

Фильтрационное сопротивление новой конструкции с песчанно-гравийной обсыпкой на 12-15% меньше существующей.

Применительно к рассматриваемым конструкциям выполнены расчёты коэффициентов гидравлического сопротивления и водозабора, и установлены зависимости



1-дрена 3Др-1; 2-дрена 3Др-2; 3-дрена 3Др-3

Рисунок 13 – График удельных расходов дрен от действующих напоров

к зависимости $q=f(h)$. Водозаборные характеристики исследуемых дрен, зависимости удельных расходов от напоров (рисунок 13) и фильтрационные сопротивления (таблица 2), установленные различными методами, позволяют сделать обоснованные выводы об эффективности изучаемых конструкций. Так, у дрен, уложенной с применением новой технологии обсыпки фильтрационное сопротивление в среднем на 10-15% меньше, чем у конструкции построенных по традиционной технологии.

Таблица 2 - Показатели технической эффективности конструкций дрен

Технология обсыпки дрены ОФМ	Удельный расход, q , л/с·км	Фильтрационное сопротивление, Φ , м		Коэффициенты		Показатель водоприём. способности ρ , м/сут
		по А.М. Сойферу	решение обратных задач	ξ	μ	
Внедряемая	0,40...0,55	17,52	18,53	3,75	0,28	0,31
Традиционная	0,36...0,52	18,32	21,69	4,10	0,22	0,28

Дрена, уложенная взамен повреждённой характеризуется меньшим значением коэффициента гидравлического сопротивления ($\xi = 3,75$), большим коэффициентом водозабора ($\mu = 0,28$) и обеспечивает удельные расходы в среднем до 0,5-0,6 л/с·км при напорах до 0,6 м.

Анализ результатов полевых исследований дрен позволяет сделать заключение об эффективности новой технологии обсыпки труб ОФМ и целесообразности её применения для строительства и реконструкции дренажа.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчёта дозирующей системы бункера дренаукладчика.

В пятой главе «Экономическая эффективность разработки» рассмотрены экономические показатели применения усовершенствованного технологического приёма обсыпки дренажных труб. Предлагаемая технология предусматривает исключение остановок дреноукладчика, вызванных прекращением истечения ОФМ из бункера в придренную полость. Такие остановки занимают до 35% общего времени цикла. Исключение остановок приводит к увеличению производительности работ на 18%.

Экономический эффект от применения разработанных технологий и технологических средств составляет 14140 рублей на 1000 м реконструируемого дренажа, что составит для оросительной системы ЗАО «Краснокутское» 1256000 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Технологические процессы и технические средства, применяемые при строительстве и реконструкции ЗГД, не обеспечивают равномерную подачу ОФМ в зону его распределения. Низкое качество укладки обусловлено недостаточной изученностью процесса формирования защитной изоляции дрены, нерациональными с точки зрения сводообразования параметрами бункеров.

2. Предложенная математическая модель процесса подачи ОФМ в зону его полойного распределения позволяет определить скорости движения и условия образования в бункере дреноукладчика статически устойчивого свода ОФМ, а так же режимы воздействия на него сводообрушителем, при которых достигается околорезонансное разряжение ОФМ, предотвращающее сводообразование.

3. Поступательная скорость агрегатирования устройства при строительстве дренажа прямо пропорциональна осевой скорости шнека-дозатора, соотношению плотностей, истекающего из бункера и укладываемого в валок ОФМ, квадрату ширины щели выпускного отверстия и обратно пропорциональна ширине и высоте валка ОФМ.

4. Полученные зависимости позволили определить все необходимые конструктивные и режимные параметры бункерного устройства с улучшенным качеством технологического процесса. Так для дреноукладчика УДМ-350М оборудованного бункером со сводоразрушителем и шнековым дозатором, число оборотов ворошилки равно 10,1 об/мин, размеры выпускной щели 40×30 см, скорость движения дреноукладчика 187,2 м/час.

5. Проведенные экспериментальные исследования спроектированного по предложенной методологии бункера со сводоразрушителем и шнековым дозатором подтвердили его работоспособность и высокую эффективность.

6. Технологические затраты на строительство дренажа по предложенной технологии более чем на 15% ниже затрат по существующей технологии. Производительности работ повышается на 18%. Внедрение технологии непрерывной подачи ОФМ основанной на применении разработанного бункера дреноукладчика с устройством сводоразрушения и дозирования ОФМ (патент РФ E02F 5/10 76356 U1) позволило получить экономический эффект в сумме 14140 рублей на 1000 метров реконструируемого дренажа, что составит для оросительной системы ЗАО «Краснокутское» Веселовского района 1256000 рублей.

