

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



На правах рукописи

Коженко Наталья Владимировна

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕТИ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Специальность 06.01.02 –
Мелиорация, рекультивация и охрана земель**

**Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
доктор технических наук
Дегтярёв Георгий Владимирович**

Краснодар 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР И АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗВЕНЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	11
1.1 Обзор и анализ способов водораспределения на внутрихозяйственном звене оросительных систем.....	11
1.2 Обзор и анализ средств водораспределения на внутрихозяйственном звене оросительных систем.....	15
1.2.1 Регуляторы уровня прямого действия	16
1.2.2 Регуляторы уровня непрямого действия	20
1.2.3 Регуляторы уровня сифонного типа	24
1.3 Достоинства и недостатки способов и средств водораспределения применительно к внутрихозяйственному звену оросительных систем. Цели и задачи разработок и исследований.....	26
Выводы.....	32
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗВЕНЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ.....	34
2.1 Обоснование теоретической модели процесса предотвращения эколого- экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративной системы	34
2.2 Конструктивно-технологические решения средств водораспределения для внутрихозяйственного звена оросительных систем.....	42
Выводы.....	49

ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО РЕГУЛЯТОРА	51
3.1 Методики и аппаратура гидравлических исследований	51
3.2 Лабораторные исследования основных расходных характеристик запорного органа гидравлического регулятора.....	57
3.3 Лабораторные исследования расходных характеристик задатчика гидравлического регулятора	69
Выводы.....	75
ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ЛЕНТОЧНЫМ ЗАПОРНЫМ ОРГАНОМ	77
4.1 Методика натурных исследований расходных характеристик регулятора с ленточным запорным элементом.....	77
4.2 Исследование основных расходных характеристик запорного органа регулятора.....	82
4.3 Исследование управляющих расходных характеристик запорного органа регулятора.....	92
Выводы.....	100
ГЛАВА 5 МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗВЕНА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	102
5.1 Сравнительный анализ расходных характеристик регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте	102
5.1.1 Исследование расхода $Q_{пор} = f(H, a)$ по седлу регулятора с порогом естественного образца	103
5.1.2 Исследование расхода $q_{пор} = f(H, a)$ из управляющей полости регулятора с порогом естественного образца.....	107

5.1.3 Исследование расхода $Q_{выс} = f(H, a)$ по седлу регулятора с выступом на ленте естественного образца.....	111
5.1.4 Исследование расхода $q_{выст} = f(H, a)$ из управляющей полости регулятора с выступом на ленте естественного образца	115
5.2 Методика инженерного расчета регулятора, обеспечивающего исключение нерегулируемых протечек с ленточным запорным органом.....	122
5.3 Экономическое обоснование средств водораспределения исключающих нерегулируемые протечки на внутривоздушном звене оросительных систем	126
Выводы.....	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	137
ЛИТЕРАТУРА	139
ПРИЛОЖЕНИЯ	155
Приложение А – Акты внедрения	156
Приложение Б – Фотографическая фиксация	160
Приложение В – Результаты исследования.....	164
Приложение Г – Фотографическая фиксация	166
Приложение Д – Локальная смета.....	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Государством в стратегической программе развития сельскохозяйственному производству отводится одно из центральных мест [1]. В свою очередь в «Водной стратегии агропромышленного комплекса России на период до 2020 года» [2, 3] указано в приоритетном направлении развитие плодоовощеводства. В краевой программе «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель в Краснодарском крае на 2013–2020 годы», в соответствии с государственной стратегической программой, намечено увеличение занятых под производство только риса земель до 145 тыс. га. [4, 5]. Основные оросительные системы в Краснодарском крае сосредоточены в бассейне реки Кубань, но здесь уже сейчас стоит проблема дефицита водных ресурсов [6, 7, 8]. Таким образом, реализация намеченных планов не возможна без разработки и массового внедрения в производственный процесс современных ресурсосберегающих технологий и технических средств их реализующих [9, 10, 11].

В настоящее время вопросу ресурсосбережения при водораспределении на внутрихозяйственном звене не уделяется должного внимания, предлагаемые и используемые средства водораспределения гидравлического действия, даже по характеристикам, предполагают до 10 % нерегулируемых протечек.

Совершенствование водораспределения на внутрихозяйственном звене, разработка и внедрение малозатратных энергосберегающих технологий и технических средств гидравлического действия, обеспечивающих исключение потерь, позволит осуществить экономию водных ресурсов, и расширить площади орошения [12, 13, 14].

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет»: «Обосновать и разработать комплекс мероприятий по повышению эффективности использования природных вод и противопаводковой защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий в условиях усиления техногенной нагрузки на водохозяйственный комплекс» (ГР 0120115346, 2011–2015 гг.).

Степень разработанности темы исследований. Вопросам ресурсосбережения при водораспределении на оросительных системах не всегда уделялось должное внимание. Однако от дефицита воды напрямую зависит урожай, при этом может страдать качество продукции и экологическое состояние мелиоративной системы.

Советский Союз в связи с географическим расположением вынужден был уделять мелиорации повышенное внимание. Ученые Анисимова В. А., Андреева В. А. в работах середины прошлого столетия заложили основы развития данного направления. В 60–70-х годах в работах Бочкарева Я. В., Коваленко П. И., Ганкина М. З., Шарова В. В., Разоренова А. Д., Баркана И. Л., Бобохидзе Ш. С., Маковского Э. Э., Авдеева А. И. были представлены основные положения водораспределения и требования к средствам автоматизации.

Существенные и значимые разработки по рассматриваемому вопросу нашего времени осуществлены Щедриным В. Н., Григоровым М. С., Ольгаренко В. И., Свистуновым Ю. А., Пахомовым А. А., Ольгаренко И. В., Островским В. Т. и др. учеными.

Насущно в настоящее время ставить вопрос о переоценке роли и места вопросов ресурсосбережения при водоподаче и водораспределении [15, 16].

Вопрос ресурсосбережения актуален всегда, однако его учет на системах управляющих «большой водой» важен многократно [17]. Возможному положительному решению вопроса способствуют материалы с новыми свойствами, наиболее полно отвечающими работе на мелиоративных системах. Нельзя не учитывать современный уровень возможностей исследования современных средств водораспределения основанный на математическом моделировании.

Рабочая гипотеза. Повысить эффективность использования водных ресурсов во внутрихозяйственной сети оросительных систем можно на основе гидравлических регуляторов, исключая нерегулируемые протечки.

Цель исследований – повышение эффективности использования водных ресурсов во внутрихозяйственной сети оросительных систем на основе теоретиче-

ского обоснования и разработки новых технических решений по управлению водораспределением.

Задачи исследования:

1. Разработать теоретическую модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем.
2. Разработать и обосновать параметры и режимы гидравлических регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки при внутрихозяйственном водораспределении.
3. Выполнить лабораторные исследования основных и управляющих расходных характеристик гидравлических регуляторов.
4. Выполнить комплексные натурные исследования основных и управляющих расходных характеристик регуляторов.
5. Осуществить сравнительный анализ разработанных гидравлических регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки.
6. Разработать методику инженерного расчета регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки, для внутрихозяйственного звена оросительных систем.
7. Выполнить экономическое обоснование применения регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки.

Объект исследования: регуляторы гидравлического действия с гибкими запорными органами, исключающими нерегулируемые протечки на оросительных системах.

Предмет исследований – конструктивно-технологические параметры и режимы, статические характеристики регуляторов с ленточным запорным органом, исключающим нерегулируемые протечки, на внутрихозяйственном звене оросительной системы.

Научная новизна.

- разработана теоретическая модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем;
- получены регрессионные модели основных и управляющих расходных характеристик лабораторных и натурных разработанных регуляторов с порогом

на седле и с выступом на ленте запорного органа, исключаящих нерегулируемые протечки;

– определены квазиоптимальные соотношения основных конструктивных и технологических параметров разработанных регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте запорного органа.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретически обоснована модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем, а также статические характеристики гидравлических регуляторов с ленточными запорными органами. Разработаны и обоснованы конструкции гидравлических регуляторов с ленточными органами (регулятор расхода воды пат. РФ № 2549396, стабилизатор расхода воды пат. РФ №2559680, регулятор расхода воды для диафрагмовых водовыпусков пат. РФ № 2557376). Практическую значимость представляет методика проектирования и расчета регуляторов оросительной воды. Внедрение ленточных регуляторов в оросительной системе многолетних плодоносящих насаждений в хозяйстве Абинского района и для орошения земель сельхозназначения в хозяйстве г. Кореновска оказалось экономически эффективным. Срок окупаемости проекта два года.

Методы исследования – включают методы теоретического и системного анализа, математического и компьютерного моделирования, теории многофакторных экспериментов с элементами математической статистики.

Математическое моделирование осуществлялось с использованием программных комплексов (ПК) SolidWorks и FlowVision. Результаты экспериментов обрабатывались на ПЭВМ с использованием ПК MatCad и wxMaxima. Расчет экономической эффективности от внедрения ленточных регуляторов выполнен в ПК Гранд-Смета, данные обрабатывались с использованием пакета Excel Microsoft Office.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическая модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем;
- гидравлические регуляторы с ленточными запорными органами, исключая нерегулируемые протечки на внутрихозяйственном звене оросительной системы;
- регрессионные модели влияния конструктивно-технологических факторов на расходные характеристики регуляторов с ленточными запорными органами;
- методика инженерного расчета основных конструктивных и технологических параметров гидравлических регуляторов с ленточными запорными органами;
- расчеты экономической эффективности при внедрении в производство регулятора с ленточным запорным органом.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность полученных результатов, основных выводов и предложений практике обусловлена большим объемом экспериментальных и теоретических исследований, использованием апробированных методов планирования эксперимента и обработки полученных данных, высоким уровнем сходимости результатов моделирования и лабораторных опытов с результатами опытно-производственной проверки, а также численного моделирования.

Результаты исследований были внедрены в производство в АО «КСП «Светлогорское» и в ООО «Навигатор» на системах водораспределения из каналов старшего порядка во внутрихозяйственные водораспределители, где регуляторы уровня воды с порогом на седле, адаптированные к работе в системе автоматического регулирования, показали хорошую работоспособность в течение трех лет. (Приложение А).

Результаты исследований внедрены в учебный процесс Кубанского ГАУ, а регуляторы уровня воды с порогом или с выступом на ленте используются в лабораторном оборудовании учебного процесса на факультете гидромелиорации (Приложение А).

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и обсуждались: на ежегодных научных конференциях Кубанско-

го ГАУ (г. Краснодар, 2015–2017 гг.); на региональной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экономики и технологического развития отраслей народного хозяйства» (г. Краснодар, 2016 г.); на всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (г. Краснодар, 2015–2017 гг.); на всероссийской научно-практической конференции «Научное творчество молодежи – шаг в будущее!» (г. Анапа, 2013 г.); на международном конкурсе «Молодежь в науке. Новые аргументы» (г. Липецк, 2014 г.); на международных научно-практических конференциях (г. Стерлитамак, 2015 г., г. Уфа, 2015 г., г. Санкт-Петербург, 2015 г., г. Новосибирск, 2016 г.); на международной научной конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии» (г. Липецк, 2016 г.).

Публикация результатов исследований.

По материалам диссертационной работы опубликовано 25 печатные работы, из них 9 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 6 – в материалах международных научно-практических конференций, остальные – в других изданиях. По результатам исследований получены три патента Российской Федерации на изобретения

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 131 наименование, и приложения. Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков и 19 таблиц.

ГЛАВА 1 ОБЗОР И АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗВЕНЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

1.1 Обзор и анализ способов водораспределения на внутрихозяйственном звене оросительных систем

В свете введенных западными партнерами санкций и ответными действиями России, сельское хозяйство страны вынуждено стать на интенсивный путь импортозамещения. Естественно интенсификация сельскохозяйственного производства в основе своей предполагает различного рода мелиорации, как для создания кормовой базы животноводства, так и для увеличения производства продукции растениеводства [12, 13].

Производство риса в России в силу специфики его требований к природно-климатическим условиям эффективно или на юге страны, или на Дальнем Востоке [14, 18]. Однако продукт востребован в стране и ставится задача наращивание его производства [5]. Рис культура влаголюбивая и вопросу водораспределения при его производстве всегда уделялось повышенное внимание [19, 20]. При этом самой проблемой водораспределения ученые занимаются давно и здесь необходимо отметить следующих ученых внесших наибольший вклад в развитие этого вопроса.

Концептуально вопросы мелиорации оросительных систем освещены в работах Кирейчевой Л. В. [10, 11], Щедрина В. Н. [9, 12], Коваленко П. И. [21], Маковского Э. Э. [22, 23]. Что касается собственно водораспределения, то в начале надо отметить Андреева В. А. [24] и Анисимова В. А. [25]. Далее в шестидесятых годах прошлого столетия в работах Ганкина М. З. [26], Авдеева А. И. [27], Шарова В. В. [28, 29], Баркана И. Л. [30], Бочкарева Я. В. [31, 32], Бобохидзе Ш. С. [33], Коваленко П. И. [34].

Более подробно внутрихозяйственное водораспределение рассматривали Диденко В. П. [35], Журавлев В. М. [36], Васильев С. М. [13], Свистунов Ю. А. [14], Кузнецов Е. В. [18] и другие ученые [19, 20, 37, 38].

Нельзя не отметить работы современных ученых продолжающих славные традиции предшественников Кибальников С. В. [39, 40], Бочкарев Я. В. [41], Щедрин В. Н. [42, 43], Григоров М. С. [44], Пахомов А. А. [45, 46], Рекс Л. М. [47] и др. ученые.

По предложению вышеуказанных ученых способы водораспределения разделяют на два класса (рисунок 1.1):



Рисунок 1.1 –Классификация водораспределения

1) к 1-му относятся способы, характеризующиеся отсутствием обратной гидравлической связи и осуществлением водораспределения сверху вниз [31, 32, 33], а именно:

- по верхнему бьефу;
- непосредственным отбором расходов;
- пропорциональным делением расходов.

2) ко 2-му относятся способы с обратной гидравлической или других видов связями и осуществлением регулирования водораспределением снизу-вверх [21, 23, 34, 42], а именно:

- каскадное регулирование;
- регулирование по нижнему бьефу;
- смешанного типа;
- поддержание постоянных перепадов;
- с перетекающими объемами;
- с перекрестными связями.

На открытых оросительных системах регулирование уровней воды может являться и средством для регулирования расходов. Однако в каналах сложный гидравлический режим, который необходимо увязывать с режимом работы гидротехнических сооружений, используя во многих случаях обратную гидравлическую связь между ними.

Рассмотрим указанные способы водораспределения.

Регулирование по верхнему бьефу дает постоянный уровень воды только в верхнем бьефе, что позволяет реализовать план водопользования, используя сооружения, перегораживающие канал.

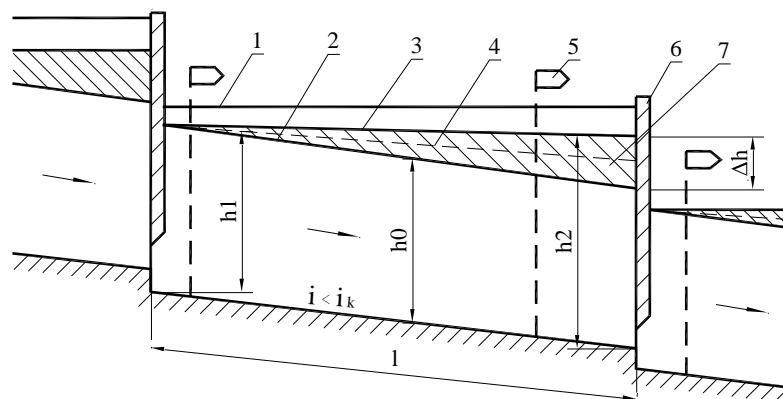
Способ регулирования непосредственным отбором расходов воды выполняется в отсутствии жесткой связи с уровнем воды в канале. Отбор постоянного расхода воды выполняется сооружениями, специально разработанными для выполнения этих операций.

Регулирование пропорциональным делением расходов реализует функцию именно пропорционального деления дефицита или избытка воды на подконтрольную площадь, при этом отсутствуют несанкционированные сбросы [21].

При регулировании по нижнему бьефу колебание уровней в канале происходит между линией свободной поверхности 2, соответствующей равномерному режиму потока с расходом Q_{max} , и горизонтальной поверхностью 3, устанавливаемой при $Q_{min} = 0$ (рисунок 1.2). Постоянный уровень воды поддерживается в нижнем бьефе непосредственно у перегораживающего сооружения. В конце же бьефа колебание уровней происходит в пределах $\Delta h = h_2 - h_1$.

Увеличение водозабора вызывает понижение уровня в нижнем бьефе, на что немедленно реагирует автоматический регулятор, приоткрывая затвор для подачи

соответствующего дополнительного расхода из предыдущего бьефа. Сработка уровня в предыдущем бьефе вызывает соответственно открытие расположенного выше регулятора и т. д. Таким образом, процесс перерегулировки распространяется до головного сооружения, увеличивая тем самым подачу воды из источника орошения.



- 1 – берма; 2 – поверхность при Q_{max} ; 3 – поверхность при Q_{min} ;
 4 – поверхность при $0 < Q < Q_{max}$; 5 – водовыпуск;
 6 – перегораживающее сооружение; 7 – объем регулирования

Рисунок 1.2 – Схема регулирования по нижнему бьефу

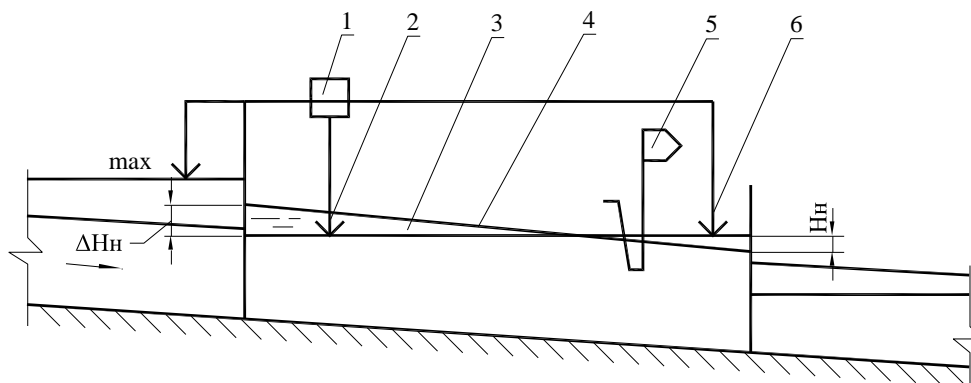
При уменьшении водозабора на трассе канала происходит обратный процесс автоматической перерегулировки всех водоподпорных сооружений [33].

Смешанное регулирование уже в самом названии содержит ответ на реализуемые им функции, а именно то, что подобная система может реализовать управление потоками воды как по верхнему, так и по нижнему бьефам.

Регулирование с перетекающими объемами (рисунок 1.3). В бьефах каналов отметки воды находятся на свободной поверхности при максимальном расходе и горизонтальной поверхностью при заданной отметке, ограничивающей максимальное увеличение уровня в конце бьефа H_k и максимальное уменьшение в начале бьефа H_n .

При увеличении забора свободная поверхность нижней части бьефа понижается и датчик в конце бьефа передает соответствующий сигнал к вышераспо-

ложенному сооружению на его открытие и подачу увеличенного расхода. Аналогично процесс протекает во всех вышерасположенных бьефах.



- 1 – регулятор уровня; 2 – датчик уровня в начале бьефа;
 3 – свободная поверхность при $Q = 0$; 4 – свободная поверхность при $Q_{рсч}$;
 5 – водовыпуск; 6 – датчик уровня в конце бьефа;
 $\Delta H_n, \Delta H_k$ – уровни соответственно понижения и повышения воды в бьефе

Рисунок 1.3 – Способ регулирования с перетекающими объемами

При уменьшении водопотребления свободная поверхность в нижней части бьефа повышается и датчик подает сигнал на закрытие затвора на выше находящемся сооружении.

1.2 Обзор и анализ средств водораспределения на внутрихозяйственном звене оросительных систем

В настоящее время при распределении воды пользуются регуляторами работающими на различной энергии: гидравлической, электрической, электрогидравлической, пневматической, пневмогидравлической и др. Поскольку же гидравлические регуляторы используют энергию воды для воздействия на запорный орган и чувствительные элементы, а в качестве гидравлической энергии используют водный поток в каналах системы, то их применение для автоматизации оросительных систем обходится дешевле, чем других типов регуляторов.

Одна из основных задач процесса орошения любой культуры – управление по заданной программе влажностью почвы и, как следствие, уровнем воды в ка-

нале. Один из вариантов решения задачи заключается в применении регуляторов уровня нижнего бьефа [39, 48].

Отклонение расходов при ее подаче обеспечивает дисбаланс воды в оросителе и регуляторе, в его голове начинает работу, отрабатывая отклонение. В результате этого изменение, образовавшееся в оросителе, направляется выше, по системе и гидротехнические устройства установят такой расход воды, который будет соответствовать вновь открывшейся ситуации [40].

Таким образом, регулятор уровня предназначен для поддержания уровня воды в оросителе в установленных пределах заданной высоты. Регулятор уровня состоит из следующих основных элементов: чувствительного элемента и исполнительного устройства, запорно-регулирующего органа (затвора). Для передачи командных сигналов от датчика на привод затвора служит передаточное устройство механического или гидравлического типа.

1.2.1 Регуляторы уровня прямого действия

В устройствах отработки отметок воды прямого действия воспринимающий элемент может быть представлен полый емкостью, агрегатированной рычагами с запорным органом.

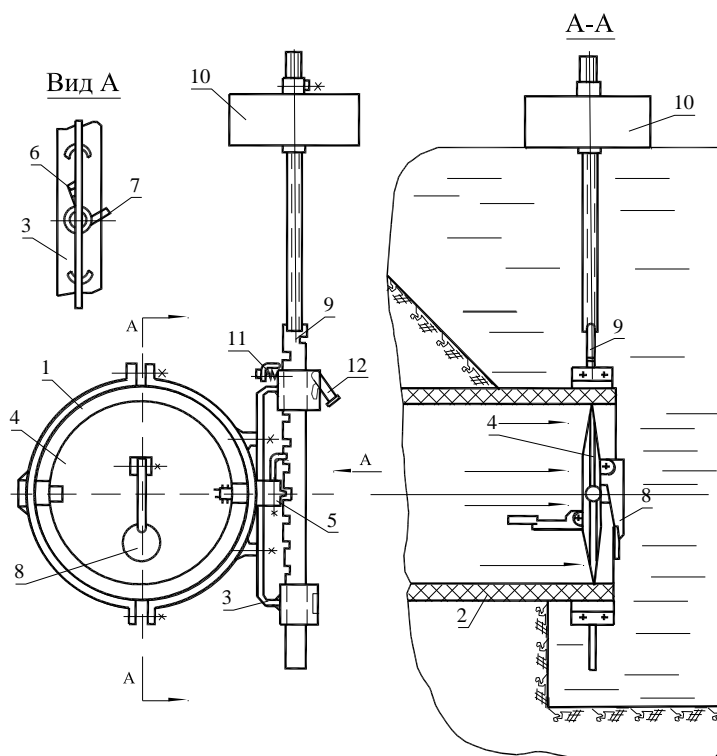
Изменение уровня воды в бьефе объекта управления отслеживается чувствительным элементом и через рычаги передается на механизм исполнения – открывающая или закрывающая запорный орган.

Регуляторы уровня могут устанавливаться непосредственно в самом объекте управления, так и вне его. В последнем случае поплавковая емкость соединяется трубой с объектом так, чтобы в ней уровень воды был таким же, как и в самом объекте.

Регулятор уровня воды прямого действия с дисковым управляющим органом (см. рис. 1.4). Он устанавливается в нижнем бьефе.

Устройство регулирования включает хомут 1, закрепленный на трубе 2. К хомуту крепится кронштейн 3. Во втулках хомута 1 на осях устанавливается

диск 4, на одной из осей которого закреплен фиксатор 5 с двумя Г-образно расположенными рычагами 6 и 7 разными по длине. На диске 4 подвижно установлено два рычага-противовеса 8 с площадками. В пазах кронштейна 3 крепится программная линейка 9, на которой подвижно установлен поплавок 10. В верхней части кронштейна, в пазах, установлены на осях подпружиненный начальный фиксатор 11 и конечный фиксатор 12.



- 1 – хомут; 2 – труба; 3 – кронштейн; 4 – диск; 5 – фиксатор;
 6 и 7 – рычаги; 8 – рычаги-противовесы; 9 – программная линейка;
 10 – поплавок; 11 и 12 – фиксаторы

Рисунок 1.4 – Схема устройства с дисковым рабочим органом для управления уровнем воды

Функционирует устройство таким видом. Установленный на концевой части трубопроводной системы 2 регулятор при заполнении рисового чека водой открыт. Программная линейка 9 при начальном заполнении фиксируется начальным фиксатором 11, поплавок установлен на заданный уровень регулирования. Один из рычагов 8 находится в сложенном состоянии, т.е. параллелен диску 4, а тогда следующий – в открытом, т.е. в перпендикулярном положении диску 2. В момент

поступления посредством трубопровода 2 воды, она своим напором воздействует на площадку рычага 8 и не дает диску повернуться. Когда вода на объекте достигнет заданных отметок диск 4 поворачивается на 90° , закрывая отверстие трубы 2. Одновременно другой рычаг фиксатора 5 упирается в плоскость программной линейки между прорезями.

При понижении уровня воды поплавков 10 с программной линейкой опускается вниз, при этом скользящий и прижимающийся к линейке второй рычаг фиксатора 5 при достижении заданного уровня проходит через прорезь, отклоненный рычаг-противовес 8 под действием своего веса и напора воды быстро поворачивает диск 4, открывая отверстие трубы 2. Рычаг фиксатора 5, упирающийся в программную линейку, предохраняет диск 4 от проворачивания. Закрытие водовыпуска происходит по достижении нужного горизонта, когда поплавки поднимет программную линейку до нормального уровня воды.

При достижении уровня воды выше нормального поплавки 10 поднимают программную линейку вверх до тех пор, пока фиксатор 5 не пройдет прорезь и не откроет диск 4 для пропуска воды.

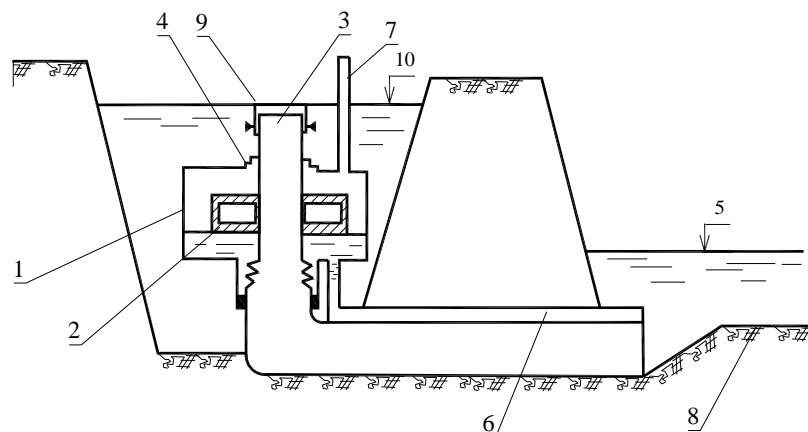
Если необходимо спустить воду, диск 4 фиксируют нормально открытым, т.е. горизонтально вдоль оси трубы 2, рычаг фиксатора 5 упирается в программную линейку, которая устанавливается на конечный фиксатор 12, чтобы предотвратить ее снижение вместе с поплавком по мере спадания уровня при свободно уходящей воде на сброс [49].

Регулятор уровня воды прямого действия с подвижным оголовком (рисунок 1.5). Он устанавливается в верхнем бьефе.

Устройство выполнено из объема 1 для плавающего устройства, самого плавающего устройства 2, зафиксированного снаружи консоли 3. Объем 1 для плавающего устройства связан с нижним бьефом 5 трубопроводом 6. Пространство над объемом 1 для плавающего устройства функционально связано трубопроводным устройством 7 с атмосферой.

Если отметка воды доходит до нужных показателей в объекте управления плавающее устройство 2 начнет двигать оголовок вверх и лишит объект поступ-

ления воды. При падении отметок воды на объекте процесс повторится в обратном направлении [50].



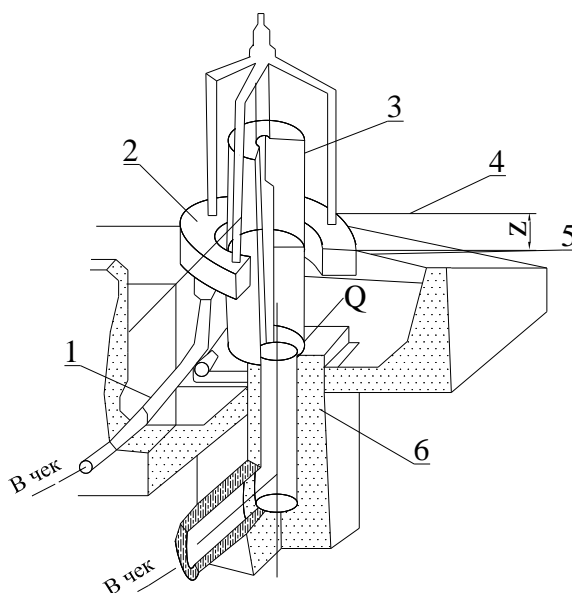
1 – объем для плавающего устройства; 2 – поплавок; 3 – подвижный оголовок;

4 – гибкие уплотнители; 5 – нижний бьеф; 6 – трубка; 7 – трубка;

8 – средняя отметка чека; 9 – телескопическая посадка; 10 – оросительный канал

Рисунок 1.5 – Регулятор уровня воды прямого действия с подвижным оголовком

Регулятор уровня воды прямого действия АВУ (рисунок 1.6). Данное устройство на производстве монтируется в верхнем бьефе на оголовке вида БЧН.



1 – патрубок; 2 – поплавок; 3 – цилиндр; 4 – уровень оросителя;

5 – уровень в поплавке; 6 – корпус

Рисунок 1.6 – Регулятор уровня воды прямого действия АВУ

Устройство функционирует по следующему алгоритму. При пребывании уровня в объекте давление по патрубку 1 передается к полости поплавка 2, в ре-

зультате чего в нем устанавливается уровень воды 5 такой же, как в нижнем бьефе. Вследствие заполнения полости поплавка 2 последний тонет, вызывая перемещение вниз цилиндра 3, жестко связанного с поплавком. При этом уменьшается площадь водовыпускного отверстия между цилиндром 3 и оголовком БЧН, расход воды в рисовый чек уменьшается и уровень воды в нем падает. Уменьшение уровня воды в объекте по закону сообщающихся сосудов вызывает уменьшение уровня 5 в поплавке 2, последний всплывает, перемещая вверх цилиндр 3 и открывая водовыпуск. Расход воды в объект управления увеличивается, вызывая увеличение уровня. Значение расхода определяется уровнем оросителя 4 [40].

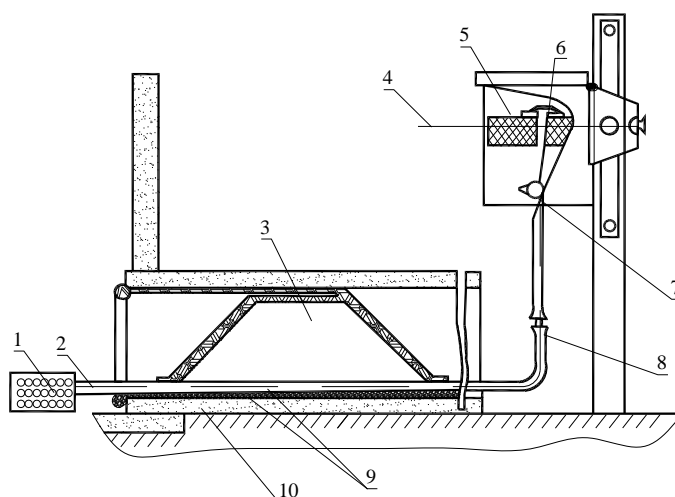
1.2.2 Регуляторы уровня непрямого действия

В устройствах, предназначенных для управления отметками воды косвенного воздействия, чувствительным элементом служит обычно поплавков в виде поллой емкости, соединенной с клапаном, посредством которого регулируется расход воды, сбрасываемый из управляющей полости, выполняющей функцию гидравлического привода регулирующего органа. С изменением отметок воды за отведенные для этого пределы сила Архимеда, возникающая из-за плавающего устройства при подаче воды в объект управления, или его вес при опускании уровня перемещают клапан, и управляющая полость регулирующего органа наполняется или опорожняется в зависимости от принципа работы регулятора, в результате чего закрывается или открывается запорный орган (затвор).

Регулятор уровня воды непрямого действия РУР-300 (см. рис. 1.7). Представленное устройство для управления отметками воды привязывается непосредственно в тело водовыпуска, когда воспринимающий элемент все-же находится в нижнем бьефе.

Гидравлическое устройство для управления отклонения воды функционирует по такому алгоритму. С выше расположенного водораспределителя по фильтрующему устройству 1 вода направляется в трубку для подачи гидравлической связи 2. Достигая предполагаемой к управлению отметка воды в объекте 4 сверх

установленного лимита, плавающее устройство 5 поднимается вверх и поднимает эластичный ленточный материал 6, в результате чего дырка для отвода воды 7 закроется. Удаление воды тогда по второй трубке для подачи гидравлической связи 8 завершится, и вода по дополнительной дырке 9 заливаает замкнутый контур из эластичного материала 3, который реализует задачу закупорки всего бетонного сооружения для попуска воды 10. Когда плавающее устройство 5 опускается, и эластичный ленточный материал 6 открывает дополнительную дырку 9, через которую по второй трубке для подачи гидравлической связи 8 возникает активный сброс воды. Рассмотренное действие реализует по дополнительной дырке 9 поток воды из замкнутого контура 3 из эластичного материала.



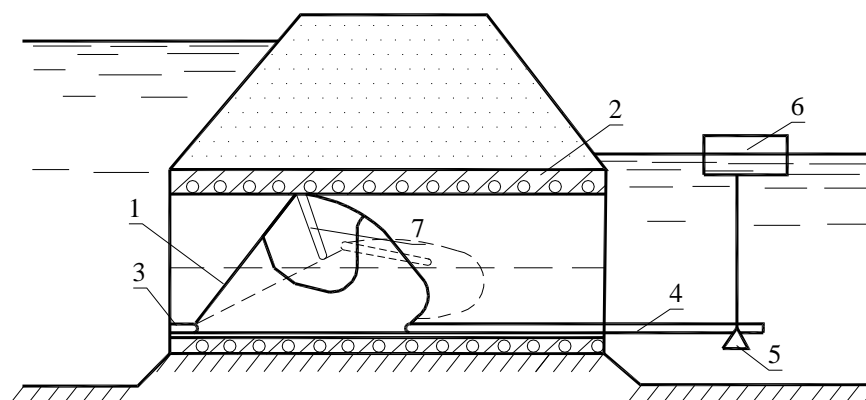
- 1 – фильтрующее устройство; 2 – трубка для подачи гидравлической связи;
 3 – замкнутый контур из эластичного материала;
 4 – предполагаемая к управлению отметка воды в объекте;
 5 – плавающее устройство; 6 – эластичный ленточный материал;
 7 – дырка для отвода воды; 8 – вторая трубка для подачи гидравлической связи;
 9 – дополнительная дырка; 10 – бетонное сооружение для попуска воды

Рисунок 1.7 – Гидравлическое устройство для управления отклонения воды
 непрямого действия РУР-300

В таком режиме гидростатическая сила воды сожмет замкнутый контур из эластичного материала 3 и реализуется открытие бетонного сооружения для по-

пуска воды 10. Таким видом последовательных действий выполняется операция обеспечения заданных отметок 4 воды в объекте управления [40].

Регулятор уровня воды непрямого действия с уплотнительным элементом в виде полуэллипса. Он устанавливается внутри трубчатого водовыпуска. На рисунке 1.8 показан регулятор уровня, регулирующий орган которого имеет уплотнительный элемент, выполненный в виде полуэллипса. На рисунке 1.9 – регулирующий орган с уплотнительным элементом, выполненным в виде двух шарнирно связанных между собой полуэллипсов.



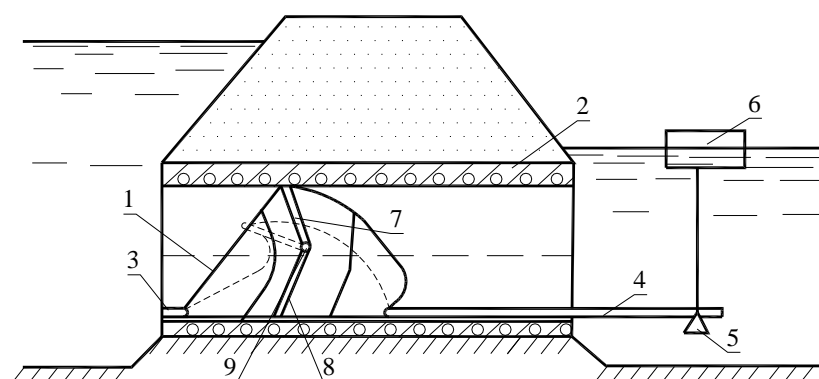
1 – регулирующий орган; 2 – водовыпуск; 3 и 4 – каналы; 5 – клапан;
6 – поплавковый датчик; 7 – уплотнительный элемент в виде полуэллипса

Рисунок 1.8 – Регулятор уровня воды непрямого действия
с уплотнительным элементом в виде полуэллипса

Регулятор уровня по первому варианту содержит регулирующий орган 1 в виде гибкой оболочки, установленной в трубчатом водовыпуске 2. Полость регулирующего органа 1 сообщена каналами 3 и 4 с верхним и нижним бьефами. Канал 4 перекрывается поплавковым клапаном 5, взаимодействующим с поплавковым датчиком 6. Регулирующий орган 1 содержит уплотнительный элемент 7, закрепленный на гибкой оболочке и выполненный в виде полуэллипса, малая ось которого равна внутреннему диаметру трубчатого водовыпуска 2, а большая полуось обращена в сторону верхнего бьефа.

Регулятор уровня по второму варианту (рисунок 1.9) содержит уплотнительный элемент, выполненный в виде двух полуэллипсов 7 и 8, закрепленных на гибкой оболочке регулирующего органа 1 и соединенных шарниром 9 по малой

оси равной внутреннему диаметру трубчатого водовыпуска 2. Причем большие полуоси полуэллипсов 7 и 8 обращены в сторону верхнего бьефа.



- 1 – регулирующий орган; 2 – водовыпуск;
 3 и 4 – каналы; 5 – клапан; 6 – поплавковый датчик;
 7 и 8 – уплотнительные элементы в виде полуэллипсов; 9 – шарнир

Рисунок 1.9 – Регулятор уровня воды непрямого действия
 с уплотнительным элементом в виде двух шарнирно
 связанных между собой полуэллипсов

Регулирующее устройство по следующему алгоритму реализует возложенную на него задачу. Когда отметки воды достигнут по нижнему бьефу предписанных значений плавающее устройство 6 с помощью затычки 5 закупорит дырку в трубе 4. Гидростатический напор во внутреннем пространстве эластичного контура регулирующего органа 1 повышается, эластичная оболочка контура начинает перемещение и закупоривает бетонное сооружение для пуски воды 2. При реализации ситуации с уменьшением отметок воды ниже нормативных будет реализовываться ситуация, что происходит открытие прохода в трубе 4.

Вследствие такого развития действий гидростатический напор от воды в замкнутом эластичном контуре регулирующего органа 1 понижается, и контур эластичный под воздействием гидростатического напора от воды со стороны верхнего бьефа начинает свой путь, открывая бетонное сооружение для пуски воды 2.

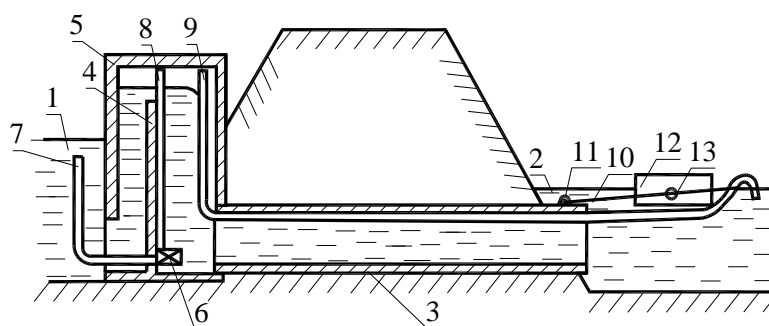
Так как длина большей полуоси полуэллипса 7 больше длины полуокружности, диаметр которой равен малой оси полуэллипса, то выполнение уплотни-

тельного элемента в виде полуэллипса 7, малая ось которого равна внутреннему диаметру трубчатого водовыпуска 2, позволит гибкой оболочке регулирующего органа 1 при полностью перекрытом отверстии канала 4 герметично перекрыть трубчатый водовыпуск 2 (рисунок 1.9). Это обусловлено тем, что растягивающие усилия в гибкой оболочке регулирующего органа 1 стремятся плотно прижать уплотнительный элемент к верхней части трубчатого водовыпуска 2 и величина контактного усилия будет тем больше, чем больше растягивающие усилия.

Выполнение уплотнительного элемента в виде двух шарниров 9, связанных между собой полуэллипсов 7 и 8, малые оси которых равны внутреннему диаметру трубчатого водовыпуска 2, позволит зафиксировать ось вращения полуэллипса 7 и тем самым предотвратить смещение гибкой оболочки регулирующего органа 1 в сторону нижнего бьефа [51].

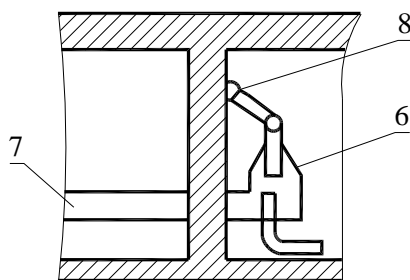
1.2.3 Регуляторы уровня сифонного типа

Сифонный регулятор уровня воды. На рисунке 1.10 показан разрез по продольной оси трубчатого водовыпуска, а на рисунке 1.11 раскрыта позиция 6.



- 1 – верхний бьеф; 2 – нижний бьеф; 3 – трубчатый водовыпуск;
 4 – водослив; 5 – колпак; 6 – гидроциклон; 7 – трубка;
 8 – песковой патрубков; 9 – трубка; 10 – рычаг; 11 – шарнир;
 12 – поплавковый датчик уровня; 13 – шарнир

Рисунок 1.10 – Сифонный регулятор уровня воды



6 – гидроциклон; 7 – трубка; 8 – песковой патрубок

Рисунок 1.11 – Раскрытая позиция

Представленный регулятор содержит верхний 1 и нижний 2 бьефы, соединенные между собой трубчатым водовыпуском 3, водослив 4 с установленным над ним колпаком 5, а также вертикально установленным между верхним 1 и нижним 2 бьефами источник вакуума в виде гидроциклона 6 с трубкой 7, соединяющей его с объемом воды расположенным выше и с песковым патрубком 8, агрегируемым гидроциклон 6 с внутренним пространством колпака 5. Пространство колпака 5 сообщено с атмосферой трубкой 9, выходной патрубком которой закреплен на рычаге 10. Последний снабжен шарниром 11 и поплавком поплавкового датчика уровня 12 с перемещаемым шарниром 13.

