

**Грудиёв Георгий Викторович**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ПОЛИВНОГО ТРУБОПРОВОДА  
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ВОДОВЫПУСКАМИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства (по техническим наукам)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ставрополь 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО СтГАУ)

- Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Высочкина Любовь Игоревна**
- Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Шекихачев Юрий Ахметханович**
- доктор технических наук, профессор  
**Черноволов Василий Александрович**
- Ведущая организация:** ОАО «Северо-Кавказский институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства»

Защита состоится «16» декабря 2011 г. в 10 часов на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.062.05 при ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «    »                      2011 г. и размещен на официальном сайте Ставропольского ГАУ <http://www.stgau.ru> и ВАК Минобрнауки РФ <http://vak.ed.gov.ru> «    »                      2011 г.

Ученый секретарь объединенного диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

**Марченко В. И.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одним из направлений по повышению эффективности орошаемого земледелия является использование менее энергозатратных технологий орошения, к которым относится поверхностный полив.

Широкое распространение этого способа полива сдерживается низким уровнем механизации, ограниченной производительностью, неравномерностью полива и значительными потерями воды на фильтрацию.

Устранить часть недостатков традиционного способа поверхностного полива возможно высокоточной планировкой поля с использованием лазерного оборудования, поливом дискретной струёй и переменным расходом воды, поливом по коротким бороздам. Но при этом названный вид полива остается наиболее трудоемким и малопродуктивным.

Кроме того, для большинства с.-х. предприятий затруднительно сооружение стационарных оросительных систем вследствие их значительной стоимости. Поэтому разработка мобильного технического средства, обеспечивающего равномерную подачу воды в борозды, представляет научный и практический интерес.

Проведенные исследования явились составной частью работ Ставропольского госагроуниверситета (СтГАУ) по теме НИОКР на 2008...2012 годы и Государственного контракта № 7783р/11480 от 01.04.2010 г. с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по теме: «Разработка энергосберегающей технологии и технических средств для подготовки и проведения полива по полосам и бороздам».

**Цель работы** - совершенствование технологии полива сельскохозяйственных культур путем разработки и обоснования рациональных параметров и режимов работы поливного трубопровода с регулируемым водовыпуском.

**Объект исследования** - технологический процесс подачи воды в борозды и технические средства для его осуществления.

**Предмет исследования** – конструктивные параметры и закономерности режима работы поливного трубопровода с регулируемым водовыпуском.

**Методика исследований.** Теоретические положения работы базировались на законах и методах гидродинамики с использованием математического аппарата. При проведении лабораторных экспериментов использовалась теория гидродинамического подобия с общим критерием гидродинамического подобия числом Ньютона.

Исследования проводились в соответствии с действующими стандартами в лабораторных и полевых условиях на основе общепринятых методик с использованием теории математического планирования и обработки экспериментальных данных.

**Научная новизна.** Проведены аналитические исследования закономерностей движения воды в трубопроводе при непрерывной раздаче в борозды и получена математическая модель потерь напора по длине с учетом местных

потерь и характера течения воды.

Установлено, что средняя скорость неразрывного потока с учётом закона сохранения массы воды в трубопроводе является рекуррентной функцией последовательности расположения водовыпусков.

Разработана математическая модель воздействия потока жидкости на регулируемые заслонки, обеспечивающие в зависимости от напора требуемое проходное сечение водовыпусков и равномерный расход воды в борозды.

**Практическая значимость.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволят усовершенствовать процесс полива по бороздам за счет использования предложенного поливного трубопровода (патент РФ № 2347360) с установкой регулируемых водовыпусков (патент РФ № 89923).

Выводы и предложения диссертационной работы могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями и организациями, выпускающими поливную технику.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на IV и VI Российской научно-практической конференции «Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе» (г. Ставрополь, 2007, 2011 г.), Международной конференции молодых ученых и аспирантов «Молодые ученые агропромышленному комплексу» (г. Владикавказ, 2008 г.), на научно-практических конференциях СтГАУ (г. Ставрополь, 2008 – 2011 г.). Работа награждена серебряной медалью VIII Международного салона инноваций и инвестиций (г. Москва, 2008 г.).

Результаты работы внедрены в СПК (колхоз) «Егорлыкский» Изобильненского района и ООО НПО «Полив» Ставропольского края.

По результатам исследований получены патенты на изобретение и полезную модель, опубликовано 12 научных работ, в т.ч. 3 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**На защиту выносятся** следующие основные положения:

- аналитические исследования закономерностей движения воды в трубопроводе при непрерывной раздаче её в борозды;
- конструктивно-технологическая схема, параметры и режимы работы поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками;
- математическая модель воздействия потока жидкости на заслонки водовыпусков, обеспечивающих равномерный расход воды в борозды;
- качественные показатели работы поливного трубопровода в условиях эксплуатации;-

номограмма для определения параметров и режимов работы поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы из 140 наименований, 14 приложений. Работа изложена на 135 страницах, иллюстрирована 13 таблицами и 47 рисунками.

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цели и задачи исследований, представлены основные моменты научной новизны и практической значимости работы.

**В первой главе** – «Состояние вопроса и задачи исследований» проанализированы способы поверхностного полива, машины и механизмы для их осуществления, определены их основные достоинства и недостатки.

Значительный вклад в развитие орошения внесли отечественные ученые: А.А. Костяков, Б.С. Маслов, Б.Б. Шумаков, Б.А. Шумаков, Г.В. Ольгаренко, В.Н. Щедрин, В.И. Лисунов, А.В. Колганов, Ю.А. Шекихачев, О.Е. Ясониди и др.

Одним из направлений совершенствования полива по бороздам является разработка конструкций поливных машин и механизмов, позволяющих повысить производительность, снизить потери воды на фильтрацию, обеспечить равномерность подачи воды в борозды и снизить затраты труда и средств. Исследованиям по этой тематике посвящены работы Г.Ю. Шейнкина, М.С. Григорова, К.В. Губера, А.А. Коршикова, А.А. Терпигорьева, В.А. Сурина, Ю. Г. Безбородова, И.А. Шарова и др.

Анализ существующих разработок показал, что они имеют ограниченное применение, не в полной мере отвечают агротехническим требованиям, надежной работе с высокой производительностью.

Наиболее перспективным направлением механизации полива по бороздам является использование мобильных трубопроводов, позволяющих подавать воду от гидранта закрытой оросительной сети, тем самым снижая потери воды на фильтрацию.

Для улучшения качественных показателей орошения необходимо разработать и обосновать параметры и режимы работы поливного трубопровода, работающего, как от закрытой оросительной сети, так и с забором воды из временного оросителя. Особое внимание следует обратить на обеспечение равномерного заданного расхода воды в борозды.

Для достижения поставленной цели необходимо решить *следующие задачи*:

- выявить закономерности взаимодействия потока жидкости с элементами трубопровода;
- разработать математическую модель воздействия потока жидкости на заслонки водовыпусков, обеспечивающих равномерный расход воды в борозды;
- обосновать конструктивно-технологическую схему и параметры поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками;
- изучить влияние параметров и режимов работы поливного трубопровода на качественные показатели его работы;
- определить технико-экономическую эффективность применения поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками и разработать номограмму для определения рациональных режимов его работы.

**Вторая глава «Теоретическое обоснование параметров поливного трубопровода с регулируемыи водовыпусками»** состоит из трех разделов.

**В разделе 2.1** рассмотрены факторы, определяющие характер течения жидкости в трубопроводе. Для решения одномерных задач энергия потока жидкости определяется по уравнению Бернулли для потока реальной жидкости с учётом потерь напора:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_{\Pi}, \quad (1)$$

где  $Z_{1,2}$  - напор, обусловленный силой тяжести жидкости, м;

$P_{1,2}$  - давление, Па;

$V_{1,2}$  - скорость потока, м/с;

$\alpha_{1,2}$  - коэффициент Кориолиса.

$h_{\Pi}$  - потери напора на трение по длине трубопровода, м;

$\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

Потери напора при равномерном движении жидкости в трубопроводе описываются уравнением Дарси-Вейсбаха, где коэффициент гидравлического трения ( $\lambda$ ) зависит от характера течения жидкости:

$$h_{\Pi} = \lambda \cdot \frac{l}{d_T} \cdot \frac{V_{cp}^2}{2g}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

$V_{cp}$  - средняя скорость потока жидкости в трубопроводе, м/с;

$d_T$  и  $l$  - диаметр и длина трубопровода, м.

