

*На правах рукописи*

**Рудаков Владимир Александрович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШЕНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ВОДОЙ ПРИ  
ПОЛИВАХ СИСТЕМОЙ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ОВОЩНЫХ  
КУЛЬТУР**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва- 2024**

Работа выполнена на кафедре мелиорации земель в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте имени А.К. Кортунова – филиале Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет».

**Научный руководитель:** **Тарасьянц Сергей Андреевич**,  
доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО Донской ГАУ

**Официальные оппоненты:** **Овчинников Алексей Семенович**, академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

**Антипов Алексей Олегович**, кандидат технических наук, доцент, декан педагогического факультета ГОУ ВО МО «Социально-гуманитарный университет»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

Защита состоится «14» мая 2024 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, учебный корпус №28, аудитория 201, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 35.2.030.07  
кандидат технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** После длительного застоя в мелиорации, в южных регионах и по Российской Федерации наблюдается увеличение площадей орошаемых земель. Развиваются как мелкие, так и крупные фермерские хозяйства при выращивании сельскохозяйственных культур. Известно, что при всех способах орошения в вегетационный период проводятся удобрительные поливы смесью удобрений и воды. В качестве удобрений используются в основном органические и минеральные. На прикомплексных участках чаще всего вносят органические удобрения. При отсутствии органических удобрений вносят минеральные, с одновременным смешиванием с водой для уменьшения концентрации азота. В качестве смесителей используют водоёмы, струйные смесители. Приведённые способы имеют ряд существенных недостатков, вследствие чего ограничивается их широкое внедрение, отсутствие возможности изменения концентрации смеси, режимов орошения, необходимости подбора гидравлических параметров при вводе смеси в распределительный трубопровод. Указанные недостатки ограничивают использование существующих смесительных устройств и приводят к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

В связи с вышеизложенным, исследования, направленные на разработку эффективных смесительных устройств, позволяющих устранить вышеперечисленные недостатки для мелких и крупных фермерских хозяйств в условиях открытого и защищённого грунта, являются проблемой, нерешённой в настоящее время.

**Степень разработанности темы.** Проблемой смешения удобрений с водой и внесения удобрительной смеси на орошаемые участки занимались многие учёные: Д.П. Гостищев, А.П. Овцов, Л.А. Музыченко, А.М. Бондаренко, В.И. Большаков, Ю.Н. Буряк, Г.Т. Амбросов, В.П. Смирнов, С.А. Тарасьянц и др., при этом проблема изучена недостаточно и требует проведения необходимых дополнительных исследований.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследований является повышение эффективности систем смешения органических и минеральных удобрений с водой при удобрительных поливах овощных культур.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение современных технологий и технических решений устройств систем смешения удобрений с водой и подачи удобрений на поля;
- разработка технологического процесса эксплуатации струйного четырёхкомпонентного смесителя удобрений с водой при выращивании овощных культур;
- разработка теоретических основ расчета параметров струйного четырёхкомпонентного смесителя удобрений с водой;
- вывод натуральных, экспериментальных математических зависимостей процесса ввода удобрений струйным четырёхкомпонентным смесителем удобрений;
- экономическое обоснование струйной системы смешения минеральных и органических удобрений с водой при поливах овощных культур.

**Научная новизна.** В диссертационной работе научно обоснованы:

- основы расчёта геометрических и гидравлических параметров элементов системы смешения удобрений и воды;
- экспериментальные эмпирические зависимости для определения параметров элементов системы смешения;
- технологический процесс смешения удобрений с водой и внесение смеси при удобрительных поливах.

**Теоретическая и практическая значимость проведения исследований** заключается в разработке методики расчёта оптимальных параметров системы смешения оросительной сети. Практическая значимость диссертационной работы основана на разработке технологического процесса эксплуатации системы смешения удобрений с водой.

**Объект исследований.** В качестве объекта исследований использован процесс влияния гидравлических параметров смесителя на величину внесённых удобрений в почву.

**Предметом исследований** являлась технологическая связь параметров смесителя с подаваемой в распределительный и поливной трубопроводы смеси воды и удобрений.

**Методология и методы исследований.**

Исследования проведены в натуральных условиях для определённых оптимальных гидравлических параметров смесителя при регулировании расчётной подачи удобрений. Для проведения исследований применялось современное измерительное оборудование, расходомеры, манометры. При проведении исследований, обработке результатов использовалась теория планирования эксперимента и математическая статистика. Они проводились согласно «ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Термины и определения»; по «ГОСТ 7.32-2017. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления»; по «ГОСТ 61340-2007. Насосы динамические. Методы испытаний».

**Положения, выносимые на защиту:**

- технологический процесс смешения удобрений с водой и внесения смеси в почву при удобрительных поливах;
- основы расчёта геометрических и гидравлических параметров элементов системы смешения удобрений и воды;
- эксплуатационные эмпирические зависимости для определения параметров элементов системы смешения удобрений и воды.

**Степень достоверности и апробация результатов.**

Достоверность результатов подтверждена натурными исследованиями по существующим методикам.

Полученные результаты были представлены на научно-практических конференциях:

«Современные технологии и достижения науки в АПК». Махачкала: «Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова», 22-23 ноября, 2018 г.

«Мелиорация и водное хозяйство. Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России (Шумаковские чтения)». Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, Донской ГАУ, 24 октября 2019 г.

Веб-конференции E3S 1-я Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в инженерии окружающей среды и агроэкосистемах» (ИТЕЕА 2021). Нальчик, 18-19 марта 2021г.

Участие в выставках:

XXI Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2019» – второе место в конкурсе «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий».

Специализированная выставка «Агротехнология», состоявшаяся в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России 26-28 февраля 2020 г. в г. Ростове-на-Дону.

XXIII Всероссийская агропромышленная выставка «Золотая осень 2021» – бронзовая медаль в конкурсе «За успешное внедрение инноваций в сельском хозяйстве».

XXIV Всероссийская агропромышленная выставка «Золотая осень 2022» – серебряная медаль в конкурсе «За успешное внедрение инноваций в сельское хозяйство».

Результаты научно-исследовательских работ приняты для внедрения в ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области и Бирючукскую овощную селекционную опытную станцию – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» для удобрительных поливов сельскохозяйственных культур с капельным поливом.

**Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в работе,** заключается в анализе существующих литературных источников по разрабатываемой проблеме, в изготовлении установок, проведении экспериментальных исследований, обработке результатов, в формулировании выводов и предложений, во внедрении результатов в производство.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, три из которых, входящие в международную базу цитирования Scopus, три статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, восемь работ – в изданиях Всероссийских и международных научно-практических конференций. По теме работы получено два патента.

#### **Структура и объём диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Работа изложена на 134 страницах машинописного текста и включает в себя 49 рисунков, 15 таблиц, 11 приложений, список литературы из 135 наименований, из них 15 зарубежных авторов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** описана актуальность, степень разработанности темы, цель и задачи исследований, научная новизна, объекты исследований, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности, апробация, личный вклад автора, публикации, структура и объём работы.