Сифонный регулятор уровня воды работает следующим образом. При достижении уровня верхнего бьефа 1 выше торца трубки 7 по ней поступает вода в нижний бьеф 2 через гидроциклон 6. Из-за возникновения разрежения в гидроциклоне через песковой патрубок 8 начинается отсос воздуха из внутренней полости колпака 5. Если в нижнем бьефе 2 уровень не достиг заданной величины, то конец трубки 9 опущен в воду и поступления воздуха в полость колпака 5 нет. Представленный набор конструктивных элементов в совокупности образует сифон, а описанная конкретная технологическая ситуация позволяет ему, именно в этом случае, заряжаться. Реализованная картина работы обеспечивает поступление воды на объект управления.

При достижении показаний отметок на объекте управления плавающее устройство 12 всплывает, конец рычага 10 с концом трубки 9 поднимается и связывает внутреннее пространство колпака 5 с воздушным пространством. Давление под колпаком 5 повышается и расход через него уменьшается или вообще за-

вершается, когда реализуется, так называемый эффект срыва вакуума в сифоне. Технология, представленная, может циклично повторяться при единственном условии – наличии достаточного количества воды в системе [52].

1.3 Достоинства и недостатки способов и средств водораспределения применительно к внутрихозяйственному звену оросительных систем.

Цели и задачи разработок и исследований

Регулирование по верхнему бьефу имеет такие преимущества:

– отсутствует необходимость конструктивных изменений геометрических форм каналов при реализации технологии по данному способу;

– практически отсутствует необходимость в обустройстве какими-либо гидротехническими сооружениями холостых участков каналов, из-за исключения последних из технологии водораспределения;

– реализация технологии способа не нуждается в обустройстве путевых сбросов по длине канала, что обеспечивается нормативным отслеживанием уровней верхнего бьефа и, как следствие, объемов в элементах системы, их накоплением по участкам, что составляет аварийный резерв для возможного потребления его в случае экстренных ситуаций с подачей воды в систему с головы;

– взаимодействие конструктивных элементов системы, по предложенному технологическому алгоритму регулирования по верхнему бьефу, позволяет минимизировать количественные показатели при перерегулировании, что однозначно упрощает процесс эксплуатации системы в целом.

Регулирование по верхнему бьефу имеет и отрицательные стороны:

– рассматриваемая технология имеет в своей основе жесткий алгоритм реализации, что помимо положительных моментов приводит к дефициту водоподачи при перепотреблении воды, например, вышележащими потребителями и санкционированным сбросам, при отказе от воды какими-либо потребителями;

– нет гидравлической связи по элементам системы регулирования, что в свою очередь приводит к сложностям в процессе перенастройки алгоритма управления процессами;

– технология регулирования может быть реализована лишь при наличии холстых сбросов.

Однако недостатки регулирования по верхнему бьефу можно устранить или свести к минимуму, если при строительстве постоянной оросительной сети учесть указанные рекомендации (создание промежуточных емкостей для аккумуляирования сбросных расходов и их повторного использования, зональное расположение магистральных каналов, кольцевание распределительных каналов и т. д.) [32, 33].

Способ регулирования непосредственным отбором расходов воды имеет те же положительные и отрицательные качества, что и способ регулирования по верхнему бьефу. На открытых оросительных системах при регулировании этим способом неизбежны непроизводительные сбросы воды, поэтому на всех каналах необходимо устройство концевых сбросов.

Важное преимущество способа непосредственного отбора расхода заключается также в отсутствии необходимости устройства перегораживающих сооружений на каналах. Благодаря этому способ регулирования непосредственным отбором постоянного расхода является единственно приемлемым для каналов с уклонами больше критического. Он позволяет пропускать через водораспределительное сооружение транзитный расход без нарушения его кинематической структуры и, таким образом, избегать строительства не только перегораживающих сооружений, но и дорогостоящих энергогасительных сооружений [21, 32].

Данный способ регулирования находит свое использование на системах горно-предгорных зон, а в местах равнинной зоны он является бесперспективным.

Достоинство способа *регулирования пропорциональным делением расходов* – отсутствие санкционированных сбросов. Отрицательные качества однозначны, как и для технологий регулирования по верхнему бьефу [21, 32, 33].

К достоинствам по моментам *регулирования по нижнему бьефу* необходимо отнести:

- обратная гидравлическая связь, благодаря которой на изменение водопотребления немедленно реагирует вся система, соответственно меняя расход головного водозабора;

- наличие резервных объемов воды для оперативного расходования при дефиците водоподдачи с головного сооружения;

- отсутствие холостых сбросов при нормальных эксплуатационных режимах.

Недостатки регулирования по нижнему бьефу заключаются в следующем:

- объем регулирования в бьефах, расположенных ниже створа изменения водопотребления, не используется для покрытия дефицита водоподдачи;

- объем регулирования расположен выше нормальной глубины наполнения канала, соответствующей максимальному расчетному расходу, поэтому необходимо наращивать отметки берм канала;

- наполнение канала увеличивается с уменьшением расхода, в связи с чем возрастает возможность заиления канала, работающего в подпорном режиме;

- уменьшение живого сечения потока с увеличением расхода канала;

- необходимость устройства в каждом бьефе аварийных автоматических сбросов;

- значительная потеря площади, вызываемая необходимостью повышения берм канала;

- необходимость получения обратной гидравлической связи требует реализации перегораживающих сооружений и на участках канала предназначенных для санкционированных сбросов. Уклоны дна канала при этом допускаются очень незначительные ($i \leq 0,0003$). Наличие на канале перепадов нарушает обратную гидравлическую связь, которую можно поддерживать специальными дополнительными устройствами;

- непригодность этой схемы для применения на существующих оросительных системах;

- большие фильтрационные потери ввиду постоянной работы каналов в подпорном режиме;

- невозможность ограничения водопотребления;
- при дефиците воды в источнике орошения на начальных участках канала нельзя обеспечить нормальные подпертые уровни, в результате чего водопотребители этой зоны весьма уязвимы в водопотреблении;
- значительные конструктивные размеры по поперечникам каналов, вызванные необходимостью увеличения расчетных расходов на случай совпадения максимальных требований водопользователей, так как по этой схеме каждому потребителю предоставляется право пользоваться водой (в пределах плана) по его усмотрению [32, 33].

Способ смешанного регулирования является более совершенным, чем способ регулирования по нижнему бьефу. При этом способе устраняются два существенных недостатка регулирования по нижнему бьефу:

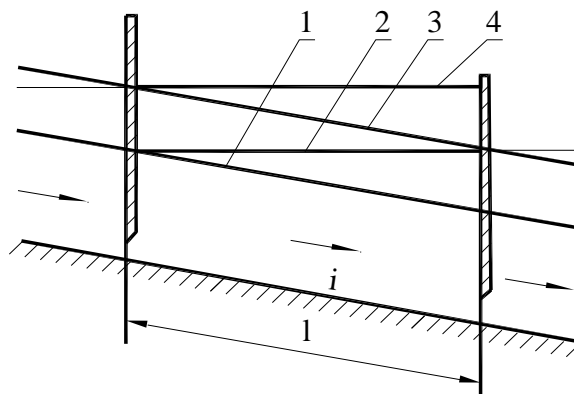
- во-первых, необходимость устройства сбросов из каждого бьефа из-за опасности переполнения бьефов и перелива воды через борта канала в случае аварий на головном или перегораживающих сооружениях;
- во-вторых, возможность опорожнения начальной части канала при дефиците водоподачи из головного сооружения.

Основные же недостатки его – увеличенные объемы строительных работ и сложные конструкции автоматических регуляторов, выполняющих двойную функцию [21, 32].

Способ регулирования постоянными перепадами концентрирует в себе достоинства смешанного регулирования и, помимо этого, технология регулирования позволяет аккумулировать в бьефах увеличенный объем воды, и тогда каждый водовыпуск может потреблять резервы не только расположенных выше элементов системы, но и расположенных ниже бьефов.

К отрицательным сторонам технологии регулирования постоянными перепадами необходимо отнести: потребность в увеличении капитальных затрат при строительстве водопроводящих систем по сравнению со смешанным регулированием. Реализация требует технологически и конструктивно сложных и, как следствие, более дорогостоящих перегораживающих регуляторов [32, 33].

Некоторое представление об объемах работ по строительству каналов при разных способах автоматического регулирования может дать рисунок 1.12.



1 – по верхнему бьефу и непосредственным отбором постоянных расходов;
2 – по нижнему бьефу; 3 – по смещенному способу; 4 – постоянными перепадами

Рисунок 1.12 – Схема относительного расположения высоты берм канала при автоматическом регулировании

Преимущество *способа регулирования с перетекающими объемами* по сравнению с регулированием по нижнему бьефу видится в уменьшении объемов регулирования.

Отрицательные моменты схемы, можно трактовать как: реализация технологии предполагает наличие санкционированных сбросов; в обязательном порядке необходимо устройство связи (электрической, гидравлической, комбинированной) между элементами автоматических регуляторов; рассматриваемая технология весьма чувствительна к резонансным явлениям, что должно предполагать ее исследование на предмет данного вопроса [41].

Основными положительными сторонами *способа регулирования с перекрестными связями* являются отсутствие надобности реализовывать дополнительные объемы по длине канала и перспективность реализации данной технологии на каналы с уклонами в плоть до критических.

Основными положительными сторонами *регуляторов уровня прямого действия* отмечаются конструкционная технологичность и, как следствие, обеспеченная надежность. Однако в связи с тем, что физическая сила необходимая для передвижения рабочего органа производится непосредственно воспринимающим

устройством, когда наблюдается отход значений управления от предписанных параметров от заданного значения, то перемещение регулирующих органов обеспечивается лишь за счет не малых рабочих усилий. Для выработки же большого усилия приходится увеличивать размеры чувствительного элемента, что приводит к высокой материалоемкости, а это экономически невыгодно и конструктивно не оправдано. Кроме того, обратная реакция на чувствительный элемент понижает его чувствительность, что приводит к увеличению статической ошибки.

Регуляторы же уровня непрямого действия имеют выше чувствительность, большую точность регулирования, но они сложнее по устройству.

Анализируя представленное необходимо констатировать, что многими учеными, работающими в области водораспределения на рисовых оросительных системах, отмечаются следующие особенности данного процесса [13, 14, 42] – водораспределение необходимо осуществлять на больших площадях. Во многих случаях речь может идти о площадях в несколько тысяч гектаров и об объемах оросительной воды в сотни тысяч кубометров. В таких условиях использование электрической энергии, для управления устройствами водораспределения особенно на внутрихозяйственном звене оросительной системы становится малоэффективным.

В подобных условиях, наиболее рациональными становятся устройства водораспределения гидравлического действия, ряд из которых показал хорошую работоспособность в практических условиях [39, 40, 53, 54].

Однако в устройствах водораспределения гидравлического действия имеются недостатки, заложенные в принципе действия подобных конструкций. Гидравлическая энергия воды, используемая для управления рабочим органом регулятора, к моменту перекрытия проходного сечения, практически уравнивается как со стороны полости управления, так и со стороны управляемой среды [55, 56]. Такое состояние процесса ведет к невозможности полного перекрытия отверстия истечения и наличию, в регуляторах гидравлического действия нерегулируемых протечек (потерь воды).

Для устранения указанных недостатков была поставлена следующая цель работы: повышение водообеспеченности внутрихозяйственной сети ороситель-

ных систем за счет гидравлических регуляторов, исключая нерегулируемые протечки оросительной воды. При этом в плане исследований, кроме уже представленного анализа способов и средств водораспределения, предстоит решить следующие задачи:

- разработать гидравлические регуляторы исключая нерегулируемые протечки для внутрихозяйственного звена на основе теоретических исследований;
- выполнить лабораторные исследования основных и управляющих расходных характеристик регуляторов, в том числе в САЕ-системе;
- выполнить комплексные натурные исследования основных и управляющих расходных характеристик регуляторов, в том числе в САЕ-системе;
- осуществить сравнительный анализ разработанных гидравлических регуляторов, исключая нерегулируемые протечки;
- разработать методику инженерного расчета регуляторов, исключая нерегулируемые протечки для внутрихозяйственного звена оросительных систем;
- выполнить экономическое обоснование применения регуляторов, исключая нерегулируемые протечки.

Выводы

На сегодняшний день наиболее эффективными признаны средства водораспределения на внутрихозяйственной сети с гибкими рабочими органами, как наиболее полно отвечающие работе в системе регулирования. Дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства однозначно будет идти по пути выбора наиболее эффективных систем. В этом случае как никогда актуально исключить нерегулируемые протечки, что невозможно, не осуществив исследование технических средств, наиболее приспособленных для работы на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем или вообще специально разработанных под реализацию конкретных задач технологии. Проанализированные способы регулирования позволили увидеть их большое многообразие. В свою очередь, любые способы реализуются регуляторами того или иного принципа действия. Однако эффектив-

ность работы данных регуляторов напрямую зависит от исключения нерегулируемых протечек.

Вместе с тем конструктивная схема регуляторов с ленточными запорными органами предельно лаконична, а значит сами регуляторы эксплуатационно надежны. В свою очередь конструктивные доработки позволяют исключить нерегулируемые протечки обеспечивая рациональное использование воды.

Задачи исследования:

1. Разработать теоретическую модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем.

2. Разработать и обосновать параметры и режимы гидравлических регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки при внутрихозяйственном водораспределении.

3. Выполнить лабораторные исследования основных и управляющих расходных характеристик гидравлических регуляторов.

4. Выполнить комплексные натурные исследования основных и управляющих расходных характеристик регуляторов.

5. Осуществить сравнительный анализ разработанных гидравлических регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки.

6. Разработать методику инженерного расчета регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки, для внутрихозяйственного звена оросительных систем.

7. Выполнить экономическое обоснование применения регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА НА ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОМ ЗВЕНЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

2.1 Обоснование теоретической модели процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративной системы

Плодородные земли – национальное достояние любого государства. Отношение к земле, как к продукту, обеспечивающему не только современное состояние общественно-экономических отношений в обществе, но и как к продукту, от которого зависит будущее государства, характеризует зрелость общества, государства и народов, формирующих их как единое целое. Без осознания неизбежного признания за плодородной землей статуса основополагающей ценности государства, принадлежащего ему с правом не только бережного отношения, сохранения, но и преумножения потенциала, нельзя с уверенностью говорить о положительной динамике развития государства.

Исходя именно из такой постановки вопросов, мелиоративные объекты должны являться объектами повышенного внимания и ответственности, что в свою очередь, накладывает особые требования к методам оценки влияния проектируемых и эксплуатируемых мелиоративных систем [57, 58].

Цена принимаемых решений очень велика. Необходимо определить оптимальный перечень мелиоративных работ, обеспечивающий максимальную эффективность мелиорации при заданных ограничениях на капиталовложения и другие ресурсы.

В последние годы из-за недостатка средств на мелиоративные мероприятия углубились явления вторичного засоления и осолонцевания почв в результате вымывания из пахотного слоя гумуса, кальция, коллоидных и питательных веществ.

В определенном количестве случаев, на практике, имеем запросы то производителей сельскохозяйственной продукции к управлениям оросительных систем,

многократно превышающие реальные потребности производства. В конечном итоге результатом являются переполив, прямо пропорционально коррелирующие с повышением значений отметок у грунтовых вод или попросту выводу оросительной воды за систему, как выведенной из оборота.

В этой связи требуется обоснование приемов регулирования процессов на мелиорируемых землях.

В современном сельскохозяйственном производстве особенно важна проблема устойчивости агроландшафта. Для достижения оптимального уровня экологического равновесия и устойчивости агроландшафта необходим количественный подход. При этом экологические требования должны быть приоритетными.

Оптимизация распределения ресурсов при планировании мелиоративных мероприятий – сложная квалитетическая задача. Постановка задачи при распределении ресурсов состоит в производстве сельскохозяйственной продукции в заданном объеме при сохранении экологической устойчивости агроландшафта. В каждом мелиоративном проекте проводится анализ влияния намечаемых мероприятий на окружающую среду, определяются меры по нейтрализации или ограничению ущерба.

Внедрение отдельных элементов оптимизации в имитационную модель водохозяйственной системы является наиболее рациональным подходом. Элемент оптимизации, которым в нашем случае является регулятор расхода или уровня воды, позволит удовлетворить требования потребителей.

Особенность оценки эффективности природоохранных проектов состоит в необходимости учета вероятностного характера происходящих процессов. Степень возможности определенных сценариев характеризуется их вероятностью или вероятностными распределениями. Для учета стохастического характера процессов необходим выбор подходящих вероятностных моделей.

Отличием проектов, разрабатываемых для детерминированных ситуаций, от проектов, учитывающих факторы неопределенности, состоит в том, что во втором случае условия реализации проекта неизвестны.

На практике необходимо повысить качество водораспределения на внутрихозяйственном звене оросительных систем. Однако каков ущерб от намечаемого мероприятия в совокупности обязательных к рассмотрению факторов и есть ли возможность оценки влияния каждого или их групп на конечный результат? Естественно, такая широта постановки вопроса не может быть решена экспериментально или только анализом и обобщением априорной информации. Именно для выхода из подобных ситуаций наиболее приемлемо математическое моделирование процессов, возможностями которого далее и воспользуемся. Была поставлена цель – разработать теоретическую модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем, за счет внедрения на оголовках водовыпусков регуляторов расхода или уровня воды, при учете квалиметричности задачи.

Эколого-экономический ущерб, нанесенный окружающей природной среде, заключается в определении фактических и возможных (предотвращаемых) материальных и финансовых потерь и убытков от ухудшения в результате антропогенного воздействия качественных и количественных параметров окружающей природной среды в целом и ее отдельных эколого-ресурсных компонентов (водные ресурсы, земельные ресурсы, ресурсы растительного и животного мира) [59].

В основе разрабатываемой математической модели заложены принципы количественных и качественных методов оценок природно-климатических, почвенных, водных и эколого-агроландшафтных критериев и показателей для принятия оптимальных решений на основе аппроксимации имеющихся данных.

Математические модели такого типа не могут быть конечного вида и находятся в состоянии совершенствования (дополнения) на протяжении всего своего времени использования. Путем добавления в них новых данных по рассматриваемым природно-климатическим, почвенным, водным и эколого-агроландшафтным показателям и критериям, а также степени их взаимовлияния друг на друга при различных условиях их сочетания, программа коррелирует принимаемые решения для принятия наиболее оптимально-адекватного управленческого решения для конкретного хозяйства.

Регуляторы расходов воды совместно с внутривоздейственным звеном и водораспределительным каналом представляют систему автоматического регулирования (САР). За параметр регулирования принимаем уровень воды, так как именно стабильно управляемый уровень – залог нормального функционирования оросительной техники.

Составим математическую модель изменения ущерба от мероприятий, обеспечивающих удовлетворительное мелиоративное состояние системы, максимальную прибыль с учетом потерь от неблагоприятного состояния при минимизации эколого-экономического ущерба.

Пусть предотвращенный эколого-экономический ущерб – S и предотвращенный эколого-экономический ущерб с учетом выполняемых мероприятий $S(t)$ (устройство и монтаж регуляторов расхода или уровня воды, либо восстановление при отказе) – непрерывная функция времени t . При $t = 0$, $S(0) = S_0$ и функция $S(t)$ – монотонно убывающая. Обозначим R – вероятность наступления благоприятного состояния в системе.

Под отказом системы нужно понимать следующее: отказ или повреждение любого элемента, приводящее к мгновенному самопроизвольному отключению САР, ухудшение параметров отдельных элементов сверх допустимых значений, при которых может произойти самовыключение в любой момент времени. Одни отказы будут явными, а другие – скрытыми. Таким образом, в процессе эксплуатации мелиоративная система, кроме работоспособного состояния может находиться в режиме скрытого отказа, или в режиме явного отказа. Все эти события многократны и являются случайными. Математическим аппаратом для исследования этих состояний является теория вероятностей [59]. Заметим, что вероятность $R(S)$ зависит от выполненных мероприятий. Намечаемые мероприятия образуют пуассоновский поток интенсивности λ . В работе [60] основные характеристики случайных величин – состояние и промежуток времени до наступления благоприятного состояния. Регуляторы расхода или уровня воды являются ответственной составной частью системы получения продукции, и время их включения должно быть жестко регламентировано по времени суток.

Плотность вероятностей промежутка времени до наступления благоприятного состояния определяется следующим выражением:

$$p(\tau) = \lambda R(S(\tau)) \exp\left(-\int_0^{\tau} \lambda R(S(t)) dt\right) \quad (2.1)$$

Обозначим S_m – максимальный ущерб, при котором неудовлетворительное состояние системы наступает непременно, так что $R(S_m)=1$ [61]. К такому мелиоративному мероприятию относится отсутствие регуляторов расхода или уровня воды и отсутствие САР, либо отказ регуляторов и САР. При выборе способа управления цель оптимального управления – нахождение экстремального значения функционала.

Пусть $K(\tau)$ – эколого-экономический ущерб, который будет нанесен агроландшафту, если удовлетворительное состояние системы наступит в момент времени τ .

Составим выражение для дохода Q , используя канонический вид уравнения (2.1):

$$Q = \int_0^{\infty} (S(\tau) - K(\tau)) \lambda R(S(\tau)) \exp\left(-\int_0^{\tau} \lambda R(S(t)) dt\right) d\tau \quad (2.2)$$

и потребуем, чтобы выполнялось условие $Q \Rightarrow \max_{S(\tau)}$, что может быть представлено и в виде дифференциального уравнения. Необходимо найти такой вариант развития, который обеспечит максимум функционала.

Дифференциальное уравнение для оптимального значения $S(\tau)$ получим по методу вариационного исчисления [62]:

$$\left[2 - \frac{R(S(\tau))R''(S(\tau))}{(R'(S(\tau)))^2}\right] S'(\tau) - \lambda \frac{R^2(S(\tau))}{R'(S(\tau))} - K'(\tau) = 0. \quad (2.3)$$

Дифференциальное уравнение (2.3) – первого порядка относительно $S(\tau)$.

Чтобы найти произвольную постоянную, входящую в общее решение (2.3), составим дополнительное условие, положив на экстремали $\tau = 0$. Получим:

$$\begin{aligned} & \frac{R(S(0))}{R'(S(0))} + S(0) - K(0) = \\ & = \int_0^{\infty} (S(t) - K(t)) \lambda R(S(t)) \cdot \exp\left(-\int_0^t \lambda R(S(v)) dv\right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Далее рассмотрим частный случай выражения эколого-экономического ущерба $K(\tau) = K_0\tau$. Дифференциальное уравнение для линейной зависимости $K(\tau)$ будет иметь вид:

$$\left[2 - \frac{R(S(\tau))R''(S(\tau))}{(R'(S(\tau)))^2}\right] S'(\tau) - \lambda \frac{R^2(S(\tau))}{R'(S(\tau))} - K_0 = 0 \quad (2.5)$$

Можно показать, что решение уравнения (2.5) имеет вид $S(\tau) = S_0$.

Тогда $S'(\tau) = 0$ и в результате получаем алгебраическое уравнение:

$$-\lambda \frac{R^2(S_0)}{R'(S_0)} = K_0 \quad (2.6)$$

Если принять зависимость выполняемых мероприятий устройства и монтажа регуляторов расхода или уровня воды, либо восстановления последних при отказах от времени функцией, то получим выражение:

$$S(t) = S = S_m + (S_0 - S_m)e^{-\alpha t},$$

в этом случае $S(0) = S_0$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = S_m$.

Исходя из полученного, выражение (2.6) принимает следующий вид, позволяющий анализировать предотвращённый эколого-экономический ущерб

$$K_0 = \lambda \frac{(S_M - S_0)^2}{S_M - S_m} \quad (2.7)$$

где S_m – максимальный ущерб, при котором неудовлетворительное состояние системы наступает непременно, $R(S_m) = 1$; S_M – минимальный ущерб, при котором не будет ощущаться отрицательного воздействия природной среде (агроландшафту), $R(S_M) = 0$, а именно монтаж на оголовках водовыпусков регуляторов расхода или уровня воды и автоматизация процесса водоподачи.

В рамках предложенной математической модели вычислены основные характеристики состояния объекта – плотность распределения вероятностей рас-

смаатриваемой случайной величины, ее математическое ожидание и дисперсия. Из полученной формулы (2.7) видно, что предложенная модель допускает варьирование условий эксплуатации и перебор различных вариантов разработанных гидравлических регуляторов. Также возможен прогноз на количественном уровне влияния изменений условий эксплуатации.

Экологические проблемы должны быть учтены на всех уровнях планирования. Необходимо создать оптимальную систему природопользования и землепользования, сочетающую экономическую эффективность и экологическую устойчивость. Когда определяется воздействие управления может реализоваться потребность замещения управляющих воздействий друг на друга, однако они должны быть при этом сходного направления, обеспечивая перемещение объекта управления в данное состояние. Намеченный подход позволяет решить эту задачу и найти оптимальное соотношение мероприятий по предотвращению экологического ущерба. Предложенная модель дает возможность изменять входные условия, имитировать реальный режим эксплуатации, исследовать отклики объекта на изменение начальных условий, на изменение параметров моделируемой системы. В ходе разработки САР сопоставляется несколько вариантов.

Разработанная модель может быть использована для синтеза и анализа многоплановых и многофакторных конкретных вариантов по мелиоративным системам, формирующим не только их эффективность, при хозяйственной деятельности, но и при учете охраны всего агроландшафта в целом, для вычисления этапности реализации тех или иных действий на системе, оперативной подачи и получения информации по действиям ответственным за состояние земель, обеспеченных орошением.

Принятая концепция эколого-экономического ущерба окружающей среде означает фактические экологические, экономические или социальные потери, возникшие в результате нарушения природоохранного законодательства, хозяйственной деятельности человека [59].

Предотвращенный экологический ущерб земельным ресурсам представляет собой оценку в денежной форме возможных отрицательных последствий, связан-

ных с ухудшением и разрушением почвенного покрова под воздействием антропогенных (техногенных) факторов, (выражающихся в количественном и качественном ухудшении состава и свойств почвы, снижении природохозяйственной значимости сельхозугодий, деградации почв и земель, захламлении и загрязнении почв и земельных ресурсов отходами производства и потребления), которые удалось избежать (предотвратить, не допустить) в результате своевременного проведения тех или иных почвоохранных, природоохранных и других мероприятий, реализации природоохранных программ [59].

Полученная нами теоретическая модель предотвращения эколого-экономического ущерба на внутрихозяйственном звене мелиоративных систем, предполагает анализ мероприятий при минимальных затратах, от которых на системе обязательно наступит положительный эффект, и она начнет приносить прибыль. Однако, этот анализ не рационально осуществлять дискретно, в связи с потерей целостности математической модели от взаимодействия факторов. При этом более углубленный анализ и оптимизацию параметров модели предотвращения эколого-экономического ущерба на мелиоративной системе оперативно можно реализовать, используя предложенную нами математическую модель процесса, на основе численного моделирования. Очевидно, что реализация предложенной нами математической модели процесса, основанной на теории вероятности, тем более с учетом квалиметричности задачи, предполагает накопление данных по системе и даже их непрерывный анализ, с последующим использованием в формировании усовершенствованной модели.

В настоящее время наиболее очевидным фактором на мелиоративной системе на внутрихозяйственном звене, возможным к оценке при предотвращении эколого-экономического ущерба, является фактор величины предотвращенного, в результате природоохранной деятельности, экологического ущерба от деградации почв и земель, от внедрения предлагаемых регуляторов расхода и уровня воды, который может быть рассчитан по формуле:

$$K_0 = N_C \times S \times K_3 \times K_{\Pi},$$

где N_C – норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельско-

хозяйственных угодий [59]; S – площадь земель, га; $K_э$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории [63]; $K_п$ – коэффициент особо охраняемых территорий [63].

В качестве примера осуществим привязку одного фактора по математической модели для хозяйства Красноармейского района Краснодарского края. Производство риса в хозяйстве осуществляется на площади 520 га при наличии 87 чеков. Использование регуляторов уровня или расхода воды в количестве 174 на все хозяйство позволяет предотвратить деградацию почв при исключении нерегулируемых протечек на площади равной 52 га. Тогда предотвращённый эколого-экономический ущерб на мелиоративной системе определится как:

$$K_0 = 47\,200 \frac{\text{руб}}{\text{га}} \times 52 \text{ га} \times 1,9 \times 1,0.$$

Таким образом, разработанные регуляторы с порогом на седле или с выступом на ленте при предотвращении нерегулируемых протечек в размере 10 % обеспечивают величину предотвращенного, в результате природоохранной деятельности, экологического ущерба от деградации почв и земель, в размере 4 663 тыс. рублей.

Технико-экономическое обоснование разработанных регуляторов с порогом на седле или с выступом на ленте, предотвращающих эколого-экономический ущерб, детально рассмотрено в главе 5 данной работы.

2.2 Конструктивно-технологические решения средств водораспределения для внутрихозяйственного звена оросительных систем

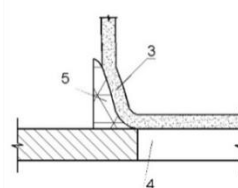
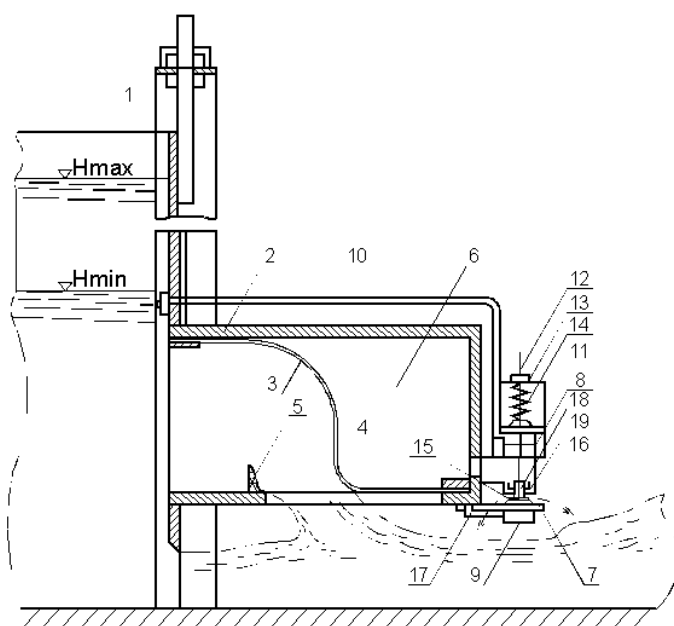
Полученная теоретическая модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба, при повышении водообеспеченности на внутрихозяйственном звене оросительных систем, прежде всего, должна быть ориентирована на конкретные мероприятия, посредством которых можно достичь реального результата повышения водообеспеченности и предотвращения ущерба.

Обобщающий подход и оценка работы регуляторов гидравлического принципа, может показать, что на основании учета сил реализующих функционирование устройств, реально должны и на самом деле имеют место быть нерегулируемые протечки. Для исключения представленного существенного недостатка разработаны следующие устройства: устройство, предназначенное для подачи расхода воды постоянного во времени [64], устройство обеспечивающее возможность управления подаваемым расходом воды для диафрагмовых водовыпусков [65] и еще одно устройство функционально определяющее возможность управления подаваемым расходом воды [66]. Осуществим рассмотрение оговоренных устройств.

Устройство, предназначенное для подачи расхода воды постоянного во времени. Эффективное устранение нерегулируемых протечек, определяется тем, что в устройстве предназначенном для подачи расхода воды постоянного во времени, имеющем трубу для выпуска воды четырехугольного сечения со специально оформленным опорным местом, закрываемым рабочим органом, реализованным в виде эластичного элемента, определяющий с внутренним пространством трубы для выпуска воды объем, изменение давления в котором ведет к перемещению эластичного элемента, то есть к управлению им. Объем во внутреннем пространстве трубы для выпуска воды имеет связь с отметками воды источника расположенного выше и оборудован водопропускной связью с ним. Устройство включает 2-ой мембранный корпус, где на самом эластичном рабочем элементе образован клапан, который представляется в образе втулки на которой организованы вырезы с определенным видом поперечного сечения, причем внутренний объем последней имеет связь с объемом во внутреннем пространстве трубы для выпуска воды. Объем во внутреннем пространстве трубы для выпуска воды благодаря штоку организует связь с 1-ым мембранным корпусом, полость которого, в свою очередь гидравлически объединена с отметками воды источника, расположенного выше. Седло со стороны верхнего бьефа на грани имеет порог, выполненный в виде водослива с ваку-

умным криволинейным профилем, повернутым в сторону контакта с гибкой лентой, а высота порога тем больше, чем больше жесткость гибкой ленты.

Сущность технического решения поясняется рисунками 2.1.



узел с порогом

Рисунок 2.1 –Стабилизатор расхода воды с порогом для исключения нерегулируемых протечек

Стабилизатор расхода воды содержит плоский щит 1 с агрегатированной на нем трубой 2 четырехугольного сечения, для выпуска воды. Во внутреннем пространстве трубы предназначенной для выпуска воды находится рабочий орган 3 выполненный из эластичного материала. Эластичный элемент 3 зафиксирован во внутреннем пространстве трубы 2 предназначенной для выпуска воды таким образом, что конец элемента 3 находящийся ближе ко входу зафиксирован сверху трубы 2, тогда как конец элемента 3, находящийся дальше от входа, зафиксирован снизу трубы 2. Седло 4 со стороны верхнего бьефа, на грани имеет порог 5, выполненный в виде водослива с вакуумным криволинейным профилем, повернутым в сторону контакта с гибкой лентой, а высота порога тем больше, чем больше жесткость гибкой ленты.

Эластичный элемент 3 создает во внутреннем пространстве трубы 2 обеспечивающей попуск воды, объем 6 со сливным каналом 7. Стабилизатор расхода воды содержит 1-ый 8 и 2-ой 9 мембранные корпуса. Внутренний объем 1-го мембранного корпуса 8 имеет гидравлическую связь 10 с отметками источника, расположенного выше. Гибкий элемент 11 1-го мембранного объема 8 посред-

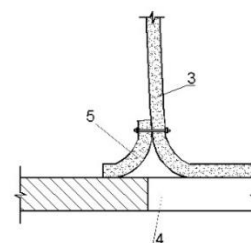
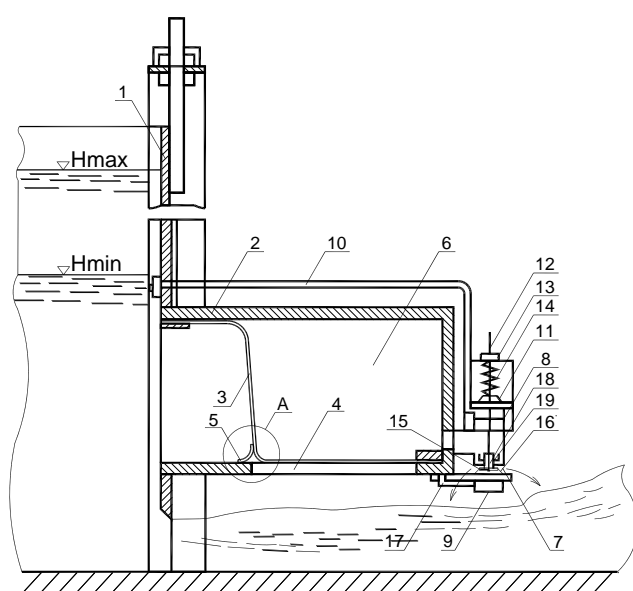
ством спицы 12 с гайкой установки 13 и компенсационным элементом 14 соединен с жестким центром 15, закрепленным на мембране 16 2-го мембранного корпуса 9, имеющего гидравлическую связь 17 с внутренним объемом воды в трубе 2 выполняющим функцию управления рабочим органом из эластичного материала. Во внутренней части гидравлической связи 7 обнаруживается клапан, реализованный по втулку 18 с выемками определенной формы 19. Нижнее основание втулки 18 закреплено на мембране 16 второго мембранного корпуса 9.

Регулятор расхода воды. Технический результат, а именно устранение нерегулируемых протечек, достигается тем, что в регуляторе расхода воды, содержащем водовыпускную трубу прямоугольного сечения с седлом, перекрываемым запорным органом, выполненным как эластичный элемент, образующий с оболочкой трубы, предназначенной для попуска воды, объем для организации движения эластичного рабочего элемента. При этом данный объем имеет гидравлическую связь с источником расположенным выше, а также приспособлением для опорожнения объема, причем на котором устроен элемент агрегатированный штоком с мембраной в объеме, полость которого имеет материальную связь посредством жидкости с источником расположенным выше в командном отношении, рабочий орган из эластичного материала на отрезке его контактирования с гранью трубы обеспечивающей попуск воды, со стороны верхнего бьефа, снабжен консольно закрепленной гибкой вставкой шириной большей ширины щели при полностью закрытом запорном органе.

Сущность технического решения поясняется рисунком 2.2.

Регулятор расхода воды содержит плоский щит 1 с агрегатированной трубой 2, поперечный профиль которой представлен четырехугольником. В трубе 2 функционирует, посредством перемещения, эластичный элемент 3. На нем со стороны верхнего бьефа, консольно закреплена гибкая вставка 5. Гибкая вставка 5 имеет ширину большую ширины щели седла 4 при полностью закрытом запорном органе 3. Эластичный рабочий орган 3 составляет с оболочкой трубы 2, предназначенной для попуска воды, объем 6, благодаря изменению давления в котором происходит изменение положения эластичного элемента. Объем 6 также снабжен

сливным каналом 7. Регулятор включает первый 8 и второй 9 мембранные корпуса. Внутреннее пространство первого мембранного корпуса 8 имеет гидравлическую связь в виде трубопровода 10 с источником воды расположенном выше. Мембрана 11 первого мембранного корпуса 8 имеет материальную физическую связь в виде трубки 17 с объемом 6, благодаря изменению давления в котором происходит изменение положения эластичного элемента. Во внутреннем пространстве короткой трубки 7 установлен клапан, выполненный в виде втулки 18 со специальными порфированными выемками 19. Нижнее основание втулки 18 закреплено на мембране 16 второго мембранного корпуса 9.



узел с выступом на ленте

Рисунок 2.2 – Регулятор расхода воды с выступом на ленте для перекрытия проходного отверстия в седле

Регулятор расхода воды для диафрагмовых водовыпусков. Технический результат, а именно устранение несанкционированных протечек, достигается тем, что в регуляторе, содержащем трубу, предназначенную для попуска воды через устройство с опорной частью (с седлом) закрываемым запорным органом, выполненным как эластичный элемент, образующей с оболочкой трубы, предназначенной для попуска воды, объем для организации движения эластичного рабочего элемента. При этом данный объем имеет гидравлическую связь с источником, расположенным выше, а также приспособление для опорожнения объема. В свою очередь полость объема имеет материальную связь посредством воды с источником, расположенным выше в командном отношении, седло со стороны верхнего

бьефа на грани имеет порог с криволинейным профилем, повернутым в сторону контакта с гибкой лентой, которая имеет вставку из гибкой ленты с жесткостью меньшей жесткости гибкой ленты запорного органа, при этом вставка расположена в месте соприкосновения с порогом в момент герметизации проходного отверстия.

Сущность технического решения поясняется рисунками 2.3–2.5.

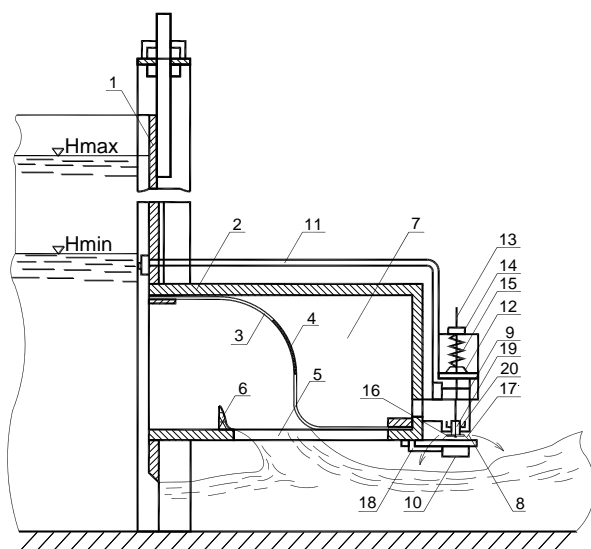


Рисунок 2.3 – Общий вид регулятора

Регулятор расхода воды для диафрагмовых водовыпусков содержит плоский щит 1 и агрегатированную с ним трубу 2 предназначенную для попуска воды, четырехугольного сечения.

Во внутренней полости трубы 2 предназначенной для попуска воды, четырехугольного сечения, находится рабочий орган 3, реализованный из эластичного материала. При этом на рабочем органе 3 имеем консольно расположенный элемент 4 также из эластичного материала.

Рабочий орган 3, реализованный из эластичного материала и находящаяся на нем консольно расположенная вставка 4 фиксированы своим концом находящимся ближе ко входу, к верхнему листу корпуса регулятора, а следующим концом к нижнему листу корпуса, на котором также расположено седло 5. Седло 5 со стороны верхнего бьефа, на грани имеет порог 6, выполненный в виде водослива с вакуумным криволинейным профилем, причем криволинейный профиль повернут в сторону контакта со вставкой 4 гибкой ленты 3, а высота порога 6 тем больше,

чем больше жесткость гибкой ленты 3 и ее вставки 4. При этом вставка 4 расположена в месте соприкосновения с порогом 6 в момент герметизации проходного отверстия. Гибкая лента 3 со вставкой 4 образует с корпусом водовыпускной трубы 2 управляющую полость 7 со сливным каналом 8. Регулятор содержит первый 9 и второй 10 мембранные корпуса. Внутреннее пространство первого мембранного корпуса 9 имеет гидравлическую связь в виде трубопровода 11 с источником воды расположенном выше. Мембрана 12 корпуса 9, имеющая гидравлическую связь в виде трубки 17 с объемом 6, благодаря изменению давления в котором происходит изменение положения эластичного элемента. Во внутреннем пространстве короткой трубки 8 установлен клапан, выполненный в виде втулки 19 со специальными профилированными выемками 20. Нижнее основание втулки 19 закреплено на мембране 17 второго мембранного корпуса 10.

В результате работы регулятора расхода воды для диафрагмовых водовыпусков обеспечивается уменьшение неконтролируемых протечек до 2 % и менее.