На основании проведенных лабораторных опытов, используя метод гидродинамического подобия, определили среднюю скорость потока и характер течения жидкости в трубопроводе (турбулентный в гидравлически гладких трубах) из условия  $Re > Re_{кр}$ , где  $Re$  и  $Re_{кр}$  – соответственно число Рейнольдса и критическое значение его.

При турбулентном движении жидкости в гидравлически гладких трубах  $\lambda$  описывается уравнением П.К. Конакова:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg Re - 1,52)^2}. \quad (3)$$

После преобразования выражения (2) с учетом непрерывной раздачи расхода потери напора по длине определяются по формуле:

$$h_{\Pi} = \frac{V_{cp}^2 \cdot l}{24 \cdot R \cdot g \cdot (1,8 \cdot \lg Re - 1,52)^2}, \quad (4)$$

где  $R$  – гидравлический радиус, м.

Потери напора по длине приводят к неравномерному расходу воды через водовыпуски, что не отвечает агротехническим требованиям и снижает качество полива.

**В разделе 2.2** исследован процесс водослива через водовыпуски в зависимости от напора и геометрии водовыпусков.

Расход воды через водовыпуск зависит от напора истечения  $H_u$  и площади поперечного сечения  $\omega$ :

$$Q_B = \mu_p \cdot \omega \sqrt{2g \cdot H_u}, \quad (5)$$

где  $Q_B$  - расход воды через водовыпуск, м<sup>3</sup>/с;

$\mu_p$  - коэффициент расхода водовыпуска;

$H_u$  - напор истечения, м;

$\omega$  - площадь поперечного сечения водовыпуска, м<sup>2</sup>.

Скорость истечения жидкости через водовыпуск зависит от напора истечения и скорости движения воды в сечении, где расположен водовыпуск:

$$V_u = k \cdot \sqrt{2g \cdot H_u} + V_x \quad (6)$$

где  $k$  - коэффициент скорости;

$V_x$  - скорость движения воды в сечении водовыпуска, м/с.

Следовательно, для того, чтобы расход по водовыпускам был одинаковым, необходимо регулировать площадь проходного сечения в зависимости от напора истечения жидкости.

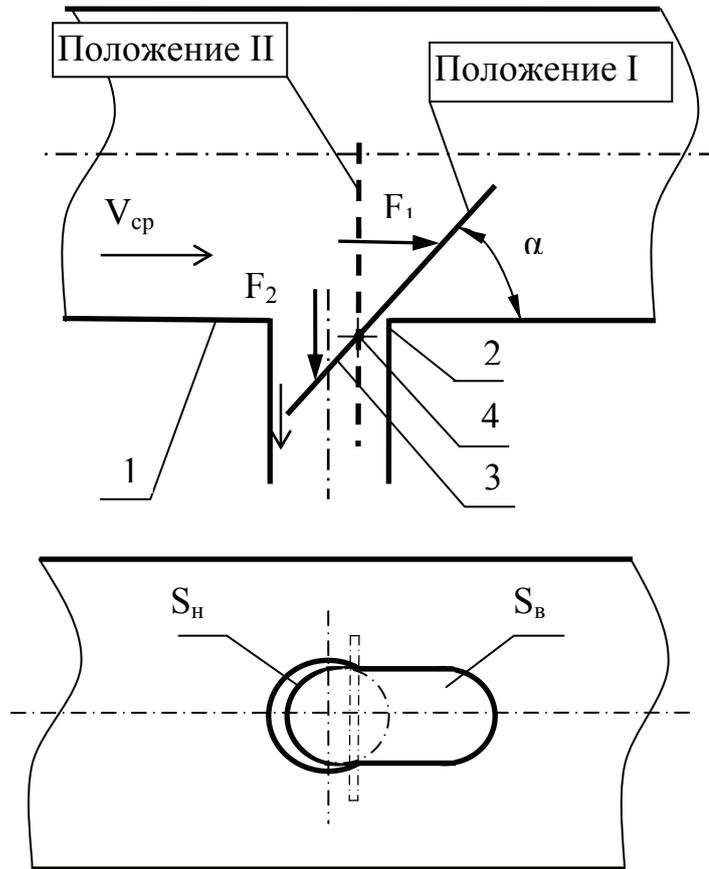
В конструкции трубопровода предлагается использовать водовыпуски с поворотной заслонкой желобчатой формы (Патент № 89923) (рис 1).

В корпусе 2 водовыпуска на оси 4 крепится поворотная заслонка 3, желобчатой формы, состоящая из двух площадок  $S_в$  и  $S_н$ . Верхняя площадка  $S_в$  находится в корпусе 1 трубопровода, а нижняя  $S_н$  в трубке 2 водовыпуска поливного трубопровода.

В момент подачи воды в трубопровод под действием силы давления  $F_1$  заслонки водовыпусков поворачиваются (Положение I) и перекрывают водовыпускные отверстия (рис. 1).

После заполнения трубопровода водой под действием силы давления на нижние площадки заслонки  $F_2$  происходит одновременное открытие водовыпускных отверстий (Положение II), причем угол наклона заслонок зависит от скорости потока жидкости  $V_{ср}$ .

Рассмотрим рабочий режим, то есть когда трубопровод заполнился водой и заслонки водовыпусков заняли рабочее положение.



1 – трубопровод; 2 – трубка водовыпуска; 3 – заслонка поворотная; 4 – ось.  
Рисунок 1 – Конструкция регулируемого водовыпуска поливного трубопровода.

Дискретизируем работу системы во времени и по длине трубопровода. В качестве координатных точек привязки будем использовать водовыпуски. За начальный момент времени примем момент полного заполнения трубопровода. Однако учитывая, что диаметр водовыпуска много меньше диаметра трубопровода, и  $Q_B \ll Q_T$  ( $Q_T$ - максимально возможное поступление воды в трубопровод), изменением режима работы последнего (n-го) водовыпуска можно пренебречь.

С учетом уравнения неразрывности потока:

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 \quad (7)$$

и частного случая закона сохранения массы:

$$n \cdot m = S_T \cdot dl \cdot \rho, \quad (8)$$

где  $m$  - масса жидкости, кг;

$n$  - количество водовыпусков, ед.;

$S_T$ - сечение трубопровода,  $m^2$ .

Средняя скорость потока в зоне n-го водовыпуска равна:

$$V_n = \frac{n \cdot m}{S_T \cdot dt \cdot \rho} \quad (9)$$

где  $t$  – время, с.

При работе  $n$ -го и  $(n-1)$ -го водовыпусков с учетом желаемого равного расхода через водовыпуски  $Q_{B_{n-1}} = Q_{B_n}$ , средняя скорость потока в зоне  $(n-1)$  водовыпуска равна удвоенной средней скорости потока в зоне  $n$ -го водовыпуска:  $V_{n-1} = 2V_n$ . Аналогично, для  $(n-2)$ -го водовыпуска:  $V_{n-2} = 3V_n$ , и т. д.

Таким образом, средняя скорость потока в трубопроводе есть рекуррентная функция порядкового номера водовыпуска. Построим модель взаимодействия потока воды с заслонкой водовыпуска.

Для выполнения условия работы водовыпусков, обеспечивающих заданный равный расход воды в борозды, определим силовое воздействие потока воды на заслонку.

Предварительные замеры скорости потока в трубопроводе на действующей модели показали, что режим потока является турбулентным ( $Re \gg 2400$ ). Учитывая быстрое возрастание модуля скорости от 0 до  $V_{max}$  допустима замена действительной скорости в каждой точке взаимодействия потока с заслонкой на его среднюю скорость  $V_{cp}$ .

Заслонка водовыпуска займет рабочее положение при равенстве моментов сил, действующих на верхнюю и нижнюю части заслонки. Наряду с правилом моментов воспользуемся законом сохранения энергии, а именно его частным случаем в гидродинамике – уравнением Бернулли:

$$P + \rho \cdot V_{cp}^2 / 2 + \rho \cdot g \cdot h = const, \quad (10)$$

где  $\rho \cdot V_{cp}^2 / 2$  и  $\rho \cdot g \cdot h$  - кинетическая и потенциальная составляющая давления, Па;  $P$  – напорное давление жидкости, Па.