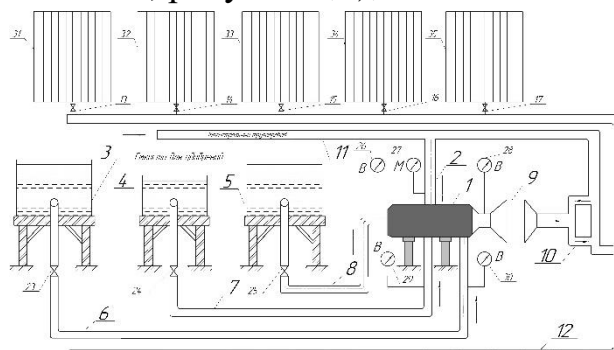
**В первой главе** рассмотрены вопросы существующих гидравлических способов смешения удобрений и воды, их достоинства и недостатки. Рассмотрены схемы смешения в смесительной ёмкости, с помощью инжектора ввода удобрений в напорный трубопровод, струйного смесителя на гидранте. Описаны гидравлический процесс смешения, подсосываемого и рабочего потоков в камере смешения струйных смесителей.

Анализ предлагаемых устройств в системах смешения показывает, что вышеперечисленные схемы сложны как в устройстве, так и в эксплуатации, требуют проведения дополнительных исследований для внедрения в производство и не используются при внесении всего комплекса удобрений.

**Вторая глава** посвящена разработке технологического процесса эксплуатации систем смешения органических и минеральных удобрений с водой с использованием струйного четырёхкомпонентного смесителя при выращивании овощных культур, описан технологический процесс внесения удобрений с использованием четырёхкомпонентного струйного смесителя и предложен расчёт величины питательных веществ при удобрительных поливах овощных культур, перца сладкого в открытом грунте и томата в защищённом, на планируемый урожай 600 ц/га.

Схемы предлагаются в двух вариантах:

1) схема для использования на крупных фермерских хозяйствах и выращивания овощных культур в незащищённом грунте (на примере выращивания перца сладкого, рисунки 1,2);



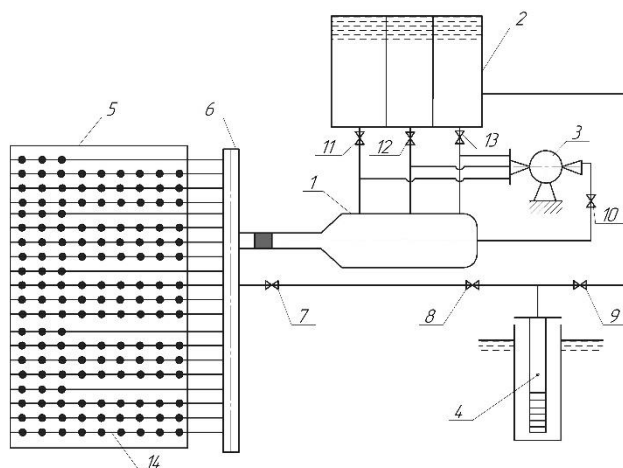
1 – смеситель; 2 – рабочий трубопровод; 3,4,5 – ёмкости для удобрений; 6,7,8 – всасывающие трубопроводы; 9 – напорный трубопровод; 10 – байпас; 11 – магистральный трубопровод; 12 – распределительный трубопровод

Рисунок 1 – Технологическая схема внесения удобрений на участки орошения с незащищённым грунтом при выращивании перца сладкого



Рисунок 2 – Установка оборудования на незащищённом участке при выращивании перца сладкого  
Общий вид

2) схема для использования в мелких фермерских хозяйствах при выращивании овощных культур в защищённом грунте (на примере выращивания томата рисунки 3, 4).



- 1 – смеситель удобрений; 2 – 3-х секционная ёмкость;  
3 – центробежный насос; 4 – погружной насос;  
5 – орошаемый участок; 6 – распределительный трубопровод; 7-13 – задвижки; 14 – капельные ленты

Рисунок 3 – Технологическая схема внесения удобрений на орошаемом участке с защищённым грунтом



Рисунок 4 – Установка оборудования на защищённом орошаемом участке при выращивании томата (общий вид)

При расчёте величины подачи удобрений для выращивания перца сладкого и томата, в качестве основной подкормки принята вытяжка животноводческих стоков.

Определена годовая норма вытяжки животноводческих стоков для перца сладкого по азоту 958,8 кг/га и дефицит фосфора 67,08 кг/га и калия 505,1 кг/га.

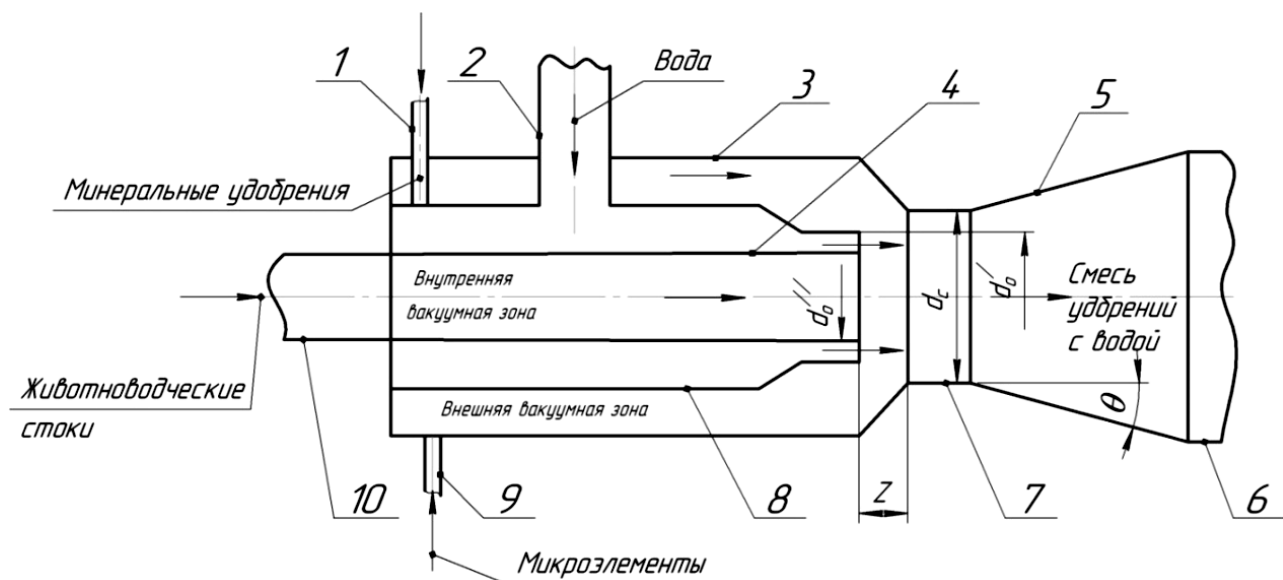
Расчёт величин удобрений при выращивании томата аналогичен. Установлены годовая норма стоков по азоту 688,25 кг/га, дефицит по фосфору 163,12 кг/га, и калию 988,67 кг/га.

**В третьей главе** приводится методика расчёта по определению оптимальных геометрических и гидравлических параметров струйного четырёхкомпонентного смесителя.