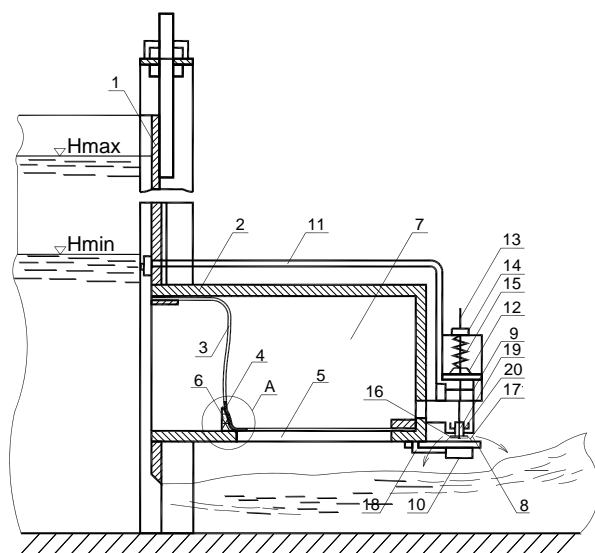


Рисунок 2.4 – Общий вид регулятора расхода воды для диафрагмовых водовыпусков с перекрытым проходным отверстием в седле

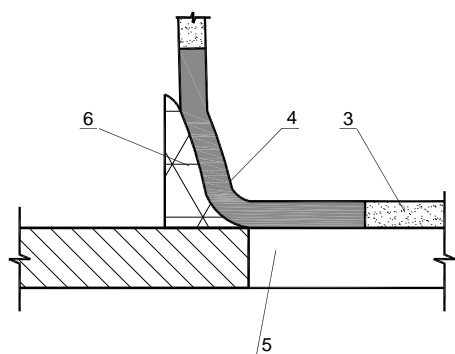


Рисунок 2.5 – Узел А-совместная работа порога и ленты запорного органа

Таким образом, предложенные гидравлические регуляторы расхода и уровня воды для внутрихозяйственного звена мелиоративных систем, прежде всего, позволяют решить одну из главных задач, а именно исключение нерегулируемых протечек, а во-вторых позволяют путем математического анализа реализовать процесс предотвращения эколого-экономического ущерба.

Выводы

1. Разработана теоретическая модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на мелиоративной системе. В объеме разработанной математической модели определены основные характеристики эколого-экономического состояния объекта.

2. Разработаны гидравлические регуляторы с ленточными запорными органами, исключающими нерегулируемые протечки. Стабилизатор расхода воды (пат. РФ 2559680) содержит плоский щит с закрепленной на нем водовыпускной трубой прямоугольного сечения. Внутри водовыпускной трубы размещен запорный орган, выполненный в виде гибкой ленты, закрепленной одним концом к верхней стенке водовыпускной трубы, а другим – к седлу в основании водовыпускной трубы. Седло со стороны верхнего бьефа, на грани имеет порог, выполненный в виде водослива с вакуумным криволинейным профилем, повернутым в сторону контакта с гибкой лентой, а высота порога тем больше, чем больше жесткость гибкой ленты. Регулятор расхода воды (пат. РФ 2549396) содержит плоский щит с закрепленной на нем водовыпускной трубой прямоугольного сечения.

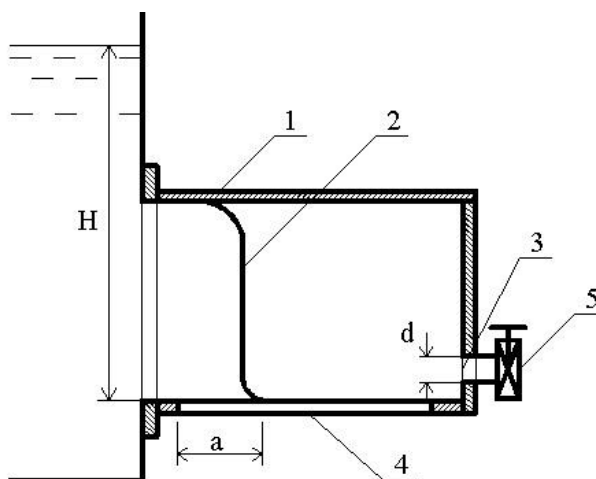
Внутри водовыпускной трубы размещен запорный орган, выполненный в виде гибкой ленты, снабженной на участке ее примыкания к грани проходного сечения водовыпускной трубы, со стороны верхнего бьефа, консольно закрепленной гибкой вставкой. Гибкая лента закреплена одним концом к верхней стенке водовыпускной трубы, а другим – к седлу в основании водовыпускной трубы. Гибкая вставка имеет ширину большую ширины щели седла при полностью закрытом запорном органе. Гибкая лента образует с корпусом водовыпускной трубы управляющую полость со сливным каналом. Регулятор расхода воды для диафрагмовых водовыпусков (пат. РФ 2557376) содержит плоский щит с закрепленной на нем водовыпускной трубой прямоугольного сечения. Внутри водовыпускной трубы размещен запорный орган, выполненный в виде гибкой ленты со вставкой также в виде гибкой ленты, тех же геометрических размеров, но меньшей жесткости. Лента со вставкой закреплена одним концом к верхней стенке водовыпускной трубы, а другим – к седлу в основании водовыпускной трубы. Седло со стороны верхнего бьефа, на грани имеет порог, выполненный в виде водослива с вакуумным криволинейным профилем, причем криволинейный профиль повернут в сторону контакта со вставкой гибкой ленты, а высота порога тем больше, чем больше жесткость гибкой ленты и ее вставки.

ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО РЕГУЛЯТОРА

3.1 Методики и аппаратура гидравлических исследований

Анализ выводов ученых [67, 68, 69] и приведенные в предыдущей главе материалы определили следующие факторы к исследованию: открытие ленты по седлу регулятора, диаметр отверстия из управляющей полости, рабочий напор на входе в регулятор [70, 71].

Схема лабораторного ленточного регулятора воды с размерами основных элементов на входе 100×100 мм, часть из которых обоснована в предыдущей главе, представлена на рисунке 3.1.



- 1 – корпус формирующий регулятор, 2 – эластичный рабочий орган,
3 – проход для слива, 4 – седло, 5 – задвижка регулирования

Рисунок 3.1 – Принципиальный чертеж регулятора с эластичным рабочим органом

Эксперимент проводился при определенном состоянии системы за который брался набор определенных значений конструктивных и технологических факторов регулятора [72, 73, 74]. Анализируемые величины отмечены такие: отметки свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор с эластичным рабочим органом и величина открытия между кромкой седла и прораном, рабочий

напор в верхнем бьефе [75]. Каждое состояние системы являлось условием проведения одного из испытаний [76, 77, 78].

С целью получения объективно-достоверной информации о физических процессах, протекающих в регуляторе с эластичным рабочим органом от принятых к рассмотрению значений надо получить их взаимосвязь через математическое уравнение – то есть как регрессионной модели [79, 80, 81].

Математическая модель по конкретным аргументам будет числовым результатом значимых показателей влияния, принятого к исследованию на функцию. В мире исследователей математические модели обычно получают по виду как полиномы, найденные по результатам статического анализа исследовательских значений, выявленных на объекте исследования [82, 83].

Аналитическая работа над полученным вышеописанным способом материалом будет представлять возможность: иметь материал для выявления фактического состояния и хода развития явлений, протекающих в регуляторе, в значении от конструктивно-технологических параметров, назначенных для изучения; рассчитывать регуляторы, анализировать их возможное состояние и проектировать их, а также поиметь сообщения, которые могут использоваться для регулирования технологическими процессами в регуляторах [84, 85].

Получение регрессионного уравнения в основании которого лежат данные исследований основано на методе наименьших квадратов [86, 87, 88]. Реализация метода даст квазиоптимальную оценку моментов распределения ошибки при проведенных исследованиях и на основе результатов промежуточной обработки акцентировать внимание на адекватности модели.

При этом необходимо учитывать, что метод наименьших квадратов можно использовать лишь, учитывая ряд предписаний, изложенных в [89, 90, 91], которые легли в основу и осуществленных исследований:

1. Математическое ожидание величины \tilde{y}^i равно действительному значению \hat{y}^i :

$$E(\tilde{y}^i - \hat{y}^i) = E(\tilde{e}) = 0 \quad (3.1)$$

где \tilde{y}^i и \hat{y}^i – по порядку приведенное исследовательское и выявленное по модели значение исследуемого значения;

$\tilde{\epsilon}^i$ – случайная ошибка.

2. Значение эксперимента в месте x^i не влияет на значение эксперимента в месте x^j , т. е.:

$$E[\tilde{\epsilon}^i \cdot \tilde{\epsilon}^j] = 0 \quad i \neq j \quad (3.2)$$

3. Дисперсия результатов исследований в любых местах x^i одинакова, т. е.:

$$D(\tilde{\epsilon}^i) = \delta^2 \quad \text{при всех } i \quad (3.3)$$

Если $y = (\hat{y}^1; \hat{y}^2; \dots; \hat{y}^N)'$ – вектор результатов наблюдений, а $x = [x_{ji}]$ – полученная матрица параметрами $n \times m$ исследований по значительному числу аргументов x_j , то реализованная по методу наименьших квадратов математическая модель способствует определению как отклонение аргументов x_j преобразует изменяемую y .

Каждое из N значений y^i представляется со случайной ошибкой \mathcal{E}^i и нелинейно зависит от $k+1$ неизвестных коэффициентов a_i ; $i = 0, k$, что установлено учеными [91], то взаимосвязь в виде математических символов может быть представлена как:

$$y = f(x, a) + e \quad (3.4)$$

где $f(x, a)$ – определенная функция, нелинейная относительно оцениваемых коэффициентов a ;

x – вектор размера $n \times m$ независимых аргументов;

a – вектор независимых коэффициентов с элементами $a_0; \dots; a_n$;

e – вектор ошибок при исследовании параметром $n \times 1$;

y – вектор зависимых значений аргумента параметром $n \times 1$.

Значения вектора коэффициентов \hat{a} получаем посредством применения метода наименьших квадратов на основе выборки x^i , $i=1, \dots, N$, в результате использования системы нормальных уравнений:

$$(x' \cdot x) \hat{a} = x' \cdot y \quad (3.5)$$

Если учитывать ограничения изложенные (3.1), (3.2), (3.3), значения \hat{a} вектора аргументов будут случайными величинами с ковариационной матрицей [91]:

$$\text{cov}[\hat{a}] = (x' \cdot x)^{-1} \cdot \delta^2 = c \cdot \delta^2 \quad (3.6)$$

И тогда результат будет определяться как несмещенный:

$$E[\hat{a}] = \bar{a}. \quad (3.7)$$

Правдоподобность предсказанных значений, исходя из (3.6) прямо пропорциональна набору точек исследования и не менее значимо от условий реализации экспериментов [92].

Для выявления регрессионных моделей гидравлических процессов был осуществлен полный факторный эксперимент вида 2^3 , который с целью иметь на выходе квадратичные уравнения доращивался [93].

По большому счету воплощение плана однозначно зависит от реальных условий проведения исследований, т. е. участвующей аппаратуры, конструктивно-технологических возможностей лабораторного комплекса и не в последнюю очередь от организационных процессов проведения работ. Вышеназванное налагает на сам эксперимент условия его проведения и на факторы варьирования основные ограничения.

Так изменение значений аргумента в процессе проведения всех опытов не может быть меньше той ошибки, с которой определяется состояние аргумента. При этом определение количественного показателя аргумента однозначно определяется возможностью приборов по точности и возможностью установки, да и самого процесса к стабилизации оцениваемых и определяющих параметров.

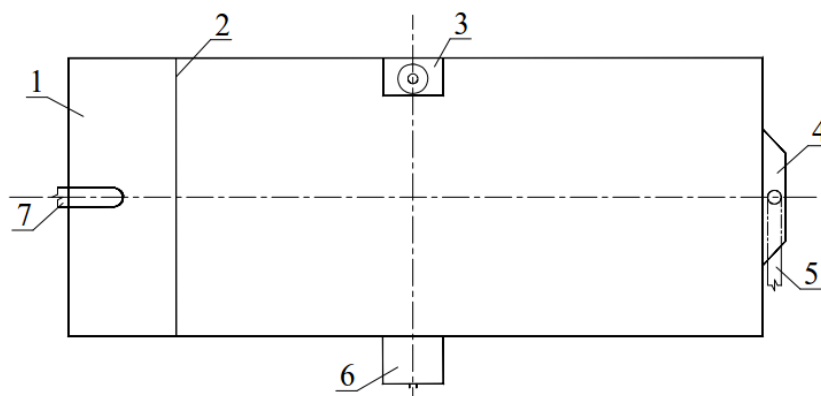
Процесс проведения лабораторного эксперимента с точки зрения обеспечения параметров был реализован посредством: параметры геометрии или размеры регулятора и значение открытия проходного сечения седла ленточного регулирующего органа измерялись штангенциркулем с качеством замера до 0,1 мм; отметок воды в объекте задавались с помощью шандор, а показания находились шпигенмасштабом с качеством замера опять до 0,1 мм.

Объем в единицу времени регулятора по седлу, а также истечение из прохода, обеспечивающей управление положения эластичного рабочего органа, измерялся посредством замеров фиксированных объемов. Установлено, что измерение посредством замеров фиксированных объемов обеспечивает точность замеров в

показателях трех процентов, что вполне достаточно и согласуется с требованиями, изложенными в рекомендациях ученых [91, 92].

По положению, изложенному в [91], надежность экспериментального материала должна соответствовать 0,95, для этого в каждой точке плана проводилось не менее трех повторных опытов. Также при реализации экспериментальной части работы было необходимо осуществлять отсев грубых погрешностей что выполнялось с использованием критерия Стьюдента [92, 93].

Эксперименты выполнялись в лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского госагроуниверситета на специально изготовленной, по индивидуальным предложениям опытной установке. Экспериментальная лабораторная установка (план) реализована на рисунке 3.2.



- 1 – часть лотка, предназначенная для ламинаризации пришедшего расхода, 2 – поперечное сооружение перегородивающее лоток, 3 – шпигельмасштаб, 4 – боковой водослив, предназначенный для фиксации отметок воды на объекте, 5 – водоотводящее устройство, 6 – регулятор с эластичным рабочим органом, 7 – питающий трубопровод

Рисунок 3.2 – Экспериментальная лабораторная установка (план)

Схема продольного разреза экспериментальной лабораторной установки представлена на рисунке 3.3.

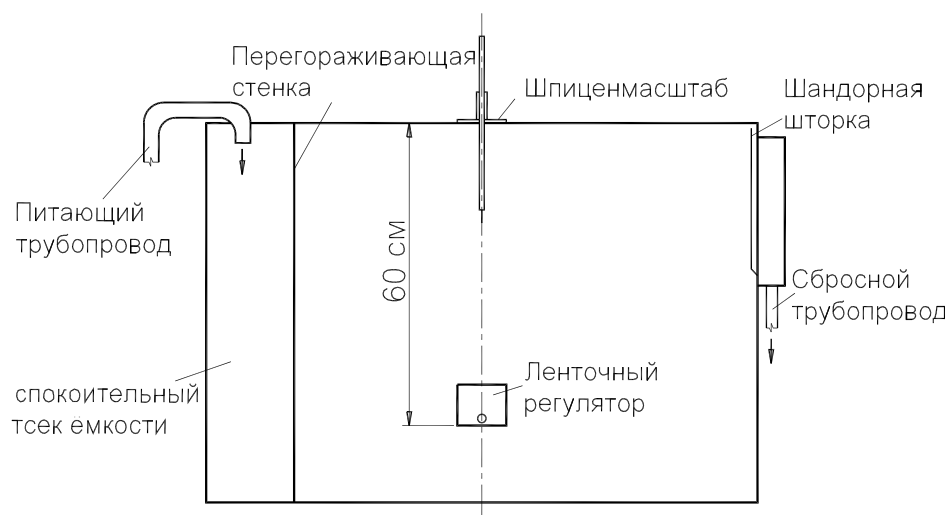


Рисунок 3.3 – Схема продольного разреза экспериментальной лабораторной установки

На рисунке 3.4 представлен фрагмент эксперимента регулятора с эластичным рабочим органом при отметках воды со стороны входа в регулятор в 18 см и раскрытии прохода истечения $a=3$ см. Фотографии более подробно раскрывающие лабораторный эксперимент приведены в Приложении Б.



Рисунок 3.4 – Лабораторный эксперимент при рабочем напоре в 18 см

Основываясь на представленном, однозначно можно констатировать, что состав, методика, точность, аппаратура исследований и установка для исследований обеспечивают должную достоверность и качество исследований на уровне нужном для надежного принятия решения по конструктивно-технологическим параметрам и режимам регулятора.

3.2 Лабораторные исследования основных расходных характеристик запорного органа гидравлического регулятора

Лабораторные исследования основных расходных характеристик запорного органа гидравлического регулятора реализованы методом планирования [94, 95, 96]. Планирование исследования реализовано при использовании центрального композиционного плана 2-го порядка для 2-х аргументов с 3-мя опытами в центре плана. Как результат предполагалось нахождение результирующей на основе данных полученных по исследованиям.

В проведенных экспериментах за аргументы определены такие параметры: показатель уровня воды со стороны входа в регулятор – H , см; фактический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом – d , см. Результирующей по экспериментам и по регрессионной модели будут являться расходные характеристики истечения из регулятора с эластичным рабочим органом.

Результирующее уравнение $Q=f(H,d)$ однозначно будем выражать уравнением второй степени, опираясь на опыт собственных исследований, а также и других экспериментаторов. Учтя конструктивно-технологические особенности лабораторной установки выявлены к эксперименту значения и вариационная изменчивость аргументов, приводимые в таблице 3.1.

Математический объект в виде строк и столбцов планирования и результаты исследований отражены в таблице 3.2.

В результате математический объект в виде строк и столбцов X плана исследований с натуральными значениями при исследовании y_j , формируется в виде, нашедшем отражение в таблице 3.3.

На основе использованного планирования имеется возможность выявить коэффициенты уравнения вида:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (3.8)$$

Дополнительно обозначим так: $x_0 = 1$; $x_3 = x_1x_2$; $x_4 = x_1^2$; $x_5 = x_2^2$.

Таблица 3.1 – Значения и вариационная изменчивость аргументов

Аргументы	Условный вид	Показатель изменения	Вариационная изменчивость аргументов		
			основной	верхний	нижний
Отметка воды со стороны входа в регулятор; Н, см	X_1	6	24	30	18
Геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом; d , см	X_2	0,1	0,7	0,8	0,6

Таблица 3.2 – Центральный композиционный план второго порядка

Порядковый номер эксперта	Условные показатели аргумент		Аргумент (фактические показатели)		Результирующий показатель	
	X_1	X_2	Н (X_1), см	d (X_2), см		
Ядро плана	1	макс	макс	30,07	0,82	587,008
	2	мин	макс	18,09	0,82	360,007
	3	макс	мин	30,07	0,63	142,006
	4	мин	мин	18,09	0,63	99,007
Звездные точки	5	$\beta = +1$	ср. ур.	30,07	0,707	667,04
	6	$\beta = -1$	ср. ур.	18,09	0,707	517,01
	7	ср. ур.	$\beta = +1$	24,08	0,801	487,02
	8	ср. ур.	$\beta = -1$	24,08	0,607	130,01
Центр плана	9	ср. ур.	ср. ур.	24,08	0,708	611,03
	10	ср. ур.	ср. ур.	24,08	0,708	604,02
	11	ср. ур.	ср. ур.	24,08	0,708	604,02

Исходя из предложенного уравнение (3.8) будет выглядеть так:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5. \quad (3.9)$$

Коэффициенты полинома (3.9) определяются по уравнению:

$$B = (X^T X)^{-1}(X^T Y), \quad (3.10)$$

где B – вектор-столбец, состоящий из коэффициентов
ния (3.9);

X – математ. объект в виде строк и столбцов условий эксперта;

X^T – математ. объект в виде строк и столбцов, транспонированный к математ. объекту в виде строк и столбцов X ;

$(X^T X)^{-1}$ – математ. объект в виде строк и столбцов, обратный математ. объекту в виде строк и столбцов – произведению $(X^T X)$;

Y – вектор-столбец значений экспериментов.

Таблица 3.3 – Математический объект в виде строк и столбцов X

Номер эксп-та		Матрица X						Результат	
		x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	y_j	\hat{y}_j
Ядро плана	1	макс	макс	макс	макс	макс	макс	587,03	590,02
	2	макс	мин	макс	мин	макс	макс	360,02	358,03
	3	макс	макс	мин	мин	макс	макс	142,01	143,01
	4	макс	мин	мин	макс	макс	макс	99,04	95,02
Звездные точки	5	мах	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	667	663
	6	мах	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	517	523
	7	мах	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	487	486
	8	мах	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	130	132
Центр плана	9	мах	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	611	606
	10	мах	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	604	606
	11	мах	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	604	606

Для расчетов коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_5 определим X - математ. объект в виде строк и столбцов процесса исследований и Y - математ. объект в виде строк и столбцов фиксации, используя программу Mathcad:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 587.29 \\ 359.71 \\ 142.12 \\ 98.85 \\ 667.01 \\ 517.53 \\ 486.55 \\ 129.71 \\ 610.63 \\ 603.6 \\ 604.32 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Транспонируем X -математ. объект в виде строк и столбцов:

$$X^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Далее, согласно алгоритму, необходимо выполнить произведение X -матрицы и Y -матрицы на матрицу X^T :

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 0 & 0 & 6 & 6 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 4 & 6 \end{pmatrix} \quad X^T \cdot Y = \begin{pmatrix} 4.807 \times 10^3 \\ 420.33 \\ 1.063 \times 10^3 \\ 184.31 \\ 2.373 \times 10^3 \\ 1.804 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Последующие действия предписывают определение обратной матрицы $(X^T X)^{-1}$, по матрице $(X^T X)$:

$$(X^T \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0.263 & 0 & 0 & 0 & -0.158 & -0.158 \\ 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ -0.158 & 0 & 0 & 0 & 0.395 & -0.105 \\ -0.158 & 0 & 0 & 0 & -0.105 & 0.395 \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Вычислим коэффициенты b_0, b_1, \dots, b_5 :

$$(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) = \begin{pmatrix} 605.599 \\ 70.055 \\ 177.145 \\ 46.077 \\ -12.452 \\ -296.592 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Дисперсию S_y^2 воспроизводимости эксперимента находим по опытам в центре плана:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2}{n_0 - 1}, \quad (3.16)$$

где n_0 — число параллельных опытов в центре плана;

y_u – результат по теоретическому уравнению в u -м опыте, полученному на основе опытов;

\bar{y} – ср. ариф. значение по теоретическому уравнению, полученному на основе опытов;

n – номер параллельного опыта в центре плана исследований.

Осуществим табличную аппроксимацию результатов необходимых для получения S_y^2 в виде таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Данные для расчета S_y^2

Экспери.	y_u	\bar{y}	$y_u - \bar{y}$	$(y_u - \bar{y})^2$	S_y^2
первый	612	$\bar{y} = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u}{n_0} =$ $=606,04$	5,02	20,04	$S_y^2 =$ $=\frac{29,92}{3-1}=15,03$
второй	603		-3,02	7,02	
третий	604		-2,03	4,01	
	$\sum_{u=1}^{n_0} y_u = 1819$	–	–	$\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2 =$ $=30,03$	–

Дисперсии $s^2\{b_i\}$ коэффициентов регрессии определяются уравнением:

$$s^2\{b_i\} = c_{ii}S_y^2, \quad (3.17)$$

где c_{ii} – диагональные элементы математ. объекта в виде строк и столбцов $(X^T X)^{-1}$;

$$s^2\{b_0\} = 0,263S_y^2 = 3,9345;$$

$$s^2\{b_1\} = s^2\{b_2\} = 0,167S_y^2 = 2,4983;$$

$$s^2\{b_{12}\} = 0,250S_y^2 = 3,7400;$$

$$s^2\{b_{11}\} = s^2\{b_{22}\} = 0,395S_y^2 = 5,909$$

Значимость коэф. ур-ния регрессии определяем по критерию Стьюдента, для чего вычисляем следующие экспериментальные выражения:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{s\{b_0\}} = 305,03; \quad t_1 = \frac{|b_1|}{s\{b_1\}} = 44,04; \quad t_2 = \frac{|b_2|}{s\{b_2\}} = 112,01;$$

$$t_{12} = \frac{|b_{12}|}{s\{b_{12}\}} = 24,03; \quad t_{11} = \frac{|b_{11}|}{s\{b_{11}\}} = 5,02; \quad t_{22} = \frac{|b_{22}|}{s\{b_{22}\}} = 122,02.$$

Осуществим выборку критериального показателя который равен $t_T=4,303$, при пяти процентной значимости и коэффициенте свободы 2. Анализируя полу-

ченные результаты надо констатировать, что полученное критериальное значение t_T меньше значений t полученных на основе опытов, а это говорит о том, что коэф. теоретического уравнения полученного на основе опытов значимы [97].

Адекватность уравнения регрессии выявляем посредством F -критерия Фишера:

$$F_P = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (3.18)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности;
 S_y^2 – дисперсия воспроизводимости представленных исследований.

Для нахождения $S_{ад}^2$ осуществим поиск суммы S_R квадратов отклонений теоретических \hat{y}_j показаний по уравнению отклика от полученных при исследованиях y_j в каждой точке разработанного алгоритма реализации исследований, при этом будем пользоваться программой MathCad:

Определим математ. объект в виде строк и столбцов теоретических значений:

$$x \cdot \left[(x^T \cdot x)^{-1} \cdot (x^T \cdot y) \right] = \begin{pmatrix} 589.832 \\ 357.567 \\ 143.387 \\ 95.432 \\ 663.202 \\ 523.092 \\ 486.152 \\ 131.862 \\ 605.599 \\ 605.599 \\ 605.599 \end{pmatrix}. \quad (3.19)$$

Определим математ. объект в виде строк и столбцов отклонений теоретических показателей уравнения от полученных по результатам исследований:

$$Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] = \begin{pmatrix} -2.542 \\ 2.143 \\ -1.267 \\ 3.418 \\ 3.808 \\ -5.562 \\ 0.398 \\ -2.152 \\ 5.031 \\ -1.999 \\ -1.279 \end{pmatrix}. \quad (3.20)$$

Определим суммы квадратов отклонений теоретических показаний по уравнению от данных полученных при исследованиях:

$$\left[Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] \right]^T \cdot \left[Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] \right] = 105.509 \quad (3.21)$$

Из результатов значения S_R отнимаем значение S_E , полученное для дисперсии S_y^2 :

$$s_E = \sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2 = 30,04 \quad (3.22)$$

Результат $(S_R - S_E) = 76,03$ делим на степень свободы $f = N - k - (n_0 - 1) = 3,01$, где N – число опытов в объекте в виде строк и столбцов планирования, а k – количество коэффициентов значимых в теоретическом уравнении.

Таким образом:

$$S_{ад}^2 = \frac{S_R - S_E}{f} = \frac{76,00}{3} = 25,04, \quad (3.23)$$

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{30,00}{15,00} = 2,03. \quad (3.24)$$

Критериально расчетное значение F_T при пяти процентной значимости и числе свободы для числителя 3 и для знаменателя 2 равно 19,16, или имеем неравенство $F_p < F_T$. Вид неравенства позволяет констатировать, что модель адекватна.

Приведенное указывает на то, что уравнение регрессии окончательно будет принимать следующее выражение:

$$y = 606,03x_0 + 70,04x_1 + 177,01x_2 + 46,02x_3 - 12,04x_4 - 297,01x_5. \quad (3.25)$$

Абстрагируясь от переменных x_3, x_4, x_5 к x_1x_2, x_1^2, x_2^2 , как результат можем увидеть уравнение поиска:

$$y = 606,03 + 70,01x_1 + 177,04x_2 + 46,02x_1x_2 - 12,04x_1^2 - 297,02x_2^2. \quad (3.26)$$

Используя ранее оговоренные и установленные связи между изменяемыми переменными устанавливаем связь между кодированными факторами и натуральными как:

$$x_1 = \frac{H - H_0}{\varepsilon_1} = \frac{H - 24}{6}; \quad x_2 = \frac{d - d_0}{\varepsilon_2} = \frac{d - 0,7}{0,1}, \quad (3.27)$$

где H_0, d_0 – определяющие значения переменных аргументов в натуральных выражениях,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – установленные пределы допустимых изменений переменных аргументов.

Обеспечивая переход от кодированных x_1, x_2 величин аргументов к натуральным H и d , имеем теоретическое уравнение $Q = f(H, d)$:

$$Q = 605,599 + 70,055 \left(\frac{H - 24}{6} \right) + 177,145 \left(\frac{d - 0,7}{0,1} \right) + 46,077 \left(\frac{H - 24}{6} \right) \left(\frac{d - 0,7}{0,1} \right) - 12,452 \left(\frac{H - 24}{6} \right)^2 - 296,592 \left(\frac{d - 0,7}{0,1} \right)^2. \quad (3.28)$$

Реализуя вычисления:

$$Q = -14357,03 - 25,04H + 41451,01d + 77,03Hd - 0,346H^2 - 29659,700d^2. \quad (3.29)$$

Полученная по приведенным расчетам теоретическая регрессионная модель адекватна, поэтому ее можно использовать как исходное выражение для теорети-

ческого расчета расходных характеристик рабочего органа из эластичного материала (величины Q) в области планирования эксперимента [93].

Воспользовавшись программным продуктом MathCad построим графики поверхностей функции отклика, представленные на рис. 3.5 и уровней, представленных на рис. 3.6 [98].

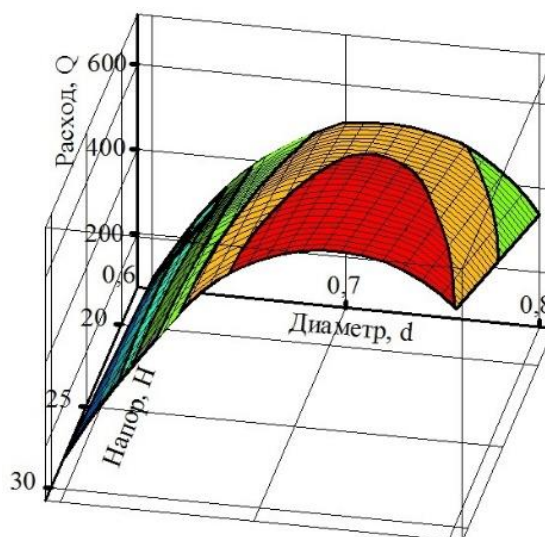


Рисунок 3.5 – График $Q = f(H, d)$

Представленные на рисунках 3.5 и 3.6 графические образы свидетельствуют, что пространство исследований в параметрах их реализующих попадает в квазиоптимальную зону. При этом необходимо констатировать, что оптимум от $Q = f(H, d)$ располагается вдали от зоны исследований (экстремум по максимуму при $H = 47,57$ и $d = 0,76$), значит применять канонический расклад из арсенала математической идентификации уравнений невозможно. Данная ситуация направила нас на реализацию более полного анализа полученных графических интерпретаций, которые способны удовлетворить реальные потребности в области необходимых знаний о процессах в исследуемом устройстве.

Как видно на рисунках 3.5 и 3.6 с увеличением значения фактора H , представляющего изменение уровня воды в верхнем бьефе в объеме от 18 до 30 см, при нахождении значения другого фактора, диаметр сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d , изменяющегося в объеме от 0,6 до 0,73 см значения функции отклика Q имеют слабую тенденцию к увеличению. При этом можно отследить результирующей увеличение влияния диамет-

ра прохода для опорожнения из объема, предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d , когда с его увеличением, увеличивается степень влияния на увеличение функции отклика.

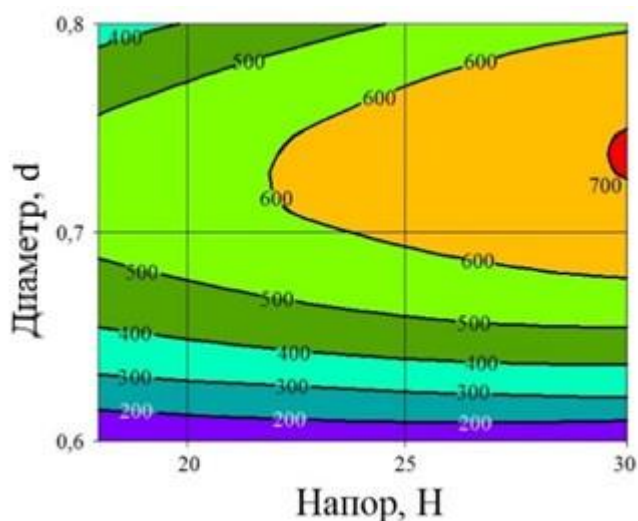


Рисунок 3.6 – Линии уровня $Q = f(H, d)$

С увеличением диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d в объеме от 0,73 до 0,8 см с увеличением уровня воды в верхнем бьефе H в объеме преобразования параметров значения функции отклика Q , имеют ярко выраженную тенденцию на увеличение.

В параметрах величин диаметра прохода для опорожнения из объема предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d приближенном к 0,73 фиксируется гребень седловины, когда $Q = f(H, d)$ восприимчива к перемене отметок по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H . Опускаясь по значениям в уравнении функции $Q = f(H, d)$ ограниченной диаметром прохода для опорожнения из объема предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d приближенном к 0,73 с возрастанием отметок по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H величина значений в теоретическом уравнении Q увеличивается.

В рассмотренных параметрах факторного пространства d приближенном к 0,73 см с возрастанием отметок по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H величина теоретически полученного уравнения Q однозначно

возрастает. Но вместе с тем акцентируя акцент на расположение далее от седловины эффект возрастания функции определенно идет активно на убыль.

При постоянных отметках по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H отклонение диаметра прохода для опорожнения из объема, предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d приближенном к 0,73 см или в направлении прибавления по показателям, или в направлении их уменьшения, величина теоретического результата по уравнению будет уменьшаться. Параметр теоретического результата по уравнению будет максимальным при любых постоянных отметках по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H , когда диаметр прохода для опорожнения из объема, предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d равен или приближен к 0,73 см.

Для визуализированного восприятия выявленных на рисунках 3.5 и 3.6 представлений воспроизведем графически сечения величины теоретического результата по уравнению, с учетом протрактованных в аспекте оговоренных нюансов $Q = z; H = x; d = y$.

На рисунке 3.7 представлено сечение по отклику при факторе диаметра прохода для опорожнения из объема, предназначенного для управления рабочим органом ленточного запорного органа d равном: 0,6; 0,7; и 0,8 см.

Анализ графика, представленного на рисунке 3.7 показывает, что в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H функция Q имеет постоянную тенденцию к увеличению при увеличении аргумента.

На рисунке 3.8 представлено сечение поверхности функции отклика при факторе уровня воды в верхнем бьефе H равном 18; 24; 30 см.

Анализ графика, представленного на рисунке 3.8 показывает, что Q в исследуемом объеме преобразования диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d имеет экстремум. В свою очередь сам экстремум имеет незначительный тренд, зависящий от диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d в объеме преобразования отметок по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор H .

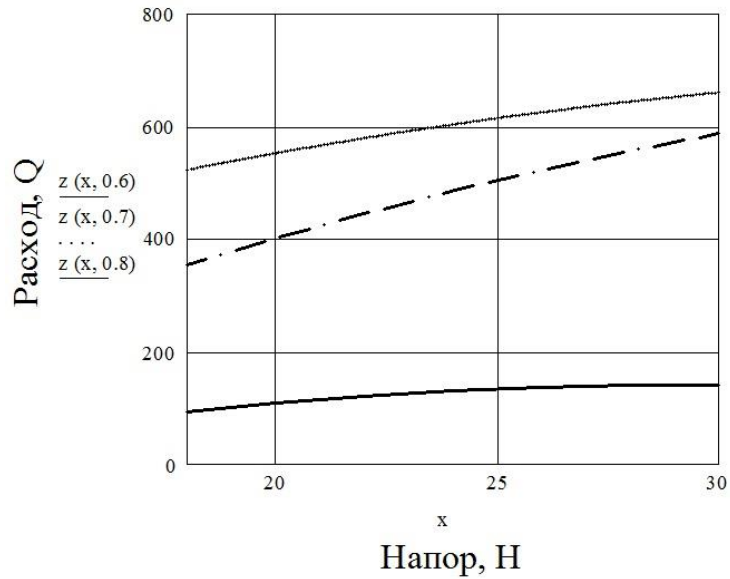


Рисунок 3.7 – Сечения при $d = 0,6; 0,7; \text{ и } 0,8$ см

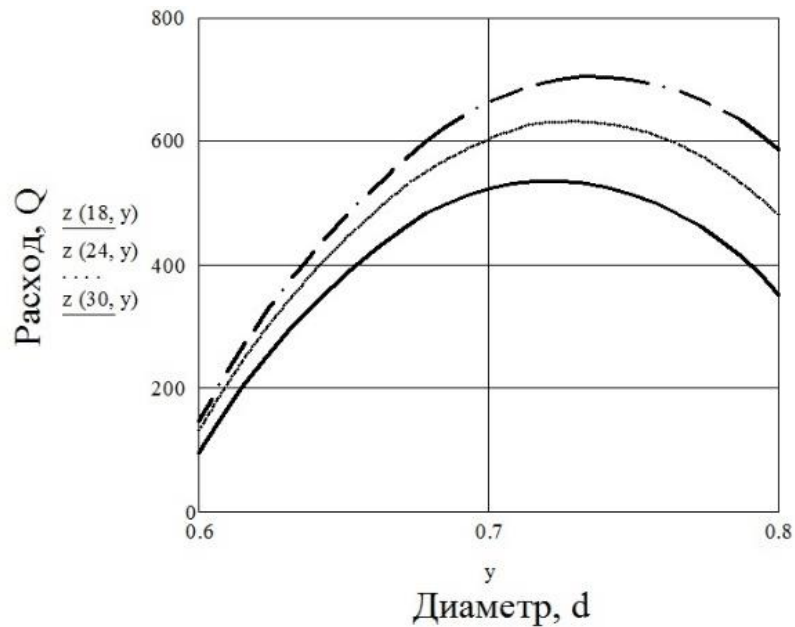


Рисунок 3.8 – Сечения при $H = 18; 24; 30$ см

Вместе с тем в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H равном 18; 24; 30 см при отдалении от точки экстремума, как в сторону увеличения фактора влияния, так и в сторону его уменьшения имеем однозначное уменьшение самой функции отклика [98].

Также необходимо отметить, что ряд аспектов работы ленточных регуляторов расхода воды до сих пор остается недостаточно изученными. На наш взгляд, прежде всего, необходимо детализировать изучение задающего элемента, органа в

первую очередь ответственного за организацию качественной работы всего регулятора [95, 96].

3.3 Лабораторные исследования расходных характеристик задатчика гидравлического регулятора

Подлежит выявлению путем изучения ухода объема воды (q) из внутреннего пространства устройства, на функционирование регулятора расхода воды с эластичным рабочим запорным органом. Ответ находился поиском уравнения результирующего получаемого на основе физических экспериментальных опытов. В физических опытах изменяемые показатели задали такими: H – отметки по свободной поверхности воды со стороны входа в регулятор; d – диаметр прохода для опорожнения из объема регулирования давлением в нем, обеспечивающего перемещение эластичного запорного органа.

Представленные в опыте данные, а также пределы их изменений расположены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения и вариативная изменчивость аргументов

Аргументы	Условный вид	Показатель изменения	Вариационная изменчивость аргументов		
			сред. уро.	макс	мин
Отметка воды со стороны входа в регулятор; H , см	X1	6,09	24,07	30,09	18,07
Геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом; d , см	X2	0,107	0,709	0,808	0,606

Математический образ в виде столбцов и строк планирования и фактические значения, полученные по опытам, даются в таблице 3.6, однако центральные результаты даны под номерами 9, 10 и 11.

В конце концов математический образ в виде столбцов и строк X плана опытов с реальными показателями y_j , приобретенными по действиям выполненных исследований, даются в образе таблицы 3.7.

Центральный композиционный план второго порядка для двух факторов и фактические данные опыта способствуют выявить коэффициенты в уравнении (3.8).

Для дальнейших действий над уравнением (3.8) необходимо ввести следующее: $x_0 = 1$; $x_3 = x_1x_2$; $x_4 = x_1^2$; $x_5 = x_2^2$.

В результате принятого равенство (3.8) преобразится до (3.9).

Параметры уравнения (3.9) определяются по зависимости (3.10).

Таблица 3.6 – Математический образ в виде столбцов и строк планирования и фактические значения, полученные по опыту

Порядковый номер экспер-та	Условные показатели аргумент		Аргумент (фактические показатели)		Результирующий показатель	
	X_1	X_2	H (X_1), см	d (X_2), мм	q, см ³ /с	
Ядро плана	1	макс	макс	30,05	8,01	76,07
	2	мин	макс	18,04	8,03	60,06
	3	макс	мин	30,03	6,03	48,04
	4	мин	мин	18,04	6,02	38,05
Звездные точки	5	$\beta = +1$	ср. ур.	30,03	7,01	98,02
	6	$\beta = -1$	ср. ур.	18,02	7,01	77,01
	7	ср. ур.	$\beta = +1$	24,01	8,02	68,03
	8	ср. ур.	$\beta = -1$	24,01	6,02	43,02
Центр плана	9	ср. ур.	ср. ур.	24,05	7,06	90,03
	10	ср. ур.	ср. ур.	24,07	7,06	91,04
	11	ср. ур.	ср. ур.	24,05	7,06	88,05

В виду однотипности дальнейших расчетов и их представлении в открытой публикации считаем возможным опустить их без ущерба окончательным выводами, которые приведены далее по тексту.

Закодированные результаты по исследуемым аргументам взаимодействуют с фактическими данными через зависимость (3.27).

Таблица 3.7 – Математический образ в виде столбцов и строк X по плану второго порядка

Порядковый	Математический образ в виде столбцов и строк X	Факт
------------	--	------

номер экспер-та		x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	y_j	\hat{y}_j
Ядро плана	1	макс	макс	макс	макс	макс	макс	76,05	76,05
	2	макс	min	макс	min	макс	макс	60,05	61,02
	3	макс	макс	min	min	макс	макс	48,04	51,03
	4	макс	min	min	макс	макс	макс	38,07	35,09
Звезд- ные точки	5	макс	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	98,01	96,03
	6	макс	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	77,02	81,01
	7	макс	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	68,03	68,01
	8	макс	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	43,02	43,02
Центр плана	9	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	90,07	89,09
	10	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	91,05	89,07
	11	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	88,01	89,05

Выйдя из закодированного состояния по x_1, x_2 величин аргументов к фактическим данным H и d , имеем реальный отклик $q = f(H, d)$:

$$q = 88,642 + 7,560 \left(\frac{H - 24}{6} \right) + 12,615 \left(\frac{d - 0,7}{0,1} \right) - 33,027 \left(\frac{d - 0,7}{0,1} \right)^2 \quad (3.30)$$

Тогда по уравнению (3.30) можно выполнить действия:

$$q = -1648,23 + 1,3H + 4749,9d - 3302,709d^2. \quad (3.31)$$

Представленное уравнение реально адекватно, в связи с чем его будем реализовывать расчетной моделью для нахождения q в пространстве факторов по опыту.

Воспроизведем графическую интерпретацию отклика, приведенную в рисунке 3.9 и линии по отклику, приведенные в рисунке 3.10, используя программный продукт MathCad.

Анализ поверхности функции отклика позволяет в полной мере видеть влияние выбранных к исследованию факторов на функцию отклика. Однако для более наглядного представления происходящих эффектов, реализуем также и синтез по результатам линий уровня $q = f(H, d)$.

Однозначно наблюдаемо на рис. 3.9 и 3.10, что при увеличении отметок воды со стороны входа в регулятор H , от 18 до 30 см, при определении параметра следующего аргумента, геометрического размера прохода для истечения из объе-

ма управления эластичным рабочим органом от 0,6 до 0,73 см, результаты q по уравнению будут всегда потихоньку, но возрастать. При этом однозначно нужно отметить, что влияние значения геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом увеличивается. И еще, что с его возрастанием возвышается значение на отклик.