Для верхней части заслонки водовыпуска при малых скоростях потока слагаемыми  $P$  можно пренебречь, и так как верхняя часть заслонки смочена жидкостью по всей поверхности, и по закону Паскаля гидростатические давления на фронтальной относительно потока и тыловой сторонах взаимно компенсируют друг друга  $F_{вес.в} = F_n$  (толщиной заслонки в этом случае пренебрегаем) (рис. 2). Таким образом, единственной составляющей давления остается кинетическая.

Тогда, давление в каждую точку фронтальной поверхности верхней части заслонки водовыпуска без усреднения скоростей  $p_i = \rho \cdot V_i^2 / 2$ , а, с учетом наклона заслонки в рабочем режиме на некоторый угол  $\alpha$ , нормальное давление  $p_{i\alpha} = \rho \cdot V_i^2 \cdot \sin \alpha / 2$ .

Сила давления на верхнюю часть заслонки определится выражением:

$$F_{i\alpha} = p_{i\alpha} \cdot \int_S dS_e = p_{i\alpha} \cdot S_e \cdot \sin \alpha, \quad (11)$$

где  $S_e$  - площадь поверхности верхней части заслонки,  $m^2$ ;

$\alpha$  - угол наклона заслонки.

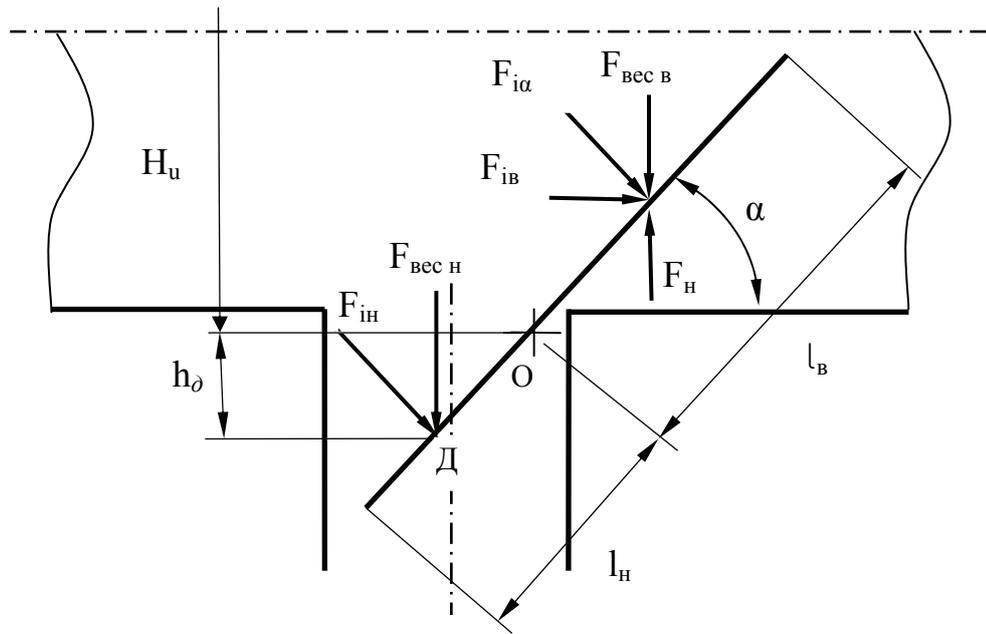


Рисунок 2 – Схема действия сил давления жидкости на поверхность заслонки.

На нижнюю часть заслонки действует давление гидростатическое  $\rho \cdot g \cdot h$ , напорное  $P$  и кинетическое  $\rho \cdot V_i^2 / 2$ . В качестве  $h$  примем  $H_{ui}$  - напор истечения.

Так как сила давления на нижнюю часть заслонки приложена в точке Д (рис. 2) на расстоянии  $h_0$  от оси поворота:

$$h_0 = \frac{2}{3} l_H \cdot \sin \alpha, \quad (12)$$

где  $l_H$  – длина нижней части заслонки, м.

Принимаем, что напор истечения определяется:

$$H_{ui} = H_u + h_0, \quad (13)$$

где  $H_u$  – высота уровня жидкости в трубопроводе, м.

Тогда сила давления на нижнюю часть заслонки водовыпуска определяется выражением:

$$F_{iH} = \left( P + \rho \cdot g \cdot \left( H_u + \frac{2}{3} \cdot l_H \cdot \sin \alpha \right) + \frac{\rho \cdot \bar{V}_i^2}{2} \right) \cdot S_H \cdot \cos \alpha. \quad (14)$$

С учетом того, что во всех водовыпусках, кроме последнего, поток будет напорным, после преобразования получены зависимости для определения расхода через  $n$ -ый и  $(n-1)$ -ый водовыпуски:

$$Q_{Bn} = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4} \cdot \varepsilon \cdot \mu_{p_n} \cdot \sqrt{2g \cdot H_{ui}}; \quad (15)$$

$$Q_{Bn-1} = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4} \cdot \varepsilon \cdot \mu_{p_{n-1}} \cdot \sqrt{2g \cdot H_{ui} + \frac{\bar{V}_{n-1}^2}{2 \cdot \zeta_m}}, \quad (16)$$

где  $\zeta_m$  - местная потеря напора при повороте потока на  $90^\circ$ ,  $\zeta_m = 1,19$ .

Исходя из условия равенства расходов по водовыпускам:  $Q_{Bn} = Q_{Bn-1}$ , приравняв выражения (15) и (16), после преобразований получим условие равенства расхода воды по водовыпускам:

$$\sqrt{2g \cdot H_{ui}} = \left(1 - \frac{S_n \cdot \cos \alpha}{S_e}\right) \cdot \sqrt{2g \cdot H_{ui} + \frac{\bar{V}_{n-1}^2}{2,38}}, \quad (17)$$

где  $\alpha$  – угол наклона заслонки, регулирующий живое сечение водовыпуска.

Таким образом, равенство расходов по водовыпускам зависит от соотношения площадей верхней и нижней части заслонки, напора истечения, скорости потока жидкости в зоне водовыпуска и угла наклона заслонки.

Угол  $\alpha$  зависит от скорости потока жидкости  $\alpha = f(V_i)$ .

На основании уравнения (17) и с использованием данных эксперимента построена зависимость, позволяющая прогнозировать угол наклона заслонки в зависимости от скорости потока при общем расходе 160 л/с (рис. 3).

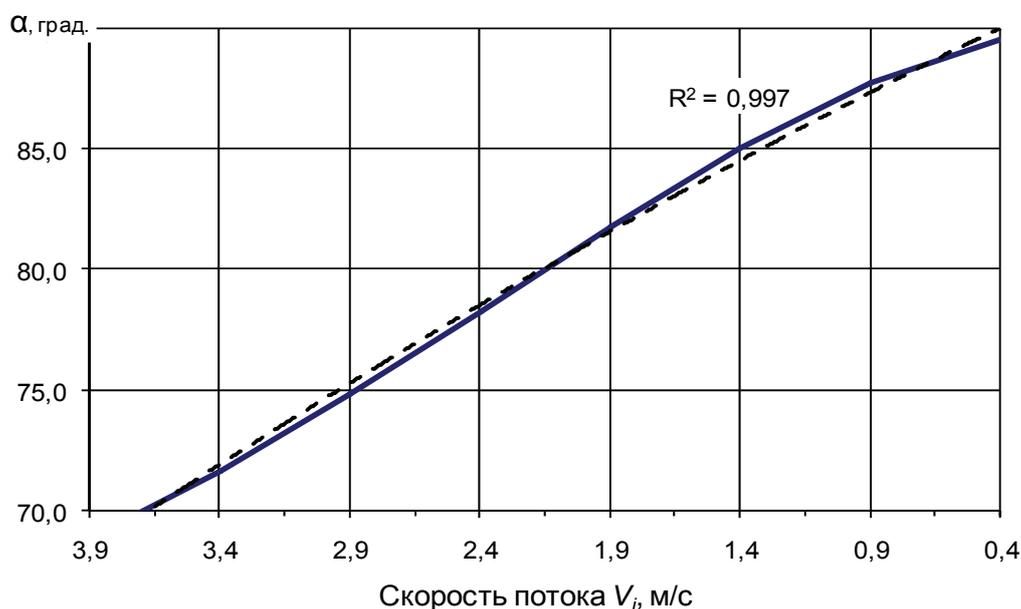


Рисунок 3 - Зависимость угла наклона заслонки от скорости потока по длине трубопровода при общем расходе  $Q = 160$  л/с.