Конструкция четырёхкомпонентного смесителя, (рисунок 5), при давлении в патрубке 2 трубопровода подачи поливной воды, позволяет создавать вакуум в патрубках 1, 9, 10 для ввода минеральных удобрений, микроэлементов и вытяжки животноводческих стоков в сеть.

При определении геометрических размеров основным параметром, влияющим на работу смесителя, является площадь поперечного сечения кольцевого

сопла  $\omega_0 = 0,785[d_0'^2 - d_0''^2]$ , оказывающая основное влияние на скорость выходящего потока рабочей струи (воды).



- 1 – трубопровод подачи минеральных удобрений; 2 – трубопровод подачи воды;  
 3 – внешний корпус смесителя; 4 – внутренний насадок кольцевого сопла;  
 5 – диффузор; 6 – трубопровод отвода смеси удобрений и воды; 7 – камера смешения;  
 8 – наружный насадок кольцевого сопла; 9 – трубопровод подачи микроэлементов;  
 10 – трубопровод подачи животноводческих стоков

Рисунок 5 – Конструктивная схема кольцевого четырёхкомпонентного смесителя удобрений

По выходящей скорости потока из сопла определяется основной параметр, скоростной напор в камере смешения. Задачей расчёта диаметров  $d_0'$  и  $d_0''$  является назначение ширины щели в сопле для возможности создания увеличенной скорости рабочего потока.

При увеличенной до максимума скорости  $V_0$ , в сопле скоростной напор также увеличивается, что способствует созданию вакуума в камере смешения.

В дальнейшем, используя данные рекомендации, разработана методика расчёта гидравлических параметров смесителя:

1. Определяется необходимый напор и расход для участка орошения,  $H_n$  и  $Q_0$ ;
2. По расходу  $Q_0$  и напору  $H_n$  подбирается насосное оборудование для создания необходимой скорости  $V_0$  в сопле;
3. По величине  $H_n$  рассчитывается скорость потока в сопле смесителя  $V_0$ ;
4. Определяется скоростной напор  $V_0^2/2g$  в камере смешения смесителя;
5. Определяется полная энергия и напор смесителя при выходе потока из диффузора,  $\mathcal{E}_d$  и  $H_c$ ;
6. Рассчитывается величина вакуума во всасывающем трубопроводе смесителя.



В качестве примера, проведен расчёт с целью определения необходимого значения вакуума в трубопроводах подачи удобрений и подсосываемого смесителем расхода.

По исходным величинам коэффициента гидравлического сопротивления сопла  $\zeta_0 = 0,04$ , диффузора  $\zeta_d = 0,1-0,12$ , камеры смешения  $\zeta_{к.с.} = 0,06$ , свободного напора для капельных систем  $H_{св} = 15$  м, расхода капельниц 3,5 л/ч, потерь напора в напорном трубопроводе 2,87 м, определены гидравлические параметры: напор центробежного насоса 19,7 м, напор смесителя 20 м, суммарный расход в распределительном трубопроводе 84 м<sup>3</sup>/ч, и геометрические размеры – диаметр камеры смешения  $d_L = 1,1 d'_o = 50$  мм, диаметр внешнего сопла  $d'_o = 0,9 d_c = 40$  мм, диаметр внутреннего сопла  $d''_o = 25,4$  мм, длина камеры смешения  $L_{ц} = 2d_c = 40$  мм, расстояние от обреза сопла до начала камеры смешения  $\bar{Z} = 0,3d_c = 15$  мм, угол раскрытия диффузора  $\theta = 7^\circ$  и длина диффузора  $L_d = K \operatorname{tg} 7^\circ = 140$  мм.

По полученным расчётным параметрам определяются длины и диаметры трубопроводов, необходимый объём ёмкостей для установленного количества удобрительных поливов, времени выдачи удобрений.

**В четвертой главе** приводятся натурные экспериментальные исследования процесса ввода удобрений в оросительную сеть с целью определения полной энергии во всасывающем трубопроводе смесителя.

Исследования проводились на орошаемом участке Бирючукской опытной селекционной станции в 2020, 2021 г.г. при выращивании перца сладкого в открытом грунте и некоторые параметры проверялись при выращивании томатов в фермерском хозяйстве станции Заплавской Октябрьского района Ростовской области.

Для выполнения поставленных задач изготовлена научно-производственная установка (рисунки 6,7).



Рисунок 6– Ввод удобрений в сеть с помощью четырёхкомпонентного струйного смесителя

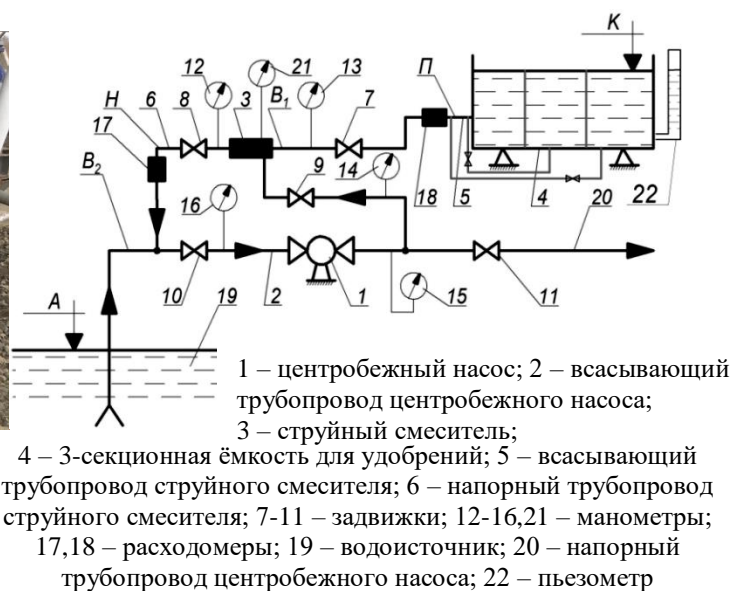


Рисунок 7 – Схема установки оборудования и приборов при проведении исследований

Проведение и обработка результатов опытов проводилась по рекомендациям В.Н. Вознесенского с использованием теории планирования эксперимента. Опыты проведены в два этапа, первый для определения степени влияния факторов:  $B_1$  – величины вакуума в смесителе,  $B_2$  – величины вакуума во всасывающем трубопроводе центробежного насоса,  $H_1$  – напора смесителя на критерий.

При определении критерия – полной энергии во всасывающем трубопроводе смесителя  $\Pi$ , определялись факторы:  $B_1$  – вакуумметром 13 (см. рисунок 7),  $B_2$  – манометром 16,  $H_1$  – манометром 12. Расход удобрений  $Q_1$  (подсасываемый расход смесителя) определялся объёмным способом с помощью пьезометра 22.

Проведено две группы опытов.

Первая для определения степени влияния каждого фактора на критерий. Для исследований на первом этапе принят трехфакторный план. Факторы и интервалы варьирования показаны в таблице 1, матрица и результаты в таблице 2.