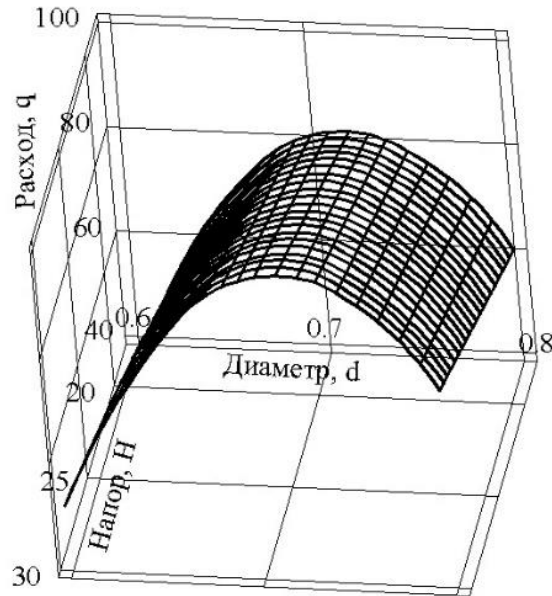


Рисунок 3.9 – Геометрическая интерпретация образа $q = f(H, d)$

При возрастании геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом от 0,73 до 0,8 см, с увеличением уровня воды в верхнем бьефе H в объеме преобразования параметров значения функции отклика q имеют ярко выраженную тенденцию на увеличение.

В области значений геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом близком к 0,73 находится гребень седловины. Именно в такой ситуации расход истечения из объема, обеспечивающего управление эластичным запорным органом всесторонне восприимчив к отклонению отметок воды со стороны входа в регулятор H . При значениях теоретического уравнения полученного на основе экспериментальных данных расположенных в зоне меньших числовых значений геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом близком к 0,73 с приращением отметок воды со стороны входа в регулятор значения теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных q увеличива-

ется. При значениях теоретического уравнения полученного на основе экспериментальных данных расположенных в зоне больших числовых значений геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом близком к 0,73 с приращением отметок воды со стороны входа в регулятор значения теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных q также увеличивается. В свою очередь описанная тенденция по пути удаления значений аргументов от седловины имеет направленность к уменьшению собственных значений.

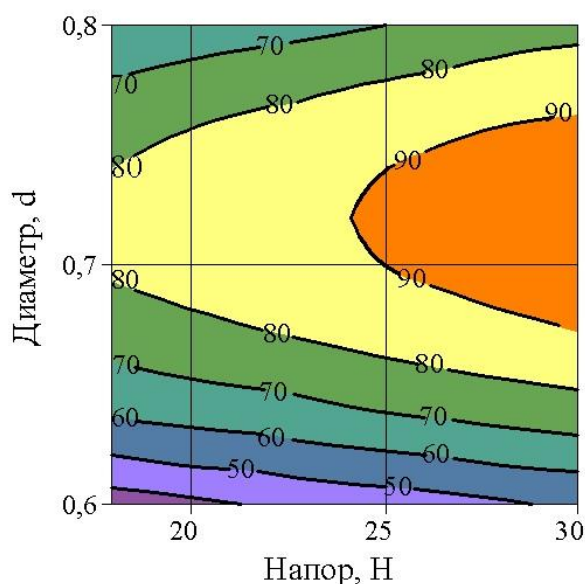


Рисунок 3.10 – Геометрическая интерпретация образа
линий по $q = f(H, d)$

В факторном пространстве постоянного значения по отклонению отметок воды со стороны входа в регулятор H отклонение геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 0,73 или в направлении приращения или в направлении уменьшения величина теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных уменьшается.

Величина теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных является максимальным при всяких постоянных отметках воды со стороны входа в регулятор H , если геометрический размер прохода для истече-

ния из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 0,73 см.

Реализация геометрической интерпретации теоретической функции, полученной на основе экспериментальных значений реализуется после введения следующих параметров:

$$q = z; H = x; d = y. \quad (3.32)$$

Анализ графика, представленного на рисунке 3.11 показывает, что в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H отклик q имеет постоянную тенденцию к увеличению при увеличении аргумента.

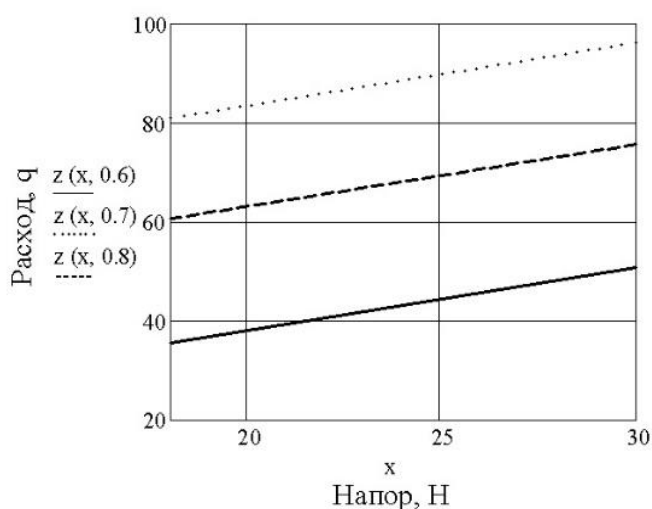


Рисунок 3.11 – Сечения поверхности при $d = 0,6; 0,7; 0,8$

На рисунке 3.12 представлено сечение поверхности функции отклика при факторе уровня воды в верхнем бьефе H равном 18; 24; 30 см.

Анализ графика, представленного на рисунке 3.12, показывает, что q в исследуемом объеме преобразования диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d имеет экстремум. В свою очередь сам экстремум имеет незначительный тренд, зависящий от диаметра сливного отверстия из управляющей полости эластичного рабочего d , в объеме преобразования отметок воды со стороны входа в регулятор H .

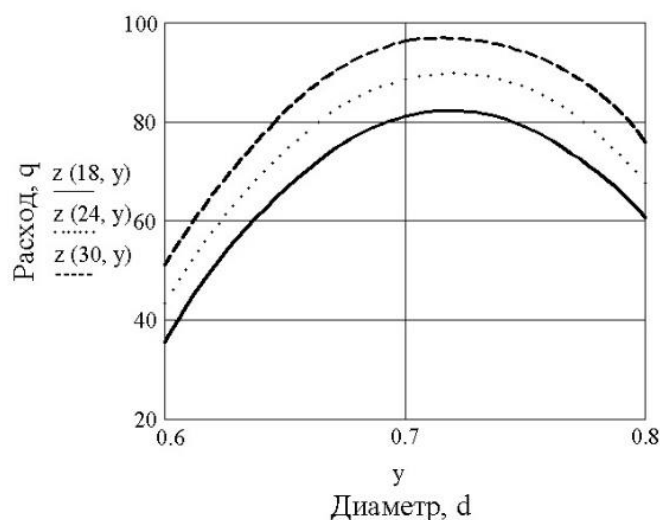


Рисунок 3.12 – Сечения поверхности при $H = 18; 24; 30$

Вместе с тем в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H равном 18; 24; 30 см, при отдалении от точки экстремума, как в сторону увеличения фактора влияния, так и в сторону его уменьшения имеем однозначное уменьшение самой функции отклика [95].

Выводы

1. В результате лабораторных исследований впервые получены теоретические уравнения основных расходных характеристик регулятора, установлено что с увеличением значения уровня воды в верхнем бьефе в объеме от 18 до 30 см при нахождении значения другого фактора, диаметр сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d , изменяющегося в объеме от 0,6 до 0,73 см значения функции отклика Q имеют слабую тенденцию к увеличению. С увеличением диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d в объеме преобразования от 0,73 до 0,8 см с увеличением уровня воды в верхнем бьефе H , в объеме преобразования параметров значения функции отклика Q , имеют тенденцию на увеличение. Впервые установлено, что в пространстве значений фактора отклонения геометрических размеров прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 0,73 определен гребень седловины, когда Q первостепенно восприимчива к

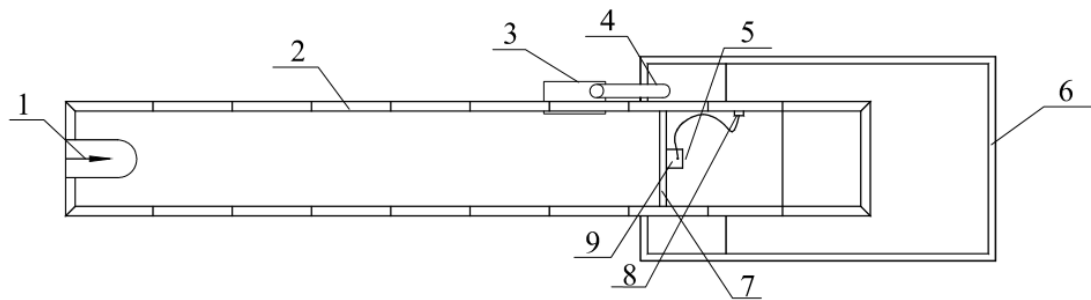
отклонению отметок воды со стороны входа в регулятор H в объеме преобразования параметров.

2. Впервые получены геометрические интерпретации поверхностей теоретических уравнений, полученных на основе экспериментальных данных и их линии по уровням, которые показывают, что в пределах отклонения геометрических размеров прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенных к 0,73 определен гребень седловины, когда q первоначально восприимчива к отклонению отметок воды со стороны входа в регулятор H в объеме преобразования параметров. Ниже пространства теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных ограниченного геометрическим размером прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 0,73 с приращением отметок воды со стороны входа в регулятор H значения q увеличиваются. Выше пространства d приближенного к 0,73 с возрастанием отметок воды со стороны входа в регулятор H параметры теоретического уравнения, полученного на основе экспериментальных данных возрастают. Вместе с тем в процессе отдаления от седловины имеется эффект затухания явления.

ГЛАВА 4 НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ЛЕНТОЧНЫМ ЗАПОРНЫМ ОРГАНОМ

4.1 Методика натуральных исследований расходных характеристик регулятора с ленточным запорным элементом

Стенд под испытуемый естественный образец регулятора с ленточным запорным органом включает емкость, в которую вводят воду при этом имеется возможность регулирования расхода, подаваемой воды через трубу питания, запитанную от насоса (рисунок 4.1). Макет разрабатывался в классе-лаборатории, принадлежащем профильной кафедре (гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения) в ФГБОУ ВО Кубанский госагроуниверситет.



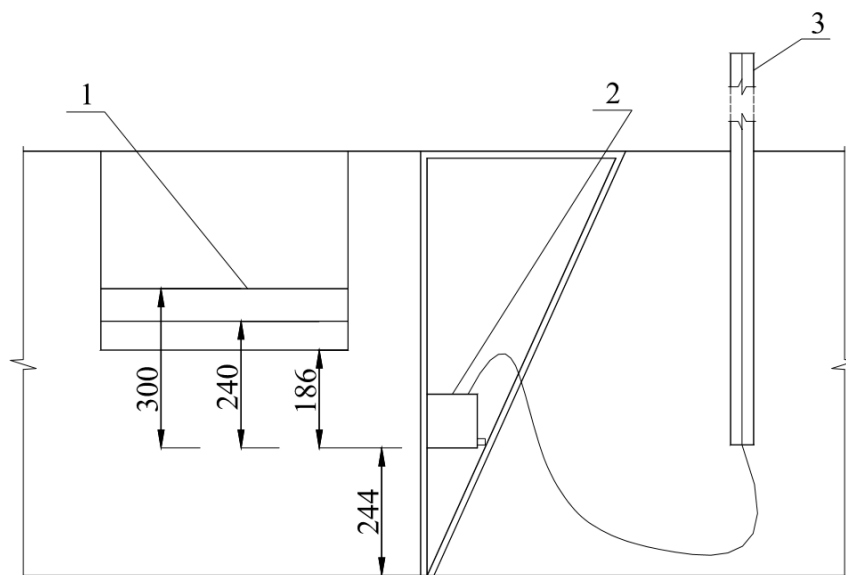
1 – питающий трубопровод, 2 – гидравлический лоток, 3 – шандорная стенка, 4 – сбросной трубопровод, 5 – клапан управляющей полости, 6 – успокоительный бак с мерным водосливом, 7 – перегородивающая стенка, 8 – пьезометр на управляющей полости, 9 – ленточный регулятор

Рисунок 4.1 – Модель аппарата для осуществления эксперимента

(вид сверху)

Перекрывающая плоскость (стенка) имеет возможность закрытия емкости. В перегородивающей плоскости (стенке) встраивают нижнюю грань ленточного регулятора расхода на уровне 24,4 м, при этом устанавливают его по продольной оси в центре. С целью управления отметками воды H со стороны входа в регулятор выставлен шандорный порог, устанавливающий данные или какие другие отметки. В объеме, предназначенном для управления месторасположением эластичного рабочего органа, с целью установления фактического давления в нем, вы-

ставлен пьезометр. Естественные испытания технических устройств сделаны при напорах в верхнем бьефе равных 50, 100, 150 см. Модель аппарата для осуществления эксперимента (продольный разрез) в натуральных условиях показана на рисунке 4.2. Схема основная анализируемого технического средства, предложена на рисунке 3.1.



1 – шандорная шторка, 2 – ленточный регулятор, 3 – пьезометр

Рисунок 4.2 – Модель аппарата для осуществления эксперимента
(продольный разрез)

При исследовании разработанных технических устройств в естественных условиях был составлен поэтапный план:

1. На первом шаге испытательно устанавливался действующий (рабочий) напор, а в верхнем бьефе. Поверхность воды (уровень последней) определялся шпигенмасштабом. Для стабилизации воды на отм. 50, 100, 150 см был применен шандорный водослив.

2. Опытный поиск фактического истечения воды из объема управления эластичным рабочим органом регулятора.

Опытный поиск фиксировался объемным способом путем отслеживания наполнения объема за отмеченное время.

3. Опытное выявление объема истечения от седла по регулятору Q_n .

Данная задача решалась посредством водослива – водомера.

4. Опытное выявление давления в объеме регулятора обеспечивающем перемещение эластичного рабочего органа.

Выявление давления в объеме регулятора обеспечивающем перемещение эластичного рабочего органа реализовано посредством помещения туда входа в пьезометр.

5. Определение положения эластичного рабочего органа внутри регулятора выполнено с помощью фотографий при всяких состояниях факторов возмущения, влияющих на теоретическое уравнение, полученное на основе экспериментальных данных.

Результаты экспериментальных данных выборочно представлены в Приложении В.

Переработка показателей эксперимента осуществлялась по разработанной программе и состояла:

1. Выявление отступа эластичной ленты от кромки седла регулятора.
2. Статистическая обработка опытных результатов с получением регрессионных моделей и их оценкой [99, 100, 101].
3. Воспроизведение объемного вида ленточного регулятора расхода воды в SolidWorks на основе экспериментальных данных [102, 103].
4. В FlowVision в объемной постановке оценивался расход из рабочей и управляющей полостей регулятора [104, 105, 106].

В общем виде геометрические размеры естественного регулятора даны на рисунке 4.3 (единицы измерения – мм).

Объемы истечения из регулятора определялись по известным алгоритмам: из объема регулятора, обеспечивающего перемещение эластичного рабочего органа q_n – объемным способом, посредством проверенного и калиброванного сосуда; из рабочей полости регулятора Q_n – способом проверенного и калиброванного трапецевидного водосброса. Для проверки результатов пользовались вычислением расходов в FlowVision [107, 108].

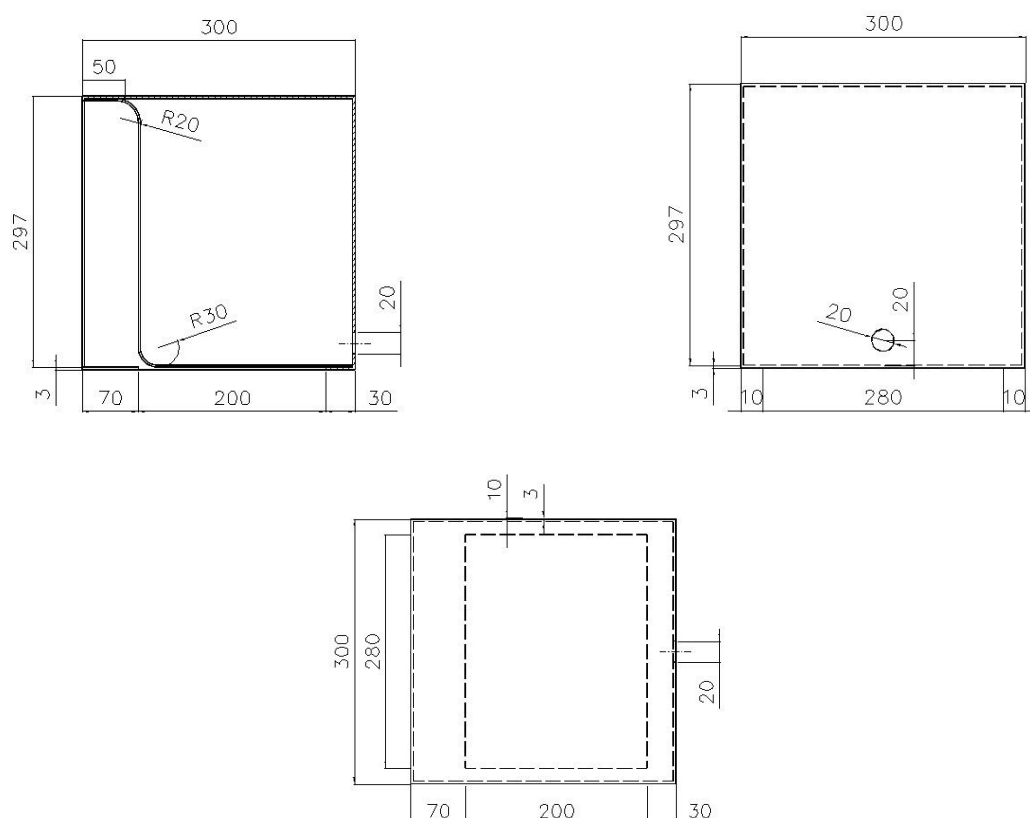


Рисунок 4.3 – Размеры естественного регулятора

На рисунке 4.4 приведено состояние ленточного запорного органа при определенном технологическом режиме работы регулятора.



Рисунок 4.4 – Состояние ленточного запорного органа при определенном технологическом режиме

Емкость обследованного объема определена в $3\,000\text{ см}^3$, что позволяет при измерении времени секундомером процесса наполнения сосуда отследить все возможные состояния работы регулятора.

Фотографическая фиксация исследования выборочно представлена в Приложении Г.

В продукте SolidWorks 2015 реализовано моделирование натурального образца твердотельной расчетной модели. Геометрическая интерпретация регулятора, при геометрических размерах модели 300×300 мм, отражена на рисунке 4.5. Опыты над процессами в регуляторе определялись при отклонениях отметок воды со стороны входа в регулятор H равном 50, 100, 150 см, раскрытии эластичного рабочего органа в 1, 2, 3 мм, при граничных условиях – свободный выход.

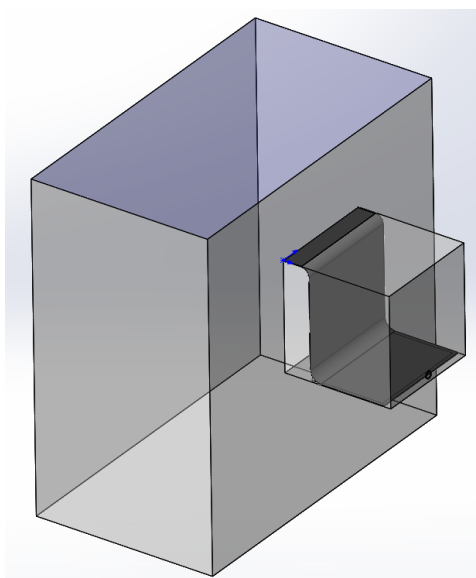


Рисунок 4.5 – Макет регулятора твердой структуры для расчета

Посредством математического моделирования в FlowVision воспроизведена расчетная сетка конечных элементов. Именно такая постановка вопроса реализует выявление гидродинамических характеристик по эксперименту над регулятором с эластичным рабочим органом [109, 110, 111]. Результат моделирования расчетной сетки конечных элементов на регуляторе обозначен на рисунке 4.6, при давлении на входе равном 4903 Па или 50 см водяного столба.

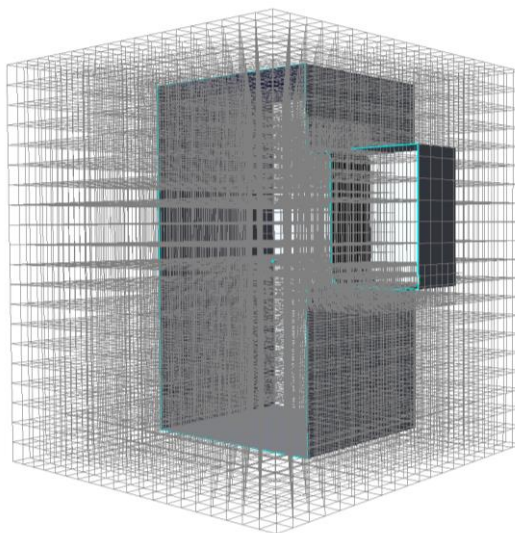


Рисунок 4.6 – Модель с сеткой конечных элементов

Изучение разработанных регуляторов далее предполагается на основе получения опытных данных в параметрах достаточных для охвата области реальных ситуаций на производстве при использовании регрессионных моделей и их анализа [112, 113].

4.2 Исследование основных расходных характеристик запорного органа регулятора

Интенсификация производства продукции растениеводства, особенно в южных регионах РФ требует перевода системы водораспределения и, как следствие, средств ее реализующих на другой уровень [114, 115, 116, 117]. Предлагаемые инновационные регуляторы для внутрихозяйственной сети оросительных систем с эластичным рабочим органом предъявили удовлетворительные показатели при лабораторных их анализах [95, 96, 118].

Дальнейшее распространение регулятора с эластичным рабочим органом в хозяйства, в том числе и фермерские, предполагается более детализированное изучение именно производственного экземпляра [119]. Изучение истечений по регулятору производственному с эластичным рабочим органом было реализовано на образце, интерпретированном на рисунке 4.3.

Изучение истечений из определяющих отверстий по регуляторам с порогом на седле и с выступом на ленте воспользовались моделированием в программе SolidWorks 2015 с учетом результатов, полученных в работе [120].

Модель расчётная интерпретирована на рисунке 4.5 при значениях размеров на входе 300×300 мм. Математический образ с расчетной сетки конечных элементов $20 \times 20 \times 20$, интерпретирован на рисунке 4.6.

Численная объемная модель объекта ленточного регулятора с порогом на седле предполагает возможность расчета движения воды из любых отверстий регулятора, а это на следующем этапе анализа обеспечивает данными сопоставительный анализ данных с результатами, полученными по натурным опытам.

Результаты расчетов и данные сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расходные характеристики по регулятору с порогом на седле

№	Марка	Давление, P (Па)	Раскрытие ленты, L (мм)	Расход 1, Q (г)	Расход 2, Q (г)	Расход 3, Q (г)
1	С порогом на седле	min 4903,00	min 1,00	14524,01	15310,02	787,03
2		ср. ур. 9806	min 1,00	20849,02	22104,01	1255,02
3		max 14709,00	min 1,00	28084,02	30139,03	2055,01
4		min 4903,00	ср. ур. 2,00	12802,01	13537,01	735,02
5		ср. ур. 9806	ср. ур. 2,00	21239,01	22385,02	1146,03
6		max 14709,00	ср. ур. 2,00	27091,02	28846,01	1697,03
7		min 4903,00	max 3	14532,02	15631,02	1099,02
8		ср. ур. 9806	max 3	24860,01	26811,03	1951,03
9		max 14709,00	max 3	72875,01	74150,01	1275,01

*Примеч. – Расход 1 – объем в сек. из основного прорана; Расход 2 – объем в сек. на входе; Расход 3 – объем в сек. из регулирующего отверстия.

Геометрические параметры ленточного регулятора с порогом на седле представлены на рисунке 4.7 (единицы измерения – мм).

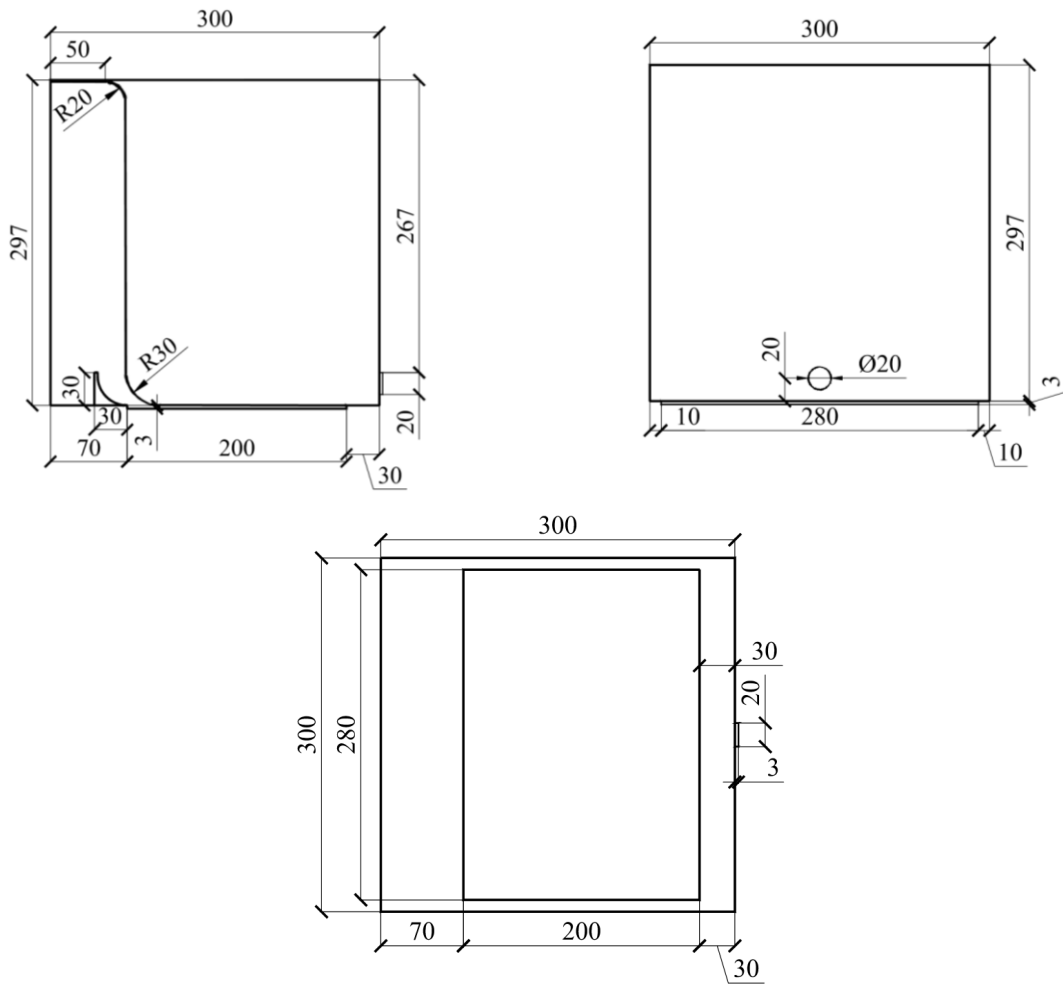
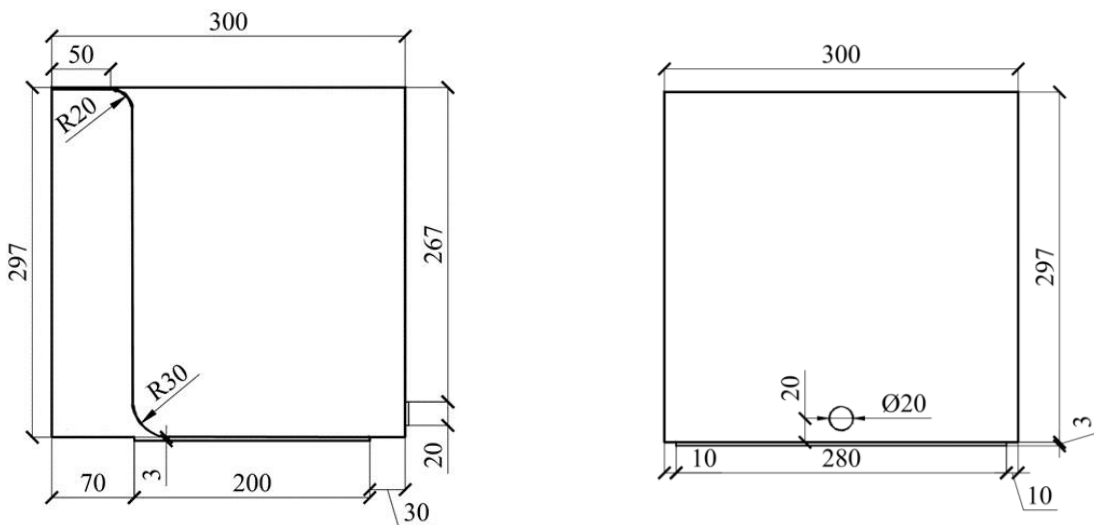


Рисунок 4.7 – Геометрические параметры ленточного регулятора с порогом на седле

Геометрические параметры ленточного регулятора с выступом на ленте представлены на рисунке 4.8, (единицы измерения – мм).



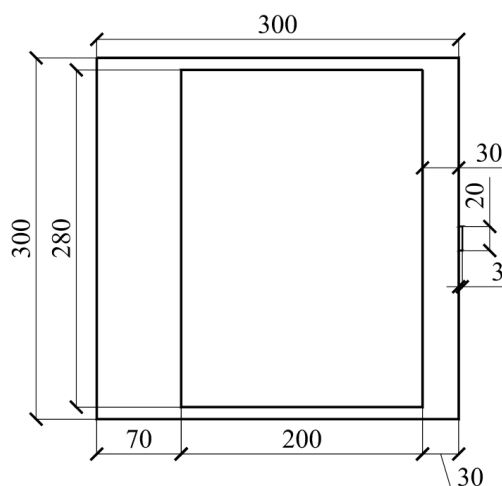


Рисунок 4.8 – Геометрические параметры ленточного регулятора с выступом на ленте

Результаты дальнейших расчетов в программном комплексе FlowVision сведены в общую таблицу данных 4.2.

Таблица 4.2 – Расходные характеристики по регулятору с выступом на ленте

№	Марка	Давление, P (Па)	Раскрытие ленты, L (мм)	Расход 1, Q (г)	Расход 2, Q (г)	Расход 3, Q (г)
1	С порогом на седле	min 4903,00	min 1	12853,01	13550,02	696,02
2		ср. ур. 9806	min 1	18660,02	19783,03	1123,01
3		max 14709,00	min 1	25416,01	27276,02	1859,03
4		min 4903,00	ср. ур. 2	11713,01	12386,01	673,01
5		ср. ур. 9806	ср. ур. 2	19646,03	20706,01	1060,03
6		max 14709,00	ср. ур. 2	25330,03	26971,03	1587,03
7		min 4903,00	max 3	13733,01	14771,02	1038,02
8		ср. ур. 9806	max 3	23741,02	25605,01	1863,02
9		max 14709,00	max 3	70324,01	71555,01	1231,01

* Примеч. – Расход 1 – объем в сек. из основного прорана; Расход 2 – объем в сек. на входе; Расход 3 – объем в сек. из регулирующего отверстия.

Представленные графики распределения скоростей и давлений во внутренней полости регулятора на отметках 0,00; 0,010 и 0,020 м от плоскости седла ре-

гулятора с порогом на седле и с выступом на ленте при давлениях на входе 4903, 9806 и 14709 Па при раскрытии запорного органа в 1, 2 и 3 мм позволяют видеть практически любые преобразования принятых к исследованию факторов и использовать данные результаты при конструировании и выборе для производства определенных видов регуляторов, с заранее предвиденными конструктивно-технологическими параметрами.

При экспериментах по выявлению влиянию эластичного рабочего органа на пропуск объемов воды в сек. взяты такие аргументы как: H – отметки воды со стороны входа в регулятор; d – геометрические размеры прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом [121]. Теоретическое уравнение полученное на основе опытных данных $Q = f(H, d)$ представляли уравнением второй степени [95]. Опыты осуществляли активные по программам, приведенным ранее. Основные результаты по входу в опыты аппроксимированы в форме таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Значения и вариативная изменчивость аргументов

Аргументы	Условный вид	Показатель изменения	Вариационная изменчивость аргументов		
			сред. уро.	макс	мин
H – отметки воды со стороны входа в регулятор, см	X_1	12	48,05	60,06	36,07
d – геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, см	X_2	0,2	1,40	1,60	1,20

Математический образ в виде столбцов и строк и фактические данные по экспериментам отражены в таблице 4.4. Таким путем представленный ход развития процесса изучения регулятора позволил результаты опыта y_i аппроксимировать в таблице 4.5.

Таблица 4.4 – Математический образ в виде столбцов и строк, и значения опытных данных

Порядковый номер	Условные показатели аргумент	Аргумент (фактические показатели)	Результир. показатель
------------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------------

эксперта		X_1	X_2	$H(X_1)$, см	$d(X_2)$, см	Q , см ³ /с
Ядро плана	1	макс.	макс.	60	1,6	3539,73
	2	мин	макс.	min 36,00	max 1,60	2154,01
	3	макс	мин	max 60,00	min 1,20	859,03
	4	мин	мин	min 36,00	min 1,20	580,01
Звездные точки	5	$\beta = +1$	ср. ур.	max 60,00	ср. ур. 1,40	3994,01
	6	$\beta = -1$	ср. ур.	min 36,00	ср. ур. 1,40	3131,02
	7	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур. 48,00	max 1,60	2924,03
	8	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур. 48,00	max 1,20	787,01
Центр плана	9	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	3649,02
	10	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	3633,01
	11	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	3637,03

Таблица 4.5 – Матрица X плана и результаты эксперимента

Порядковый номер эксперта	Математический образ в виде столбцов и строк X						Факт		
	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	y_i	\hat{y}_i	
Ядро плана	1	max	max	max	max	max	max	3540,01	3545,01
	2	max	min	max	min	max	max	2154,02	2150,02
	3	max	max	min	min	max	max	859,03	862,01
	4	max	min	min	max	max	max	580,01	572,02
Звезд- ные точки	5	max	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	3994,01	3985,03
	6	max	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	3131,01	3143,01
	7	max	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	2924,03	2923,02
	8	max	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	787,02	792,01
Центр плана	9	max	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	3649,02	3640,01
	10	max	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	3633,02	3640,01
	11	max	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	3637,03	3640,01

Коэффициенты полинома теоретического уравнения полученного на основе производственных опытов оценены при использовании уравнений вида (3.8), (3.9) и (3.10).

Для нахождения параметров b_0, b_1, \dots, b_5 составим X -матрицу условий опыта Y -матрицу наблюдений, перейдя к программе wxMaxima.

В виду однотипности дальнейших расчетов и их представлении в открытой публикации считаем возможным опустить их без ущерба окончательным выводам, которые приведены далее по тексту.

Итогом типовой обработки явится уравнение вида (3.9):

$$y = 3638,907x_0 + 421,215x_1 + 1065,341x_2 + 276,37005x_3 - 74,761x_4 - 1781,61x_5.$$

Уйдя от переменных x_3, x_4, x_5 к x_1, x_2, x_1^2, x_2^2 , можем поиметь равенство:

$$y = 3638,91 + 421,215x_1 + 1065,341x_2 + 276,370x_1x_2 - 74,761x_1^2 - 1781,610x_2^2.$$

Алгоритм связи кодовых обозначений с натуральными можно дать такими зависимостями:

$$x_1 = \frac{H - H_0}{\varepsilon_1} = \frac{H - 48}{12}; \quad x_2 = \frac{d - d_0}{\varepsilon_2} = \frac{d - 1,4}{0,2}, \quad (4.1)$$

где H_0, d_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – вариационная изменчивость аргументов.

Используя алгоритм перехода от переменных x_1, x_2 к фактическим H, d , имеем следующий вид теоретического уравнения $Q = f(H, d)$ полученного по экспериментальным данным:

$$Q = 3638,916 + 421,215 \left(\frac{H - 48}{12} \right) + 1065,341 \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right) + 276,370 \left(\frac{H - 48}{12} \right) \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right) - 74,761 \left(\frac{H - 48}{12} \right)^2 - 1781,610 \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right)^2. \quad (4.2)$$

Выполнив арифметические действия получим:

$$Q = -86276,676 - 76,274H + 124537,60d + 115,154Hd - 0,519H^2 - 44550,0d^2. \quad (4.3)$$

Представленное уравнение реально представляет процесс (адекватно), в связи с чем его будем реализовывать расчетной моделью для нахождения Q в пространстве факторов по опыту.

Воспроизведем графическую интерпретацию отклика, приведенную в рисунке 4.9 и линии по отклику, приведенные в рисунке 4.10, используя программный продукт wxMaxima.

```
plot 3d (-86276,676 - 76,274 · x + 124537,60 · y + 115,154 · x · y - 0,519 · x2 - 44550,0 · y2, [x,36,60], [y,1.2,1.6], [xlabel, «Напор H»], [ylabel, «Диаметр d»]; [zlabel, «Расход q»], [plot_format, gnuplot]; [gnuplot_preamble, «set hidden 3d»)]$.
```


`contour_plot (-86276,676 - 76,274 · x + 124537,60 · y + 115,154 · x · y - 0,519 · x2 - 44550,0 · y2, [x,36,60], [y; 1,2; 1,6]; [xlabel, «Напор H»], [ylabel, «Диаметр d»]; [gnuplot_preamble, «set cntrparam levels 12»])$.`

Для всестороннего анализа теоретического уравнения $Q = f(H, d)$ полученного на основе опытных данных по поверхности геометрической интерпретации и уровням воспроизведем сечения данного теоретического уравнения, смотреть рисунки 4.11 и 4.12, дополнив численные образы выражениями: $Q = z; H = x; d = y$.

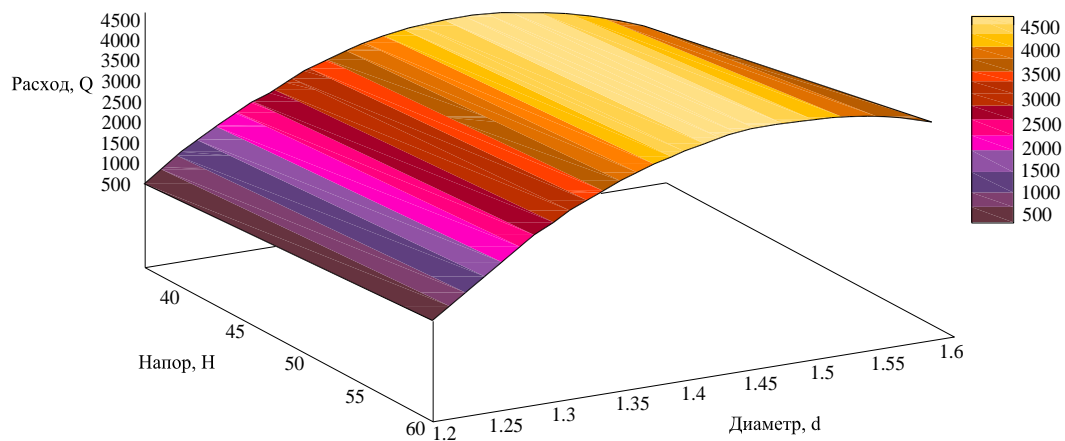


Рисунок 4.9 – Геометрическая интерпретация $Q = f(H, d)$

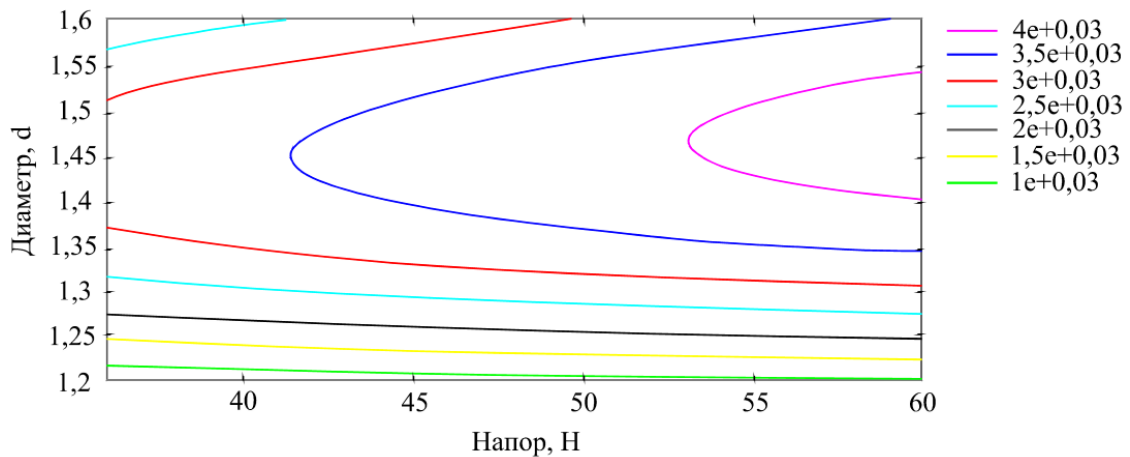


Рисунок 4.10 – Геометрическая интерпретация по уровням $Q = f(H, d)$

Результат:

$$F(x, y) := -86276,676 - 76,274 \cdot x + 124537,600 \cdot y + 115,154 \cdot x \cdot y - 0,519 \cdot x^2 - 44550,0 \cdot y^2;$$

$$F(x; 1,2); F(x; 1,4); F(x; 1,6);$$

Plot 2d ($F(x; 1,2); F(x; 1,4); F(x; 1,6)$), $[x; 36,60]$, $[y; 0,5000]$,
 $[xlabel, \text{«Напор } H\text{»}]$, $[ylabel, \text{«Расход } Q\text{»}]$, $[plot_format, \text{gnuplot}]$,
 $[gnuplot_preamble, \text{«set grid;»}]$).