Условием устойчивого положения заслонки водовыпуска является равенство моментов, приложенных к верхней и нижней частям её,  $M_B = M_H$ .

Момент силы, действующий на верхнюю часть заслонки определяется:

$$M_{\epsilon} = F_{i\alpha} \cdot l_{\epsilon} \cdot \sin \alpha . \quad (18)$$

Аналогично определяем момент силы, действующей на нижнюю часть заслонки:

$$M_{н} = F_{iH} \cdot l_{н} \cdot \cos \alpha . \quad (19)$$

После преобразований моменты сил, действующих на верхнюю и нижнюю части заслонки, равны:

$$M_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot \bar{V}_i^2}{2} \cdot S_{\epsilon} \cdot l_{\epsilon} \cdot \sin \alpha , \quad (20)$$

$$M_{н} = \left( p + (1 + k^2) \cdot \rho \cdot g \cdot H_u + \frac{2}{3} \rho \cdot g \cdot l_{н} \cdot \sin \alpha + k \cdot \frac{\bar{V}_i}{1,19} \cdot \sqrt{2g \cdot H_u} + \frac{\rho \cdot \bar{V}_i^2}{2,38} \right) \cdot S_{н} \cdot l_{н} \cdot \cos \alpha . \quad (21)$$

Так как  $\bar{V}_i = (n + 1 - i) \cdot \bar{V}_n$ , то, приравняв моменты, действующие на верхнюю и нижнюю части заслонки, после преобразований площадь верхней части заслонки, обеспечивающая равный расход воды по водовыпускам, будет равна:

$$S_B = S_H \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \left( (1 + k^2) \cdot g \cdot H_u + \frac{2}{3} \cdot g \cdot l_H \sin \alpha + \frac{k \cdot (n + 1 - i) \cdot \bar{V}_n}{1,19} \cdot \sqrt{2gH_u} + \frac{(n + 1 - i)^2 \cdot \bar{V}_n^2}{2,38} \right) \cdot \beta \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{(n + 1 - i) \cdot \bar{V}_n^2}}, \quad (22)$$

где  $\beta$  - коэффициент, учитывающий конфигурацию заслонки.

Так как зависимость между средними скоростями потока на уровне водовыпусков является рекуррентной, то полученное выражение справедливо для любого порядкового номера водовыпуска. Все приведённые слагаемые известны и могут быть подобраны по табличным данным.

Скорость воды в зоне водовыпусков снижается за счет местных сопротивлений, создаваемых верхними площадками заслонок, находящихся в полости трубопровода.

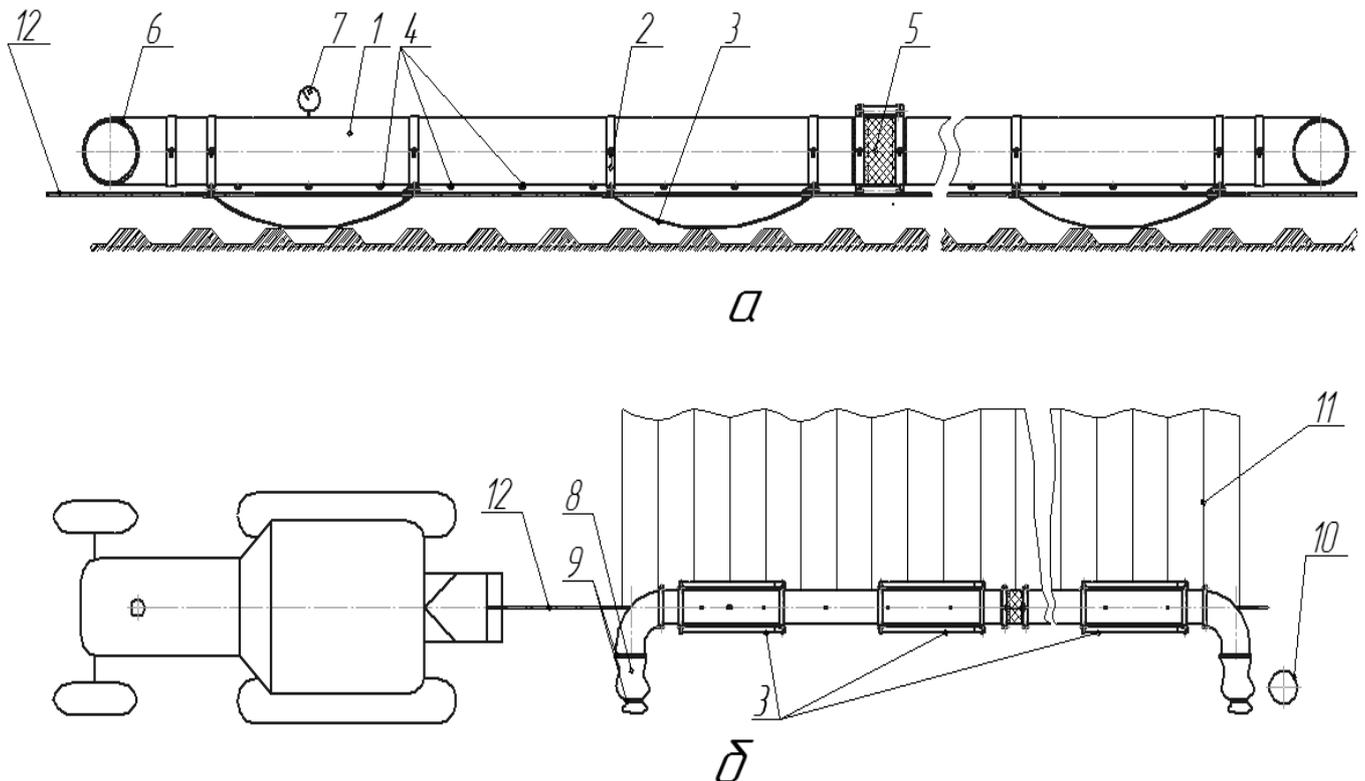
С учетом местных потерь напора в соответствии с принципом наложения потерь, согласно которому полная потеря напора представляет собой арифметическую сумму потерь, вызываемых отдельными сопротивлениями, суммарные потери напора в трубопроводе определяются выражением:

$$h_{\Gamma} = \frac{V_{cp}^2 \cdot l}{24 \cdot R \cdot g \cdot (1,8 \cdot l_g R_e - 1,52)^2} + n \cdot \left( \zeta_m \cdot \sin \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right), \quad (23)$$

где  $\zeta_m$  - коэффициент сопротивления заслонки;

$V_2$  - средняя скорость потока в сечении за водовыпуском, м/с.

**В разделе 2.3** обоснована конструктивно-технологическая схема поливного трубопровода (Патент № 2347360), состоящего из двух пластиковых труб 1, соединенных между собой мелиоративной тканью 5 и хомутов 2, опирающихся через кронштейны на лыжи-рессоры 3, длина которых превышает два междурядья борозд (рис. 4). Один конец лыж-рессор жестко закреплен к кронштейну, а другой размещен свободно. По длине трубопровода выполнены два ряда водовыпусков 4 через 0,70 и 0,45 м соответственно.



1 – труба; 2 – хомут; 3 – лыжа-рессора; 4 – водовыпуск; 5 –соединение мягкое; 6 – колено; 7 – манометр; 8 –рукав подводящий; 9 – зажим; 10 – труба гидранта; 11 – борозды; 12 – трос.

Рисунок 4 – Схема поливного трубопровода в рабочем (а) и в транспортном (б) положении.

Технологический процесс полива трубопроводом заключается в следующем.