Таблица 1– Фактические и кодированные значения факторов для первой группы опытов

Факторы	Код	Интервалы, м	Уровень		
			Средний, «0», м	Нижний, м	Верхний, м
Вакуум в смесителе $B_1$	$x_1$	2,0	6,0 (0)	4,0 (-)	8,0 (+)
Вакуум в центробежном насосе $B_2$	$x_2$	1,0	3,0 (0)	2,0 (-)	4,0 (+)
Напор смесителя $H$	$x_3$	6,0	10,0 (0)	6,0 (-)	14,0 (+)

Таблица 2– Матрица планирования и результаты первой группы опытов

№ опыта	Вакуум в корпусе смесителя $B_1(x_1)$	Вакуум во всасывающем трубопроводе насоса $B_2(x_2)$	Напор смесителя $H(x_3)$	Величины факторов, м			Критерий $\Pi$ , м
				$B_1(x_1)$	$B_2(x_2)$	$H(x_3)$	
1	+	+	0	-8,0	-5,0	12,0	12,4
2	+	-	0	-8,0	-3,0	12,0	10,1
3	-	+	0	-4,0	-5,0	12,0	10,8
4	-	-	0	-4,0	-3,0	12,0	5,4
5	+	0	+	-8,0	-3,0	18,0	15,6
6	+	0	-	-8,0	-3,0	6,0	5,4
7	-	0	+	-4,0	-3,0	18,0	14,4
8	-	0	-	-4,0	-3,0	6,0	10,0
9	0	+	+	-4,0	-5,0	18,0	14,6
10	0	+	-	-4,0	-5,0	6,0	11,9
11	0	-	+	-4,0	-3,0	18,0	15,0
12	0	-	-	-4,0	-3,0	6,0	8,2
13	0	0	0	-4,0	-3,0	12,0	13,0

Продолжение таблицы 2

Обработка результатов (определение значения коэффициентов при факторах)			
$\sum (+) = 43,5$ $\sum (-) = 40,8$ $1B_1 = -2,7$	$\sum (+) = 55,0$ $\sum (-) = 33,3$ $2B_2 = -21,8$	$\sum (+) = 59,6$ $\sum (-) = 35,6$ $3H = +24,0$	$ОП=143,6$ $\rho_1 = -\frac{1}{2}ОП = -\frac{1}{2} \cdot 143,6 = -71,8$ $\rho_2 = \frac{3}{16} \cdot \sum x_1^2 П = 64,76$
$x_1^2(B_1) = 84,1$	$x_2^2(B_2) = 103,0$	$x_3^2(H) = 158,3$	$b_0 = П_{13} = 10,2$
$B_1(x_1) \cdot B_2(x_2)$ $\sum (+) = 12,4$ $\sum (-) = 16,2$ $B_1B_2 = -3,8$	$B_1(x_1) \cdot H(x_3)$ $\sum (+) = 25,6$ $\sum (-) = 0$ $B_1B_3 = +25,6$	$B_2(x_2) \cdot H(x_3)$ $\sum (+) = 22,8$ $\sum (-) = 26,9$ $B_2H = -4,1$	$b_1(B_1) = \frac{1}{8}iB = \frac{1}{8} \cdot 2,7 = +0,33$ $b_2(B_2) = \frac{1}{8}iB = \frac{1}{8} \cdot 21,8 = +1,19$ $b_3(H) = \frac{1}{8}iH = \frac{1}{8} \cdot 24,0 = +3,0$

$$\rho_3 = \rho_2 + \rho_1 = 64,76 - 71,8 = -7,04 \quad b_{11}(x_1^2) = \frac{1}{4}(11П) + \rho_3 = \frac{1}{4} \cdot 8,41 - 7,04 = 13,99$$

$$b_{22}(x_2^2) = \frac{1}{4}(22П) + \rho_3 = \frac{1}{4} \cdot 103 + \rho_3 = 18,71 \quad b_{33}(x_3^2) = \frac{1}{4}(15,83) - \rho_3 = \frac{1}{4} \cdot 158,3 - 7,04 = 32,53$$

$$b_{12} = \frac{1}{4}(-3,8) = -0,95 \quad b_{13} = \frac{1}{4} \cdot 25,6 = +6,4; \quad b_{23} = \frac{1}{4}(-4,1) = -1,02$$

По полученным коэффициентам  $b_0, b_1, b_2, b_3$  получена зависимость с фактическими величинам и коэффициентов

$$П = 10,2 + 0,33B_1 + 1,19B_2 + 3,0H + 13,99B_1^2 + 18,71B_2^2 + 32,53H^2 - 0,95B_1B_2 + 6,4B_1H - 1,02B_2H \quad (1)$$

По зависимости (1) определена степень влияния факторов  $H$  (66,37%),  $B_2$ (26,32%) и  $B_1$  (7,3%) на критерии оптимизации  $П$ .

Дальнейшие исследования проведены с двумя факторами: напором смесителя  $H'$  и вакуумом во всасывающем трубопроводе насоса  $B_2'$  при значении вакуума в корпусе смесителя  $B_1 = -5$  м, с измененными интервалами варьирования. Фактические и кодированные значения факторов для второй группы опытов показаны в таблице 3, матрица и результаты величин критерия  $П_2'$  в таблице 4.

На основании обработанных результатов таблицы 4 получена зависимость (2), по которой вычислены значения критерия  $П_2'$  (рисунок 8).

$$П_2 = 11,72 + 1,25x_2' + 1,06H_1' + 1,82x_2'^2 + 3,87H_1'^2 - \frac{1}{4}x_2'H_1' \quad (2)$$

Таблица 3 – Фактические и кодированные значения факторов для второй группы опытов

Факторы	Код	Интервал, м	Уровень		
			Средний (0), м	Нижний (-)	Верхний (+)
Вакуум во всасывающем трубопроводе насоса, $B_2'$	$x_2'$	1,0	4,0 (0)	3,0 (-)	5,0 (+)
Напор смесителя, $H'$	$x_3'$	4,0	10,0 (0)	14,0 (-)	18,0 (+)

Таблица 4– Матрица планирования и результаты второй группы опытов

№ опыта	Вакуум во всасывающем трубопроводе насоса $x_2'(B_2')$ , м	Напор смесителя $x_3'(H_1')$ , м	Величины факторов, м		$x_2' \cdot (H')$	Критерий (полная энергия во всасывающем трубопроводе смесителя), $\Pi_2'$ , м
			$B_2'$	$H'$		
			$x_2'$	$x_3'$		
1	+	+	5,0	18,0	+21,4	21,4
2	+	-	5,0	10,0	-20,4	20,4
3	-	+	3,0	18,0	-15,0	15,0
4	-	-	3,0	10,0	+13,0	13,0
5	+	0	5,0	14,0	0	10,1
6	-	0	3,0	14,0	0	16,2
7	0	+	4,0	18,0	0	17,0
8	0	-	4,0	10,0	0	13,4
9	0	0	4,0	14,0	0	12,3
Обработка результатов (определение значения свободного члена и коэффициентов при факторах)						
	$\sum (+) = 51,9$ $\sum (-) = 44,4$ $10\Pi_2' = +7,5$	$\sum (+) = 53,4$ $\sum (-) = 47,0$ $20\Pi_2' = +6,4$	$11OP_2 = 96,3$ $11OP_2 + 22OP_2 = 196,7$	$22OP_2 = 100,4$	$\sum (+) = 34,4$ $\sum (-) = -35,4$ $12OP_2 = -1$	$OP_2' = 139,0$
$\sum 11OP_2 = 196,7$					$\rho_1 = -\frac{1}{3}OP_2 = \frac{139}{3} = -46,33$	
$\frac{1}{2}11OP_2$			$b_{12} = \frac{1}{4} =$		$\rho_2 = \frac{5}{9}OP_2' = 77,22$	
48,15		50,2	$= \frac{1}{4}12OP_2 = -\frac{1}{4}$		$b_0 = \rho_2 + \rho_3 =$ $= 77,22 - 65,5 = 11,72$	
$b_{ii} = \frac{1}{2}ii + \rho_1'$				$b_1 = \frac{1}{6} \cdot 10\Pi_2' = \frac{1}{6} \cdot 7,5 = 1,25$		
$b_{11} = 48,15 - 46,33 = 1,82$		$b_{22} = -\frac{1}{4}$		$b_2 = \frac{1}{6} \cdot 20\Pi_2' = \frac{1}{6} \cdot 6,4 = 1,06$		