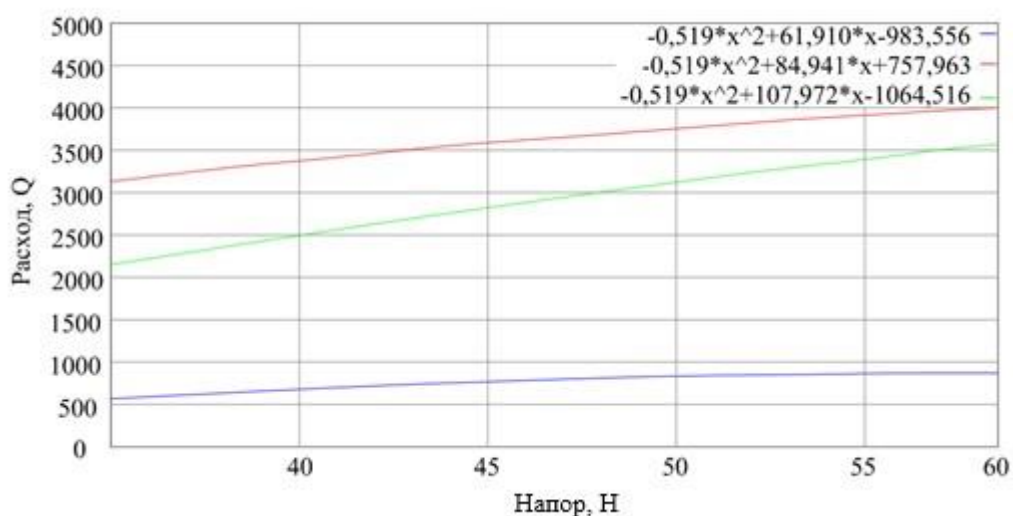


Рисунок 4.11 – Сечения при параметре $d=1,2; 1,4; 1,6$ см

Анализ сечений выполненных по геометрической интерпретации теоретического уравнения полученного на основе опытных данных при одних и тех же геометрических размерах прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, констатирует, что значения уравнения всегда увеличиваются при увеличении отметок воды со стороны входа в регулятор, от $H = 36$ см до $H = 60$ см. Вместе с тем рис. 4.11 позволяет отследить такое, что минимизированное воздействие на теоретическое уравнение полученное на основе опытных данных получается при минимизированном геометрическом размере прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равном 1,2 см, когда расход изменяется от 600 куб.см/с до 800 куб.см/с. Когда геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равен 1,4 см, будет наблюдаться наибольшее из возможных воздействие геометрического размера прохода на теоретическое уравнение, полученное на основе опытных данных, когда проход объема жидкости в единицу времени варьировался от 3200 куб см/с до 4000 куб. см/с в объеме передвижения отметок воды со стороны входа в регулятор от 36 см до 60 см. Когда геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равен 1,6 см, будет

наблюдаться минимизация распространения этого аргумента, и теоретическое уравнение полученное на основе опытных данных отразится от Q 2200 куб.см/с до 3550 куб. см/с. Вместе с тем если рассматривать общую прибавку к объему истечения в единицу времени, то более значимые показатели геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом значимее откликаются на теоретическое уравнение полученное на основе опытных данных при варьировании отметок воды со стороны входа в регулятор.

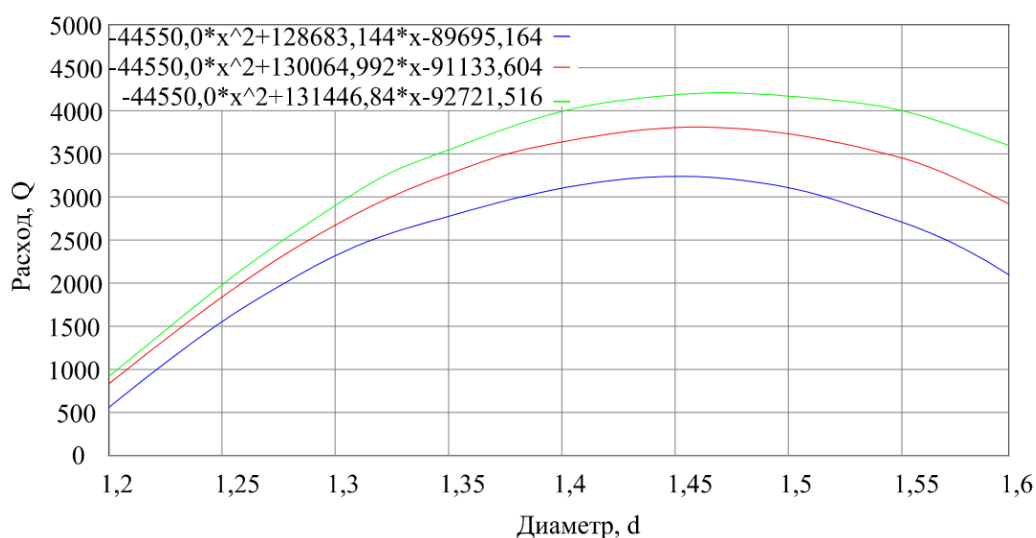


Рисунок 4.12 – Сечения при параметре $H=36; 48; 60$ см

$F(36, y); F(48, y); F(60, y);$

$F1(x) := -44550,0 \cdot x^2 + 128683,144 \cdot x - 89695,164;$

$F2(x) := -44550,0 \cdot x^2 + 130064,992 \cdot x - 91133,604;$

$F3(x) := -44550,0 \cdot x^2 + 131446,84 \cdot x - 92721,516;$

$Plot\ 2d\ ([F1(x), F2(x), F3(x)], [x; 1,2; 1,6], [y; 0,5000],$

$[xlabel, \text{«Диаметр } d\text{»}], [ylabel, \text{«Расход } Q\text{»}],$

$[plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, \text{«set grid;»}])\$.$

Констатируем, что при однозначных отметках воды со стороны входа в регулятор теоретические уравнения, полученные на основе опытных данных, имеют максимумы. Когда отметка воды со стороны входа в регулятор равна 36 см наибольший объем истечения по седлу регулятора будет равен 3200 куб.см/с, и все это когда геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равен 1,44 см. Во время приращения отметок

воды со стороны входа в регулятор, а также тогда, когда она будет равна 48 см, будет наблюдаться перемещение наибольших значений в направлении возрастания, а вот апогей будет при результате теоретического уравнения, полученного на основе опытных данных по оценке истечения по седлу регулятора в единицу времени равном 3800 куб.см/с и геометрическом размере прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равном 1,47 см. Когда отметки воды со стороны входа в регулятор возрастут до 60 см, также будет иметься тенденция к перемещению наибольших значений теоретического уравнения, полученного на основе опытных данных, который становится равным 4250 куб.см/с, в этом случае геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом равен 1,48 см. Синтезируя оценку аппроксимационно представленных геометрических интерпретаций на рис. 4.12 констатируем, что во всем диапазоне изменения отметок воды со стороны входа в регулятор влияния на теоретическое уравнение, полученные на основе опытных данных тем существенней, чем значимее геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом.

4.3 Исследование управляющих расходных характеристик запорного органа регулятора

В главе 3 описан лабораторный регулятор расхода с задатчиком и запорным органом из гибкой ленты. Натурный регулятор имеет те же составные части и принцип действия, что и лабораторный отличие состоит лишь в размерах регулятора.

Необходимо изучить натурный регулятор, в частности акцентировав внимание на изучение степени влияния объема выхода жидкости по седлу регулятора в единицу времени с эластичным рабочим органом. Изучение натурального регулятора выполнялось на принципах поиска теоретического уравнения, полученного на основе опытных данных.

При эксперименте переменными отмечены аргументы: H – отметка воды со стороны входа в регулятор; d – геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом.

Теоретическое уравнение, полученное на основе опытных данных вида $q = f(H, d)$, опираясь на [94, 95], однозначно надо представлять уравнением второй степени. Опыты выполнены по алгоритму композиционного плана второго порядка. Результаты кодирования и обобщенные обозначения представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Значения и вариативная изменчивость аргументов

Аргументы	Условный вид	Показатель изменения	Вариационная изменчивость аргументов		
			сред. уро.	макс	мин
Отметка воды со стороны входа в регулятор; H , см	X_1	12,07	сред. уро. 48,07	макс60,08	мин36,0
Геометрический размер прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом; d , см	X_2	0,206	сред. уро. 1,405	мин1,606	мин1,20

Математический образ в виде строк и столбцов плана, а также значения, полученные по результатам натуральных опытов предоставлены в таблице 4.7 и в таблице 4.8.

Алгоритм композиционного плана, используемый на основе данных опытов, дает возможность получить коэффициенты уравнения по записи – (3.8). Принимая во внимание символику, указанную в уравнении (3.8), оно преобразится в образ (3.9), тогда реализация алгоритма плана позволит определить коэф-ты уравнения (3.9) из уравнения (3.10).

Поиск коэф-тов b_0, b_1, \dots, b_5 выполним составив X -матрицу состояния опытов и Y -матрицу результатов обратившись к продукту $wx\text{Maxima}$.

Таблица 4.7 – Математический образ в виде столбцов и строк планирования и фактические значения, полученные по опытам

Порядковый номер эксперта	Условные показатели аргумент		Аргумент (фактические показатели)		Результирующий показатель	
	X_1	X_2	$H(X_1)$, см	$d(X_2)$, см	q , куб.см/с	
Ядро плана	1	макс	макс	макс60,00	макс1,60	433,01
	2	мин	макс	min 36,00	макс1,60	336,03
	3	макс	мин	макс60,00	мин1,20	274,02
	4	мин	мин	мин36,00	мин1,20	209,01
Звездные точки	5	$\beta = +1$	ср. ур.	макс60,00	ср. ур. 1,40	545,01
	6	$\beta = -1$	ср. ур.	мин36,00	ср. ур. 1,40	449,03
	7	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур. 48,00	max 1,60	389,01
	8	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур. 48,00	min 1,20	247,02
Центр плана	9	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	506,01
	10	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	507,02
	11	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур. 48,00	ср. ур. 1,40	501,03

В виду однотипности дальнейших расчетов и их представлении в открытой публикации считаем возможным опустить их без ущерба окончательным выводам, которые приведены далее по тексту.

Закодированные результаты по исследуемым аргументам взаимодействуют с фактическими данными через зависимость (4.1).

Выйдя из закодированного состояния по x_1 , x_2 величин аргументов и обратившись к фактическим данным H и d , имеем реальный отклик $q = f(H, d)$:

$$q = 501,71 + 42,79 \left(\frac{H - 48}{12} \right) + 71,40 \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right) + 8,08 \left(\frac{H - 48}{12} \right) \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right) - 186,92 \left(\frac{d - 1,4}{0,2} \right)^2. \quad (4.4)$$

Осуществив арифметические действия над уравнением получим:

$$q = -9102,52 - 1,14H + 13280,43d + 3,36Hd - 4673,22d^2. \quad (4.5)$$

Представленное уравнение реально адекватно, в связи с чем его будем реализовывать расчетной моделью для нахождения q в пространстве факторов по опыту.

Таблице 4.8 – Математический образ в виде столбцов и строк X по плану второго порядка

Поряд. номер эксперта		Математический образ в виде столбцов и строк X						Факт	
		x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	y_j	\hat{y}_j
Ядро плана	1	макс	макс	макс	макс	макс	макс	433,01	437,01
	2	макс	мин	макс	мин	макс	макс	336,02	335,02
	3	макс	макс	мин	мин	макс	макс	274,03	278,03
	4	макс	мин	мин	макс	макс	макс	209,01	208,67
Звезд- ные точки	5	макс	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	545,01	544,02
	6	макс	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	ср. ур.	449,02	459,01
	7	макс	ср. ур.	$\beta = +1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	389,01	386,01
	8	макс	ср. ур.	$\beta = -1$	ср. ур.	ср. ур.	$\beta^2 = +1$	247,02	243,02
Центр плана	9	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	506,01	502,03
	10	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	507,02	502,03
	11	макс	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	ср. ур.	501,03	502,03

Воспроизведем графическую интерпретацию отклика, приведенную в рисунке 4.13 и линии по отклику, приведенные в рисунке 4.14, используя программный продукт MathCad.

```
plot 3d (-9102,52 - 1,14 · x + 13280,43 · y + 3,36 · x · y - 4673,22 · y2 [x;36;60],
[y;1,2;1,6], [xlabel, «Напор H»], [ylabel, «Диаметр d»]; [zlabel, «Расход q»],
[plot_format, gnuplot];[gnuplot_preamble, «set hidden 3d»])$.
```

```
contour_plot (-9102,52 - 1,14 · x + 13280,43 · y + 3,36 · x · y - 4673,22 · y2,
[x;36;60], [y;1,2;1,6]; [xlabel, «Напор H»], [ylabel, «Диаметр d»];
[gnuplot_preamble, «set cntrparam levels 12»])$.
```

Анализ геометрической интерпретации поверхности допускает в полной мере видеть влияние выбранных к исследованию факторов на функцию отклика. Для более наглядного представления происходящих процессов осуществим анализ линий уровней функции отклика $q = f(H, d)$ представленных на рисунке 4.14.

Как видно на рисунках 4.13 и 4.14 с увеличением значения фактора H , представляющего изменение уровня воды в верхнем бьефе в объеме от 36 до 60 см при нахождении значения другого фактора, диаметр сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d , изменяющегося в объеме от 1,2 до 1,6 см значения функции отклика q имеют слабую тенденцию к уменьшению в

пределах преобразования диаметра сливного отверстия из объема управляющего перемещением эластичного рабочего органа от 1,2 до 1,45 см. При этом можно констатировать тенденцию, что увеличивается значение на функцию геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом.

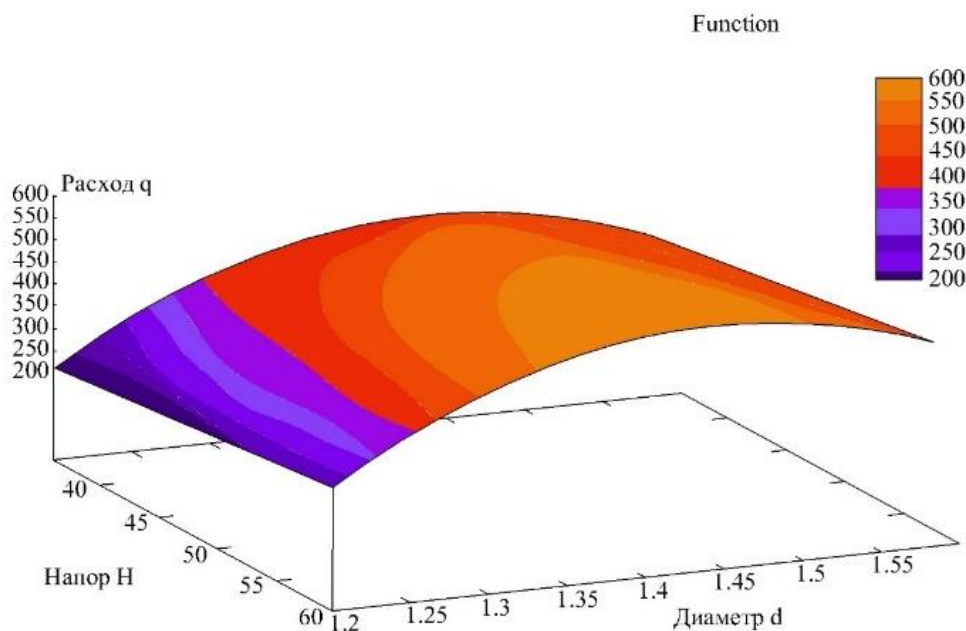


Рисунок 4.13 – Геометрическая интерпретация $q=f(H, d)$

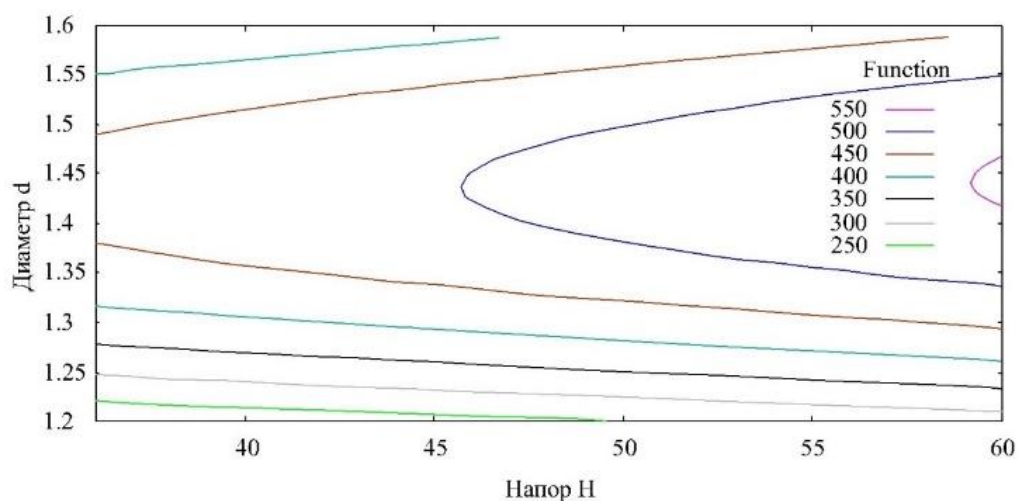


Рисунок 4.14 – Линии $q = f(H, d)$

С увеличением диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d в объеме преобразования от 1,45 до 1,6 см с увеличе-

нием уровня воды в верхнем бьефе H имеем ярко выраженную тенденцию на увеличение значений функции отклика q в объеме преобразования параметров.

При геометрических размерах прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом приближенном к 1,45 вырисовывается гребень седловины. В подобной ситуации объем истечения из объема регулятора предназначенного для управления перемещением эластичного рабочего органа наиболее восприимчив к отклонению отметок воды со стороны входа в регулятор.

При анализе отметок теоретического уравнения, полученного по экспериментальным данным ниже значений, заключенных между геометрическими размерами прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 1,45 см с приращением отметок воды со стороны входа в регулятор показания теоретического уравнения q уменьшается, хотя и незначительно.

При анализе отметок теоретического уравнения, полученного по экспериментальным данным выше значений, заключенных между геометрическими размерами прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 1,45 см с приращением отметок воды со стороны входа в регулятор показания теоретического уравнения q прирастают. Вместе с тем по пути отдаления от седловины необходимо констатировать картину уменьшения описанного эффекта и степень влияния больше при больших диаметрах от среднего значения, чем при меньших диаметрах от среднего.

Когда постоянные отметки воды со стороны входа в регулятор отклонение геометрического размера прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом, приближенным к 1,45 см, несмотря на приращение или уменьшение параметра, теоретическое значение уравнения, полученного на основе экспериментальных данных однозначно уменьшаться.

Теоретическое значение уравнения, полученного на основе экспериментальных данных максимально в диапазоне постоянных отметок воды со стороны входа в регулятор, в то время, когда геометрические размеры прохода для истечения из объема управления эластичным рабочим органом фиксированы близко или

вообще равны значению близкому к 1,45 см. Однако, изменение функции отклика будет более существенным, при уменьшении диаметра сливного отверстия из объема, предназначенного для управления истечением из полости эластичного рабочего органа от среднего значения, чем при его увеличении.

Для построения сечений функции отклика, представленных на рисунках 4.15 и 4.16, введем обозначения: $q = z; H = x; d = y$.

$$F(x, y) := -9102,52 - 1,14 \cdot x + 13280,43 \cdot y + 3,36 \cdot x \cdot y - 4673,22 \cdot y^2;$$

$$F(x; 1,2); F(x; 1,4); F(x; 1,6);$$

$$\text{Plot 2d} ([F(x; 1,2); F(x; 1,4); F(x; 1,6)], [x; 36,60], [y; 0,700],$$

$[xlabel, \text{«Диаметр } H\text{»}], [ylabel, \text{«Расход } q\text{»}], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, \text{«set grid;»}])\$.$

$$F(36, y); F(48, y); F(60, y);$$

$$-4673,22 \cdot y^2 + 13401,64 \cdot y - 9143,85;$$

$$-4673,22 \cdot y^2 + 13442,04 \cdot y - 9157,63;$$

$$-4673,22 \cdot y^2 + 13482,45 \cdot y - 9171,40;$$

$$F1(x) := -4673,22 \cdot x^2 + 13401,64 \cdot x - 9143,85;$$

$$F2(x) := -4673,22 \cdot x^2 + 13442,04 \cdot x - 9157,63;$$

$$F3(x) := -4673,22 \cdot x^2 + 13482,45 \cdot x - 9171,40;$$

$$\text{Plot 2d} ([F1(x); F2(x); F3(x)], [x; 1,2; 1,6], [y; 0; 700],$$

$[xlabel, \text{«Диаметр } d\text{»}], [ylabel, \text{«Расход } q\text{»}], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, \text{«set grid;»}])\$.$

Разложение графика, представленного на рисунке 4.15 показывает, что в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H от 36 до 60 см, q имеет постоянную тенденцию к увеличению при увеличении аргумента, которым в данном случае выступает диаметр сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d .

На рисунке 4.16 представлено сечение поверхности функции отклика при факторе уровня воды в верхнем бьефе H равном 36; 48 и 60 см.

Анализ графика, представленного на рисунке 4.16 показывает, что q в исследуемом объеме преобразования диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d имеет экстремум. Однако в объеме преобразования уровня воды в верхнем бьефе H равном 36; 48; 60 см, при отдалении от точки экстремума, как в сторону увеличения фактора влияния, так и в сторону его уменьшения, имеем однозначное уменьшение самой функции отклика, но при движении аргумента в сторону понижения – это влияние менее существенное.

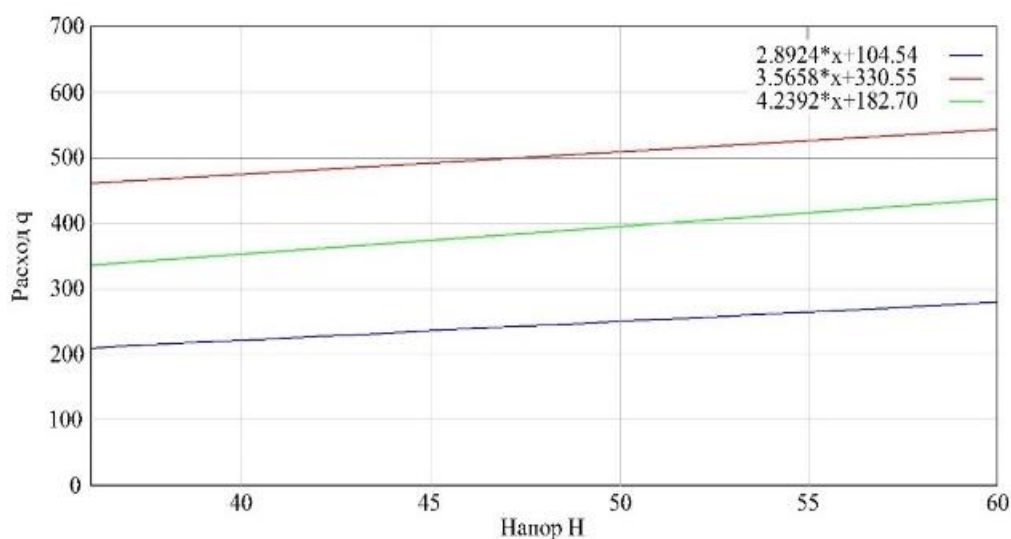


Рисунок 4.15 – Аппроксимационные зависимости при параметре $d=1,2; 1,4; 1,6$

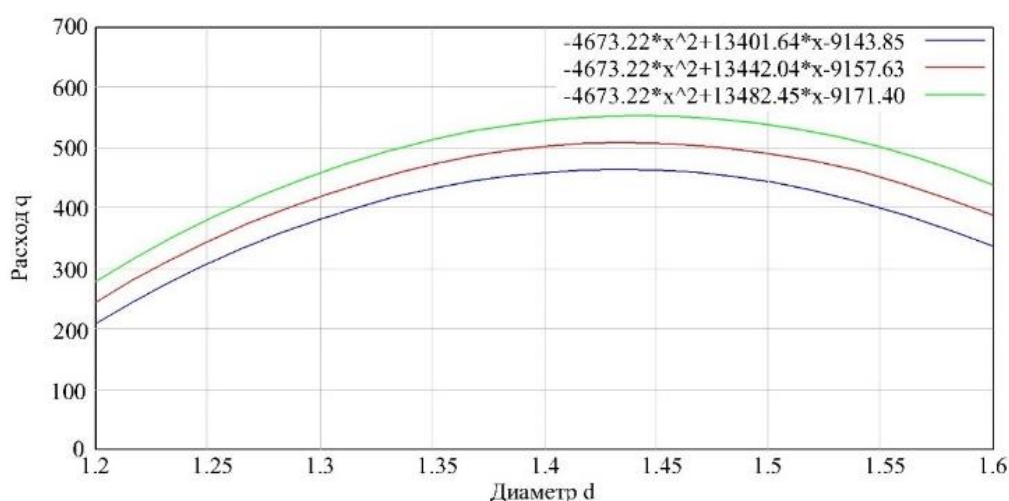


Рисунок 4.16 – Поверхности зависимости при параметре $H=36; 48; 60$

Представленное позволяет всесторонне проанализировать работу задатчика естественного образца ленточного регулятора расхода воды, как гидравлически действующего устройства во всех режимах основных факторов и, в дальнейшем, будет способствовать решению вопроса улучшения его конструктивно-технологических свойств.

Выводы

1. Выполнены натурные исследования основных $Q = f(H, d)$ расходных характеристик регулятора с ленточным запорным органом. Получены адекватные регрессионные модели. Установлено, что функция постоянно возрастает в объеме преобразования рабочего напора от 36 до 60 см, при этом наименьшее влияние на функцию отклика Q оказывает наименьший диаметр сливного отверстия $d = 1,2$ см, когда расход преобразуется лишь от 600 до 800 см³/с. При диаметре сливного отверстия $d = 1,4$ см имеем максимальное влияние диаметра на функцию отклика, когда расход изменился от 3200 до 4000 см³/с в объеме преобразования напора от 36 до 60 см. При максимальном диаметре сливного отверстия $d = 1,6$ см влияние данного фактора уменьшается, и функция изменяется от 2200 до 3550 см³/с в объеме преобразования рабочих напоров, однако в абсолютном приращении по влиянию на расход, как показывают приведенные цифры больший диаметр эффективнее реагирует на функцию отклика при изменении рабочего напора.

2. Выполнены натурные исследования управляющих $q=f(H,d)$ расходных характеристик регулятора с ленточным регулирующим органом. Получены адекватные регрессионные модели. Осуществлен анализ полученного материала исследований. Построены графики: поверхности, линий уровня и сечений функции отклика, показывающие, что в области значений диаметра сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d , близком к 1,45 находится гребень седловины, когда q наиболее чувствительна к изменению уровня воды в верхнем бьефе H , в объеме преобразования параметров. Ниже области функции

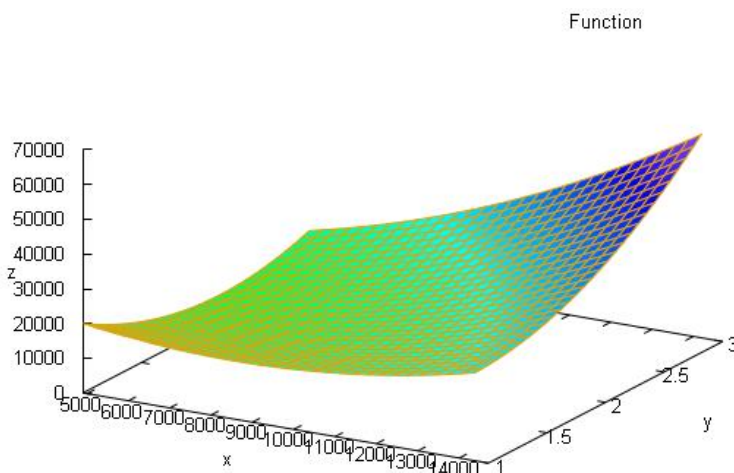
отклика ограниченной диаметром сливного отверстия из управляющей полости ленточного запорного органа d близком к 1,45 см с увеличением уровня воды в верхнем бьефе H значения функции отклика q уменьшается, хотя и незначительно. Выше указанной области d близком к 1,45 см с увеличением рабочего напора в верхнем бьефе H значения функции отклика q увеличиваются. Однако по мере удаления от седловины данный эффект имеет ярко выраженную тенденцию к затуханию и степень влияния больше при больших диаметрах от среднего значения, чем при меньших диаметрах от среднего.

ГЛАВА 5 МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗВЕНА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

5.1 Сравнительный анализ расходных характеристик регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте

С целью обоснованного выбора вида регулятора с порогом или с выступом на ленте осуществим сравнительный анализ их расходных характеристик. Начальная стадия открытия запорного органа является определяющей для представленных видов регуляторов, так как при раскрытии запорного органа более 3 мм влияние введенных конструктивных изменений в регулятор таких как порог на седле или выступ на ленте регулятора практического влияния на расходные характеристики регуляторов не оказывают. В стадии открытия запорного органа имеем отличие расходных характеристик у регуляторов различного вида, что и подлежит рассмотрению.

График поверхности $Q_{пор} = f(H, a)$ (см. рисунок 5.1), линий уровня и сечений функции отклика от принятых к исследованию факторов построен в ПК wxMaxima. Расчеты, выполненные ПК FlowVision и представленные в предыдущей главе далее, представлены в виде матрицы.



z – расход по седлу
регулятора ($\text{см}^3/\text{с}$);

$y(a)$ – раскрытие ленты в мм;

$x(H)$ – давление в Па

Рисунок 5.1 – Поверхность $Q_{пор} = f(H, a)$ естественного образца с порогом

Исходные данные загружаются в numericalio, он используется и для записи матричных показателей: load(«numericalio»).

Исходные показатели выглядят матрицей для чего numericalio – read_matrix читает матрицу из файла.

5.1.1 Исследование расхода $Q_{nop} = f(H, a)$ по седлу регулятора с порогом естественного образца

При численном моделировании приняты следующие обозначения: y – открытие ленты запорного органа; x – давление на входе.

```
(%o1)
C:/PROGRA~1/MAXIMA~1.0-2/share/maxima/5.28.0-2/share/numericalio/numericalio.mac
data:read_matrix("D:/matris/bes_wist.txt").
M:matrix([4903,1,14523],[9806,1,20849],[14709,1,28084],[4903,2,12801],[9806,2,
21239],[14709,2,27090],[4903,3,14532],[9806,3,24860],[14709,3,72874]);
```

$$(M) \begin{pmatrix} 4903 & 1 & 14523 \\ 9806 & 1 & 20849 \\ 14709 & 1 & 28084 \\ 4903 & 2 & 12801 \\ 9806 & 2 & 21239 \\ 14709 & 2 & 27090 \\ 4903 & 3 & 14532 \\ 9806 & 3 & 24860 \\ 14709 & 3 & 72874 \end{pmatrix}$$

```
s:lsquares_estimates(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,[a,b,c,d,e,f]);
```

$$(s) \quad \left[\left[a = \frac{682225}{9}, b = -\frac{64061}{9806}, c = -\frac{299381}{6}, d = \frac{44781}{19612}, e = \frac{18004}{72118227}, f = \frac{26731}{3} \right] \right]$$

```
float(%);
```

$$(\%o3) \quad \left[\left[a = 75802.77777777778, b = -6.532837038547828, \right. \right. \\ \left. \left. c = -49896.833333333334, d = 2.283346930450744, \right. \right. \\ \left. \left. e = 2.496456270340645 * 10^{-4}, f = 8910.333333333334 \right] \right]$$

```
lsquares_residuals(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,first(s));
```

```
(%o4)      [-196537/36, 33281/9, 63413/36, 43103/9, 43769/9, -86872/9, 24125/36, -77050/9, 284075/36]
z(x,y):=75802.777-6.533*x-49896.833*y+2.283*x*y+2.496456270340645*10^-
-4*x^2+8910.333*y^2;
```

```
(%o5)      z(x,y):= 75802.777 - 6.533 * x + (-49896.833) * y + 2.283 * x * y +
+2.496456270340645 * 10^-4 * x^2 + 8910.333 * y^2
wxplot3d(75802.777-6.533*x-49896.833*y+2.283*x*y+2.496456270340645*10^(-
-4)*x^2+8910.333*y^2, [x,4903,14709], [y,1,3])$ (%t6)
```

Для построения сечений поверхности отклика $Q_{nop} = f(H, a)$, при раскрытии ленты на 1, 2, 3 мм, представленных на рисунке 5.2, выполняются следующие расчеты:

```
F(x,y):=75802.777-6.533*x-49896.833*y+2.283*x*y+2.496456270340645*10^-
-4*x^2+8910.333*y^2;
```

```
(%o28)      F(x,y):=75802.777-6.533*x+(-49896.833)*y+2.283*x*y+2.49645627*
*10^(-4)*x^2+8910.333*y^2
```

```
F(x,1);F(x,2.0);F(x,3.0);
```

```
(%o29)      2.496456270340645*10^-4*x^2-4.25*x+34816.277
```

```
(%o30)      2.496456270340645*10^-4*x^2-1.967*x+11650.443000000001
```

```
(%o31)      2.496456270340645*10^-4*x^2+0.315999999*x+6305.274999999994
```

```
plot2d([F(x,1),F(x,2.0),F(x,3.0)], [x,5000,14000], [y,0,60000],
```

```
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "set grid;"])$
```

При минимальном раскрытии запорного органа $a = 1$ мм функция расхода имеет экстремум по минимуму при $H = 8500$ Па, расход $Q_{nop} = 16800$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па расход $Q_{выст} = 20000$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па расход $Q_{выст} = 24600$ см³/с.

При раскрытии запорного органа $a = 2$ мм в объеме преобразования рабочего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па, расход не переставая восходит от $Q_{nop} = 9000$ и до 33000 см³/с.

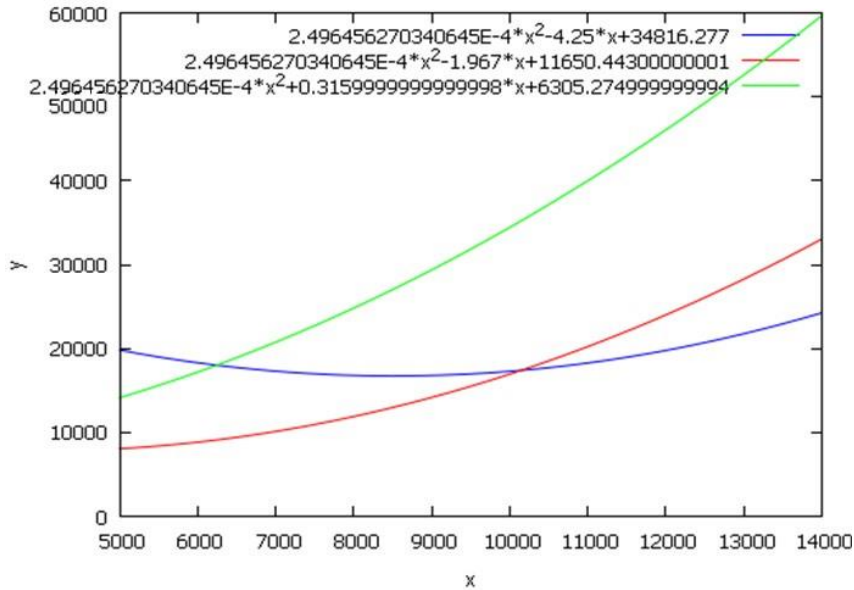


Рисунок 5.2 – Сечения
 $Q_{пор} = f(H, a)$,
 при раскрытии ленты
 по седлу регулятора на
 1, 2 и 3 мм

При раскрытии запорного органа $a = 3$ мм в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па, расход также не переставая восходит от $Q_{пор} = 14500$ и до 60000 см³/с.

Для построения сечений поверхности отклика $Q_{пор} = f(H, a)$ при действующем давлении на входе $H = 5000$; 9000 и 14000 Па, представленных на рисунке 5.3, выполняются следующие расчеты:

$$F(x,y):=75802.777-6.533*x-49896.833*y+2.283*x*y+2.496456270340645*10^{-4}*x^2+8910.333*y^2;$$

$$(\%o28) \quad F(x,y):=75802.777-6.533*x+(-49896.833)*y+2.283*x*y+2.49645627*10^{-4}*x^2+8910.333*y^2$$

$$F(5000,y);F(9000,y);F(14000,y);$$

$$(\%o33) \quad 8910.333*y^2-38481.833*y+49378.91767585161$$

$$(\%o34) \quad 8910.333*y^2-29349.833*y+37227.07278975923$$

$$(\%o35) \quad 8910.333*y^2-17934.833*y+33271.31989867665$$

$$F1(x):=8910.333*x^2-38481.833*x+49378.91767585161;$$

$$F2(x):=8910.333*x^2-29349.833*x+37227.07278975923;$$

$$F3(x):=8910.333*x^2-17934.833*x+33271.31989867665;$$

$$(\%o36) \quad F1(x):=8910.333*x^2-38481.833*x+49378.91767585161$$

$$(\%o37) \quad F2(x):=8910.333*x^2-29349.833*x+37227.07278975923$$

$$(\%o38) \quad F3(x):=8910.333*x^2-17934.833*x+33271.31989867665$$

```
plot2d([F1(x),F2(x),F3(x)], [x,1,3], [y,0,60000],
```

```
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "setgrid;"])$
```

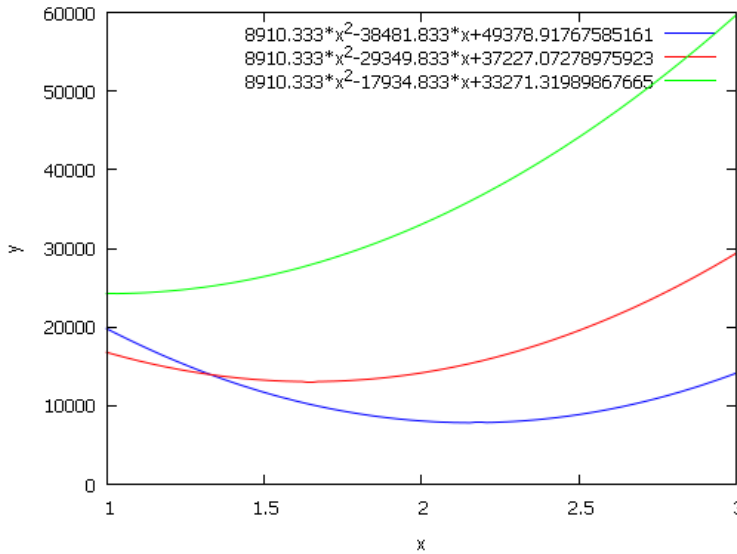


Рисунок 5.3 –
Поверхности
 $Q_{пор} = f(H, a)$,
при давлении
 $H = 5000; 9000$ и
 14000 Па

При минимальном действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 2,25$ мм, и который фактически составляет $Q = 8500$ см³/с. При уменьшении или при увеличении величины открытия запорного органа функция расхода неизменно увеличивается и при $a = 1$ мм расход составляет $Q_{пор} = 20000$ см³/с, а при открытия запорного органа $a = 3$ мм функция расхода $Q_{пор} = 14000$ см³/с.

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 9000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 1,5-1,6$ мм, и который фактически составляет $Q_{пор} = 15000$ см³/с.

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па функция расхода не переставая восходит. При раскрытии запорного органа $a = 1$ мм фактический расход составляет $Q_{пор} = 24500$ см³/с, а при $a = 3,0$ мм фактический расход составляет $Q_{пор} = 60000$ см³/с.

5.1.2 Исследование расхода $q_{nop} = f(H, a)$ из управляющей полости регулятора с порогом естественного образца

Численное моделирование, алгоритм расчета и анализа q_{nop} , а также принятые обозначения аналогичны действиям при работе с Q_{nop} , в связи с чем далее будут представляться результаты без детализированных пояснений.

M:matrix([4903,1,786],[9806,1,1254],[14709,1,2054],[4903,2,735],[9806,2,114],[14709,2,1697],[4903,3,1098],[9806,3,1951],[14709,3,1275]);

$$(M) \quad \text{matrix}((M) \begin{pmatrix} 4903 & 1 & 786 \\ 9806 & 1 & 1254 \\ 14709 & 1 & 2054 \\ 4903 & 2 & 735 \\ 9806 & 2 & 1146 \\ 14709 & 2 & 1697 \\ 4903 & 3 & 1098 \\ 9806 & 3 & 1951 \\ 14709 & 3 & 1275 \end{pmatrix})$$

s:lsquares_estimates(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,[a,b,c,d,e,f]);

(s) [[a=-4709/9,b=4954/14709,c=-515/2,d=-1091/19612,e=-1057/144236454,f=631/3]]

float(%);

(%o3)[[a=-523.2222222222222,b=0.3368005982731661,c=-257.5,

d=-0.05562920660819906,e=-7.32824449497351*10^-6,f=210.3333333333333]]

lsquares_residuals(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,first(s));

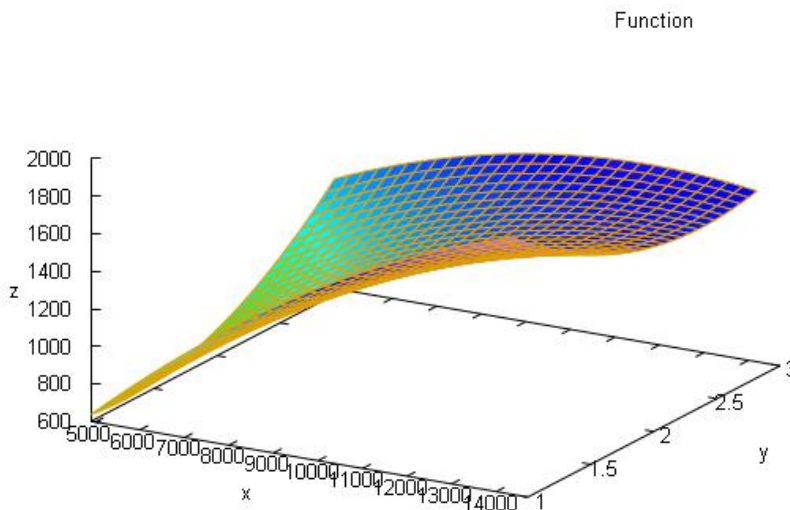
(%o4)[5543/36,-2053/9,2669/36,20/9,-1477/9,1457/9,-5623/36,3530/9,-8497/36]

z(x,y):=-523.222+0.337*x-257.5*y-0.055*x*y-7.32824449497351*10^-6*x^2+210.333*y^2;

(%o1)z(x,y):=-523.222+0.337*x+(-257.5)*y+(-0.055)*x*y+(-7.32824449497351)*10^(-6)*x^2+210.333*y^2

wxplot3d(-523.222+0.337*x-257.5*y-0.055*x*y-(7.32824449497351)*10^(-6)*x^2+210.333*y^2, [x,4903,14709], [y,1,3])\$ (%t2)

График поверхности $q_{\text{пор}} = f(H, a)$ естественного образца с порогом представлен на рисунке 5.4.



z – расход по седлу регулятора ($\text{см}^3/\text{с}$);
 $y(a)$ – раскрытие ленты (мм);
 $x(H)$ – давление (Па)

Рисунок 5.4 – График $q_{\text{пор}} = f(H, a)$ естественного образца с порогом

Для построения сечений поверхности отклика $q_{\text{пор}} = f(H, a)$ при раскрытии ленты на 1, 2, 3 мм представленной на рисунке 5.5, выполняются следующие расчеты:

```
F(x,y):=-523.222+0.337*x-257.5*y-0.055*x*y-7.32824449497351*10^-6*x^2+210.333*y^2;
```

```
(%o1)F(x,y):=-523.222+0.337*x+(-257.5)*y+(-0.055)*x*y+(-7.32824449497351)*10^(-6)*x^2+210.333*y^2
```

```
F(x,1);F(x,2.0);F(x,3.0);
```

```
(%o2)-7.328244494973509*10^-6*x^2+0.282*x-570.389
```

```
(%o3)-7.328244494973509*10^-6*x^2+0.227*x-196.89
```

```
(%o4)-7.328244494973509*10^-6*x^2+0.172*x+597.27500000000001
```

```
plot2d([F(x,1),F(x,2.0),F(x,3.0)], [x,5000,14000], [y,600,2000],
```

```
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "set grid;"])$
```

При минимальном раскрытии запорного органа $a = 1$ мм в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па, расход неизменно активно возрастает и составляет: при $H = 5000$ Па имеем $q = 625 \text{ см}^3/\text{с}$, а при $H = 14000$ Па имеем $q = 1950 \text{ см}^3/\text{с}$.