Трактор, перемещает тросом поливной трубопровод с одной позиции (поливной) на другую (для полива). При этом поливной трубопровод подводится передним концом к гидранту 10 и подводящим рукавом 8 закрепленным к колену 6 с помощью зажима 9 фиксируется на гидранте. Открывается подача

воды из гидранта в трубопровод, при заполнении трубопровода водой его масса увеличивается, лыжи-рессоры прогибаются и распрямляются, труба ложится на гребни борозд.

По окончании полива на данной позиции гидрант закрывается, мягкое соединение снимается и закрепляется на трубопроводе. За это время трубопровод опорожняется, нагрузка на лыжи-рессоры уменьшится, и они выпрямятся, поднимая трубопровод над поверхностью почвы. Тракторной тягой трубопровод перемещается на новую позицию.

В разделе обоснованы рациональные геометрические характеристики поливного трубопровода. Длина и диаметр трубопровода обосновываются в зависимости от параметров подводящей сети. Количество пар лыж-рессор определяется исходя из массы конструкции в заполненном состоянии с учетом допустимого уплотняющего воздействия на почву. Диаметр водовыпуска рассчитывается с учетом максимального расхода воды в борозду через последний водовыпуск.

**В третьей главе** представлена программа экспериментальных исследований и методика их проведения.

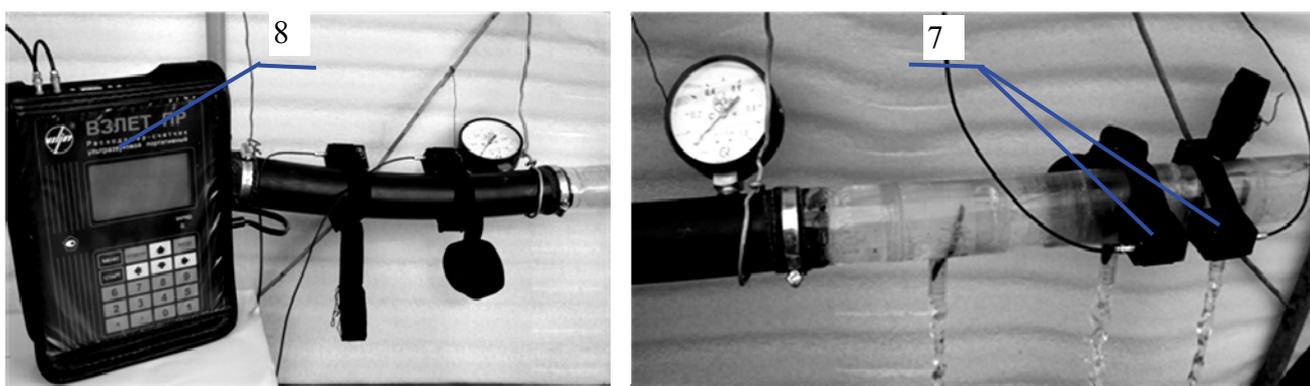
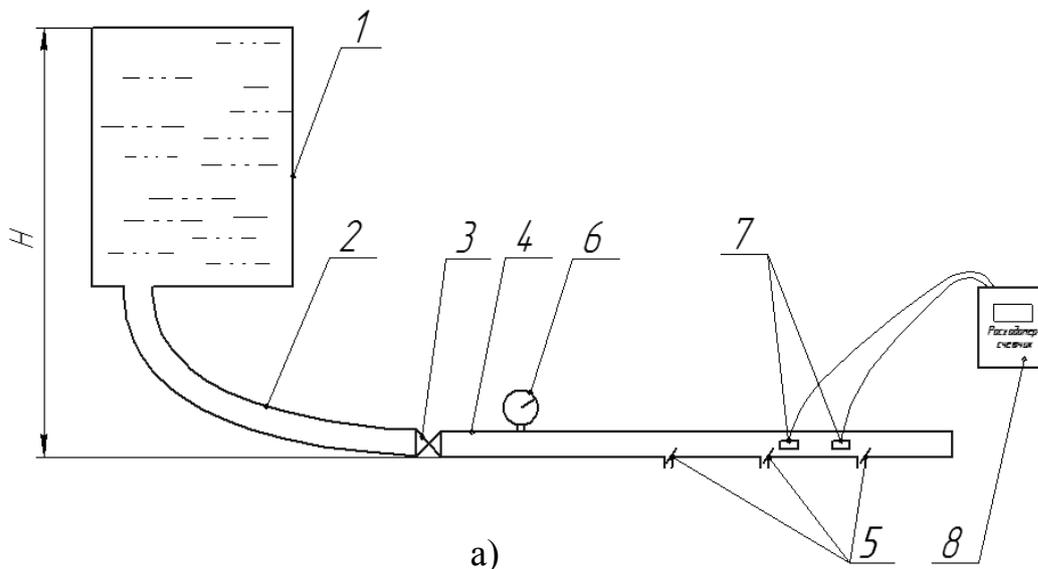
Программа исследований предусматривала:

- определение расхода воды по водовыпускам в зависимости от напора и площади верхней части заслонки водовыпуска;
- определение суммарных потерь напора воды в трубопроводе;
- определение равномерности расхода воды по длине трубопровода при изменяющемся уклоне трубопровода;
- оценка качества полива поливным трубопроводом в условиях хозяйства.

Общая программа и методика исследований разработаны на основе методик испытания поливных машин. Экспериментальная установка (рис. 5) разработана на основе теории гидродинамического подобия с общим критерием гидродинамического подобия числом Ньютона.

Расход воды и скорость потока по длине трубопровода измеряли расходомером-счетчиком ультразвуковым портативным УРСВ «ВЗЛЕТ ПР». Для измерения расхода и скорости потока в трубопроводе датчики расходомера монтировали до и после каждого водовыпуска (рис. 5) поочередно в порядке возрастания. Изменяя давление в трубопроводе перекрытием крана 3 и контролируя показания на манометре, измеряемые параметры индицировались на дисплее расходомера с выбранной размерностью и периодом индикации.

Полевые наблюдения работы трубопровода выполнены в соответствии с программой и методикой полевых испытаний ОСТ 70.11.3 – 74 и ОСТ 10.11.3 – 2001 в условиях СПК (колхоз) «Егорлыкский» Изобильненского района Ставропольского края на поливе кукурузы.



б)

1 – ёмкость; 2 – шланг гибкий; 3 – кран; 4 – труба пластиковая; 5 - водовыпуски; 6 – манометр; 7 – датчики расходомера; 8 – расходомер ультразвуковой.

Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки для определения расхода воды по водовыпускам (а) и фото её мерных элементов (б).

**В четвертой главе** представлены результаты лабораторных и полевых экспериментов, целью которых являлось определение рациональных конструктивных параметров и режимов работы поливного трубопровода.

По результатам теоретического исследования и путем проведения поисковых опытов выявлены границы варьирования факторов эксперимента.

При реализации ПФЭ выполнено  $N = 2^2 = 4$  опыта по оптимизации равномерности расходной характеристики по водовыпускам под влиянием изменяющихся факторов: напора  $H = 0,2 \dots 1,2$  м вод. ст. и площади верхней части заслонки водовыпуска  $S$  от  $6,9 \cdot 10^{-4}$  до  $8,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Получено уравнение регрессии в кодированном виде

$$Y = 0,222 - 0,004x_1 + 0,008x_2, \quad (24)$$

которое после преобразований принимает натуральный вид:

$$Q_B = 0,241 - 45,643 \cdot S_B + 0,019 \cdot H. \quad (25)$$

На основании уравнения регрессии построено сечение и поверхность отклика, характеризующие расход воды через водовыпуски в зависимости от напора и площади верхней части заслонки (рис. 6).