Максимальная величина критерия 19,47 м, что соответствует факторам  $B_2'=5$  м и  $H_1'=18$  м и минимальное 11,72 м при  $B_2'=0$  м и  $H_1'=14$  м.

Полученные данные являются исходными для проведения расчётов гидравлических параметров системы подачи удобрений независимо от характеристики

гидромеханического оборудования, используемого в качестве рабочего насоса для смесителя.

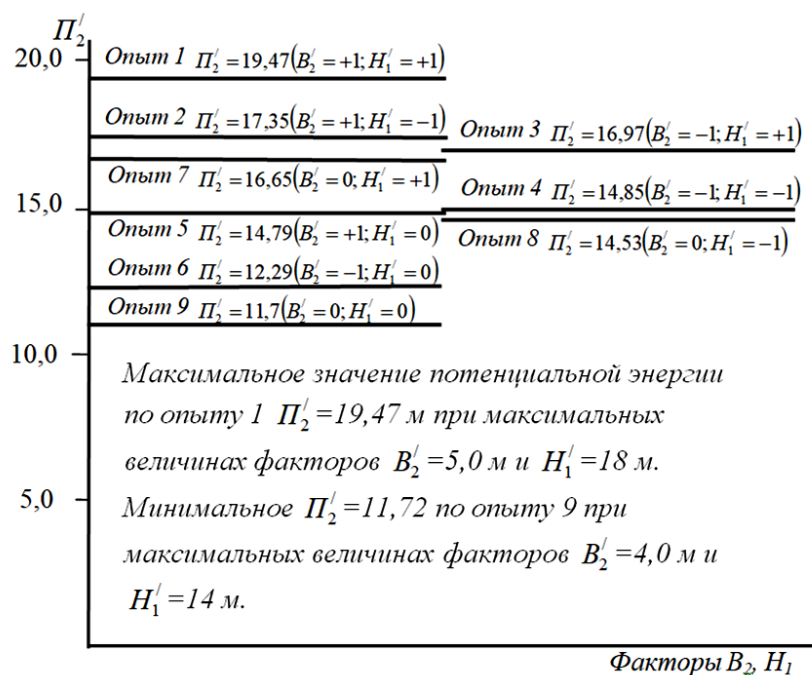
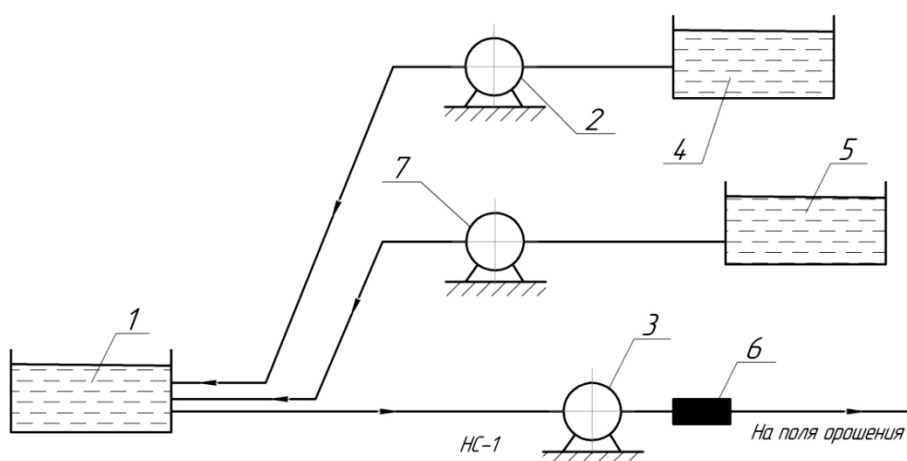


Рисунок 8 – Величины потенциальной энергии  $\Pi$  во всасывающем трубопроводе смесителя по результатам второй группы опытов при стабильном значении вакуума в корпусе смесителя  $B_1 = -5$  м

В пятой главе дано экономическое обоснование струйной системы смешения минеральных и органических удобрений с водой. В качестве заменяемого варианта рассмотрен гидравлический способ смешения удобрений, в водоёме смесителя (рисунок 9).

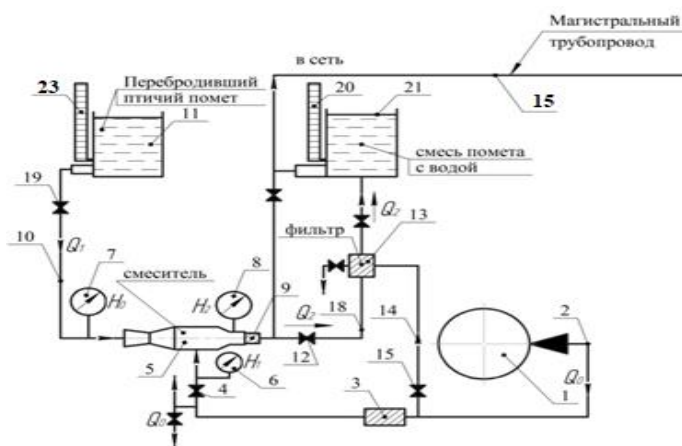
В качестве предлагаемого варианта рассмотрен исследуемый струйный четырёхкомпонентный смеситель (рисунок 10).

Расчёт экономического эффекта проведён с использованием инструкции СН509-78.



- 1 – ёмкость для смешения удобрений;
- 2 – насосный агрегат подачи удобрений;
- 3 – насосный агрегат подачи смеси удобрений с водой;
- 4 – ёмкость для маточного раствора;
- 5 – ёмкость поливной воды;
- 6 – фильтр;
- 7 – насосный агрегат подачи поливной воды

Рисунок 9 – Схема смешения удобрений с водой при удобрительных поливах с помощью водоёма смесителя



1 – центробежный насос; 2 – напорный трубопровод подачи рабочей воды в смеситель; 3, 9 – расходомеры; 4, 12, 19, 22 – задвижки; 5 – смеситель; 6, 7, 8 – манометры; 10 – трубопровод подачи птичьего помёта в смеситель; 11 – ёмкость с жидким птичьим помётом; 13 – фильтр; 14 – трубопровод промывки фильтра; 15 – распределительный трубопровод; 20, 23 – пьезометры.