При раскрытии запорного органа $a = 2$ мм в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па расход не переставая восходит от 750 и до 1550 см³/с однако уже не так быстро.

При раскрытии запорного органа $a = 3$ мм функция расхода имеет экстремум по максимуму при $H = 12000$ Па, расход $q_{пор} = 1600$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па расход $q_{пор} = 1270$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па расход $q_{пор} = 1580$ см³/с.

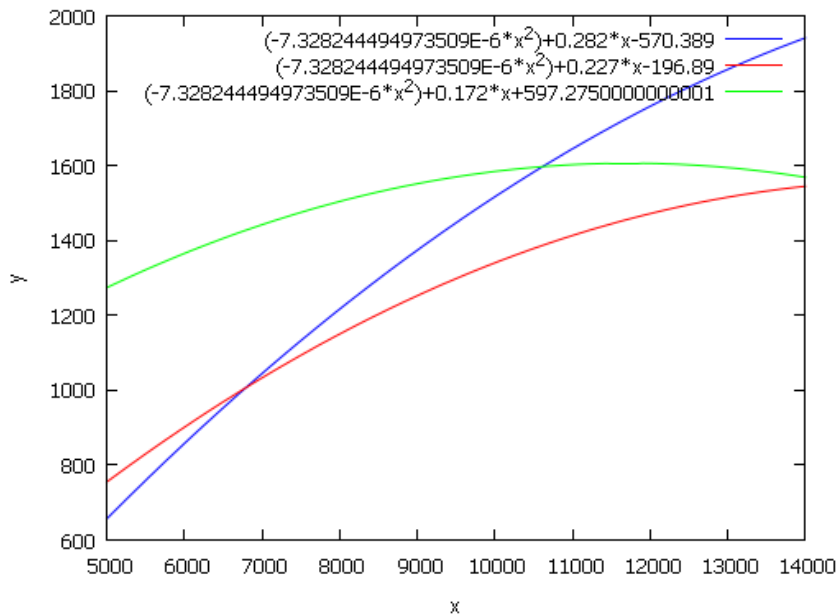


Рисунок 5.5 – Сечения $q_{пор} = f(H, a)$, при раскрытии ленты на седле регулятора на 1, 2 и 3 мм

Для построения сечений поверхности отклика $q_{пор} = f(H, a)$, при действующем давлении на входе $H = 5000; 9000$ и 14000 Па, представленных на рисунке 5.6, выполняются следующие расчеты:

$F(5000, y); F(9000, y); F(14000, y);$

(%o6) $210.333*y^2 - 532.5*y + 978.5718876256623$

(%o7) $210.333*y^2 - 752.5*y + 1916.190195907146$

(%o8) $210.333*y^2 - 1027.5*y + 2758.442078985192$

$F1(x) := 210.333*x^2 - 532.5*x + 978.5718876256623;$

$F2(x) := 210.333*x^2 - 752.5*x + 1916.190195907146;$

$F3(x) := 210.333*x^2 - 1027.5*x + 2758.442078985192;$

(%o9) $F1(x) := 210.333*x^2 - 532.5*x + 978.5718876256623$

(%o10) $F2(x) := 210.333*x^2 - 752.5*x + 1916.190195907146$

(%o11) $F3(x) := 210.333*x^2 - 1027.5*x + 2758.442078985192$

```
plot2d([F1(x),F2(x),F3(x)], [x,1,3], [y,600,2000],
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "set
grid;"])$
```

При минимальном действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 1,25$ мм, и который фактически составляет $q = 630$ см³/с. При уменьшении или при увеличении величины открытия запорного органа, функция расхода неизменно увеличивается и при $a = 1$ мм расход составляет $q = 640$ см³/с, а при открытия запорного органа $a = 3$ мм, функция расхода $q = 1240$ см³/с.

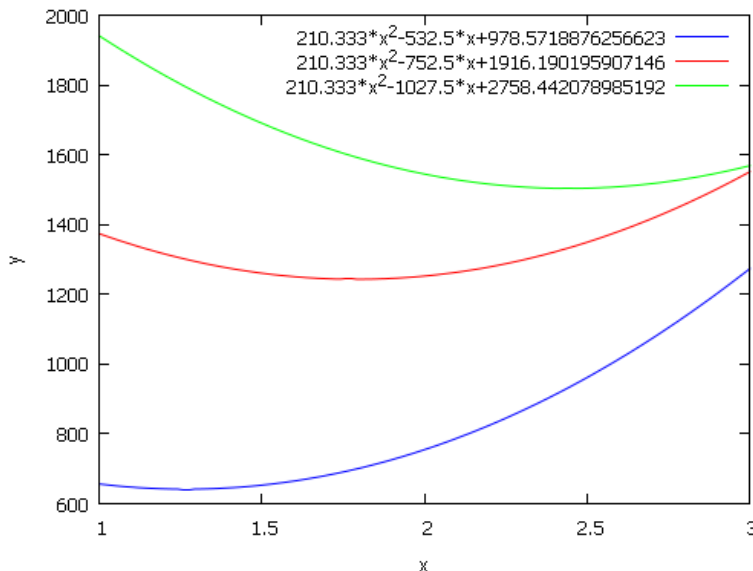


Рисунок 5.6 – Сечения

$$q_{\text{пор}} = f(H, a),$$

при давлении на входе

$H = 5000; 9000$ и

14000 Па

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 9000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 1,7$ мм и фактически составляет $q = 1300$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 1,0$ мм расход составляет $q = 1390$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 3,0$ мм расход составляет $q = 1500$ см³/с.

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 2,45$ мм и фактически составляет $q = 1530$ см³/с.

При раскрытии запорного органа $a = 1,0$ мм расход составляет $q = 1950 \text{ см}^3/\text{с}$. При раскрытии запорного органа, $a = 3,0$ мм расход составляет $q = 1550 \text{ см}^3/\text{с}$.

Далее осуществим подобный подробный анализ работы регулятора с выступом на ленте.

5.1.3 Исследование расхода $Q_{\text{выс}} = f(H, a)$ по седлу регулятора с выступом на ленте естественного образца

Расчетная матрица имеет вид:

M:matrix([4903,1,12853],[9806,1,18659],[14709,1,25416],[4903,2,11713],[9806,2,19646],[14709,2,25329],[4903,3,13733],[9806,3,23741],[14709,3,70324]);

$$(M) \begin{pmatrix} 4903 & 1 & 12853 \\ 9806 & 1 & 18659 \\ 14709 & 1 & 25416 \\ 4903 & 2 & 11713 \\ 9806 & 2 & 19646 \\ 14709 & 2 & 25329 \\ 4903 & 3 & 13733 \\ 9806 & 3 & 23741 \\ 14709 & 3 & 70324 \end{pmatrix}$$

s:lsquares_estimates(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,[a,b,c,d,e,f]);

$$(s) \quad \left[\left[a = \frac{649876}{9}, b = -\frac{95209}{14709}, c = -47769, d = \frac{11007}{4903}, e = \frac{17638}{72118227}, f = \frac{25675}{3} \right] \right]$$

float(%);

$$\begin{aligned} (\%o3) \quad & \left[\left[a = 72208.444444444444, b = -6.47283975797131, \right. \right. \\ & \left. \left. c = -47769.0, d = 2.244952070161126, e = 2.445706270621434 \cdot 10^{-4}, \right. \right. \\ & \left. \left. f = 8558.333333333334 \right] \right] \end{aligned}$$

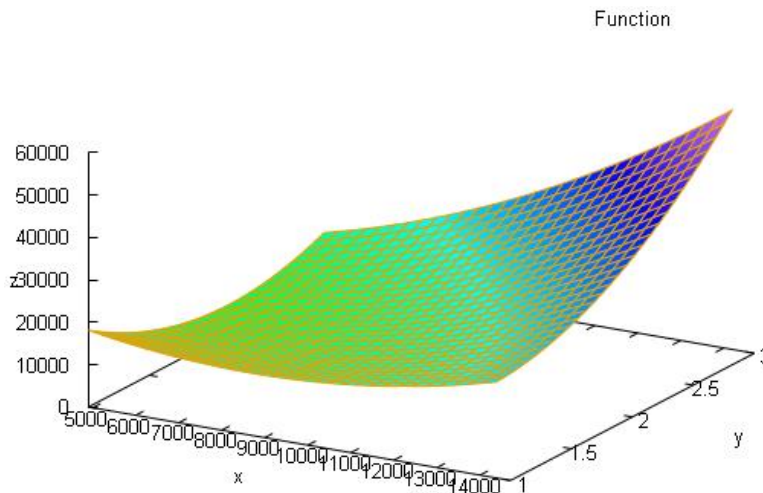
lsquares_residuals(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,first(s));

$$(\%o4) \quad \left[-\frac{47653}{9}, \frac{32423}{9}, \frac{15230}{9}, \frac{41870}{9}, \frac{42026}{9}, -\frac{83896}{9}, \frac{5783}{9}, -\frac{74449}{9}, \frac{68666}{9} \right]$$

$$\begin{aligned} z(x,y) := & 72208.444 - 6.473 * x - 47769.0 * y + 2.245 * x * y + 2.445706270621434 * 10^{-4} * \\ & - 4 * x^2 + 8558.333 * y^2; \end{aligned}$$

```
(%o5) z(x,y):= 72208.444 - 6.473 * x + (-47769.0) * y + 2.245 * x * y +
2.445706270621434 * 10^-4 * x^2 + 8558.333 * y^2
wxplot3d(72208.444-6.473*x-47769.0*y+2.245*x*y+2.44*10^(-
-4)*x^2+8558.333*y^2, [x,4903,14709], [y,1,3])$ (%t6)
```

Для построения сечений поверхности отклика $Q_{\text{выст}} = f(H, a)$ при раскрытии ленты на 1, 2 и 3 мм, представленной на рисунке 5.7 и 5.8, выполняются следующие расчеты:



z – расход по седлу
регулятора ($\text{см}^3/\text{с}$);
 $y(a)$ – раскрытие в мм;
 $x(H)$ – давление в Па

Рисунок 5.7 – График
 $Q_{\text{выст}} = f(H, a)$
естественного образца
с выступом на ленте

```
F(x,y):=72208.444-6.473*x-47769.0*y+2.245*x*y+2.445706270621434*10^-
-4*x^2+8558.333*y^2;
```

```
(%o1)F(x,y):=72208.444-6.473*x+(-47769.0)*y+2.245*x*y+2.44570627064*10^(-
-4)*x^2+8558.333*y^2
```

```
F(x,1);F(x,2.0);F(x,3.0);
```

```
(%o2)2.445706270621434*10^-4*x^2-4.228*x+32997.777
```

```
(%o3)2.445706270621434*10^-4*x^2-1.983*x+10903.776
```

```
(%o4)2.445706270621434*10^-4*x^2+0.26200000000000005*x+5926.4410000000006
```

```
plot2d([F(x,1),F(x,2.0),F(x,3.0)], [x,5000,14000], [y,0,60000],
```

```
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "set grid;"]$.
```

При минимальном раскрытии запорного органа $a = 1$ мм функция расхода имеет экстремум по минимуму при $H = 9000$ Па, расход $Q_{\text{выст}} = 16800 \text{ см}^3/\text{с}$. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па расход

$Q_{\text{выст}} = 19000 \text{ см}^3/\text{с}$. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000 \text{ Па}$, расход $Q_{\text{выст}} = 21600 \text{ см}^3/\text{с}$.

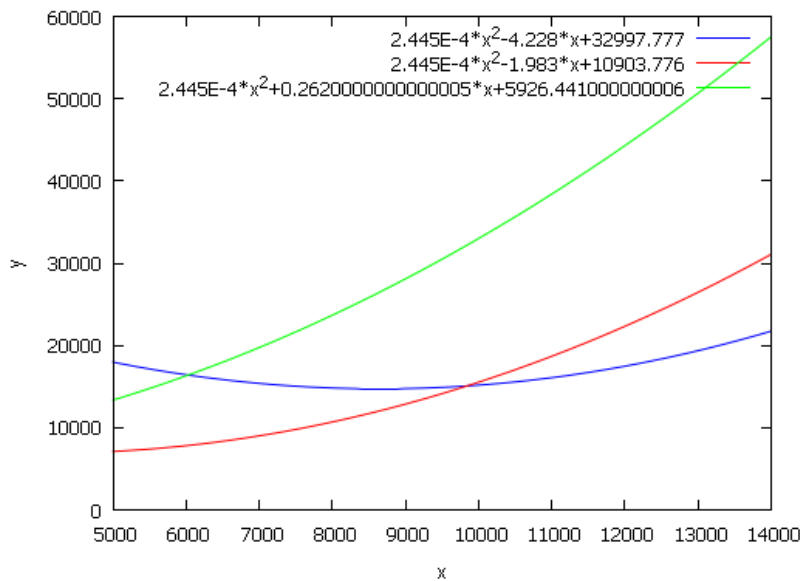


Рисунок 5.8 – Сечения

$$Q_{\text{выст}} = f(H, a),$$

при раскрытии ленты

на седле регулятора

1, 2 и 3 мм

При раскрытии запорного органа $a = 2 \text{ мм}$ в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па расход не переставая восходит от $Q_{\text{выст}} = 7000$ и до $32000 \text{ см}^3/\text{с}$.

При раскрытии запорного органа $a = 3 \text{ мм}$ в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па , расход также не переставая восходит от $Q_{\text{выст}} = 14000$ и до $Q_{\text{выст}} = 58000 \text{ см}^3/\text{с}$.

Для построения сечений поверхности отклика $Q_{\text{выст}} = f(H, a)$ при действующем давлении на входе $H = 5000$; 9000 и 14000 Па , представленных на рисунке 5.9, выполняются следующие расчеты:

$F(5000, y)$; $F(9000, y)$; $F(14000, y)$;

(%o6) $8558.333*y^2 - 36544.0*y + 45957.70967655359$

(%o7) $8558.333*y^2 - 27564.0*y + 33761.66479203363$

(%o8) $8558.333*y^2 - 16339.0*y + 29522.28690418012$

$F1(x) := 8558.333*x^2 - 36544.0*x + 45957.70967655359$;

$F2(x) := 8558.333*x^2 - 27564.0*x + 33761.66479203363$;

$F3(x) := 8558.333*x^2 - 16339.0*x + 29522.28690418012$;

(%o9) $F1(x) := 8558.333*x^2 - 36544.0*x + 45957.70967655359$

(%o10) F2(x):=8558.333*x^2-27564.0*x+33761.66479203363

(%o11) F3(x):=8558.333*x^2-16339.0*(29522.28690418012)

plot2d([F1(x),F2(x),F3(x)], [x,1,3], [y,0,60000],

[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot],

[gnuplot_preamble, "set grid;"])\$ plot2d: all values were clipped.

При минимальном действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 2,20$ мм, и который фактически составляет $Q_{\text{выст}} = 8500$ см³/с. При уменьшении или при увеличении величины открытия запорного органа функция расхода неизменно увеличивается и при $a = 1$ мм расход составляет $Q_{\text{выст}} = 18500$ см³/с, а при открытия запорного органа $a = 3$ мм, функция расхода $Q_{\text{выст}} = 13500$ см³/с.

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 9000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа, $a = 1,5$ мм и фактически составляет $Q_{\text{выст}} = 15000$ см³/с.

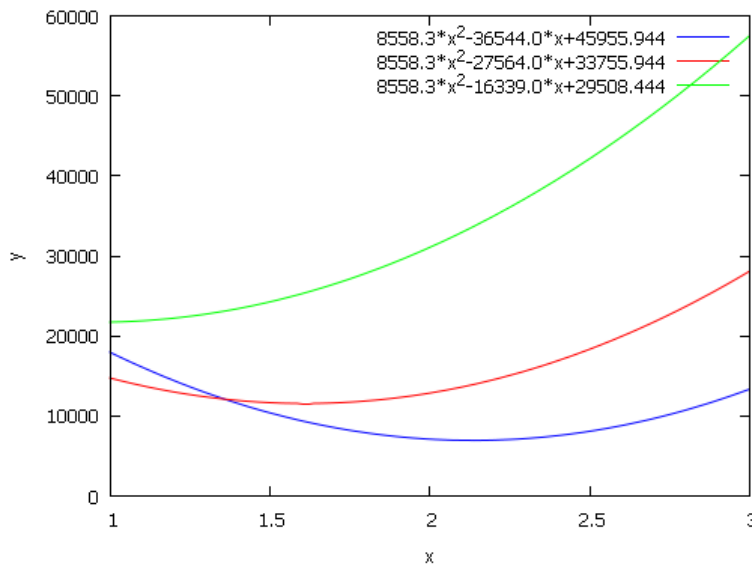


Рисунок 5.9 – Сечения

$$Q_{\text{выст}} = f(H, a),$$

при давлении на входе

$H = 5000; 9000$ и

14000 Па

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па функция расхода не переставая восходит. При раскрытии запорного органа $a = 1,0$ мм фактический расход составляет $Q_{\text{выст}} = 23000$ см³/с, а при $a = 3,0$ мм фактический расход составляет $Q_{\text{выст}} = 58000$ см³/с.

5.1.4 Исследование расхода $q_{\text{выст}} = f(H, a)$ из управляющей полости регулятора с выступом на ленте естественного образца

Расчетная матрица имеет вид:

M:matrix([4903,1,696],[9806,1,1123],[14709,1,1859],[4903,2,672],[9806,2,1060],[14709,2,1586],[4903,3,1038],[9806,3,1863],[14709,3,1230]);

$$(M) \begin{pmatrix} 4903 & 1 & 696 \\ 9806 & 1 & 1123 \\ 14709 & 1 & 1859 \\ 4903 & 2 & 672 \\ 9806 & 2 & 1060 \\ 14709 & 2 & 1586 \\ 4903 & 3 & 1038 \\ 9806 & 3 & 1863 \\ 14709 & 3 & 1230 \end{pmatrix}$$

s:lsquares_estimates(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,[a,b,c,d,e,f]);

$$(s) \quad \left[\left[a = -552, b = \frac{4613}{14709}, c = -221, d = -\frac{971}{19612}, e = -\frac{337}{48078818}, f = \frac{391}{2} \right] \right]$$

float(%);

$$(\%o3) \quad \left[\left[a = -552.0, b = 0.3136175130872255, c = -221.0, \right. \right. \\ \left. \left. d = -0.04951050377320008, e = -7.00932373171070810^{-6}, f = 195.5 \right] \right]$$

lsquares_residuals(M,[x,y,z],z=a+b*x+c*y+d*x*y+e*x^2+f*y^2,first(s));

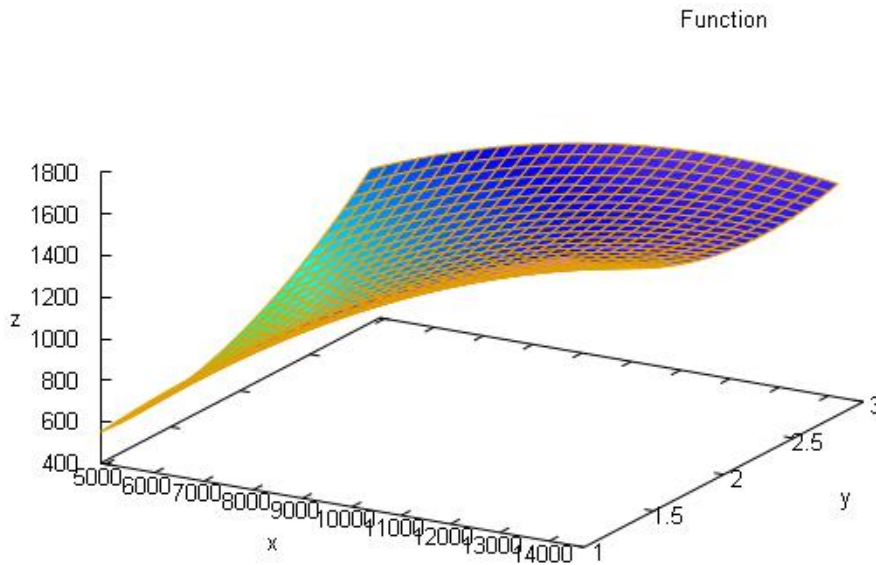
$$(\%o5) \quad \left[\frac{1765}{12}, -\frac{646}{3}, \frac{273}{4}, \frac{1}{3}, -\frac{475}{3}, 158, -\frac{1769}{12}, \frac{1121}{3}, -\frac{905}{4} \right]$$

$$z(x,y):=-552.0+0.314*x-221.0*y-0.0495*x*y-7.009323731710708*10^{-6}*x^2+195.5*y^2;$$

$$(\%o1) \quad z(x,y) := -552.0 + 0.314 * x + (-221.0) * y + (-0.0495) * x * y + \\ + (-7.009323731710708) * 10^{-6} * x^2 + 195.5 * y^2$$

wxplot3d(-552.0+0.314*x-221.0*y-0.0495*x*y+(-7.009323731710708)*10⁽⁻⁶⁾*x²+195.5*y², [x,4903,14709], [y,1,3])\$ (%t1)

Для построения сечений поверхности отклика $q_{\text{выст}} = f(H, a)$ при раскрытии ленты на 1, 2, 3 мм, представленной на рисунке 5.10 и 5.11, выполняются следующие расчеты:



z – расход
из регулятора в $\text{см}^3/\text{с}$;
 $y(a)$ – раскрытие
ленты в мм;
 $x(H)$ – давление в Па

Рисунок 5.10 – График
 $q_{\text{выст}} = f(H, a)$
естественного образца
с выступом на ленте

```
F(x,y):=-552.0+0.314*x-221.0*y-0.0495*x*y-7.009323731710708*10^-6*x^2+195.5*y^2;
```

```
(%o1)F(x,y):=-552.0+0.314*x+(-221.0)*y+(-0.0495)*x*y+(-7.009323731710708)*10^(-6)*x^2+195.5*y^2
```

```
F(x,1);F(x,2.0);F(x,3.0);
```

```
(%o2)-7.009323731710708*10^-6*x^2+0.2645*x-577.5
```

```
(%o3)-7.009323731710708*10^-6*x^2+0.215*x-212.0
```

```
(%o4)-7.009323731710708*10^-6*x^2+0.1655*x+544.5
```

```
plot2d([F(x,1),F(x,2.0),F(x,3.0)], [x,5000,14000], [y,400,1800],
```

```
[xlabel, "x"],[ylabel, "y"], [plot_format, gnuplot], [gnuplot_preamble, "set grid;"])$.
```

При минимальном раскрытии запорного органа $a = 1$ мм в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па расход неизменно активно возрастает и составляет: при $H = 5000$ Па имеем $q_{\text{выст}} = 580 \text{ см}^3/\text{с}$, а при $H = 14000$ Па имеем $q_{\text{выст}} = 1750 \text{ см}^3/\text{с}$.

При раскрытии запорного органа $a = 2$ мм в объеме преобразования действующего давления на входе в регулятор от $H = 5000$ до 14000 Па расход не переставая восходит от 700 и до $1450 \text{ см}^3/\text{с}$, однако уже не так быстро.

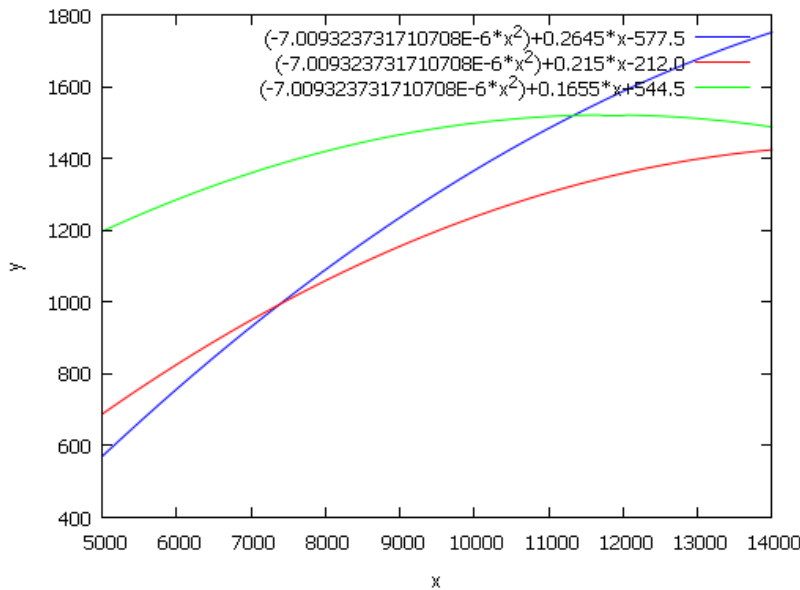


Рисунок 5.11 – Сечения

$$q_{\text{выст}} = f(H, a),$$

при раскрытии ленты

на седле регулятора

$a = 1, 2$ и 3 мм

При раскрытии запорного органа $a = 3$ мм функция расхода имеет экстремум по максимуму при $H = 12000$ Па расход $q_{\text{выст}} = 1530$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па расход $q_{\text{выст}} = 1200$ см³/с. При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па расход $q_{\text{выст}} = 1450$ см³/с.

Для построения сечений поверхности отклика $q_{\text{выст}} = f(H, a)$ при рабочем давлении $H = 5000; 9000$ и 14000 Па (рисунок 5.12), выполняются следующие расчеты:

$F(5000, y); F(9000, y); F(14000, y);$

(%o6) $195.5*y^2-468.5*y+842.7669067072322$

(%o7) $195.5*y^2-666.5*y+1706.244777731433$

(%o8) $195.5*y^2-914.0*y+2470.172548584701$

$F1(x):=195.5*x^2-468.5*x+842.7669067072322;$

$F2(x):=195.5*x^2-666.5*x+1706.244777731433;$

$F3(x):=195.5*x^2-914.0*x+2470.172548584701;$

(%o9) $F1(x):=195.5*x^2-468.5*x+842.7669067072322$

(%o10) $F2(x):=195.5*x^2-666.5*x+1706.244777731433$

(%o11) $F3(x):=195.5*x^2-914.0*x+2470.172548584701$

$\text{plot2d}([F1(x), F2(x), F3(x)], [x, 1, 3], [y, 400, 1800],$

$[x\text{label}, "x"], [y\text{label}, "y"], [\text{plot_format}, \text{gnuplot}], [\text{gnuplot_preamble}, "set grid;"])$.$

При минимальном действующем давлении на входе в регулятор $H = 5000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 1,20$ мм, и который фактически составляет $q = 570$ см³/с. При уменьшении или при увеличении величины открытия запорного органа функция расхода неизменно увеличивается и при $a = 1$ мм расход составляет $q = 580$ см³/с, а при открытии запорного органа $a = 3$ мм функция расхода $q = 1200$ см³/с.

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 9000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 1,7$ мм и фактически составляет $q = 1180$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 1,0$ мм расход составляет $q = 1250$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 3,0$ мм расход составляет $q = 1470$ см³/с.

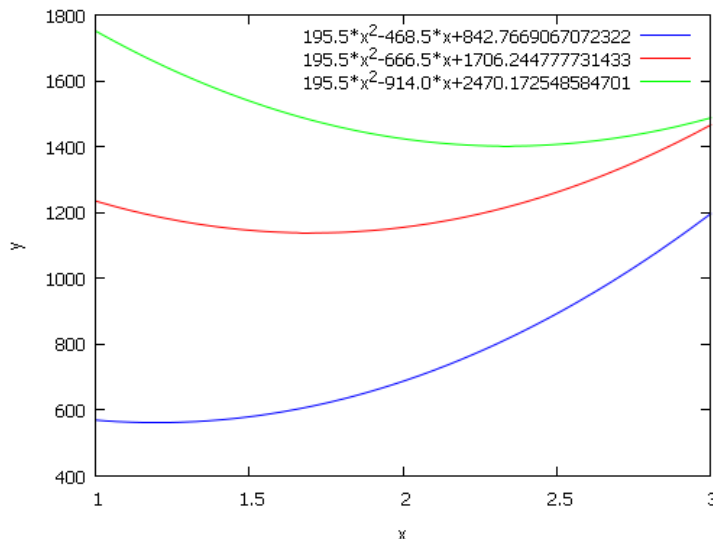


Рисунок 5.12 – Сечения поверхности отклика $q_{\text{выст}} = f(H, a)$, при действующим давлением на входе $H = 5000; 9000$ и 14000 Па

При действующем давлении на входе в регулятор $H = 14000$ Па функция расхода имеет экстремум по минимуму, который фиксируется при раскрытии запорного органа $a = 2,4$ мм и фактически составляет $q = 1420$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 1,0$ мм расход составляет $q = 1770$ см³/с. При раскрытии запорного органа $a = 3,0$ мм расход составляет $q = 1450$ см³/с.

Из данных представленных в анализе характеристик расходных регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте запорного органа осуществлена выборка при действующем давлении на входе в регулятор 5000, 9000 и 14000 Па и при раскрытии ленты запорного органа 1, 2 и 3 мм, которая сведена в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расходные характеристики регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте запорного органа

Рабочее давление на входе, H (Па)	Открытие ленты по седлу, a (мм)	Расход по седлу регулятора ($\text{см}^3/\text{с}$)	
		с порогом $Q_{\text{пор}}$	с выступом на ленте $Q_{\text{выст}}$
5000	1	20000	19000
	2	9000	7000
	3	14500	14000
9000	1	17100	16800
	2	14500	13000
	3	30000	27500
14000	1	24600	21600
	2	33000	32000
	3	60000	58000

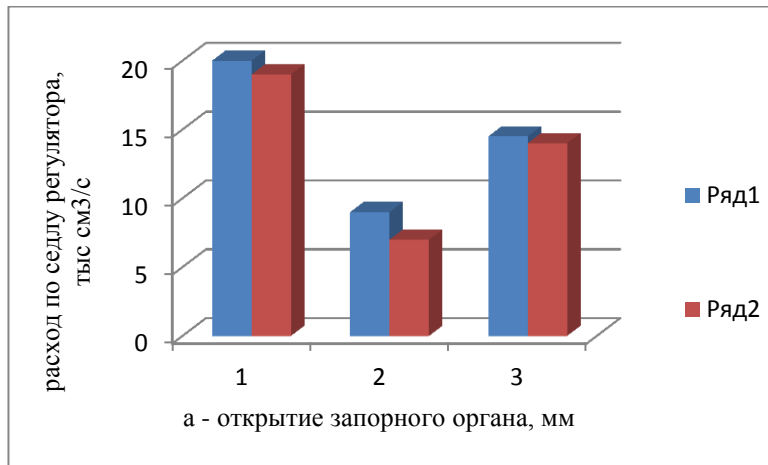
Также на основе вышеприведенных данных осуществлена визуализация результатов с целью возможности детализации анализа сравнительных характеристик расходных регуляторов с порогом по седлу и с выступом на ленте запорного органа.

На рисунке 5.13 представлена диаграмма расходных характеристик регуляторов с порогом по седлу и с выступом на ленте при $H = 5000$ Па, позволяющая констатировать, что в целом большого отличия в показаниях функций нет. Наибольшая разность по функциям имеется при раскрытии $a = 2$ мм, которая составляет 22 %, однако увеличение открытия до $a = 3$ мм уменьшает эту разность до 3,5 %.

На рисунке 5.14 представлена диаграмма расходных характеристик регуляторов с порогом по седлу и с выступом на ленте при $H = 9000$ Па, позволяющая констатировать, что большого отличия в показаниях функций нет. Наибольшая разность по функциям имеется при раскрытии $a = 2$ мм, которая составляет 10,3 %, однако увеличение открытия до $a = 3$ мм уменьшает эту разность до 8,3 %.

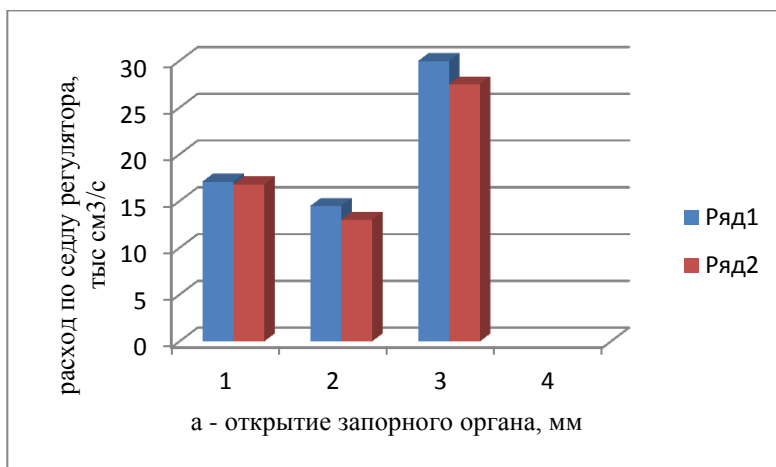
На рисунке 5.15 представлена диаграмма расходных характеристик регуляторов с порогом по седлу и с выступом на ленте при давлении на входе 14000 Па, позволяющая видеть, что большого отличия в показаниях функций нет. Наибольшая разность по функциям имеется при раскрытии в 1 мм, которая составля-

ет 12,2 %, однако увеличение открытия до 2 и 3 мм уменьшает эту разность до 3,0 и 3,3 % соответственно.



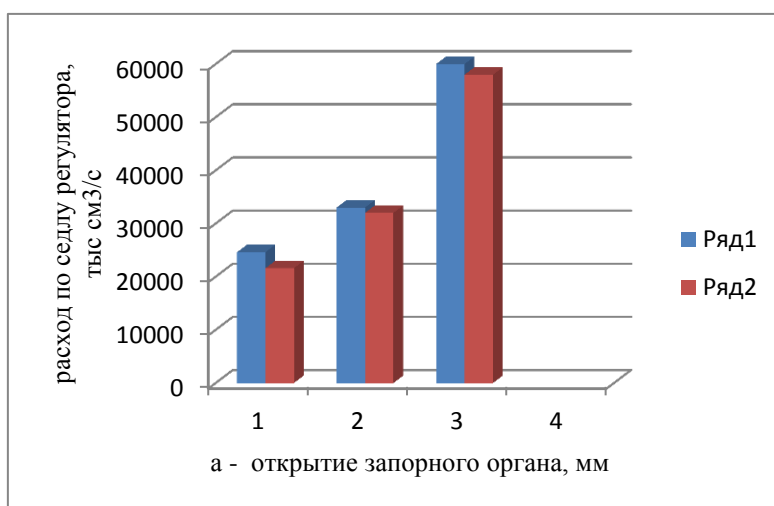
ряд 1 – расход по седлу регулятора с порогом;
ряд – 2 расход по седлу регулятора с выступом на ленте

Рисунок 5.13 – Расходные характеристики регуляторов по седлу с порогом и с выступом на ленте при $H = 5000$ Па



ряд 1 – расход по седлу регулятора с порогом;
ряд 2 – расход по седлу регулятора с выступом на ленте

Рисунок 5.14 – Расходные характеристики регуляторов по седлу с порогом и с выступом на ленты при $H = 9000$ Па



ряд 1 – расход по седлу регулятора с порогом;
 ряд 2 – расход по седлу регулятора с выступом на ленте

Рисунок 5.15 – Расходные характеристики регуляторов по седлу с порогом и с выступом на ленте при $H = 14000$ Па

Обобщая представленное можно констатировать, что оба вида регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте обеспечивают полное перекрытие проходного сечения в закрытом положении, чего не удавалось достичь в других гидравлических регуляторах расхода и уровня воды гидравлического действия с гибкими рабочими органами. В начальной стадии открытия ленты запорного органа – 1, 2 и 3 мм имеются выявленные отличия в расходных характеристиках регуляторов. При действующем давлении 5000 Па наибольшее сопротивление потоку оказывает открытие ленты в 2 мм. При давлении 9000 Па – это влияние уменьшается практически в 2 раза, тогда как при давлении в 14000 Па оно практически нивелируется и не оказывает существенного отличия при раскрытии в 2 и 3 мм.

Практическим итогом представленных исследований является то, что экспериментально на натурных исследованиях установлена работоспособность обоих видов регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте запорного органа, обеспечивающих исключение нерегулируемых протечек на внутривоздушной сети оросительных систем. Выбор вида регулятора однозначно можно осуществить, используя представленные исследования. В виду не существенного отличия влияния устройств, обеспечивающих исключение нерегулируемых протечек на расходные характеристики, выбор вида регулятора может зависеть лишь от

возможностей предприятий осуществляющих внедрение регуляторов с наибольшей эффективностью изготовить тот или иной вид регулятора.

5.2 Методика инженерного расчета регулятора, обеспечивающего исключение нерегулируемых протечек с ленточным запорным органом

Проектирование регулятора с ленточным запорным органом исключаящем несанкционированные протечки.

Реализуя цели работы в одной из ее завершающих стадий необходимо разработать методику расчета регулятора с ленточным запорным органом, обеспечивающим исключение нерегулируемых протечек. Данная задача решалась на основе использования результатов численного моделирования и гидравлических исследований, что позволяет определить параметры необходимых элементов конструкции. При этом в качестве примера привязка осуществлена к внутрихозяйственной сети оросительной системы:

1. На основе нивелирного хода или по топографии складывается вычисленный порог ярусов воды между каналом распределительным и объектом регулирования. Из натурных обследований внутрихозяйственной сети оросительных систем Краснодарского края установлено, что данный напор будет колебаться в пределах от 0,5 м до 1,0 м.

2. Используя общеизвестные рекомендации предельного расхода выпуска должен рассчитываться с учетом его усиленного состояния при увеличении максимального расхода на 10 %. При этом установлено, что в подавляющем большинстве трубчатые водовыпуски на внутрихозяйственной сети имеют диаметры 150, 200 мм.

3. Ленточный регулятор должен располагаться на конце трубчатого водовыпуска и не должен нарушать гидравлику истечения. Реализация данного положения требует конструктивного увеличения пространства сечения по седлу регулятора ориентировочно на 15–20 %, от пространства выпуска водопроводной тру-

бы, так как раскрытие отверстия управляется при помощи автоматики ленточного регулирующего органа.

4. Используя результаты, полученные при анализе расходных характеристик регуляторов с порогом на седле или с выступом на ленте запорного органа необходимо определиться конкретно с выбором одного из видов регулятора.

5. Ширину технического устройства, беря во внимание характеристики трубчатого пропускника воды (самым критериально значимым является его диаметр), прописываем результативно, плюсуя на каждую стенку по 15–20 мм.

Фактически получаем типопоказатель регулятора 230–240 мм для трубчатого пропускника воды \varnothing 200 мм.

6. В нижней сфере запатентованного технического решения устроено имеющее сквозной проход отверстие, пространство которого обязательно больше пространства сквозного прохода трубчатого пропуска воды в 7–10 %.

Фактически получаем \varnothing трубчатого пропуска воды 200 мм и пространство сквозного прохода 314 см^2 , советуется допустить пространство сквозного прохода по седлу регулятора $340\text{--}350 \text{ см}^2$.

7. Установив требуемую ширину, разработанного технического решения (регулятора) 240 мм, определив потребность в сквозном сечении пространства устройства с организацией с двух сторон боковых опорных частей на седле в пределах

10–15 мм предписывается ширина сквозного сечения от 200 мм до 210. Имея фактическую площадь сквозного сечения 345 см^2 длина сквозного сечения допускается 17–20 см.

Добавление пространства сквозного прохода истечения ничуть не критично, но даже и оправдано, так как сквозной проход корректируется по пространству автоматически ленточным запорным органом.

8. Ленточный запорный орган в регуляторе крепится нижним концом на нижней плоскости регулятора для чего по месту крепления необходим отступ от кромки проходного отверстия порядка 50–70 мм.

9. Для обеспечения устойчивого развития процесса образования разности давлений на входной кромке проходного сечения регулятора в реализации патентов РФ № 2549396, 2557376, 2559680 перед передней кромкой проходного сечения необходимо выполнить отступ порядка 70 мм или более исходя из конструктивных особенностей используемых материалов.

В результате вышеперечисленных действий закрепляются размеры прямоугольной расположенной внизу области технического решения, с учетом момента закрепления ленты на верхней плоскости 240×380 мм со сквозным проходным отверстием в центре 210×170 мм.

10. Поверхность, расположенная сверху технического устройства, предписывается в мм 240×380 , при этом вырезы на ней не предусматриваются.

11. Боковые стороны регулятора глухие и при этом достаточно жесткие, обеспечивающие неизменность внутреннего объема регулятора, являющегося залогом его устойчивой работы. Чтобы техническое средство работало надежно остов его конструируют из марки стали Ст3 $t =$ не менее 3 мм.

12. Жесткая прямоугольная призма конструируется симметричных постоянных геометрических размеров. Расположенный в такой призме ленточный запорный элемент произвольно продвигается по боковым выступам > 5 мм. Параметр выступа оказывает влияние на мгновенную реакцию технического устройства, уровень быстроедействия – на управляющее возмущение.

13. Ленточный запорный элемент материализуется по ГОСТ 20–85 из ленты конвейерной резинотканевой. При напоре 0,50 см подходит лента с 2 прокладками из ткани, при напоре 1,0 м подходит лента с 3 прокладками из ткани, также возможно потребуется дополнительно армирование ленты путем добавочного расположения ребер жесткости. Ткань резинотканевой ленты может быть любой.

14. Запорный элемент технического средства, армируют в месте перекрытия им сквозного сечения для протекания жидкости. Угловую сталь обычно используют для усиления мест. Рекомендуется использовать уголок по ГОСТ 8509–93 или по ГОСТ 8510–86*. Два уголка обязательно располагают во-

круг границы отверстия, после обусловив требуемую жесткость и учитывая размер полки уголка всю длину размеренно дифференцируют через 40–50 мм.

15. С направления верхнего бьефа стена, расположенная с торца нашего технического устройства, выполняет миссию водонепроницаемой связи между регулятором с элементом выпуска воды или с трубой выпуска воды. Данное соединение осуществляется фланцевым соединением или промежуточным патрубком.

16. Противоположная верхняя стенка технического решения, располагающаяся по нижнему бьефу, имеет выпуск воды из управляющей полости регулятора. Выпуск воды через трубу \varnothing 15–20 мм и длиной в несколько метров связывает управляющую полость технического устройства с датчиком-буйком уровня в объекте управления.

17. По представленным конструктивным параметрам не представляет сложности запроектировать регулятор расхода или уровня воды для трубчатого водовыпуска с ленточным запорным органом, при этом расходную характеристику регулирующего органа определяют по уравнениям регрессии полученным при натурных исследованиях регулятора (см. 4.2, 4.3). Представленные уравнения позволяют задать любые расходные характеристики запорного органа естественного образца технического решения, как гидравлически действующего устройства во всех режимах основных факторов и решить вопрос улучшения его эксплуатационно-технологических свойств.

18. Расходная характеристика из органа управления определяется также по уравнениям регрессии полученным при натурных исследованиях регулятора (см. 4.4, 4.5). Представленные уравнения позволяют задать любые расходные характеристики задатчику естественного образца регулятора, как гидравлически действующего устройства во всех режимах основных факторов и решить вопрос улучшения его эксплуатационно-технологических свойств.