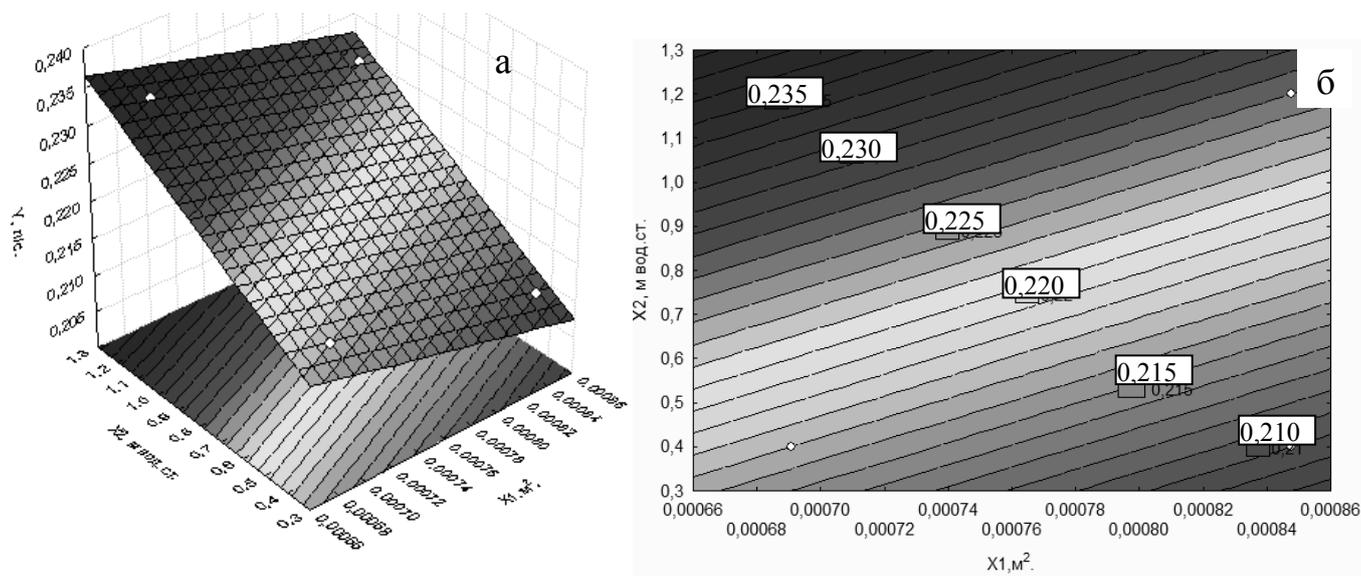


Рисунок 6 – Сечение (а) и поверхность отклика (б), характеризующая расход воды через водовыпуски в зависимости от напора и площади верхней части заслонки.

Проверку однородности дисперсии определили по критерию Кохрена для заданной доверительной вероятности 0,95. Значимость коэффициентов проверяли по критерию Стьюдента для выбранного уровня значимости  $p = 0,05$ . Адекватность уравнения проверяли по критерию Фишера.

Наблюдениями установлено, что в момент подачи воды в трубопровод под действием внешних сил, создаваемых потоком воды, происходит полное перекрытие заслонками всех отверстий водовыпусков, а при установившемся течении скорость потока воды в начале трубопровода больше, чем в конце, и заслонка перекрывает первое водовыпускное отверстие в большей степени, чем последующие.

Для обеспечения расхода воды в борозду определен потребный общий расход трубопровода при подаче воды гидранта закрытой оросительной сети, с максимальной пропускной способностью 210 л/с (рис. 7).

Потери напора по длине трубопровода определяли на уклоне 0,001 при общем расходе воды 140 л/с (рис. 8).

Проверка адекватности теоретических и экспериментальных значений потерь напора показывает, что уравнение достаточно точно описывает полученные экспериментальные данные. Среднее относительное отклонение расчетных значений от экспериментальных составляет 5 %.



Рисунок 7 – Поливной трубопровод.

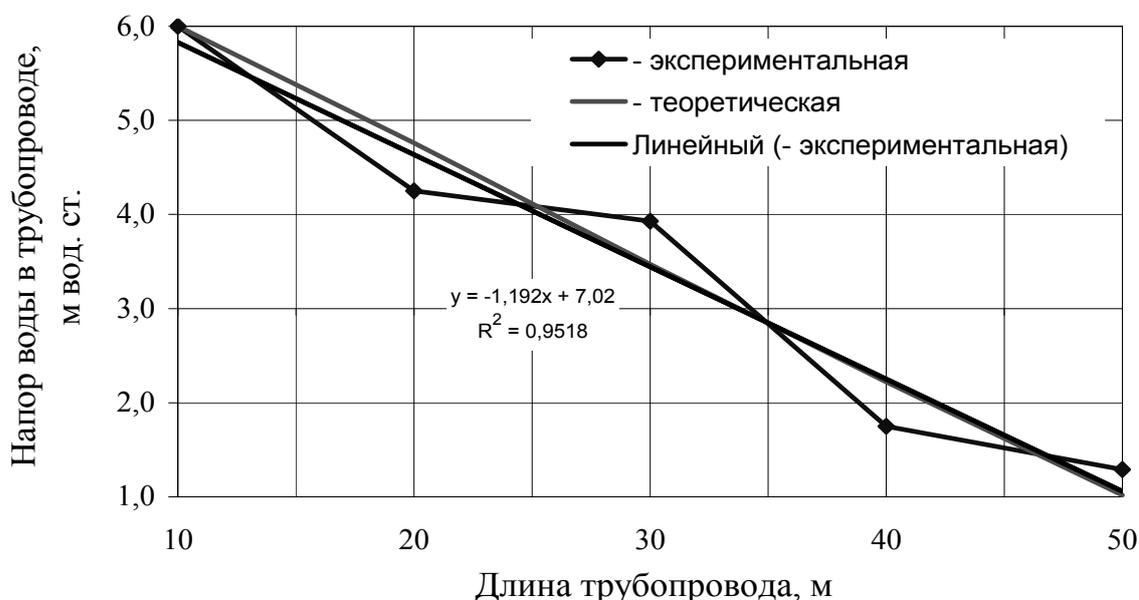


Рисунок 8 – Потери напора по длине трубопровода.

Одним из агротехнических требований процесса полива является обеспечение равномерности расхода воды через водовыпуски по длине трубопровода. Исследования проводили при общем расходе воды 100; 140; 180 л/с при уклонах 0,001 и 0,005 (рис. 9).

При поливе с использованием водовыпусков коэффициент равномерности распределения воды составил 98 %, что соответствует агротехническим требованиям и свидетельствует о том, что конструкция водовыпуска работает при различных уклонах вдоль трубопровода за счет внутренних гидравлических процессов, основанных на воздействии потока жидкости на преграды (заслонки водовыпусков).

При поливе с использованием стандартных водовыпускных отверстий коэффициент равномерности распределения воды составил 78%.