Рисунок 10 – Схема локальной оросительной сети с использованием струйного четырёхкомпонентного смесителя удобрений

Экономический эффект в сфере приготовления смеси удобрений с водой и функционирования объектов от досрочного ввода системы эксплуатации Э определяется по зависимости:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_\phi, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_c$  – эффект от создания и эксплуатации внедряемой технологии;

$\mathcal{E}_\phi$  – эффект в сфере эксплуатации от функционирования объекта за период досрочного ввода:

$$\mathcal{E}_c = \beta\varphi \sum_{i=1}^n 3_1\alpha_i + \mathcal{E}_s - \sum_{i=1}^m 3_2\alpha_2, \quad (4) \text{ где: } 3_1 = C_1 + E_n K_{y\phi 1}, \quad (5)$$

$$3_2 = C_2 + E_n K_{y\phi 2}, \quad (6)$$

где  $3_1, 3_2$  – затраты по заменяемому и новому варианту;

$C_1, C_2$  – стоимость монтажных работ (принимается 7,5% от стоимости СМР);

$K_{y\phi 1}, K_{y\phi 2}$  – капитальные вложения (принимаемые в размере 15% от отпускной цены оборудования);

$E_n$  – коэффициент эффективности вложений (1,8);

$\beta$  – качественный параметр, в данном случае принимается 1,8 за счет увеличения планируемого урожая;

$\varphi$  – коэффициент учёта изменения срока службы, принимается 1;

$\alpha_i$  – коэффициент приведения в году завершения строительства в зависимости от продолжительности ( $\alpha_1 = 1,29$ ;  $\alpha_2 = 1,25$ ).

Расчёт приведён на примере орошаемого участка Бирючуктской опытной селекционной станции при выращивании перца сладкого.

Исходные данные для расчёта показаны в таблице 5.

Расчёт приведённых затрат по заменяемой и новой технологии проведён по зависимостям (5), (6).

$$3_1 = 554,3 + 83,4 \cdot 1,8 = 704,42 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$3_2 = 414,0 + 62,1 \cdot 1,8 = 525,78 \text{ (тыс. руб.)}$$

Таблица 5 – Стоимость основного оборудования и сооружений на испытываемый участок 0,42 га, тыс. руб (пересчитанный на 1 га)

Наименование оборудования (сооружений)	Вариант		Обоснование
	Заменяемый	Внедряемый	
Насосный агрегат подачи удобрений К20/18	64,1	-	Поз.2, рис.11 (прайс лист)
Насосный агрегат подачи поливной воды К20/30	135,4	-	Поз.7, рис.11 (прайс лист)
Насосный агрегат подачи смеси удобрений с водой К160/30	86,8	-	Поз.2, рис.11 (прайс лист)
Ёмкость для удобрений и смеси удобрений с водой (4 шт $cv=1m^3$ )	165,0	165,0	Сметная стоимость производителя
Полиэтиленовый трубопровод, арматура, фасонина для $S=0,42$ га	103,0	103,0	Сметная стоимость
Насосный агрегат погружной ДЦВ6-10-50	-	98,0	Поз.1, рис.12 (прайс лист)
Струйный четырёхкомпонентный смеситель удобрений	-	53,0	Поз.5, рис.12 (сметная стоимость)
Итого: затраты по основным фондам	554,3	414,0	
Строймонтаж			7,5%
$C_1$	41,57		
$C_2$		31,05	
Удельные капвложения			15% от отпускной цены
$K_1$	83,14		
$K_2$		62,1	
Коэффициент эффективности вложений, $E_n$	1,8		Коэффициент от удельных капиталовложений

Приведённые затраты пересчитанные на 1 га  $Z_1 = 1676,19$  (тыс. руб);  $Z_2 = 1251,8$  (тыс. руб). Предполагаемый экономический эффект в сфере эксплуатации за счёт внедрения новой технологии

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(I_1 - I_2) - E_n(K_2 - K_1)}{p_2 + E_n}, \quad (7)$$

где  $K_1, K_2$  – капиталовложения в процессе эксплуатации (принимаются одними величинами);

$I'_{1,2}$  – эксплуатационные издержки на персонал, электроэнергию и сопутствующие кап. вложения  $I'_{1,2} = p_c + p_{об}$  – отчисления по основным фондам (амортизационные);

$p_c$  – по норме принимаются 4,1 % от кап. вложений  $p_{c1} = 0,041 \cdot K_1 = 3,40$  (тыс. руб);  $p_{c2} = 0,041 \cdot K_2 = 2,54$  (тыс. руб);

$p_{об}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования (принимается 15% от стоимости оборудования)  $p_{об1} = 0,15 \cdot K_1 = 12,47$  (тыс. руб);  $p_{об2} = 0,15 \cdot K_2 = 9,31$  (тыс. руб).

Тогда  $I_1 = 12,47 + 3,40 = 15,87$  (тыс. руб);  $I_2 = 9,31 + 2,54 = 11,85$  (тыс. руб).

По сопоставляемым вариантам рассчитывается стоимость затраченной электроэнергии по зависимости

$$C_{\text{э}} = \frac{3 \cdot \text{Э}}{1000 \cdot 1000}, \quad (8)$$

где  $\text{Э} = 0,002725 \frac{W \cdot H}{\sum \eta}$  – годовые затраты;  $W = \sum Q \cdot n \cdot N \cdot a$  – объём перекачиваемой воды, удобрений и смеси удобрений с водой;  $n$  – число эксплуатируемых насосов;  $N$  – число суток работы насосных агрегатов;  $a$  – число часов работы в сутках;  $H$  – напор насосного оборудования.

В расчёте объём перекачиваемой поливной воды принимается однозначным для двух вариантов. При соотношении стоков и воды 1:3. Необходимое количество перекачиваемой воды 2064 л/га, при напоре насоса 20 м и подаче 84 м<sup>3</sup>/час (0,023 м<sup>3</sup>/с) (24000 капельниц при расходе каждой 3,5 л/ч). Потребляемая мощность насоса составляет  $N_{\text{н.эв}} = \frac{9,8 \cdot 0,023 \cdot 20}{0,7} \approx 7-10$  кВт.

Суммарная потребляемая мощность для трёх насосов составит 30 кВт, при расходе электроэнергии 9000 кВт/ч (45000 руб) (принимаемая цена за 1 кВт час 5 руб).

При использовании новой технологии одним насосом и аналогичными параметрами, годовая стоимость потребляемой энергии составит 15000 руб. Учитывая вышеизложенное, сумма годовых издержек при эксплуатации системы смешения составит:

– по заменяемому варианту:

$$I_1 = I_1' + C_{\text{э,з}} = 15,870 + 45,000 = 60,87 \text{ (тыс. руб);}$$

– по внедряемому варианту

$$I_2 = I_2' + C_{\text{э,н}} = 11,850 + 15,000 = 26,85 \text{ (тыс. руб).}$$

Годовой эффект от досрочного ввода:

$$\text{Э}_{\phi} = E_{\text{н}} \Phi(t_1 - t_2), \quad (9)$$

где  $t_1, t_2$  – сроки строительства по вариантам (годы) ( $t_1 = 1,4, t_2 = 0,12$ )

$$\text{Э}_{\phi} = 0,15 \cdot 414,0 (1,4 - 0,12) = 79,48 \text{ (тыс. руб).}$$

Годовой экономический эффект в ценах 2020г. в сфере строительства и эксплуатации объекта новой техники составит на исследуемую площадь 0,42 га:

$$\text{Э} = (704,42 - 525,78) + 30,0 + (15,87 - 11,85) = 212,66 \text{ (тыс. руб)}$$

В пересчете на 1 га 506,33 (тыс. руб).