5.3 Экономическое обоснование средств водораспределения исключающих нерегулируемые протечки на внутрихозяйственном звене оросительных систем

Оросительная норма риса результат взаимодействия множества факторов, таких как продолжительность вегетации, климатические условия, почвенно-гидрогеологические условия, четкая работа оросительной и сбросной сети, а также технический уровень эксплуатации оросительной системы. В значительной степени оросительная норма, для любой культуры, зависит от выбора правильного водного режима для данных конкретных условий.

Оросительная норма допустим для сортов риса варьируется в достаточно больших пределах – от 13 до 28 тыс. м³/га, а в производственных условиях при неправильном водопользовании до 30–40 тыс. м³/га.

Оросительный период разбивается на отдельные этапы с соответствующими поливными шумами и сроками полива, в конечном итоге из суммы поэтапных поливных норм складывается оросительная норма.

Разработанные регуляторы с порогом или с выступом на ленте предполагается применить при производстве плодоовощной продукции, в том числе и риса, в Красноармейском районе Краснодарского края. Площадь хозяйства – 520 га, количество чеков – 87 шт., необходимое количество ленточных регуляторов расхода и уровня воды на все хозяйство – 174 шт.

Нормы полива и сроки для условий обычных в Красноармейском районе, показаны в таблице 5.2. Экономия водных ресурсов при использовании разработанных регуляторов, исключая нерегулируемые протечки составила 10 %, что учтено в столбце 5 таблицы 5.2.

Эффективность использования разработанных регуляторов с порогом или с выступом на ленте можно определить экологическим эффектом. Рассчитаем воду, которую можно экономить на рисовой ферме участком в 520 га:

$$\Delta V_3 = \Delta q \times s \quad (5.1)$$

где Δq – экономия воды, м³/га;
 s – участок рисовой фермы, га.

$$\Delta V_{\text{э}} = 4\,331 \frac{\text{м}^3}{\text{га}} \times 520 \text{ га} = 2\,252\,120,0 \text{ м}^3.$$

Таблица 5.2 – Нормы и сроки полива

№ п/п	Периоды подачи воды	Количество суток	Расход воды м ³ /га	Экономия воды (10%)
1	2	3	4	5
1	Первоначальное затопление	15	10 000	1 000
2	Поддержание горизонта	14	5 440	544,0
3	Просушка чеков перед обработкой гербицидами	8	–	–
4	Вторичное затопление чеков	5	3 240	324,0
5	Поддержание горизонта воды в чеках	7	1 950	195,0
6	Снижение слоя воды на период кущения	7	1 130	113,0
7	Повышение слоя воды	5	3 250	325,0
8	Поддержание слоя воды	50	18 300	1 830,0
9	Предуборочный сброс	10	–	–
	Итого	110	43 310	4 331

Для определения эффективности технического решения по нашим патентам рассчитан эколого-экономический эффект употребляя величину налога по воде в бассейне р. Кубань [122], который равен 540 руб/1 000 м³ (НК РФ, гл. 25.2, ст. 333.12).

$$\text{Ээкл} = \frac{\Delta V_{\text{э}}}{k} \times C_{\text{вн}} \quad (5.2)$$

где k – КПД сети межфермерской = 0,77;

$C_{\text{вн}}$ – налог, руб/1000 м³.

$$\text{Ээкл} = \frac{2\,252\,120}{0,77} \times 540 = 1\,579\,408,8 \text{ руб.}$$

Добавочные участки фермы при эксплуатации технического решения, получают:

$$\Delta S_{\text{доп}} = \frac{\Delta V_{\text{э}}}{N_0}, \quad (5.3)$$

где N_0 – оросительная мера, м³/га.

За последние 5 лет средняя оросительная норма риса в Красноармейском районе по рассматриваемой рисовой оросительной системе составляет $M_{op} = 20\,000$ м³/га.

$$\Delta S_{доп} = \frac{2\,252\,120}{20\,000} = 112,6 \text{ га.}$$

Сбережение воды для полива с рисовой фермы на участке 520 га в Красноармейском районе Краснодарского края способно снабдить водой 112,6 га, а в расчете на 100 га – 21,7 га.

Экономический эффект за счет получения добавочного тоннажа риса с дополнительного участка:

$$\text{Эдп} = \text{СВП} - C \quad (5.4)$$

где СВП – стоимость добавочного тоннажа риса, руб.;

C – производственные расходы, руб.

$$\text{СВП} = Y \times Ц \times \Delta S_{доп} \quad (5.5)$$

где Y – урожай риса усредненный, т/га;

$Ц$ – стоимость продажи риса усредненная, руб./т.

$$\text{СВП} = 52 \times 1\,850 \times 112,6 = 10\,832\,120 \text{ руб.}$$

По рассматриваемой системе орошения для рисовой фермы средняя рентабельность риса $R = 65\%$, тогда объем издержек:

$$C = \frac{\text{СВП}}{(1 + R)} \quad (5.6)$$

$$C = 10\,832\,120 / (1 + 65\%) = 6\,564\,921,2 \text{ руб.}$$

Эффективность за счет реализации добавочного количества риса с увеличенного участка фермы составит

$$\text{Эдп} = 10\,832\,120,0 - 6\,564\,921,2 = 985\,321,2 \text{ руб.}$$

Бюджет основных инвестиций по реализации инновационных технических решений рассчитан по рекомендациям [123, 124, 125] через единичную стоимость по формуле:

$$K = ПЗ + НР + СП, \quad (5.7)$$

где К – стоимость единицы продукции;

ПЗ – прямые затраты; НР – накладные расходы; СП – сметная прибыль.

Затраты рассчитывались с использованием базы 2001 г. (в редакции 2014 г.) и системы переводных индексов [126]. Индекс принимался по элементам прямых затрат и составлял для каждого элемента: ОЗП (коэффициент к заработной плате основных рабочих) =17,433, ЭМ-ЗПМ (коэффициент к эксплуатации машин минус заработная плата механизаторов) =7,623, ЗПМ (коэффициент к заработной плате механизаторов) =17,433, МАТ (коэффициент к материалам) =4,862.

Стоимость технического решения, разработанного по нашим патентам, с порогом на грани седла регулятора составила 11 799 руб. (Приложение Д). Стоимость восстановительных работ (ремонта) единицы продукции составила 2 920 руб. (Приложение Д). Для подсчета прямых затрат использовалась Гранд Смета. Основные данные по расчету в таблице 5.3.

Итоговая стоимость технического решения с порогом на грани седла регулятора составила 11 799 руб. (см. Приложение Д), также согласно норм были внесены непредвиденные затраты в размере 2 %, НДС 18 % и др. Необходимое количество ленточных регуляторов расхода и уровня воды на все хозяйство – 174 шт. Капитальные вложения в проект составили 2 053 026 руб.

Таблица 5.3 – Капитальные вложения по предлагаемому способу экономии оросительной воды за счет исключения нерегулируемых протечек при использовании ленточных регуляторов расхода и уровня воды

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость, руб.	
				единицы	всего
1	Монтаж: лотков, решеток, затворов из полосовой и тонколистовой стали	1 т конструкций	0,0034	7477,39	26
2	Сталь листовая нержавеющая, марка 08X18H10, толщиной 2,0 мм	т	0,0034	173969,65	591
3	Окраска металлических огрунтованных поверхностей: эмалью ХВ-1120	100 м ² окрашиваемой поверхности	0,002	3805,86	8
4	Сверление отверстий в пластинах из листовой стали	100 отверстий	0,09	227,33	20

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость, руб.	
				единицы	всего
	толщиной до 10 мм, при количестве отверстий в детали не более 7, максимальный диаметр отверстия 21 мм				
5	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм	1 клапан	1	186,25	186
6	Изделия резиновые технические морозостойкие	кг	0,6	183,3	110
7	Постановка болтов: строительных с гайками и шайбами	100 шт болтов	0,08	1532,1	123
8	Болты с шестигранной головкой диаметром резьбы 6 мм	т	0,000096	70219,53	7
9	Разработка грунта вручную с креплениями в траншеях шириной до 2 м, глубиной: до 2 м, группа грунтов 1	100 м3 грунта	0,0045	14665,51	66
10	Испытания гидравлические труб из стали и последующая установка в проектное положение диаметром: 250 мм	1 км трубопровода	0,0015	216123,68	324
11	Трубы стальные (диаметр наружный 273 мм), при стенке в 4 мм	м	1,5	1022,87	1534
12	Нанесение нормальной антикоррозионной битумно-резиновой или битумно-полимерной изоляции на стальные трубопроводы диаметром: 250 мм	1 км трубопровода	0,0015	183036,25	275
13	Хомут металлический с шурупом для крепления трубопроводов диаметром 20–25 мм	шт.	2	30,24	60
14	Трубки резиновые вакуумные из резины 7889	т	0,0025	270466,3	676
15	Испытания гидравлические труб из стали и последующая установка в проектное положение: 20 мм	1 км трубы	0,00035	66768,24	23
16	Трубы из коррозионностойкой стали электросварные, марки 08X18H10, наружным диаметром 20 мм, толщиной стенки 1,5 мм	10м	0,035	1561,33	55

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость, руб.	
				единицы	всего
17	Сверление отверстий в пластинах из листовой стали толщиной до 10 мм, при количестве отверстий в детали не более 7, максимальный диаметр отверстия 21 мм	100 отверстий	0,23	227,33	52
18	Испытания гидравлические труб из стали и последующая установка в проектное положение диаметром: 300 мм	1 км трубопровода	0,0003	2091412,71	628
19	Трубы стальные (диаметр наружный 325 мм), при стенке в 4 мм	м	0,3	1223,57	367
20	Покрытие нормальной антикоррозионной битумно-резиновой или битумно-полимерной изоляции на стальные трубопроводы диаметром: 250 мм	1 км трубопровода	0,0003	183036,25	55
21	Сварка арматуры ванным способом при диаметре арматуры: до 25 мм	100 шт стыков	0,04	7880,26	316
22	Горячекатаная арматурная сталь периодического профиля класса А-III, диаметром 14 мм	т	0,005	25103,38	126
23	Сварка арматуры ванным способом при диаметре арматуры: до 25 мм	100 шт стыков	0,02	7880,26	158
24	Сталь листовая нержавеющая, марка 08X18T1, толщиной 3,0 мм	т	0,00029	198525,04	58
25	Монтаж: плит чугуновых и стальных деталей обрамления каркасов и кладки нагревательных печей	1 т конструкций	0,00029	5215,88	1
26	Постановка болтов: строительных с гайками и шайбами	100 шт болтов	0,12	1532,1	184
27	Болты с шестигранной головкой диаметром резьбы 6 мм	т	0,000144	70219,53	10
28	Монтаж: плит чугуновых и стальных деталей обрамления каркасов и кладки нагрева-	1 т конструкций	0,000315	5215,88	1

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость, руб.	
				единицы	всего
	тельных печей				
29	Сталь листовая нержавеющая, марка: 12Х18Н10Т, толщиной 8,0–22,0 мм	т	0,000315	136121,75	43
30	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм	1 клапан	1	186,25	186
31	Изделия резиновые технические морозостойкие	кг	0,3	183,3	55
32	Сварка арматуры ваным способом при диаметре арматуры: до 25 мм	100 шт стыков	0,02	7880,26	158
33	Горячекатаная арматурная сталь периодического профиля класса А-III, ($d = 10$ мм)	т	0,00074	26095,23	19
34	Испытания гидравлические труб из стали и последующая установка в проектное положение диаметром: 250 мм	1 км трубы	0,00005	66768,24	3
35	Постановка в проектное положение труб из полиэтилена при диаметре: 250 мм	1 км трубопровода	0,0005	112340,96	56
	Итого прямые затраты с лимитированными затратами в текущих ценах				11 799,00

Оценка эффективности проекта экономии оросительной воды за исключения нерегулируемых протечек при использовании ленточного регулятора с порогом на грани седла регулятора на рисовом хозяйстве Красноармейского района производится через денежные потоки и их дисконтирование [127, 128, 129].

Коэффициент дисконтирования a_m получаем из следующего выражения:

$$a_m = \frac{1}{(1 + E)^m} \quad (5.8)$$

где E – дисконта норма за год.

РД-АПК 300.01.003–03 п. 2.7.3 по определению эффективности проектов с мелиорацией фиксируют годовую норму дисконта в 6–8 %.

Главным показателем эффективности проекта по сохранению поливной воды используя улучшение распределения поливной воды при применении технических решений, с порогом или с выступом на ленте, является дисконтированный

прирост чистого дохода (ДПЧД):

$$\text{ДПЧД} = \sum_m f_m a_m \quad (5.9)$$

где f_m – разница между приходом и расходом счета на m -м пункте;

a_m – величина приведения.

Учитывая промежуток времени (10 лет) разница между приходом и расходом счета с применением величины приведения (ДПЧД) применения технических средств, равна 5 575 тыс. руб.

Помимо основного дохода оценивая эффективность необходимо учитывать другие значимые показатели для понимания общей эффективности проекта по реализации технических решений [130, 131], что представлено далее.

Приращение полной прибыли рассчитывается как сбереженное за период (10 лет) приращение добавочного течения финансов:

$$\text{ПЧД} = \sum_m f_m \quad (5.10)$$

где f_m – разница между приходом и расходом счета на m -м пункте.

Суммирование отражает воздействие по пунктам на период равный 10 годам.

На анализируемый промежуток времени (10 лет) возрастание полной прибыли (ПЧД) с учетом использования технических средств, для рисовой фермы равно 7 940 тыс. руб.

Применяя технические средства, был получен положительный ДПЧД, согласно оценке эффективности мелиоративных проектов, данный проект считается эффективным.

Для последующей оценки эффективности использования технических устройств были использованы указатели доходности.

Указатель прибыльности с учетом разработанных технических решений равен 5,03.

Указатель прибыльности финансовых вложений (ИД) равен 4,86.

Указатель прибыльности финансовых вложений с величиной приведения

(ИДД) равен 1,2.

Экономия основного ограниченного ресурса (пресной воды, используемой для полива) при применении технических устройств, в качестве примера рассмотренная на рисовом хозяйстве Красноармейского района показала эффективность по всем указателям прибыльности.

Следующими важными величинами являются сроки окупаемости проекта с учетом внесения в него новых модифицированных элементов системы, такие как простой срок окупаемости, момент окупаемости и окупаемость с учетом величины приведения.

Система экономии оросительной воды за счет исключения нерегулируемых протечек с использованием наших технических средств на рисовом хозяйстве Красноармейского района получит ощутимый положительный результат на 2-ой год использования.

Показатели по оценке эффективности при использовании технических средств на рисовом хозяйстве Красноармейского района сгруппируем для наглядности (таблица 5.4).

Выкладка показывает, что использование технических средств и как результат экономия оросительной воды за счет исключения нерегулируемых протечек при использовании ленточных регуляторов расхода и уровня воды (ленточный регулятор с порогом на грани седла регулятора) на рисовом хозяйстве Красноармейского района вырисовывает положительную с экономической точки зрения картину, тем более на фоне недостатка пресной воды, как глобальной проблемы человечества.

Таблица 5.4 – Мониторинг коэффициента полезного действия при внедрении технических устройств способствующих сохранению воды для полива (ленточный регулятор с порогом на грани седла регулятора) на рисовом хозяйстве Красноармейского района (текущие цены, умеренно пессимистический прогноз)

		ГОДЫ											Сумма
		Выполнен. строит-ых работ	Эффективное использование										
			1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Импакт-фактор	Разви-тие	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Поступление (экономи-я ресурса)		1034,688	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	1403,919	15073,877
Убывание		2053,026	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	7133,826
Основательные по-ступления на строи-тельство		2053,026											2053,026
Пошаговые вложения			508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	508,08	5080,8
Разница финансов		-1018,337	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	7940,051
Разница дополни-тельных поступлений		-1018,337	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	895,839	7940,051
То же, с накопитель-ным эффектом		-1018,337	-122,498	773,340	1669,179	2565,018	3460,857	4356,696	5252,535	6148,374	7044,212	7940,051	7940,051
Величина приведе-ния		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Индекс приведения		1	0,9433	0,8900	0,8396	0,7921	0,7473	0,7050	0,6651	0,6274	0,5919	0,5583	–
Разница финансов с индексом приведения		-1018,337	845,044	797,296	752,146	709,594	669,460	631,566	595,822	562,049	530,247	500,146	5575,037
То же, с накопитель-ным эффектом		-1018,337	-173,292	624,003	1376,150	2085,744	2755,204	3386,771	3982,593	4544,643	5074,890	5575,037	5575,037

Выводы

1. Осуществлено конструктивно-технологическое сравнение двух вариантов регуляторов с гибким запорным органом: с порогом на седле регулятора, по патенту РФ № 2559680 и с выступом на ленте запорного органа, по патенту РФ № 2549396. Исследованиями установлено, что в начальной стадии открытия ленты запорного органа – 1, 2 и 3 мм для обоих видов регуляторов выявлены отличия в расходных характеристиках. При действующем давлении 5000 Па наибольшее сопротивление потоку оказывает открытие ленты в 2 мм. При давлении 9000 Па – это влияние уменьшается практически в 2 раза, тогда как при давлении в 14000 Па оно практически нивелируется и не оказывает существенного отличия при раскрытии в 2 и 3 мм.

2. Впервые разработана методика инженерного расчета регуляторов с гибким запорным органом: с порогом на седле регулятора и с выступом на ленте запорного органа, обеспечивающих полное перекрытие проходного сечения в закрытом положении, чего не удавалось достичь в других гидравлических регуляторах расхода и уровня воды гидравлического действия с гибкими рабочими органами.

3. Осуществлено экономическое обоснование применения гидравлических регуляторов с ленточным регулирующим органом на инженерно-мелиоративных системах. За расчетный период равный 10 годам дисконтированный прирост чистого дохода (ДПЧД) при использовании ленточных регуляторов расхода и уровня воды составит 5 575 тыс. руб., а прирост чистого дохода (ПЧД) составит 7 940 тыс. руб. При этом индекс доходности затрат (ИДЗ) равен 5,03, индекс доходности инвестиций (ИДИ) равен 4,86, индекс доходности дисконтированных инвестиций (ИДД) равен 1,2, в виду чего проект был признан эффективным. Срок окупаемости проекта составляет 2 года.

Приведенные расчеты показали, что внедрение предлагаемой системы регулирования подачи оросительной воды на примере хозяйства Красноармейского района Краснодарского края является экономически целесообразным действием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осуществлен количественный подход к обоснованию конструкций регуляторов с гибкими рабочими органами. Разработана теоретическая модель процесса предотвращения эколого-экономического ущерба на мелиоративной системе, при учете квалиметричности задачи. Модель была использована при разработке мероприятий по снижению неопределенностей управленческих решений на мелиоративной системе в ООО «Навигатор», для орошения томатов, за счет внедрения ленточных регуляторов, исключающих нерегулируемые протечки, позволивших повысить качество водораспределения, обеспечившее экономию воды за вегетационный период в объеме $130 \text{ м}^3/\text{га}$.

2. Разработаны и обоснованы параметры и режимы новых регуляторов гидравлического действия с ленточными запорными органами, исключающими нерегулируемые протечки воды, за счет создания дополнительной разности давлений между рабочей полостью и полостью управления регулятором в момент закрытия проходного сечения: введением в конструкцию порога на седле регулятора (патент РФ № 2559680); введением в конструкцию расположенного консолью выступа, из эластичного материала, на ленте запорного органа (патент РФ № 2549396); введением в ленточный запорный орган вставки из гибкой ленты с жесткостью, меньшей жесткости гибкой ленты запорного органа (патент РФ № 2557376).

3. Выполнены лабораторные исследования основных Q и управляющих q расходных характеристик регулятора с порогом на седле. Построены графики поверхностей, линий уровня и сечений функции отклика $q = f(H, d)$ и $Q = f(H, d)$. Анализ графиков показывает, что с увеличением напора в верхнем бьефе основная расходная характеристика постоянно увеличивается от 99 до $667 \text{ см}^3/\text{с}$, при любых диаметрах отверстий из управляющей полости от 6 до 8 мм, при этом оптимальное значение напора равно 47,6 см, а диаметр слива равен 7,3 мм.

4. Выполнены натурные исследования основных Q и управляющих q расходных характеристик регулятора с порогом на седле. Построены графики по-

верхности, линий уровня и сечений функций отклика $q = f(H, d)$ и $Q = f(H, d)$. Анализ графиков показывает, что с увеличением напора в верхнем бьефе от 36 до 60 см, основная расходная характеристика постоянно увеличивается от 580 до 3994 см³/с, во всем диапазоне изменения диаметра сливного отверстия от 1,2 до 1,6 см, при этом оптимальное значение диаметра сливного отверстия равно 1,45 см.

5. Осуществлено сравнение двух вариантов регуляторов: с порогом на седле регулятора по патенту РФ № 2559680 и с выступом на ленте запорного органа по патенту РФ № 2549396. Установлено, что оба вида регулятора обеспечивают полное перекрытие проходного сечения в закрытом положении, чего не удавалось достичь в других гидравлических регуляторах расхода и уровня воды гидравлического действия с гибкими рабочими органами. В начальной стадии открытия ленты запорного органа – 1, 2 и 3 мм – для обоих видов регуляторов выявлены отличия в расходных характеристиках. При рабочем давлении 5000 Па наибольшее сопротивление потоку оказывает открытие ленты на 2 мм. При давлении 9000 Па это влияние уменьшается практически в два раза, тогда как при давлении в 14000 Па оно практически нивелируется и не оказывает существенного отличия при раскрытии в 2 и 3 мм.

6. Разработана методика инженерного расчета регуляторов с порогом на седле и с выступом на ленте запорного органа. Методика инженерного расчета регуляторов выполнена пошагово, что повышает надежность проектирования.

7. Осуществлено экономическое обоснование применения гидравлических регуляторов с порогом на грани седла регулятора на инженерно-мелиоративных системах. За расчетный период равный 10 годам дисконтированный прирост чистого дохода при использовании ленточных регуляторов расхода и уровня воды составит 5 575 тыс. руб., а прирост чистого дохода 7 940 тыс. руб. При этом индекс доходности затрат равен 5,03, индекс доходности инвестиций равен 4,86, индекс доходности дисконтированных инвестиций равен 1,2, ввиду чего проект был признан эффективным. Срок окупаемости проекта составляет два года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на 2013–2020 годы» [Текст]. – М., 2010. – 76 с.
2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года [Текст]. – М., 2009. – 67 с.
3. Водная стратегия агропромышленного комплекса России на период до 2020 года [Текст] – М.: ВНИИА, 2009. – 71 с.
4. Концепция долгосрочной краевой целевой программы «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель в Краснодарском крае на 2013–2020 годы» [Текст]. – Краснодар, 2011. – 21 с.
5. Зеленский, Г. Л. К вопросу о производстве миллиона тонн кубанского риса: история и перспективы / Г. Л. Зеленский // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – № 06(070). С. 408–430. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0244, IDA [article ID]: 0701106029. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/29.pdf>, 1,438 у.п.л.
6. Кузнецов, Е. В. Повышение эффективности рисовых оросительных систем в условиях дефицита водных ресурсов [Текст] / Е. В. Кузнецов, Ю. Ю. Пашков // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам I Международной науч. экологической конф. (декабрь 2016 г.). – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2017. – С. 116–128.
7. Оценка воздействия на окружающую среду по теме «Разработка проекта СКИОВО бассейна р. Кубань» [Текст] / ОАО проектно-изыскательский институт «Кубаньводпроект» – Краснодар, 2010. – 196 с.
8. Оценка воздействия на окружающую среду по теме «Разработка проекта нормативов допустимого воздействия по бассейну реки Кубань» [Текст] / ЗАО производственное объединение «СОВИНТЕРВОД» – М., 2011. – 91 с.

9. Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России [Текст]: монография / под общ. ред. акад. РАСХН, д-ра техн. наук, проф. В. Н. Щедрина. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

10. Кирейчева, Л. В. Концепция создания устойчивых мелиоративных ландшафтов [Текст] / Л. В. Кирейчева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 1997. – № 5. – С. 51–55.

11. Кирейчева, Л. В. Приоритетные направления развития инновационных технологий в орошении [Текст] / Л. В. Кирейчева, А. К. Носов, И. Ф. Юрченко // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИГиМ, 2009. – С. 76–85.

12. Щедрин, В. Н. Математические методы прогнозирования в мелиорации [Текст] / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. М. Игнатъев // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрной экономики в условиях импортозамещения: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (февраль 2016 г.). – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2016. – С. 151–158.

13. Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК [Текст] / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – №4. – С. 12–13.

14. Водопользование на рисовых гидромелиоративных системах Нижней Кубани [Текст] : монография/ Ю. А. Свистунов, А. Ю. Галкин, А. Ю. Свистунов, С. Н. Якуба. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – 295 с.

15. Ольгаренко, В. И. Экологически устойчивые мелиоративные системы [Текст] / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1. – С. 204–207.

16. Ольгаренко, В. И. Комплексная оценка технического уровня гидромелиоративных систем [Текст] / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 8–11.

17. Кузнецов, Е. В. Оценка эффективности севооборотов на существующих и восстановленных рисовых полях для разработки сбалансированной рисовой оросительной системы [Текст] / Е. В. Кузнецов, М. И. Чеботарев, И. А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 28. – С. 149–152.

18. Кузнецов, Е. В. Системно-информационная оценка экологического состояния рисовой оросительной системы [Текст] / Е. В. Кузнецов, Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 25–28.

19. Сафронова, Т. И. Информационные модели рисовой оросительной системы [Текст] / Т. И. Сафронова, В. И. Степанов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 9. – С. 59–61.

20. Сафронова, Т. И. Автоматизированная информационная система управления рисовой оросительной системой [Текст] / Т. И. Сафронова, В. И. Степанов, Е. В. Холод, О. П. Харламова // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 7. С. 94–96.

21. Коваленко, П. И. Автоматизация мелиоративных систем [Текст] / П. И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.

22. Маковский, Э. Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды [Текст] / Э. Э. Маковский. – Фрунзе: Илим, 1972. – 302 с.

23. Маковский, Э. Э. Каскадное регулирование водораспределения на оросительных системах [Текст] / Э. Э. Маковский // Автоматизация оросительных систем: Труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1972. – С. 44–21.

24. Андреев, В. А. Желательные типы затворов для сооружений автоматизированных и телеуправляемых оросительных систем [Текст] / В. А. Андреев // Гидротехника и мелиорация. – 1959. – № 8. – С. 22–29.

25. Анисимов, В. А. К вопросу энергетического обеспечения автоматизации мелиоративных систем [Текст] / В. А. Анисимов, А. А. Казацкер // Гидротехника и мелиорация. – 1959. – № 4. – С. 32–36.

26. Ганкин, М. З. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем [Текст] / М. З. Ганкин. – М.: Колос, 1965 – 344 с.
27. Авдеев, А. И. Технические решения устройств стабилизации водоподачи на оросительной сети [Текст] / А. И. Авдеев // Автоматизация оросительных систем. – М.: Колос, 1972. – С. 183–193.
28. Шаров, В. В. Какую конструкцию гидроавтоматов использовать? [Текст] / В. В. Шаров // Гидротехника и мелиорация. – 1971. – № 7. – С. 57–59.
29. Шаров, В. В. Исследование оптимального типажа автоматических регуляторов гидравлического действия оросительных систем [Текст] / В. В. Шаров // Автоматизация гидротехнических сооружений. – Фрунзе: Илим. 1972. – С. 40–51.
30. Баркан, И. Л. Современное состояние и пути развития автоматизации оросительных систем [Текст] / И. Л. Баркан, М. З. Ганкин // Автоматизация оросительных систем: Труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1972. – С. 4–13.
31. Бочкарев, Я. В. Гидроавтоматика в орошении [Текст] / Я. В. Бочкарев. – М.: Колос, 1983. – 188 с.
32. Бочкарев, Я. В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем [Текст] / Я. В. Бочкарев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 175 с.
33. Бобохидзе, Ш. С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст] / Ш. С. Бобохидзе. – М.: Колос, 1973. – 248 с.
34. Коваленко, П. И. Выбор режима водораспределения на автоматизированных оросительных системах [Текст] / П. И. Коваленко, Л. М. Осина // Гидротехника и мелиорация. – 1983. – № 6. – С. 31–33.
35. Диденко, В. П. Система автоматизированного управления водораспределением на внутрихозяйственной оросительной сети [Текст] / В. П. Диденко // Автоматические водораспределяющие устройства. – Фрунзе: Илим, 1974. – С. 3–11.
36. Журавлев, В. М. Некоторые итоги автоматизации оросительных систем [Текст] / В. М. Журавлев, А. И. Авдеев // Автоматизация оросительных систем: Труды ВАСХНИЛ. – М.: Колос. 1972. – С. 172–182.
37. Розова, А. А. Внутрихозяйственная оросительная сеть [Текст] / А. А. Розова, А. П. Тельцов. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 64 с.

38. Ильмер, А. А. Автоматизация водозабора и водораспределения для систем дождевальных машин «Кубань» [Текст] / А. А. Ильмер // Автоматизация управления мелиоративными системами: материалы Всесоюзного науч.-техн. семинара. – М., 1983. – С. 20–21.

39. Кибальников, С. В. Внедрение гидроавтоматики на рисовых оросительных системах [Текст] / С. В. Кибальников, Б. Д. Горшман, Ю. А. Свистунов // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 4. – С. 36–38.

40. Кибальников, С. В. Автоматизация рисовых оросительных систем [Текст] / С. В. Кибальников – М.: Агропромиздат, 1985. – 109 с.

41. Бочкарев, Я. В. Основы автоматики и автоматизация гидромелиоративных систем [Текст] / Я. В. Бочкарев, П. И. Коваленко, А. И. Сергеев. – М.: Колос, 1993. – 279 с., ил.

42. Щедрин, В. Н. Совершенствование конструкции открытых оросительных систем и управления водораспределением [Текст] / В. Н. Щедрин. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1998. – 160 с.

43. Щедрин, В. Н. Самонапорные системы капельного орошения [Текст] : монография / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, В. Н. Шкура, В. И. Ольгаренко. – Новочеркасск : РосНИИ проблем мелиорации, 2018. – 236 с.

44. Григоров, М. С. Совершенствование водорегулирования на открытой оросительной сети для широкозахватной дождевальной техники типа «Кубань» [Текст] / М. С. Григоров, В. А. Столбушин // Докл. ВАСХНИЛ. – 1990. – № 9. – С. 56–59.

45. Пахомов, А. А. Автоматизация водораспределения на открытой внутрихозяйственной оросительной сети [Текст] / А. А. Пахомов, В. Ф. Скворцов // Вопросы мелиорации. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоинформ», 2008. – № 1–2. – С. 23–33.

46. Пахомов, А. А. Технология автоматического регулирования подачи воды в открытые оросители [Текст] / А. А. Пахомов, В. Ф. Скворцов // Вестник АПК Волгоградской области. – 2009. – № 2 (294). – С. 16–17.

47. Рекс, Л. М. Математическая модель экологической ситуации на рисовой оросительной системе / Л. М. Рекс, В. М. Умывакин, Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – № 10(044). С. 48–64. – Шифр Информрегистра: 0420800012\0148, IDA [article ID]: 0440810003. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/03.pdf>, 1,062 у.п.л.

48. Дегтярёв, Г. В. Теоретические основы характеристик системы автоматического регулирования рисового чека и регулятора уровня [Текст] / Г. В. Дегтярёв, Н. В. Коженко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5 (44). – С. 252–255.

49. Авторское свидетельство 318659 СССР, МПК Е 02b 13/02 А 01g 25/00 Автоматический регулятор уровня воды [Текст] / С. Т. Волынец, К. И. Жеховский. – № 1395927/30–15; заявл. 19.01.1970; опубл. 28.10.1971. – Бюл. №32.

50. Авторское свидетельство 301690 СССР. МПК G 05d 7/00 Регулятор уровня воды в ирригационных сооружениях [Текст] / В. П. Амелин, В. Б. Зайцев заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт риса – № 1359239/18–10 ; заявл. 23.08.1969 ; опубл. 21.04.1971, Бюл. № 14.

51. Авторское свидетельство 1283715 СССР. МПК Е 02 В 13/02, С 05 D 9/02 Регулятор уровня для трубчатых водовыпусков (его варианты) [Текст] / С. Г. Кунченко, Г. В. Дегтярёв ; заявитель и патентообладатель Киргизский сельскохозяйственный институт им. К. И. Скрябина. – № 3881160/24–24 ; заявл. 04.04.1985 ; опубл. 15.01.1987, Бюл. № 2.

52. Авторское свидетельство 1221640 СССР. МПК Е 02 В 7/18, G 05 D 9/02 Регулятор уровня воды в бьефах гидротехнических сооружений [Текст] / С. В. Кибальников, Н. Г. Трифионов и Г. В. Дегтярёв ; заявитель и патентообладатель Киргизский сельскохозяйственный институт ордена «Знак Почета» им. К. И. Скрябина – № 3723385 ; заявл. 28.02.1984 ; опубл. 30.03.1986. – Бюл. № 2.

53. Дегтярёв, Г. В. Обоснование мембранного чувствительного элемента для ленточных регуляторов расхода воды [Текст] / Г. В. Дегтярёв, Н. В. Коженко,

О. Г. Дегтярёва // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5 (44). – С. 256–262.

54. Пат. 2492519 Российская Федерация, МПК G05D9/00; A01G 25/16. Автоматизированный чековый водовыпуск для дискретного регулирования уровня нижнего бьефа [Текст] / Н. В. Островский, В. Т. Островский, В. В. Островский, В. А. Попов, Ж. В. Кизюн ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2012107505/28 ; заявл. 28.02.2012 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25.

55. Пат. 2520068 Российская Федерация, МПК G05D7/ 01. Стабилизатор расхода воды [Текст] / В. Г. Дегтярёв, Г. В. Дегтярёв; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2012148643 ; заявл. 15.11.2012 ; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17.

56. Пат. 2519508 Российская Федерация, МПК G05D7/01. Регулятор расхода воды [Текст] / В. Г. Дегтярёв, Г. В. Дегтярёв; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2012149515 ; заявл. 20.11.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

57. Сафронова, Т. И. Охрана земель в управлении мелиоративным состоянием рисовой оросительной системы : специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сафронова Татьяна Ивановна ; Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар, 2006. – 347 с.

58. Гумбаров, А. Д. Комплексные мелиорации в дельте реки Кубань : специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гумбаров Анатолий Дмитриевич ; Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар, 2001. – 42 с.

59. Оськин, С. В. Надежность технических систем и экологический, экономический ущерб в сельском хозяйстве / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко // Поли тематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. –

Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 07 (101). С. 985–1004. – IDA [article ID]: 1011407062. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/62.pdf>, 1,25 у.п.л.

60. Сафронова, Т. И. Вероятностная модель процесса снижения цены намечаемого мероприятия / Т. И. Сафронова, И. В. Соколова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – № 08 (132). С. 324–334. – IDA [article ID]: 1321708026. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/08/pdf/26.pdf>, 0,688 у.п.л.

61. Коженко, Н.В. Теоретическая модель процесса снижения цены намечаемых мероприятий по водообеспеченности рисового чека / Коженко Н.В., Сафронова Т.И., Дегтярев Г.В. // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 3-1. – С. 19-24.

62. Краснов, Л. М. Вариационное исчисление [Текст] / Л. М. Краснов, Г. И. Макаренко, А. И. Киселев. – М. : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1973. – 192 с.

63. Методика определения предотвращенного экологического ущерба [Текст] / Приказ Госкомэкологии России // Дата принятия 30 ноября 1999 г. – М. : Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1999. – 173 с.

64. Пат. 2559680 Российская Федерация, МПК G05D7/01; F16K 7/17. Стабилизатор расхода воды [Текст] / Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2014113064/06; заявл. 03.04.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.

65. Пат. 2557376 Российская Федерация, МПК G05D7/00; F16K 7/17. Регулятор расхода воды для диафрагмовых водовыпусков [Текст] / Н. В. Коженко, О. Г. Дегтярёва; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2014113058/06; заявл. 03.04.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

66. Пат. 2549396 Российская Федерация, МПК G05D7/01; F16K 7/17. Регулятор расхода воды [Текст] / Н. В. Коженко; заявитель и патентообладатель Ку-

банский государственный аграрный университет. – № 2014112846/06; заявл. 02.04.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12.

67. Ольгаренко, Г. В. Стратегия научно-технической деятельности по разработке новой техники для орошения при реализации программы развития мелиорации [Текст] / Г. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 6 – С. 5–8.

68. Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительных системах [Текст] : монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск : Новочеркасский государственный технический университет, 1994. – 235 с.

69. Щедрин, В. Н. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК [Текст] / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: сб. ст. по материалам XVI Междунар. науч.-практ. конф. (февраля 2017 г.) – Барнаул : Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, 2017. – С. 167–169.

70. Коженко, Н. В. Автоматизация водораспределения на открытых оросительных системах [Текст] / Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : материалы VIII Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых – Краснодар : Кубанский ГАУ, 2014. – С. 220–220.

71. Дегтярёв, Г. В. Исследование расходных характеристик регулирующего органа ленточного регулятора расхода воды, методом планирования эксперимента [Текст] / Г. В. Дегтярёв, Н. В. Коженко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (46). – С. 212–218.

72. Чугаев, Р. Р. Гидравлика [Текст] : учебник / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 600 с.

73. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] : учебник / под ред. П. Г. Киселева. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1972. – 312 с.

74. Альтшуль, А. Д. Гидравлические сопротивления [Текст] : учебник / А. Д. Альтшуль. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 224 с.

75. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] : учебник / под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
76. Харитонов, В. П. Фундаментальные уравнения механики жидкости и газа [Текст] / В. П. Харитонов – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 65 с.
77. Dobek, S. Fluid dynamics and the Navier-Stokes Equation [Text] / S. Dobek – 14 p.
78. Фрик, П. Г. Турбулентность: модели и подходы Ч. I [Текст]: курс лекций / П. Г. Фрик – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 1998. – 108 с.
79. Saad T. Turbulence modeling for beginners [Text] / University of Tennessee space institute, available at: http://www.cfd-online.com/W/images/3/31/Turbulence_Modeling_For_Beginners.pdf.
80. Summer, B. M. Lecture notes on turbulence [Text] / Technical University of Denmark, 2007, available at: http://www.external.mek.dtu.dk/personal/bms/turb_book_update_30_6_04.pdf.
81. Launder, B. E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Text] / B. E. Launder, D. B. Spalding // Academic Press. – London, 1972. – 169 p.
82. Durbin, P. E. Statical theory and modeling for turbulent flows [Text] / P. E. Durbin, B. A. P. Reif // John Wiley and Sons, West Sussex. – United Kingdom, 2011. – 357 p.
83. Смирнов, Е. М. Течение вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений [Текст]: конспект лекций / Е. М. Смирнов, А. В. Горбарчук. – С-Пб. : Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2010. – 127 с.
84. Orszag, S. A. Renormalization group modeling and turbulence simulations [Text] / S. A. Orszag, V. Yakhot, W. S. Flannery, F. Boysan, D. Choudhury, J. Maruzewski, B. Patel // International conference on near-wall turbulent flows, Tempe – Arizona, 1993.

85. Shih, T. H. A new k - ε eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows-Model development and validation [Text] / T. H. Shih, W. W. Lion, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu // *Computers fluids*. – 1995. – № 24 (3). – P. 227–238.
86. Бондарев А. Е. Анализ развития концепций и методов визуального представления данных в научных исследованиях задач вычислительной физики [Текст] / А. Е. Бондарев, В. А. Галактионов, В. М. Чечеткин // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. – 2011. – Том 51 № 4. – С. 669–683.
87. Vox, G.E.P. Some New Three Level Desing for Study of Quantitative variables [Text] / G.E.P. Vox, D. W. Behnken // *Technometries*, 1960. – vol. 2. № 4.
88. Справочник по вычислительным методам статистики [Текст] : книга / под общ. ред. Е. М. Четыркина. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
89. Зарянкин, А. Е. Полуэмпирический метод построения расходных характеристик дроссельно-регулирующей арматуры [Текст] / А. Е. Зарянкин, В. А. Зарянкин, С. А. Истомина, Е. К. Сидорова // *Арматуростроение*. – 2005. – № 2 (34) – С. 24–27.
90. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке [Текст]. В 2 т. Т. 1. Т. 2 : книга / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.
91. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст]: учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
92. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента [Текст] : учеб. пособие / под общ. ред. В. Г. Воронова. – Харьков : «Вища школа», 1986. – 240 с.
93. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] : книга / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М. : Мир, 1977. – 194 с.
94. Коженко, Н. В. Гидравлические исследования расходных характеристик регулирующего органа, ленточного регулятора расхода воды [Текст] / Н. В. Ко-

женко // Молодежь в науке: Новые аргументы : сб. науч. работ I-й Междунар. конф. – Липецк : Научное партнерство «Аргумент», 2014. – С. 84–90.

95. Коженко, Н. В. Исследование расходных характеристик задатчика ленточного регулятора расхода для рисовых чеков [Текст] / Н. В. Коженко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3 (48). – С.158–163.

96. Degtyarev G. V., Kozhenko N. V. Substantiation of the structural and technological parameters of the elements of the relay-operated controller [Text] // Topical areas of fundamental and applied research V : materials of V international research and practice conference, Vol. 2, December 22–23, 2014/spc Academic – North Charleston – USA, 2015. – P.126–135.

97. Мюллер, П. Таблицы по математической статистике [Текст] : сборник / П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 278 с.

98. Коженко, Н. В. Совершенствование средств регулирования расхода и уровня воды на рисовых чеках [Текст] / Н. В. Коженко // Научное творчество молодежи – шаг в будущее! : сб. материалов II (IV) Всероссийской науч.-практ. конф. учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых – Анапа : ФГБОУ ВПО КубГАУ Анапский филиал, 2014. – С. 48–51.

99. D. Brian Spalding, Suhas V. Patankar, Andrew Pollard and Ashok K. Singhal. Numerical Prediction of Flow, Heat Transfer, Turbulence and Combustion. Pergamon Press. Elsevier Ltd. 1983, – 430 p.

100. Tuncer Cebeci. Analysis of Turbulent Flows with Computer Programs (Third Edition) [Text] / Elsevier Ltd. Long Beach, California, USA, 2013, – 450 p. [in English].

101. Павлов, С. Д. К вопросу о классификации МСАЕ-систем [Текст] / С. Д. Павлов, Ю. А. Береза // Машиностроение и смежные отрасли CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. – № 1 (45). – С. 64–69.

102. Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 1028 с.

103. Ушаков, В. С. Анализ обтекания тел с отрывом потока в системе SolidWorks / FloWorks [Текст] / В. С. Ушаков // Машиностроение и смежные отрасли CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – № 3 (12). – С. 2–9.

104. Аксенов, А. А. Сертификация системы моделирования движения жидкости и газа FlowVision [Текст] / А. А. Аксенов, В. В. Шмелев, М. Л. Смирнова, В. В. Банкрутенко, И. В. Нетронин, А. В. Будников, С. А. Рогожкин // САПР и графика. – 2006. – № 4. – С. 2–7.

105. Коженко, Н. В. Возможности CAE-системы FlowVision при исследовании ленточного запорного органа регуляторов расхода [Текст] / Н. В. Коженко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. ст. по материалам X Всероссийской конф. молодых ученых. – Краснодар : ФГБОУ ВО КубГАУ, 2016. – С. 464–465.

106. Дегтярёв, В. Г. Исследование течения жидкости в лабораторном образце ленточного запорного органа регулятора воды при использовании CAE-системы FlowVision [Электронный ресурс] / В. Г. Дегтярёв, Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 119 (05) – 25 с. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2016/05/pdf/80.pdf>.