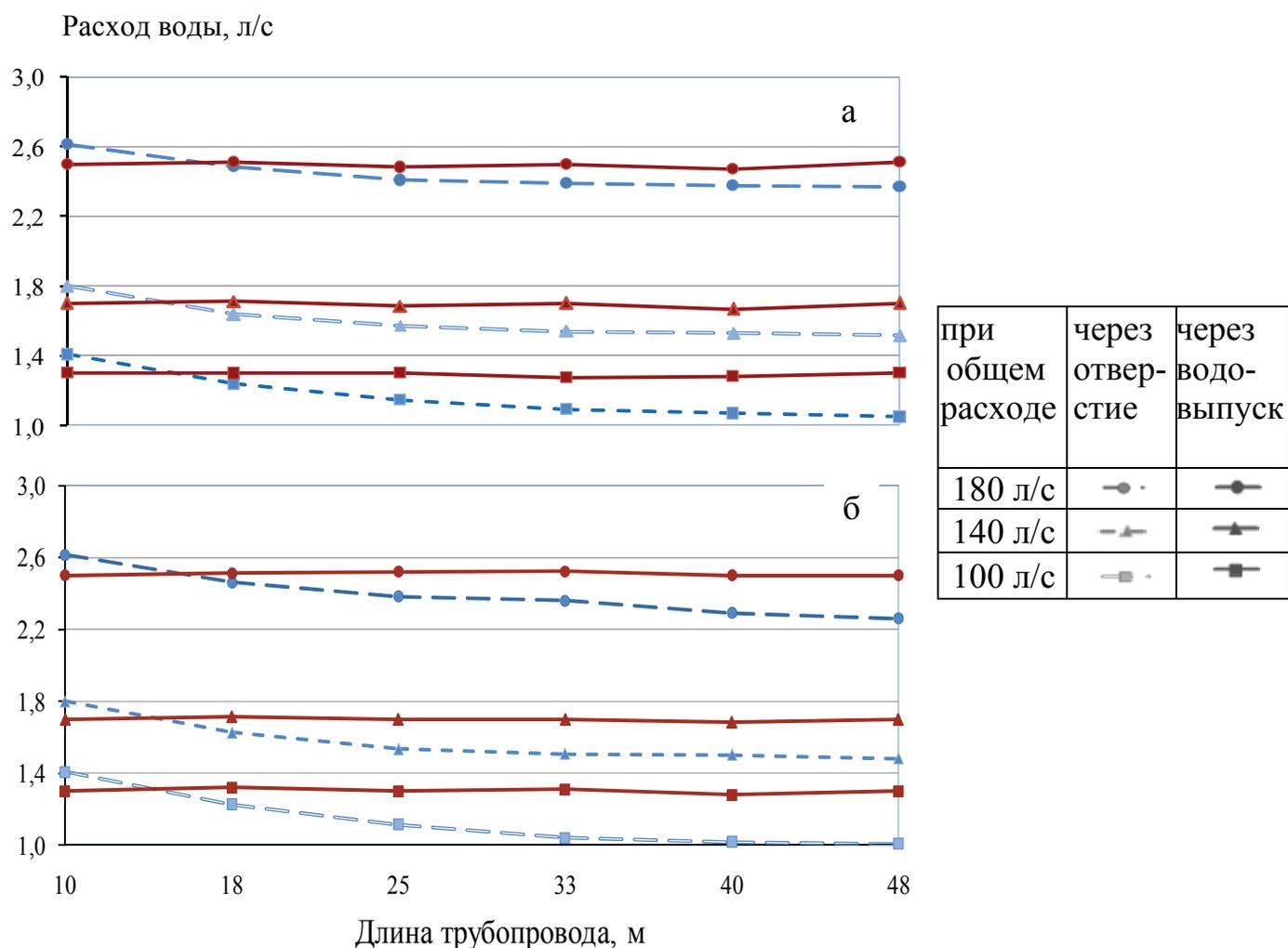


Рисунок 9 – Расход воды в борозды в зависимости от длины трубопровода при уклоне  $i=0,001$  (а) и  $i=0,005$  (б)

Одной из задач исследований являлось снижение скорости потока жидкости в области водовыпусков. Для определения размывающей способности потока воды были проведены полевые опыты: полив через водовыпускные отверстия и с использованием водовыпусков. После трехчасового полива произведен замер диаметра и глубины образовавшихся воронок.

Конструкция водовыпуска обеспечивает снижение кинетической энергии потока жидкости за счет наличия водовыпускной заслонки, выполняющей функцию местной преграды. Наличие водовыпусков на трубопроводе позволило уменьшить глубину и диаметр воронки в зоне водослива (рис. 10).

По результатам исследований и с учётом обоснованных рациональных параметров и режимов работы трубопровода в зависимости от агроклиматических и хозяйственных условий разработана номограмма, позволяющая определить оптимальный напор воды на гидранте для обеспечения заданного расхода воды в борозды с учетом диаметра, длины трубопровода и потерь напора по

длине (рис. 11).

Исходными параметрами номограммы являются длина и уклон поливных борозд, а также расход воды в борозду в зависимости от водопроницаемости почв, построенные в первом квадранте номограммы.

Установлено, что для работы трубопровода от закрытой оросительной сети коэффициент земельного использования орошаемой площади при длине борозд 200 м, нарезанных по поперечной схеме, составил 0,96.

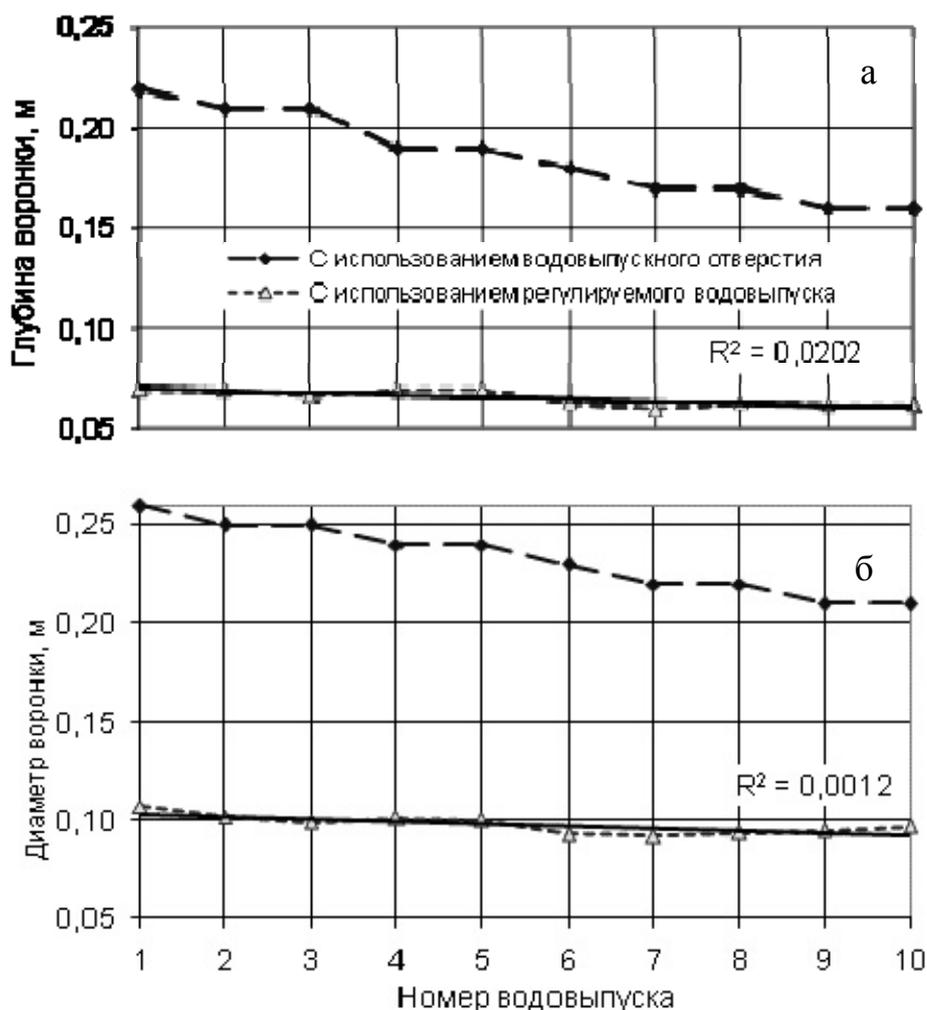


Рисунок 10 – Глубина (а) и диаметр (б) воронок, образовавшихся в зоне водослива

**В пятой главе «Экономическая эффективность полива по бороздам с использованием поливного трубопровода»** приведен расчет технико-экономических показателей поливного трубопровода определили в сравнении с ППА-165У за счет снижения эксплуатационных затрат. Расчетная стоимость поливного трубопровода составила 100 тыс. рублей. Эксплуатационные затраты на полив 1 га снижены на 230,8 руб, при этом увеличены коэффициент полезного использования воды и равномерность подачи воды в борозды.