Расчёт годового экономического эффекта при выращивании томата в защищённом грунте идентичен и принят по расчёту эффекта при выращивании перца



сладкого, уменьшенного на коэффициент 1,3 в связи с увеличением капитальных затрат на строительство объектов для защищённого грунта и составляет для сферы строительства и эксплуатации новой техники на 1 га  $506,33 / 1,3 = 389,5$  (тыс. руб).

При расчёте экономического эффекта в сфере увеличения урожая выращиваемых культур за базовый вариант принят средний урожай по Ростовской области в 2020-2021 г. перца сладкого 39,4 т/га и томата 41,6 т/га.

Исходные данные и расчёт экономического эффекта от увеличения урожая по перцу сладкому, (рисунок 11), и томату, (рисунок 12), показан в таблице 6.



Рисунок 11 – Выращенный урожай перца сладкого в открытом грунте (общий вид поля)



Рисунок 12 – Выращенный урожай томата в защищённом грунте (общий вид неотапливаемой теплицы)

Таблица 6 – Исходные данные для расчёта и расчёт экономического эффекта от увеличения урожая по перцу сладкому и томату

Показатели	Обозначения	Единица измерения	Величины варианта	
			базовый	внедряемый
1	2	3	4	5
<b>Перец сладкий в открытом грунте</b>				
Площадь внедрения	$A_{п}$	га	0,42	на 1 га
Средняя урожайность	$У_{п}$	т/га	39,4	65,2
Валовая продукция	$B$	т/га	39,4	65,2
Издержки	$З_{1п}$	тыс. руб/га	1736,87	-
	$З_{2п}$	тыс. руб/га	-	1278,65
Себестоимость	$C_{1п}$	руб/т	4408,2	1961,19
Стоимость валовой продукции	$Ц_{1п}$	тыс. руб	173683,0	
	$Ц_{2п}$	тыс. руб		127876,1
Общий экономический эффект по перцу сладкому с учётом эффекта на увеличение урожая составил $506,33 + (173,683 - 127,876) = 551,93$ (тыс.руб)				
<b>Томат в защищённом грунте (рассчитан по эффекту в сфере увеличения урожая)</b>				
Площадь внедрения	$A_{т}$	га	1,0	0,6

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
Средняя урожайность	$У_T$	т/га	41,6	63,9
Себестоимость	$C_T$	тыс.руб	37,88	16,872
Издержки	$Z_{1T}$	тыс. руб/га	2257,9	-
	$Z_{2T}$	тыс. руб/га	-	1662,24
Стоимость валовой продукции	$Ц_{1T}$	тыс. руб	1576,0	-
	$Ц_{2T}$	тыс. руб	-	3600,0
Рассчитанный экономический эффект при выращивании томата в защищённом грунте для увеличенного урожая составил 202,4 тыс. руб.				

Проведённый расчёт общего экономического эффекта при гидравлической схеме внесения удобрений с использованием струйного четырёхкомпонентного смесителя, по сравнению с существующей технологии (при выращивании перца сладкого), составил в сфере строительства и эксплуатации 506,33 тыс. руб/га, в сфере увеличения урожайности выше в 1,52 раза.

Использование струйного смесителя удобрений позволяет сократить срок строительства системы в 12 раз с 1,4 до 0,12 года за счёт уменьшения количества использованного оборудования и установленной мощности; снизить стоимость величины потребляемой энергии с 30 до 10 кВт с одновременным изменением количества эксплуатируемого насосного оборудования в 3 раза. При расчёте экономической эффективности в сфере повышения урожая томата установлено увеличение полученной продукции в 1,4 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненного исследования

1. Анализ современных систем смешения органических и минеральных удобрений с водой при удобрительных поливах сельскохозяйственных культур показывает, что перечисленные схемы сложны как в устройстве, так и в эксплуатации с отсутствием гарантированного одновременного внесения всего комплекса удобрений, и требуют проведения дополнительных исследований для внедрения в производство. Кроме того, известные методы расчёта, использующие теорию турбулентных струй, практически не доведены до расчётных формул, позволяющих с необходимой точностью рассчитать геометрические размеры и гидравлические параметры струйных смесителей, подобрать необходимое насосное оборудование, обеспечивающее эффективную оптимальную эксплуатацию установки для рабочих параметров смесителя – подсосываемого расхода и высоты подачи.

2. Разработанный технологический процесс использования струйного четырёхкомпонентного смесителя удобрений позволяет определить порядок эксплуатации всей системы внесения удобрений на примере капельного орошения овощных культур. По рассчитанной норме внесения вытяжки животноводческих стоков на планируемый урожай перца сладкого и томата 600 ц/га, определена годовая норма вытяжки животноводческих стоков при выращивании перца сладкого по азоту 958,8 кг/га и фактический дефицит фосфора 67,08 кг/га и калия 505,1 кг/га, годовая норма стоков при выращивании томата по азоту 688,25 кг/га и фак-

тический дефицит фосфора 163,12 кг/га и калия 988,67 кг/га, на основе которой представлен порядок расчёта параметров смесителя, позволяющий создать конструкцию системы внесения, независимо от площади орошения и возможности выращивания как в открытом, так и защищённом грунте.

3. По предложенной методике расчёта и схеме внесения удобрений определен порядок расчёта всех элементов оросительной сети и подбора насосного оборудования, даны рекомендации к вычислению всех геометрических размеров, гидравлических параметров, кинетической 10,18 м и полной энергии 18,2 м при максимально возможной скорости рабочего потока в сопле смесителя 17,82 м/с.

4. Проведёнными экспериментальными исследованиями по определению степени влияния напора смесителя  $H$ , вакуума во всасывающем трубопроводе центробежного насоса  $B_2$  и вакуума в корпусе смесителя  $B_1$  на величину полной энергии во всасывающем трубопроводе смесителя 19,27 м, что соответствует значениям  $B_2=5$  м и  $H_1=18$  м и минимальное 11,72 м при  $B_2=0$  м и  $H_1=14$  м. Полученные значения определяют возможность проводить расчёты гидравлических параметров системы подачи удобрений, независимо от характеристики гидромеханического оборудования, используемого в качестве рабочего насоса для смесителя, а также для разработки основ расчёта места установки всего комплекса оборудования на территории насосной станции.

5. Приведённый расчёт общего экономического эффекта гидравлической схемы смешения с водой удобрений и внесения смеси на орошаемый участок с использованием струйного четырёхкомпонентного смесителя, по сравнению с существующей наиболее эффективной технологией смешения в смесительной ёмкости на примере выращивания перца сладкого в открытом грунте, составил в сфере строительства и эксплуатации 506,33 тыс. руб./га, в сфере увеличения урожая в 1,52 раза, показал величину снижения установленной мощности электроэнергии с 30 до 10 кВт с одновременным уменьшением количества эксплуатируемого насосного оборудования в три раза.