107. Станков, Б. А. Применение системы инженерного анализа FlowVision для решения прикладных задач гидродинамики судна [Текст] / Б. А. Станков, А. С. Печенюк // САПР и графика. – 2006. – С. 50–56.

108. FlowVision software: Numerical simulation of industrial CFD applications on parallel computer systems [Text] // Parallel Computational Fluid Dynamics. – 2004. – P. 401–408.

109. Технические условия 0595-ТУ/2005. Система моделирования жидкости и газа FlowVision.

110. Аксенов, А. А. Пакет прикладных программ Flow Vision [Текст] / А. А. Аксенов, А. В. Гудзовский // сер. Аэрофизика и прикладная математика. – 1998. – С. 45–56.

111. Коженко, Н. В. Исследование при использовании CAE-системы FlowVision течения жидкости в лабораторном образце ленточного запорного ор-

гана, армированного выступом на ленте [Текст] / Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (57). – С. 182–189.

112. Коженко, Н. В. Возможности САЕ-системы FlowVision при исследовании ленточного запорного органа регуляторов расхода [Текст] / Н. В. Коженко, В. Г. Дегтярёв, Д. А. Дацьо // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. ст. по материалам X Всероссийской конф. молодых ученых – Краснодар: ФГБОУ ВО КубГАУ, 2016. – С. 799–801.

113. Коженко, Н. В. Гидравлические исследования расходных характеристик регулирующего органа натурального образца ленточного регулятора воды [Текст] / Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв // Проблемы и перспективы технических наук : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: АЭТЕРНА, 2015. – С. 91–101.

114. Пахомов, А. А. Повышение уровня эксплуатации открытой внутрехозяйственной оросительной сети [Текст] / А. А. Пахомов, Н. А. Колобанова // Международный научный журнал «Educatio». – 2014. – № 4. – С. 160–162.

115. Пахомов, А. А. Поливной трубопровод с системой регулирования водоподдачи [Текст] / А. А. Пахомов, Д. А. Суслин // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 2016. – С. 374–378.

116. Кузнецов, Е. В. Мелиорация – современное состояние и перспективы [Текст] / Е. В. Кузнецов, А. Д. Гумбаров, И. А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2002. – № 3 (40). – С. 128–133.

117. Кузнецов, Е. В. Адаптированные технологии повышения агроэкономического потенциала агроландшафтов [Электронный ресурс] / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, А. Д. Гумбаров // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 41. – 3 с. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/43.pdf>.

118. Коженко, Н. В. Исследование безразмерных расходных характеристик регулирующего органа, ленточного регулятора расхода воды, методом планирования эксперимента [Электронный ресурс] / Н. В. Коженко // Научный журнал

КубГАУ. – 2014. – № 01(095). – 17 с. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/43.pdf>.

119. Коженко, Н. В. Совершенствование водораспределения на рисовых чеках [Текст] / Н. В. Коженко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. ст. по материалам VIII Всероссийской конф. молодых ученых – Краснодар : КубГАУ, 2013. – С. 219.

120. Васильев, С. М. Обоснование комплекса вычислительной гидродинамики при расчете гибких рабочих органов гидравлических регуляторов [Текст] / С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 1–13.

121. Коженко, Н. В. Гидравлические исследования безразмерных расходных характеристик задатчика натурального образца ленточного регулятора расхода воды [Текст] / Н. В. Коженко, Г. В. Дегтярёв // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков : сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: ЦРНС, 2016. – С. 42–52.

122. Российская Федерация. Налоговый кодекс РФ [Текст] : офиц. текст. – М. : Маркетинг, 1998. – 1358 с.

123. МДС 81–25.2001 Методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве [Текст]. – Введ. 2001–03–01. – М.: Межрегиональным центром по ценообразованию в строительстве и промышленности строительных материалов Госстроя России, Государственной академией профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы (ГАСИС) Министерства образования Российской Федерации и ГП Краснодарским краевым центром ценообразования в строительстве «Кубаньстройцена», 2001 – 10 с.

124. МДС 81–35.2004 (редакция 2016 г.) Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации [Текст]. – Введ. 2004–03–09. – М.: Управлением ценообразования и сметного нормирования Госстроя России, 2004 – 61 с.

125. МДС 81–33.2004 Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве [Текст]. – Введ. 2004–01–12. – М.: Межрегиональный центр по ценообразованию в строительстве и промышленности строительных материалов Госстроя России с участием ГАСИС, 2004 – 33 с.

126. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М.: Экономика, 2000 – 14 с.

127. Васильев, С. М. Обоснование комплекса вычислительной гидродинамики при расчете гибких рабочих органов гидравлических регуляторов [Текст] / С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 1 (25). – С. 1–13.

128. Богатин, Ю. В., Инвестиционный анализ [Текст]: учебное пособие для вузов / Ю. В. Богатин, В. А. Швандар. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2000. – 286 с.

129. Акопян, А. В. Экономический инструментарий реализации услуг по подаче воды для орошения в зоне действия крупных мелиоративных систем [Текст] / А. В. Акопян, Н. И. Сафарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2011. – № 3. – С. 12–15.

130. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Начало [Текст]. – Введ. 1999–06–21 – М.: Министерство экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике, 2000 – 277 с.

131. Методические рекомендации. Временные методические рекомендации по определению стоимости научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проведении конкурсных торгов на выполнение НИОКР. – Введ. 2003–01–30 – М.: Авторский коллектив в составе д-р. экономич. наук, проф. Гасилова В. В. (руководитель работы), канд. экономич. наук, доц. Макарова Е. И., канд. физико-математич. наук, доц. Преображенского М. А., инженеров-экономистов Мишутиной Т. П., Замчаловой С. С., Жутаевой Е. Н., 2002 – 46 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Акты внедрения

Акты о внедрении в производство в АО «КСП «Светлогорское»
и в ООО «Навигатор» на системах водораспределения из каналов
старшего порядка во внутривладельческие водораспределители
для орошения деревьев.

Акт внедрения в учебный процесс.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
«КСП «Светлогорское»

И.П. Евдокимов

_____ 20__ года

Акт

о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Коженко Натальи ВладимировныКомиссия в составе:
председательЕвдокимов Игорь Петрович,
генеральный директор

члены комиссии:

Репа Алексей Васильевич,
главный инженер
Ульянич Александр Васильевич,
главный агроном

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы на системе водораспределения из канала старшего порядка во внутрихозяйственные водораспределители для орошения плодовых деревьев в АО «КСП «Светлогорское» по адресу: Краснодарский край, Абинский район, с. Светлогорское.

Использование предложенного регулятора уровня воды с ленточным запорным рабочим органом, позволило в 2 раза снизить трудозатраты на процессы водораспределения, повысить его качество, обеспечивающее экономию воды за вегетационный период в объеме 230 м³/га, а также позволило повысить урожайность на 7,9 т/га.

Использование предложенного регулятора уровня воды с ленточным запорным органом, позволяет сэкономить 275 809,00 рублей за счет экономии воды, без учета экономии трудовых ресурсов, и получать стабильный и гарантированный урожай, что является экономически выгодным решением.

Председатель комиссии

И.П. Евдокимов

Члены комиссии:

А.В. Репа

А.В. Ульянич

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Навигатор»

 А.К. Кубышкин« » _____ 2017 года

Акт

о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Коженко Натальи Владимировны

Члены комиссии составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы на системе водораспределения канала старшего порядка во внутрихозяйственные водораспределители для орошения земель сельхозугодий в ООО «Навигатор» по адресу: Краснодарский край, г. Кореновск, ул. Береговая 45.

Использование предложенного регулятора уровня воды с ленточным запорным органом, позволяет экономить, без учета экономии трудовых ресурсов, 193 067 (Сто девяносто три тысячи шестьдесят семь) рублей 00 копеек за счет экономии воды.

Использование предложенного регулятора уровня воды с ленточным запорным органом, позволило в 2,7 раза снизить трудозатраты на процессы водораспределения. Повысилось качество водораспределения, обеспечивающее экономию воды за вегетационный период в объеме 130 м³/га.

В результате был получен стабильный и гарантированный урожай, что является экономически выгодным решением.

Председатель комиссии

 А.К. Кубышкин

Члены комиссии

 Т.И. Коноваленко Р.З. Холитов В.И. Васильев



Утверждаю: Первый проректор
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина»,
профессор

С. М. Резниченко

Справка о внедрении

Материалы кандидатской диссертационной работы старшего преподавателя кафедры строительного производства Коженко Н. В. на тему «Параметры и режимы гидравлических регуляторов, исключаящих нерегулируемые протечки на внутривозвратной сети оросительных систем» используются кафедрой в учебном процессе при преподавании дисциплины «Гидравлика» по направлению «Природообустройство и водопользование».

Материалы обсуждены и одобрены на заседании кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» 10.09.2018 г., протокол № 1.

Заведующий кафедрой
гидравлики и сельскохозяйственного
водоснабжения,
д.т.н., профессор

Е. В. Кузнецов

Декан факультета гидромелиорации,
профессор

В. Т. Ткаченко

Приложение Б – Фотографическая фиксация

Фотографическая фиксация лабораторного эксперимента при исследовании регулятора с ленточным регулирующим органом



Рисунок Б1 – Общий вид лабораторной установки в работе



Рисунок Б2 – Вид лабораторной установки в работе со стороны управляющей полости



Рисунок Б3 – Лабораторный регулятор в работе при $H = 18$ см и $d = 0,6$ см



Рисунок Б4 – Лабораторный регулятор в работе при $H = 18$ см и $d = 0,7$ см



Рисунок Б5 – Лабораторный регулятор в работе при $H = 24$ см и $d = 0,8$ см



Рисунок Б6 – Лабораторный регулятор в работе при $H = 30$ см и $d = 0,7$ см

Приложение В – Результаты исследования

Результаты экспериментальных данных исследования естественного
образца регулятора

Таблица В1 – Результаты экспериментальных данных исследования
естественного образца регулятора

№	Напор, см	Давление, Па	Открытие, см	Расход Q , см ³ /с	Расход q , см ³ /с
1	50	4903	4,1	43277,2	1266,03
2	48	4793	3,9	42370,3	1240,49
3	103	9805	4,0	61711,7	1129,03
4	124	10033	4,2	63142,3	1157,31
5	153	14711	4,0	103022,0	1515,22
6	144	14230	3,9	99741,6	1463,59
7	50	4903	8,0	77441,3	625,61
8	51	5035	8,1	79531,1	641,57
9	102	9808	8,0	100671,0	907,89
10	99	9573	7,9	98251,1	887,14
11	150	14709	8,0	144546,0	1462,11
12	154	15121	8,2	148593,3	1503,05
13	50	4903	12,0	97373,1	642,20
14	48	4741	11,6	94159,8	621,01
15	100	9806	12,0	133576,0	1153,82
16	103	10139	12,4	138117,6	1193,05
17	150	14709	12,0	171539,0	1353,58
18	147	14430	11,8	168279,8	1327,86
19	50	4903	16,0	118364,0	739,87
20	51	5003	16,2	120733,5	754,72
21	101	9808	16,1	159185,2	1056,12
22	98	9629	15,7	156319,7	1037,08
23	152	14711	16,3	203267,4	1949,71
24	153	15089	16,5	208553,9	1997,27
25	50	4903	19,8	130914,7	2255,11
26	49	4761	19,4	127113,9	2187,77
27	101	9807	20,1	174981,0	4257,85
28	102	10102	20,4	180231,3	4384,92
29	151	14711	20,0	215016,2	5803,45
30	148	14416	19,8	210708,7	5686,51

Приложение Г – Фотографическая фиксация

Фотографическая фиксация исследования естественного образца регулятора

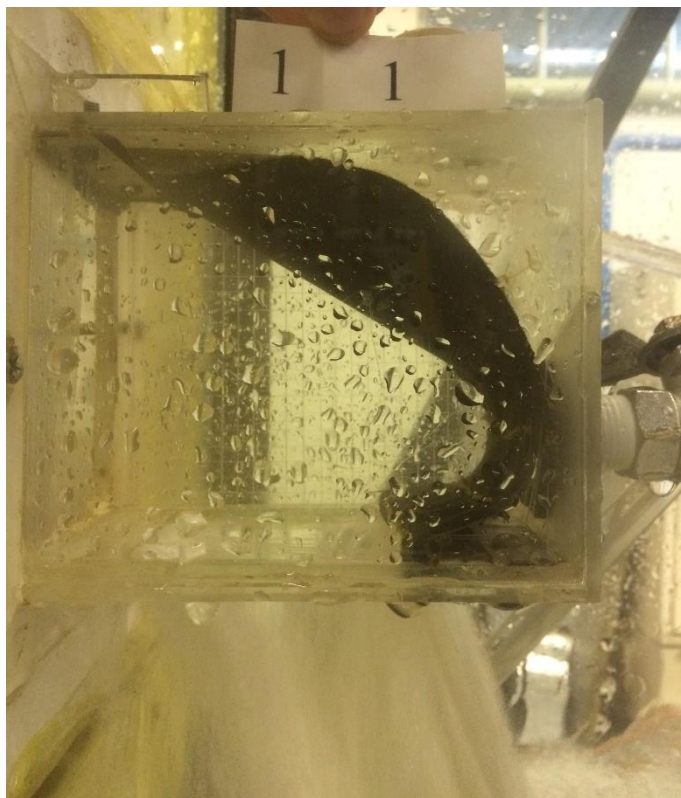


Рисунок Г1 – Естественный регулятор в работе при максимальном открытии проходного сечения $P = 14709$ Па

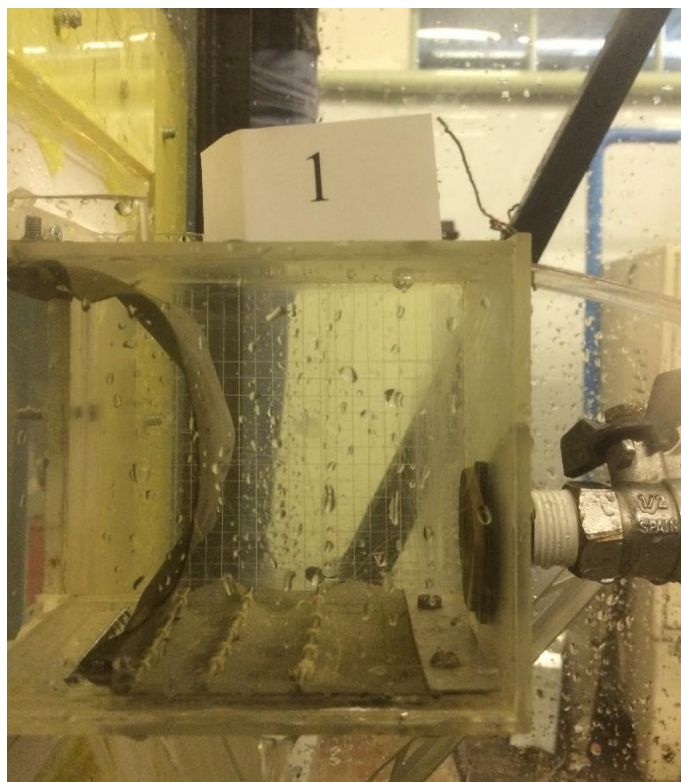


Рисунок Г2 – Естественный регулятор в работе при $P = 4903$ Па и $a = 1$ мм

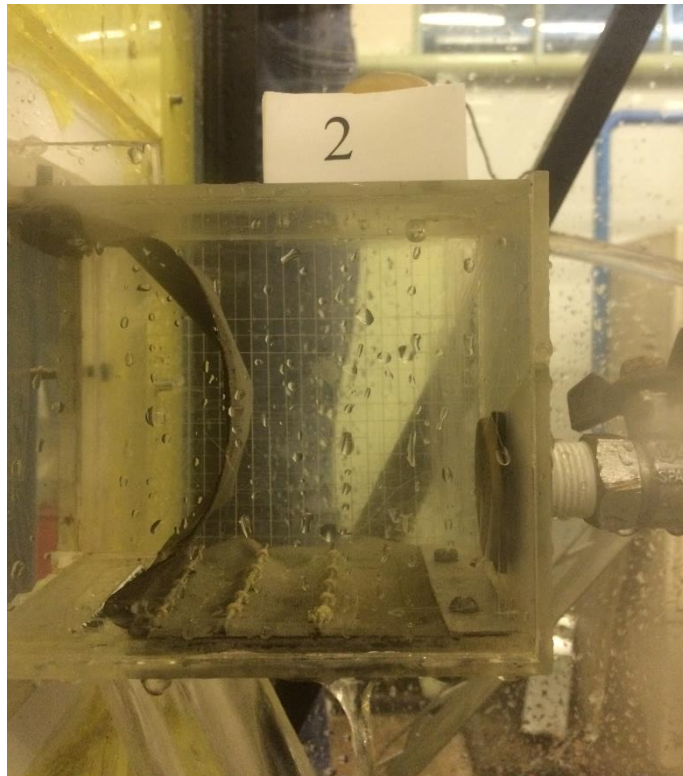


Рисунок Г3 – Естественный регулятор в работе при $P = 9806$ Па и $a = 2$ мм

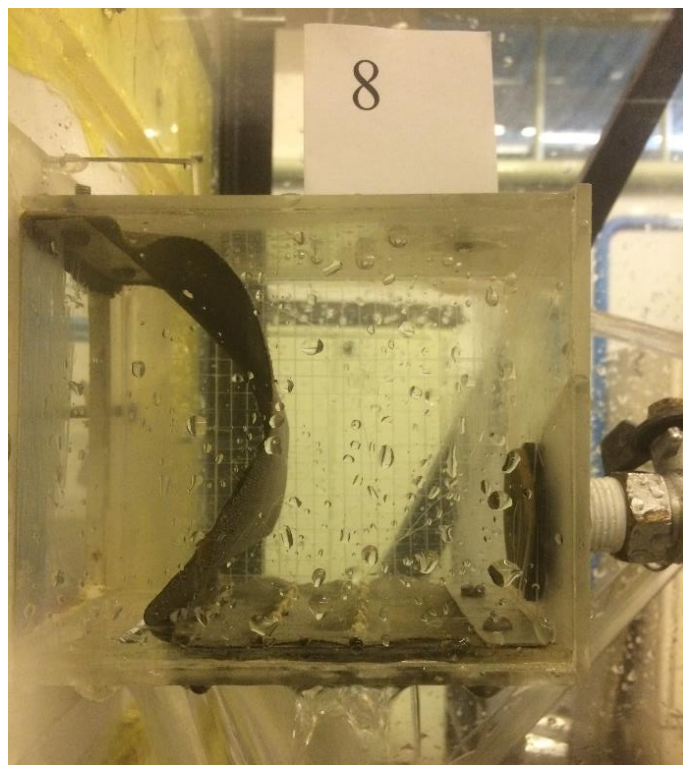


Рисунок Г4 – Естественный регулятор в работе при $P = 14709$ Па и $a = 3$ мм

Приложение Д – Локальная смета

Локальная смета на регулятор расхода и уровня воды с учетом изготовления, стоимости материалов и монтажа и локальная смета на восстановительные работы (ремонта) в программном комплексе Гранд-Смета.

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ №
(локальная смета)

на регулятор исключающий нерегулируемые протечки
(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 11,799 тыс. руб.
Средства на оплату труда _____ 1,521 тыс. руб.
Сметная трудоемкость _____ 9,84 чел. час
Трудозатраты механизаторов _____ 0,31 чел. час
Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на _____

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол. на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.						Общая стоимость, руб.				Т/з осн. Всего	Т/з осн. на раб. на ед.	Общая масса оборудования, т
					Всего	В том числе		Оборудование	Всего	В том числе			Т/з осн. Всего				
1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	11		12	13	14	15
Раздел 1.																	
1	ТЕР09-06-001-02 Приказ Министра России от 31.12.14 №937/пр	Монтаж: лотков, решеток, затворов из полосовой и тонколистовой стали 567,65 = 581,20 - 3Е-5 x 4 751,12 - 0,00194 x 6 246,56 - 1Е-5 x 7 671,42 - 0,0187 x 64,47 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015; Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Строительные металлические конструкции: НР (19 руб.); 80% от ФОТ СП (18 руб.); 85% от ФОТ	1 т конструкций	0,0034 (2,8+0,6)/1000	7477,39	6056,22	945,62	21,79	26	21	3	50,79	0,17				
		Затраты труда рабочих (ср з)	чел.час	50,79 0,17	6,84	6,84			1,16	1,16							
		Затраты труда машинистов	чел.час	0,12													
1. 030404		Лебедки электрические тяговым усилием до 31,39 кН (3,2 т)	маш.час	10,53 0,04	6,19	6,19			0,25	0,25							

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	2. 040504	Аппарат для газовой сварки и резки	маш.час	1.86 0.01	1.2		1.2			0.01		0.01				
	3. 041000	Преобразователи сварочные с номинальным сварочным током 315-500 А	маш.час	2.03 0.01	9.4		9.4			0.09		0.09				
	4. 101-0324	Кислород технический газообразный	м3	1.5 0.01	8.79					0.09						
2	ТССЦ-101-5207 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Сталь листовая нержавеющей, марка 08Х18Н10, толщиной 2,0 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции	Т	0.0034 (2,8*0,6)/1000	173969,65					591						
3	ТЕР13-03-004-04 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Окраска металлических оштукатуренных поверхностей: эмалью ХВ-1120 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Защита строительных конструкций и оборудования от коррозии: НР (1 руб.); 90% от ФОТ СП (1 руб.); 70% от ФОТ	100 м2 окрашив аемой поверхно сти	0.002 0,2/100	3805,86	311	44,69	1,39		8	1			2,45		
		Затраты труда машинистов	чел.час	0.01												
4	калькуляц ия	Сверление отверстий с пластинами из листовой стали толщиной до 10 мм, при количестве отверстий в детали не более 7, максимальный диаметр отверстия 21 мм. ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Тоннели и метрополитены, закрытый способ работ: НР (29 руб.); 145% от ФОТ СП (15 руб.); 75% от ФОТ	100 отверсти й	0.09 9/100	227,33	227,33				20	20					

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
5	ТЕР20-02-004-06 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм 13.87 = 22.71 - 0.344 x 25.70 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха); НР (204 руб.); 128% от ФОТ СП (132 руб.); 83% от ФОТ	1 клапан	1	186,25	158,64	12,2				186	159	12		1,28	1,28	
		Затраты труда рабочих (ср 3.3)	чел.час	1,28	7,11	7,11				9,1	9,1						
	1. 030305	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 31,39 кН (3,2 Т)	маш.час	0,32	2		2			0,64		0,64					
	2. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 Т	маш.час	0,01	95,58		95,58			0,96		0,96					
6	ТССЦ-101-0306 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Изделия резиновые технические морозостойкие ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	кг	0,6	183,3					110							
7	ТЕР09-05-003-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Постановка болтов: строительных с гайками и шайбами ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлоконструкции: НР (109 руб.); 90% от ФОТ СП (103 руб.); 85% от ФОТ	100 шт. болтов	0,08 8/100	1532,1	1510,22	21,88			123	121	2		11,9	0,95		
		Затраты труда рабочих (ср 3.5)	чел.час	11,9 0,95	7,28	7,28				6,92	6,92						
8	ТССЦ-101-0088 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Болты с шестигранной головкой диаметром резьбы 6 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗГПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлоконструкции	Т	9,6Е-5 0,000012*8	70219,53					7							

I РАНД-СМЕ-1А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
9	ТЕР01-02-055-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Разработка грунта вручную с креплениями в траншеях шириной до 2 м, глубиной: до 2 м, группа грунтов 1 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; 3 ПМ=17.433; МАТ=4.862 Земляные работы, выполняемые ручным способом: НР (53 руб.): 80% от ФОТ СП (30 руб.): 45% от ФОТ	100 м3 грунта	0,0045 1*0,3*1,5/100	14665,51	14665,51					66			125	0,56		
		Защиты труда рабочих (ср 2.8)	чел.час	125 0,56	6,73	6,73				3,77	3,77						
10	ТЕР22-01-011-07 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Укладка стальных водопроводных труб с гидравлическим испытанием диаметром: 250 мм 23 103.64 = 337.948.00 - 1004 x 313.59 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; 3 ПМ=17.433; МАТ=4.862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода: НР (130 руб.): 130% от ФОТ СП (130 руб.): 89% от ФОТ	1 км трубопро вода	0,0015 1,5/1000	216123,68	74172,53	115894,3	23213,43			324	111	174	35	512	0,77	
		Защиты труда рабочих (ср 4.5)	чел.час	512 0,77	8,31	8,31				6,4	6,4						
		Защиты труда машинистов	чел.час	131,97 0,2													
1.	040102	Электростанции передвижные 4 кВт	маш.час	29,73 0,04	25,17	25,17	8,89			1,01		1,01	0,36				
2.	041401	Электрические печи для сушки сварочных материалов с регулированием температуры в пределах от 80 °С до 500 °С при работе от передвижных электростанций	маш.час	15,12 0,02	2,54	2,54				0,05		0,05					
3.	042901	Установки для гидравлических испытаний трубопроводов, давление нагнетания низкое 0,1 МПа (1 кгс/см2), высокие 10 МПа (100 кгс/см2) при работе от передвижных электростанций	маш.час	35 0,05	20,18	20,18				1,01		1,01					
4.	150202	Агрегаты сварочные двухпостовые для ручной сварки на тракторе 79 кВт (108 л.с.)	маш.час	81,65 0,12	121,93	121,93	10,39			14,63		14,63	1,25				
5.	150701	Трубоукладчики для труб диаметром до 400 мм грузоподъемностью 6,3 т	маш.час	15,23 0,02	104,78	104,78	11,08			2,1		2,1	0,22				

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6. 151700	Установки для подогрева стыков		маш.час	3,71 0,01	35,42	8,89	35,42	8,89		0,35		0,35	0,09			
7. 330301	Машины шлифовальные электрические		маш.час	41,25 0,06	1,99		1,99			0,12		0,12				
8. 411-0001	Вода		м3	98,8 0,15	17,18					2,58						
11	ТСЦ-103-0193 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Трубы стальные электросварные прямые со снятой фаской из стали марок БСт2п-БСт4кп и БСт2пс-БСт4пс наружный диаметр 273 мм, толщина стенки 4 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМЗ ПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренне (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	м	1,5	1022,87					1534						
12	ТЕР22-02-001-07 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Нанесение нормальной антикоррозийной битумно-резиновой или битумно-полимерной изоляции на стальные трубопроводы диаметром: 250 мм 31.846.33 = 16 925.19 + 3.7 х 4 032.74 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМЗ ПМ=7.623; ЗГПМ=17.433; МАТ=4.862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода. НР (55 руб.); 130% от ФОТ СП (37 руб.); 89% от ФОТ	1 км трубопр вода	0,0015 1,5/1000	183036,25	25402,5	24432,02	2876,62		275	38	37	4	193	0,29	
	Затраты труда рабочих (ср 3.8)		чел.час	193 0,29	7,55	7,55				2,19	2,19					
	Затраты труда машинистов		чел.час	14,96 0,02												
1. 030303	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 14,72 кН (1,5 т)		маш.час	29,3 0,04	1,37		1,37			0,05		0,05				
2. 121012	Котлы битумные передвижные 1000 л		маш.час	42,46 0,06	30,79		30,79			1,85		1,85				
3. 150701	Трубоукладчики для труб диаметром до 400 мм грузоподъемностью 6,3 т		маш.час	14,72 0,02	104,78		104,78	11,08		2,1		2,1	0,22			
4. 330301	Машины шлифовальные электрические		маш.час	37,84 0,06	1,99		1,99			0,12		0,12				
И, 3	5. 101-1995 Мастика битумная		т	3,7 0,01	4032,74					40,33						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	ТССЦ-507-4223 Приказ Минстрой России от 31.12.14 №937/пр	Трубы из коррозионностойкой стали электросварные, марки 08Х18Н10, наружным диаметром 20 мм, толщиной стенки 1,5 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Самостоятельные работы – внутреннее (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	10 м	0,035 0,35/10	1561,33						55					
17	калькуляция	Сверление отверстий с пластинах из листовой стали толщиной до 10 мм, при количестве отверстий в детали не более 7, максимальный диаметр отверстия 21 мм. ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Тоннели и метрополитены, закрытый способ работ: НР (75 руб.): 145% от ФОТ СП (89 руб.): 75% от ФОТ	100 отверстий	0,23 (23)/100	227,33	227,33				52	52					
18	ТЕР22-01-011-08 Приказ Минстрой России от 31.12.14 №937/пр	Укладка стальных водопроводных труб с гидравлическим испытанием диаметром: 300 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода: НР (46 руб.): 130% от ФОТ СП (37 руб.): 89% от ФОТ	1 км трубопровода	0,0003 0,3/1000	2091412,7	86051,73	146363,6	29133,68		628	26	44	9	594	0,18	
		Затраты труда рабочих (ср 4.5)	чел.час	594 0,18	8,31	8,31				1,5	1,5					
		Затраты труда машинистов	чел.час	165,3 0,05												
1.	040102	Электростанции передвижные 4 кВт	маш.час	34,8 0,01	25,17		25,17	8,89		0,25		0,25	0,09			
2.	041401	Электрические печи для сушки сварочных материалов с регулированием температуры в пределах от 80 °С до 500 °С при работе от передвижных электростанций	маш.час	17,4 0,01	2,54		2,54			0,03		0,03				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	3. 042901	Установки для гидравлических испытаний трубопроводов, давление нагнетания низкое 0,1 МПа (1 кгс/см ²), высокие 10 МПа (100 кгс/см ²) при работе от передвижных электростанций	маш. час	35 0.01	20,18		20,18			0,2		0,2				
	4. 150202	Аргаты сварочные двухпостовые для ручной сварки на тракторе 79 кВт (108 л.с.)	маш. час	107,78 0.03	121,93		121,93	10,39		3,66		3,66	0,31			
	5. 150701	Трубоукладчики для труб диаметром до 400 мм грузоподъемностью 6,3 Т	маш. час	17,36 0.01	104,78		104,78	11,08		1,05		1,05	0,11			
	6. 330301	Машины шлифовальные электрические	маш. час	49,5 0.01	1,99		1,99			0,02		0,02				
	7. 103-0202	Трубы стальные электросварные прямошовные со снятой фаской из стали марок БСт2кп-БСт4кп и БСт2пс-БСт4пс наружный диаметр 325 мм, толщина стенки 6 мм	М	1004 0.3	374,72					112,42						
	8. 411-0001	Вода	м ³	142 0.04	17,18					0,69						
19	ТССЦ-103-0199 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Трубы стальные электросварные прямошовные со снятой фаской из стали марок БСт2кп-БСт4кп и БСт2пс-БСт4пс наружный диаметр 325 мм, толщина стенки 4 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода	М	0,3	1223,57					367						
20	ТЕР22-02-001-07 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Нанесение нормальной антикоррозионной битумно-резиновой или битумно-полимерной изоляции на стальные трубопроводы диаметром: 250 мм 31,846.33 = 16 925.19 + 3,7 x 4 032.74 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода: НР (12 руб.); 130% от ФОТ СП (8 руб.); 89% от ФОТ	1 км трубопро вода	0,0003 0,3/1000	183036,25	25402,5	24432,02	2876,62		55	8	7	1	193	0,06	
		Затраты труда рабочих (ср 3.8)	чел. час	193 0.06	7,55		7,55			0,45						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		Затраты труда машинистов	чел.час	14,96													
	1. 030303	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 14,72 кН (1,5 т)	маш.час	29,3 0,01	1,37		1,37			0,01		0,01					
	2. 121012	Котлы битумные передвижные 1000 л	маш.час	42,46 0,01	30,79		30,79			0,31		0,31					
	3. 330301	Машины шлифовальные электрические	маш.час	37,84 0,01	1,99		1,99			0,02		0,02					
H, 3	4. 101-1995	Мастика битумная	т	3,7	4032,74												
УФ	5. 101-9090	Мастика	т	3,7													
	6. 104-1593	Холсты стекловолоконные марки ВВ-Г	10 м2	100 0,03	108,72					3,26							
21	ТЕР06-01-016-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Сварка арматуры ваннным способом при диаметре арматуры: до 25 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗГМ=7,623; ЗГМ=17,433; МАТ=4,862 Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве: НР (242 руб.); 105% от ФОТ СП (150 руб.); 65% от ФОТ	100 шт. стыков	0,04 4/100	7880,26	5748,88	738,9			316	230	30		31,8	1,27		
		Затраты труда рабочих (ср б)	чел.час	31,8 1,27	10,37					13,17							
	1. 040502	Установки для сварки ручной дуговой (постоянного тока)	маш.час	16,12 0,64	5,42		5,42			3,47		3,47					
22	ТССЦ-204-0023 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Горячекатаная арматурная сталь периодического профиля класса А-III, диаметром 14 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗГМ=7,623; ЗГМ=17,433; МАТ=4,862 Строительные металлические конструкции	т	0,005	25103,38					126							
23	ТЕР06-01-016-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Сварка арматуры ваннным способом при диаметре арматуры: до 25 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17,433; ЭМ-ЗГМ=7,623; ЗГМ=17,433; МАТ=4,862 Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве: НР (121 руб.); 105% от ФОТ СП (75 руб.); 65% от ФОТ	100 шт. стыков	0,02 2/100	7880,26	5748,88	738,9			158	115	15		31,8	0,64		

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		Затраты труда рабочих (ср 6)	чел.час	31.8 0.64	10,37	10,37				6,64	6,64					
	1. 040502	Установки для сварки ручной дуговой (постоянного тока)	маш.час	16.12 0.32	5,42	5,42	5,42			1,73	1,73					
24	ТССЦ-101-3757 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Сталь листовая нержавеющая, марка 08Х18Т1, толщиной 3,0 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве	Т	0,00029	198525,04					58						
25	ТЕР09-06-024-08 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Монтаж плит чугунных и стальных Деталей обрамления каркасов и кладки нагревательных печей ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции: НР (1 руб.); 90% от ФОТ СП (1 руб.); 85% от ФОТ	1 Т конструкций	0,00029	5215,88	3535,41	1501,55	117,67		1	1			26,27	0,01	
		Затраты труда рабочих (ср 4)	чел.час	26.27 0.01	7,72	7,72				0,08	0,08					
		Затраты труда машинистов	чел.час	0.65												
26	ТЕР09-05-003-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Постановка болтов: строительных с гайками и шайбами ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции: НР (163 руб.); 90% от ФОТ СП (154 руб.); 85% от ФОТ	100 шт. болтов	0.12 12/100	1532,1	1510,22	21,88			184	181	3		11,9	1,43	
		Затраты труда рабочих (ср 3.5)	чел.час	11.9 1.43	7,28	7,28				10,41	10,41					
27	ТССЦ-101-0088 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Болты с шестигранной головкой диаметром резьбы 6 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции	Т	0,000144	70219,53					10						

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
28	ТЕР09-06-024-08 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Монтаж: плит чугунных и стальных деталей обрамления каркасов и кладки нагревательных печей ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции: НР (1 руб.); 90% от ФОТ СП (1 руб.); 85% от ФОТ	1 Т конструк ций	0,000315	5215,88	3535,41	1501,55	117,67			1			26,27	0,01	
		Затраты труда рабочих (ср 4)	чел.час	26,27 0,01	7,72	7,72				0,08	0,08					
		Затраты труда машинистов	чел.час	0,65												
29	ФССЦ-101-3762 Приказ Минстроя России от 12.11.14 №703/пр	Сталь листовая нержавеющей, марка: 12Х18Н10Т, толщиной 8,0-22,0 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Строительные металлические конструкции	Т	0,000315	136121,75					43						
30	ТЕР20-02-004-06 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм 13,87 = 22,71 - 0,344 x 25,70 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха): НР (204 руб.); 128% от ФОТ СП (132 руб.); 83% от ФОТ	1 клапан	1	186,25	158,64	12,2			186	159	12		1,28	1,28	
		Затраты труда рабочих (ср 3.3)	чел.час	1,28 1,28	7,11	7,11				9,1	9,1					
	1. 030305	Лебедки ручные и рычажные тяговые усиленным 31,39 кН (3,2 Т)	маш.час	0,32 0,32	2		2			0,64		0,64				
	2. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 Т	маш.час	0,01 0,01	95,58		95,58			0,96		0,96				

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
31	ТССЦ-101-0306 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Изделия резиновые технические морозостойкие ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; З ПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	кг	0,3	183,3					55						
32	ТЕР06-01-016-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Сварка арматуры ваннным способом при диаметре арматуры: до 25 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; З ПМ=17.433; МАТ=4.862 Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве: НР (121 руб.); -105% от ФОТ СП (75 руб.); 65% от ФОТ	100 шт. стыков	0.02 2/100	7880,26	5748,88	738,9			158	115	15		31,8	0,64	
			Затраты труда рабочих (ср 6)	31,8 0,64	10,37	10,37				6,64	6,64					
1.	040502		Установки для сварки ручной дуговой (постоянного тока)	16,12 0,32	5,42		5,42			1,73		1,73				
33	ТССЦ-204-0021 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Горячекатаная арматурная сталь периодического профиля класса А-III, диаметром 10 мм ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; З ПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	т	0,00074	26095,23					19						
34	ТЕР22-01-011-01 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Укладка стальных водопроводных труб с гидравлическим испытанием диаметром: 250 мм 5 301.14 = 32 509.54 - 1004 x 27.10 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗП=17.433; ЭМ-3 ПМ=7.623; З ПМ=17.433; МАТ=4.862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода: НР (9 руб.); 130% от ФОТ СП (2 руб.); 89% от ФОТ	1 км трубопро вода	5E-5 0.05/1000	66769,24	46088,1	17930,7	3565,92		3	2	1		318	0,02	
			Затраты труда рабочих (ср 4.5)	318 0.02	8,31	8,31				0,17	0,17					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		За траты труда машинистов	чел.час	20.62												
35	ТЕР22-01-021-07 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр 11 419.48 = 305 779.51 + (0.005 - 101) x 2 914.60 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода. НР (36 руб.): 130% от ФОТ СП (25 руб.): 89% от ФОТ	Укладка трубопроводов из полиэтиленовых труб диаметром: 250 мм	1 км трубопро вода	0.0005	112340.96	43735.04	58596.42	11308.44		56	22	29	6	340.4	0.17	
		За траты труда рабочих (ср 3.6)	чел.час	340.4 0.17	7.37	7.37				1.25	1.25					
		За траты труда машинистов	чел.час	63.04 0.03												
1.	042901	Установки для гидравлических испытаний трубопроводов, давление нагнетания низкое 0,1 МПа (1 кгс/см2), высокое 10 МПа (100 кгс/см2) при работе от передвижных электростанций	маш.час	35 0.02	20.18		20.18			0.4		0.4				
2.	081600	Агрегаты для сварки полиэтиленовых труб	маш.час	57.19 0.03	97.03		97.03	10.39		2.91		2.91	0.31			
3.	4.111-0001	Вода	м3	118 0.06	17.18					1.03						
3	4.507-0605	Трубы напорные из полиэтилена низкого давления среднего типа, наружным диаметром 250 мм	10 м	0.005	2914.6											
Уд	5.507-0605	Трубы напорные из полиэтилена низкого давления среднего типа, наружным диаметром 250 мм	10 м	101 0.05	2914.6					145.73						
Итого прямые затраты по разделу в текущих ценах																
Накладные расходы																
Сметная прибыль																
Итого по разделу 1																
ИТОГО ПО СМЕТЕ:																
Итого прямые затраты по смете в текущих ценах																
Накладные расходы																
Сметная прибыль																
ВСЕГО по смете																
										6560	1465	390	56		9.84	
										1704						
										1172						
										11798.82					9.84	

Гранд-СМЕТА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
5	ТЕР20-02-004-06 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм 13,87 = 22,71 - 0,344 x 25,70 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перепада в текущие цены ОЗП=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха): НР (204 руб.): 128% от ФОТ СП (432 руб.): 83% от ФОТ	1 клапан	1	186,25	158,64	12,2				186	159	12		1,28	1,28	
		Затраты труда рабочих (ср 3.3)	чел.час	1,28 1,28	7,11	7,11					9,1	9,1					
	1. 030305	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 31,39 кН (3,2 Т)	маш.час	0,32 0,32	2	2				0,64		0,64					
	2. 400001	Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 Т	маш.час	0,01 0,01	95,58	95,58				0,96		0,96					
6	ТССЦ-101-0306 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Изделия резиновые технические морозостойкие ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перепада в текущие цены ОЗП=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	кг	0,6	183,3					110							
12	ТЕР22-02-001-07 Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр	Нанесение нормальной антикоррозионной битумно-резиновой или битумно-полимерной изоляции на стальные трубопроводы диаметром: 250 мм 31 846,33 = 16 925,19 + 3,7 x 4 032,74 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перепада в текущие цены ОЗП=17,433; ЭМ-ЗПМ=7,623; ЗПМ=17,433; МАТ=4,862 Наружные сети водопровода, канализации, теплоснабжения, газопровода: НР (65 руб.): 130% от ФОТ СП (37 руб.): 89% от ФОТ	1 км трубопровода	0,0015 1,5/1000	183036,25	25402,5	24432,02	2876,62		275	38	37	4	193	0,29	0,29	
		Затраты труда рабочих (ср 3.8)	чел.час	193 0,29	7,55	7,55				2,19	2,19						
		Затраты труда машинистов	чел.час	14,96 0,02													
	1. 030303	Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 14,72 кН (1,5 Т)	маш.час	29,3 0,04	1,37	1,37				0,05		0,05					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Н, УФ	5. 101-9090	Мастика	Т	3.7													
6. 104-1593		Холсты стекловолоконные марки ВВ-Г	10 м2	100 0.03	108,72					3,26							
30	ТЕР20-02-004-06	Установка клапанов обратных: периметром до 1600 мм <i>Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр</i> 13.87 = 22.71 - 0.344 x 25.70 ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха); НР (204 руб.); 128% от ФОТ СП (132 руб.); 83% от ФОТ	1 клапан	1	186,25	158,64	12,2			186	159	12		1,28			
		Затраты труда рабочих (ср 3.3)	чел.час	1.28 1.28	7,11					9,1	9,1						
1. 030305		Лебедки ручные и рычажные тяговым усилием 31,39 кН (3,2 т)	маш.час	0.32 0.32	2		2			0,64		0,64					
2. 400001		Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 т	маш.час	0.01 0.01	95,58		95,58			0,96		0,96					
31	ТССЦ-101-0306	Изделия резиновые технические морозостойкие <i>Приказ Минстроя России от 31.12.14 №937/пр</i> ИНДЕКС К ПОЗИЦИИ: 4-2015 Индекс перевода в текущие цены ОЗГ=17.433; ЭМ-ЗПМ=7.623; ЗПМ=17.433; МАТ=4.862 Сантехнические работы - внутренние (трубопроводы, водопровод, канализация, отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха)	кг	0.3	183,3					55							
Итого прямые затраты по разделу в текущих ценах																	
Накладные расходы											1551	365	68	5	2,91		
Сменная прибыль											474						
Итого по разделу 1											310						
ИТОГИ ПО СМЕТЕ:											2335						
Итого прямые затраты по смете в текущих ценах											1551	365	68	5	2,91		
Накладные расходы											474						
Сменная прибыль											310						
ВСЕГО по смете											2919,32						2,91