Рекомендации

1. Для адекватного описания процесса движения ОФМ в бункере дреноукладчика необходимо учитывать параметры бункера, физико-механические свойства ОФМ и форму его реальных частиц. Выпускное отверстие бункера должно превышать его наибольший сводообразующий размер.

2. Кинематические параметры сводоразрушающего механизма необходимо рассчитывать исходя из условия, что подпор, создаваемый работающим шнеком должен соответствовать допускаемому напряжению на смятие дренажной трубы. Максимальное уменьшение диаметра дренажной трубы не должно превышать 3%.

4. Необходимо определять величину максимально возможной нагрузки на дренажную трубу кратковременными механическими нагрузками на одноосное сжатие.

Перспективы дальнейшей разработки темы

- адаптировать результаты исследований и разработать методику для обоснования параметров устройства механизированного разрушения статически устойчивых сводов в бункере безтраншейного дреноукладчика;

- уточнить математическую модель процесса подачи ОФМ в зону его послыйного распределения с учетом силового воздействия статически устойчивого свода фильтра на нагрузки элементов конструкции бункера дреноукладчика.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Никитенко, А. В. Математическое моделирование процесса сводообразования сыпучего защитно-фильтрующего материала в грузовом отсеке бункера дренаукладчика / А. В. Никитенко. // Природообустройство: науч.-практич. журн. / МГУП. – 2010. - № 1. – С. 89 – 93.

2. Никитенко, А.В. Частотная характеристика образования статически устойчивых сводов объемно-фильтрующего материала в жёлобе бункера узкотраншейного дренаукладчика / А.В. Никитенко, А.В. Осипов // Труды КубГАУ. – Краснодар. - 2010. - № 3 (24). – С. 169 – 171.

3. Никитенко, А.В. Методика инженерного расчёта дозирующей системы узкотраншейного дренаукладчика / А. В. Никитенко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. - № 4. – С. 15 – 16.

4. Никитенко, А.В. Исследование технологии принудительной обсыпки дренажных труб объемно-фильтрующим материалом при строительстве закрытого горизонтального дренажа / А.В. Никитенко, В.П. Максимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(88). – IDA [article ID]: 0881304043. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/43.pdf>, 0,813 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,577.

патенты:

5. Бункер узкотраншейного дренаукладчика: пат. RU 76356 U1 Рос. Федерация: МПК E02F 5/10 (2006.01) / А.В. Никитенко.; заявитель и патентообладатель Новочерк. гос. мелиор.акад. – № 2007126508/22; заявл. 11.07.2007; опубл. 20.09.2008, Бюл. № 26. – 2 с.: ил. (автор – 100%).

в других изданиях:

6. Никитенко, А. В. Уплотнение песчанно-гравийного фильтра при строительстве закрытого горизонтального дренажа усовершенствованным бункером дрена-

укладчика / А. В. Никитенко. // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: материалы междунар. науч.-практ. конф./ МГУП. – М., 2008. – Ч. 1. – С. 186 – 189.

7. Никитенко, А. В. Анализ бункеров узкотраншейных дренаукладчиков, применяемых для строительства пластмассового закрытого горизонтального дренажа в зоне орошения/ А. В. Никитенко // Технологии и средства механизации в АПК: сб. науч. Тр. / НГМА. - Новочеркасск, 2009. – С. 153 -156.

8. Никитенко, А. В. Закрытый горизонтальный дренаж как средство ухода за насаждениями винограда / А. В. Никитенко // Человек в современном мире: междунар. сб. науч. – практич. работ / ГинГо – Ростов н/Д, 2010. – Вып. 3. – С. 318 – 322.

9. Никитенко, А.В. Назначение дренажных фильтров и требования, к ним предъявляемые / А. В. Никитенко // Человек. Общество. Природа: междунар. сб. науч.-практич. работ. / ГинГо. – Ростов н/Д, 2011. – Вып. 1. – С. 322 – 326.

10. Никитенко, А. В. Исследование кольцевой устойчивости пластиковых дренажных труб/ А. В. Никитенко// Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы: междунар. сб. науч. трудов // Высокоэффективные технологии и технические средства в сельском хозяйстве. – ФГБОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2012. – С. 265 – 269.

11. Никитенко, А.В. Техничко-экономическое обоснование технологии принудительной обсыпки дренажных труб объёмно-фильтрующим материалом/ А.В. Никитенко, В.П. Максимов. // Материалы междунар. науч.-практ. конф. 29-30 мая 2013 г. «Интеграция науки и образования – стратегия устойчивого развития водно-мелиоративного комплекса страны» / Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 244-251.

Подписано к печати

Формат 60×80 1/16

Объем 1,0 п.л.

Тираж

экз.

Заказ №

Отдел оперативной полиграфии ФГБОУ ВПО НГМА,
346428 г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111