### **Рекомендации по производству**

1. При проектировании, строительстве и реконструкции орошаемых участков с гидравлической схемой внесения смеси удобрений с водой необходимо предусмотреть использование струйных смесителей, позволяющих смешивать и вносить все виды удобрений в необходимых пропорциях, проводить контроль и регулирование доз внесения без предварительной подготовки обслуживающего персонала, получать значительный экономический эффект в сфере строительства, эксплуатации, сокращения сроков введения объекта и существенного увеличения урожая выращиваемой культуры, независимо от площадей и способа выращивания в открытом и защищённом грунте.

2. При проектировании систем смешения следует иметь ввиду, что максимально возможный напор струйного смесителя, независимо от напора нагнетателя, составляет 20 м. В случае необходимости увеличения напора для оросительной сети при гидравлическом расчёте, напорную линию камеры смешения следует соединить последовательно с всасывающей линией дополнительного насосного оборудования.

3. Независимо от наличия машин для внесения поливной смеси предпочтение отдаётся животноводческим стокам и птичьему помёту как наиболее эффективным органическим удобрениям, по сравнению с питательными веществами, влияющим на гранулометрический состав почвы.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

Дальнейшую разработку темы необходимо обосновать исследованиями в области проектирования крупных орошаемых участков с наличием напорной разводящей сети и одновременным введением животноводческих стоков и минеральных удобрений для уменьшения дефицита питательных веществ во всасывающие трубопроводы насосных станций при выращивании кормовых культур на прикомплексных участках животноводческих хозяйств.

### **Основные положения диссертации опубликованы**

- в изданиях, индексируемых в *Scopus* и *Web of Science*:

1. Tarasyants, S.A. Monitoring of Fertilization and Increase of Fertility of Agricultural Soils / S.A. Tarasyants, A.A. Tkachov, V.A. Rudakov, Y.S. Urzhumova, D.S. Efimov // Soil and Sediment Contamination. – Т.30 №7 – 2021 С. 886-899. DOI: 10.1080/15320383.2021.1900067 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1900067>

2. Tarasyants, S.A. The calculation basis for a four-component jet mixer for fertilizer and water / S.A. Tarasyants, V.A. Rudakov, Y.S. Urzhumova, K.A. Degtiareva // Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021) E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. Том 262. 2021. С. 01035. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201035>

3. Tarasyants, S.A. Local experimental studies of the fertilizer uptake process into suction pipelines of pumping stations with a jet apparatus / S.A. Tarasyants, V.B. Panov, Y.S. Urzhumova, V.A. Rudakov // E3S Web of Conferences IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1). 2021. С. 09022. DOI: 10.1051/e3sconf/202128109022

- в изданиях, рекомендованных *ВАК*:

1. Рудаков, В.А. Устройство и технологический процесс смешивания и внесения удобрений с поливной водой для подкормки сельскохозяйственных культур / В.А. Рудаков, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц, В.Н. Ширяев // Мелиорация и гидротехника. – Том 13 №1 - 2023 С. 118-131.

2. Рудаков, В.А. Теоретические основы расчёта системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах сельскохозяйственных культур / В.А. Рудаков, В.А. Маклаков, С.А. Тарасьянц, Ю.С. Уржумова // Мелиорация и гидротехника. – Том 13 №3 - 2023 С.171-187.

3. Маклаков, Д.В. Натурные экспериментальные исследования процесса ввода животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах / Д.В. Маклаков, В.А. Рудаков, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц // Мелиорация и гидротехника. – Том 13 №3 - 2023 С.154-170.

- патенты на изобретения:

1. Пат. №188521 РФ. Струйный трёхкомпонентный насос-смеситель с про-

мывкой всасывающих трубопроводов животноводческих стоков / В.А. Рудаков, К.А. Дегтярева, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ - № 2018136477; заявл. 15.10.2018; опубл. 16.04.2019. - Бюл. № 11.

2. Пат. №193355 РФ. Струйный четырёхкомпонентный насос-смеситель / В.А. Рудаков, К.А. Дегтярева, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ - № 2019111839; заявл. 18.04.2019; опубл. 18.04.2019. - Бюл. № 30.

- в прочих изданиях:

1. Мазанов, Р.Р. Расчёт струйных насосов, основанный на теории растекания турбулентной затопленной струи / Р.Р. Мазанов, В.А. Рудаков, С.А. Тарасьянц // Современные технологии и достижения науки в АПК: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф., г. Махачкала, 22-23 ноября 2018 / ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ. Махачкала, 2018. С. 222-231.

2. Рудаков, В.А. Расчёт критических скоростей подсосываемого потока струйных насосах / В.А. Рудаков, Р.Р. Мазанов, С.А. Тарасьянц // Современные технологии и достижения науки в АПК: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф., г. Махачкала, 22-23 ноября 2018 / ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ. Махачкала, 2018. С. 235-238.

3. Рудаков, В.А. Расчёт максимальных скоростей подсосываемого потока в струйных насосах на участке взаимодействия / В.А. Рудаков, Р.Р. Мазанов, С.А. Тарасьянц // Современные технологии и достижения науки в АПК: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф., г. Махачкала, 22-23 ноября 2018 / ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ. Махачкала, 2018. С. 238-243.

4. Рудаков, В.А. Приёмы водосбережения при орошении сельскохозяйственных культур (обзор) // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) с междунар. участием, 06-23 ноября 2018 г., Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России / НИМИ Донской ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2018. Ч. 1. Вып. 16. С.110-114.

5. Тарасьянц, С.А. Струйный насос-смеситель для подачи удобрений в оросительную сеть / С.А. Тарасьянц, В.А. Рудаков, В.Б. Панов, Ю.С. Уржумова // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) с междунар. участием, посвящённой 130-летию со дня рождения академика Б.А. Шумакова, 24 октября 2019 г., Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России / НИМИ Донской ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2019. Ч. 1. Вып. 17. С.217-221.

6. Мазанов, Р.Р. Смесители животноводческих стоков и минеральных удобрений в системах орошения / Р.Р. Мазанов, В.А. Рудаков, Ю.С. Уржумова [и др.] // Проблемы развития АПК региона: науч.-практ. журн. Дагестанского ГАУ. 2019. №2 (38). С.117-124.

7. Рудаков, В.А. Экономическое обоснование использования смесителей животноводческих стоков, минеральных удобрений и воды в системах орошения сельскохозяйственных культур / В.А. Рудаков, Р.Р. Мазанов, Ю.С. Уржумова [и др.] // Проблемы развития АПК региона: науч.-практ. журн. Дагестанского ГАУ. 2019. №2 (38). С. 145-151.

8. Рудаков, В.А. Удобрительные поливы культурооборота томата и огурца птичьим помётом с использованием струйных смесителей / В.А. Рудаков, Р.Р. Мазанов, Ю.С. Уржумова [и др.] // Проблемы развития АПК региона: Проблемы развития АПК региона: науч.-практ. журн. Дагестанского ГАУ. 2019. Вып. №2 (38). С.151-155.