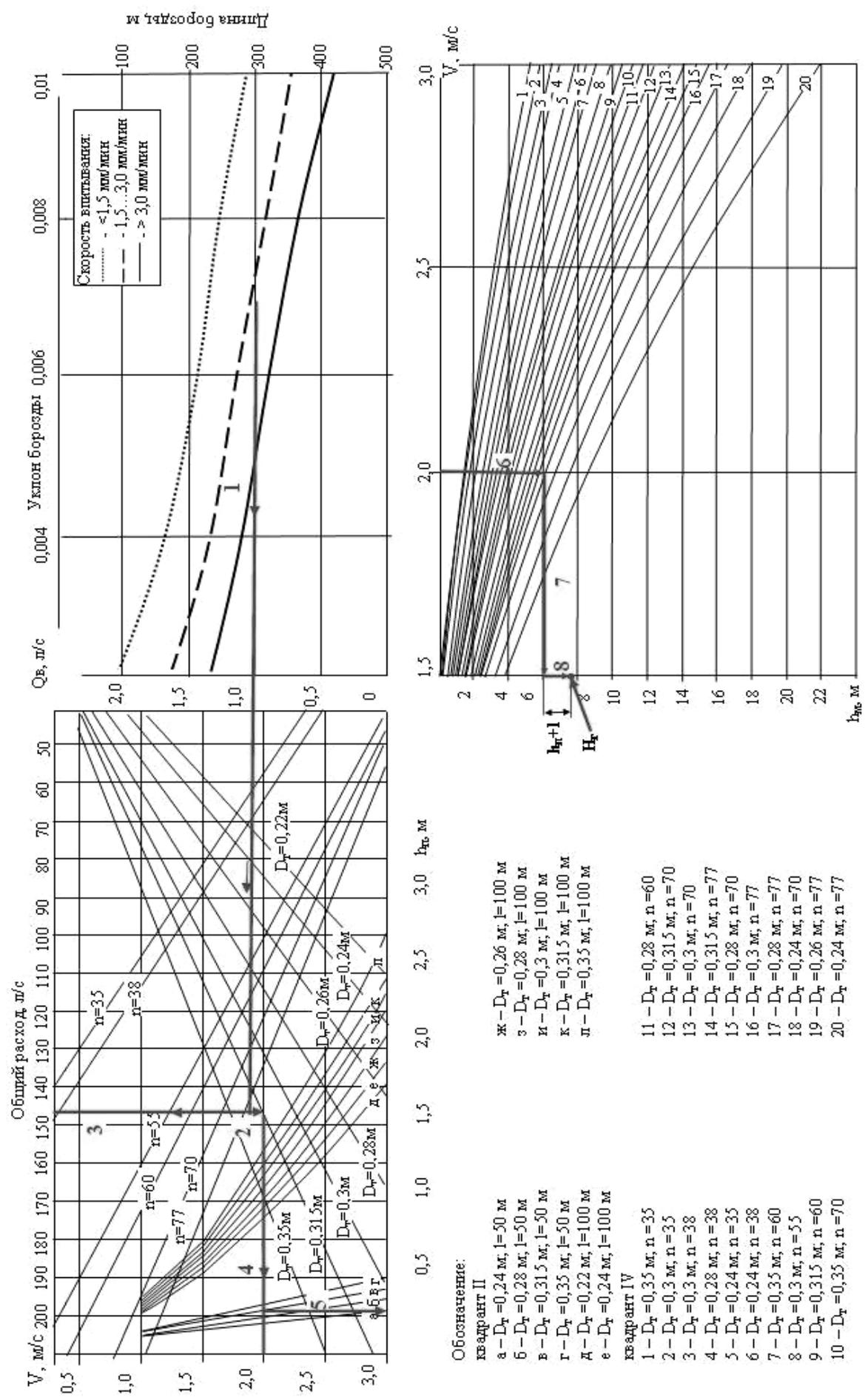


Рисунок 11 – Номограмма для определения параметров и режимов работы поливного трубопровода с регулируемым водовыпусками.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что использование трубопроводов для подачи воды в борозды позволяет увеличить коэффициент использования воды, но не обеспечивает равномерности подачи воды в борозды. Выявлены закономерности движения воды в трубопроводе с учётом обоснованного режима - турбулентный в гидравлически гладких трубах, позволяющие оценивать потери напора по длине трубопровода при непрерывной раздаче воды в борозды в зависимости от длины и диаметра трубопровода, уклона и напора воды на гидранте.

2. Разработана математическая модель воздействия потока жидкости на заслонки водовыпусков, обеспечивающих равномерный расход воды в борозды и обоснованы конструктивные параметры водовыпусков диаметром 30 мм, оснащенных поворотными заслонками желобчатой формы, верхняя часть которых, площадью  $7,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , расположена в полости трубопровода, а нижняя, площадью  $5,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , размещена в трубке водовыпуска, перекрывая проходное сечение в зависимости от напора истечения и обеспечивая подачу воды в борозды с коэффициентом равномерности 0,98 при расходе воды от 1,0 до 3,0 л/с и уклонах вдоль трубопровода от 0,001 до 0,005.

3. Обоснована конструктивно-технологическая схема и параметры поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками, состоящего из стандартных пластиковых труб диаметром 315 мм, общей длиной 50 м, опирающихся на 10 пар лыж-рессор и соединенных в средней части мягким соединением. На трубопроводе выполнены два ряда водовыпусков через 0,45 м и 0,70 м. Общие потери напора воды по длине трубопровода составили 4,4 м.

4. Установлено, что поворотные заслонки водовыпусков гасят энергию потока в трубопроводе, снижают энергию струи, подаваемой в борозду, в результате чего вдвое снижается глубина и диаметр воронки размыва в зоне водослива.

5. Определено, что коэффициент земельного использования орошаемой площади при длине борозд 200 м, нарезанных по поперечной схеме их расположения, составляет 0,96.

6. Предложена номограмма для определения рациональных параметров и режимов работы трубопровода. Она позволяет по заданному расходу воды в борозду, зависящему от агроклиматических условий, определить общий расход воды, скорость потока жидкости, потери напора по длине трубопровода и необходимый напор воды на гидранте.

7. Использование поливного трубопровода с регулируемыми водовыпусками позволяет повысить коэффициент полезного использования воды на 12%, равномерность подачи воды в борозды на 9 %, снизить эксплуатационные затраты на 230,8 руб/га.

## **Основные положения диссертации опубликованы:**

### ***в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:***

1. Грудиев, Г.В. Применение поливного трубопровода на закрытой оросительной сети / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина, И.С. Кокурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. - №7. – С.8-9.

2. Грудиев, Г.В. Параметры трубопровода для поверхностного полива. / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №1. – С.27-28.

3. Грудиев, Г.В. Обеспечение равномерной подачи воды по водовыпускам поливного трубопровода. / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. - №5. – С.31-32.

### ***в патентах:***

4. Пат. 2347360 Российская Федерация, МПК А01G 25/00. Поливной передвижной трубопровод-шлейф. [Текст] / Кокурин И.С., Высочкина Л.И., Носов К.Н., Носов А.К. Грудиев Г.В. - № 2007106978/12: заявл. 26.02.2007; опубл. 10.09.2008. Бюл. № 6. – 5 с.; ил.

5. Пат. 89923 Российская Федерация, МПК А01G 25/02. Водовыпуск поливного трубопровода [Текст] / заявитель и патентообладатель: Ставропольский гос. аграрный ун-т. - № 2009128114/22: заявл. 27.12.09. Бюл. № 36. – 3 с.; ил.

### ***в других изданиях:***

6. Грудиев, Г.В. Обоснование необходимости проведения осенней влагозарядки / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина, И.С. Кокурин // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: сб. науч. тр. по матер. IV Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2007. – С. 314-317.

7. Грудиев, Г.В. Технология полива по бороздам с применением шлейфа-трубопровода поливного прицепного / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: сб. науч. тр. по матер. IV Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2007. – С. 318-320.

8. Грудиев, Г.В. Анализ устройств механизации полива по бороздам / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: сб. науч. тр. по матер. IV Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2007. – С. 320-322.

9. Грудиев, Г.В. Анализ конструкций водовыпусков для поливного трубопровода / Г.В. Грудиев // Молодые ученые агропромышленному комплексу: сб. ст. Междун. конф. молодых ученых и аспирантов. – Владикавказ, 2008. – С. 87 – 90.

10. Грудиев, Г.В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров водовыпуска для поливного трубопровода / Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. на-

уч. тр. по матер. V Международной науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2010. – С. 40-43.

11. Грудиев, Г.В. Оптимизация равномерности расхода воды через водовыпуски /Г.В. Грудиев, Л.И. Высочкина // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. науч. тр. по матер. V Международной науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2010. – С. 64-67.

12. Грудиев, Г.В. Определение размывающей способности потока воды в зоне водовыпуска /Г.В. Грудиев // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе: сб. науч. тр. по матер. VI Российской науч.-практ. конф. - Ставрополь: АГРУС, 2011. - С. 38-41.

ЛР 65–13 от 15.02.99 Подписано в печать 14.11.2011 г.  
Формат 60x84/16. Усл. п.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 331.

---

Издательство Ставропольского государственного аграрного университета  
"АГРУС"

355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, тел.: (8652) 35–06–94,  
e-mail: [agrus@stgau.ru](mailto:agrus@stgau.ru), <http://agrus.stgau.ru>