

геохимические аномалии обнаружены на всей территории города. Это определяет актуальность соблюдения предупредительных мероприятий, направленных на модернизацию металлургического производства и снижение количества выбросов в атмосферу. Цифровые картограммы позволяют оценить площадь земельных участков с разной экологической ситуацией.

1. Шишкин М. А., Лаптева А. К. Эколого-геохимический анализ современных ландшафтов Прикамья. – Екатеринбург: УрО, РАН, 2009. – 385 с.

2. Васильев А. А., Чащин А. Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. – Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2011. – 197 с.

3. Хитров Н. Б. К методике создания детальных почвенных карт на основе интерполяции/ Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования: сборник статей. – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2012. – С. 87–108

4. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.: ГНУ Почвенный институт имени В. В. Докучаева РАСХН, 2008. – 164 с.

5. Ворончихина Е. А., Ларионова Е. А. Основы ландшафтной хемозологии. – Пермь: ПГУ, 2002. – 146 с.

6. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

7. Чащин А. Н. Железистые минералы в загрязненных металлургическим производством почвах города Чусовой Пермского края/ Молодежная наука 2010: технологии и инновации: Материалы LXX Всероссийской науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2010. – С. 171–173.

Материал поступил в редакцию 07.05.13.

*Васильев Андрей Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Почвоведение»*

*Чащин Алексей Николаевич, кандидат биологических наук, доцент*

*Тел. 8-908-240-77-75*

*E-mail: chascshin@mail.ru*

УДК 502/504:631.674.6:626.82

**А. Е. НОВИКОВ, М. И. ЛАМСКОВА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет»

**В. А. МОТОРИН, В. В. НЕКРАСОВА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЛЕНТ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

*Надежность работы лент СКО (системы капельного орошения) оценивается потерями напора и равномерностью расхода жидкости по длине этих лент. Капельные ленты систем орошения относятся к трубопроводам с непрерывной и равномерной раздачей жидкости с убывающим расходом и переменной массой по пути. На основе теоретических и натурных исследований эксплуатационных показателей капельных лент предложена эмпирическая формула для определения потерь напора по длине на основе закона Дарси–Вейсбаха.*

*Капельные ленты, потери напора, равномерность расхода, надежность, гидравлическое сопротивление, агротехнические требования.*

*Reliability of the drip tapes operation (systems of drip irrigation) is assessed by the head losses and flow uniformity along their length. At the same time drip tapes of irrigation systems relate to the pipelines with continuous and uniform distribution of flow with the decreasing consumption and variable mass on the way. On the basis of theoretical and field researches of operational indicators of drip tapes there is proposed an empiric formula for determination of head losses on the length according to the law Darcy-Weisbach.*

*Drip tapes, head losses, flow uniformity, reliability, hydraulic resistance, agrotechnical requirements.*

Надежность работы лент систем капельного орошения (СКО) во многом зависит от применяемых материалов при изготовлении, их конструктивных параметров, режимов эксплуатации [1, 2]. Немаловажным являются и качественные показатели вод, используемых для орошения, а также технологии и средства водоподготовки [3]. Эксплуатационная надежность СКО характеризуется потерями напора и равномерностью расхода по длине капельной ленты, которую необходимо рассматривать как трубопровод с непрерывной и равномерной раздачей жидкости с убывающим расходом и влиянием переменной массы по пути [4–6].

В общем случае расход  $Q$  состоит из путевого расхода  $Q_{\text{пут}}$  – раздачи жидкости в  $m$  числе пунктов с расходом  $q$ , расположенных на одинаковых расстояниях друг от друга по длине  $l$ , и транзитного  $Q_{\text{тр}}$  – расхода жидкости, транспортируемой через этот же участок  $l$  в последующие участки трубопровода  $L$  (рис. 1).

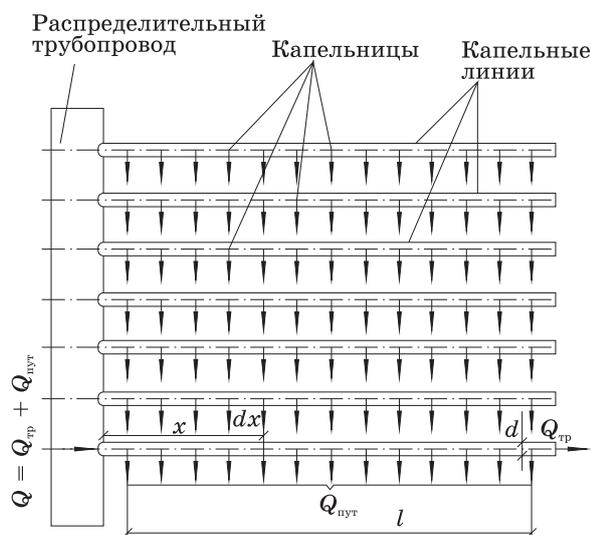


Рис. 1. Схема к определению потерь напора по длине капельной ленты

В этом случае расход в некотором сечении  $dx$  поливного трубопровода на расстоянии  $x$  от начала будет равен:

$$Q = (Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пут}}) - \frac{x}{l} Q_{\text{пут}}. \quad (1)$$

Из гидравлики известно, что расход жидкости по трубопроводу  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , и  $h_{\text{л}}$  связаны между собой расходной характеристикой  $K$ , которая представляет расход жидкости через заданное

сечение при гидравлическом уклоне  $i$ , равном единице [7–9]:

$$Q = K \sqrt{\frac{h_{\text{л}}}{l}} \text{ или } \frac{Q^2}{K^2} = \frac{h_{\text{л}}}{l} = i. \quad (2)$$

Проведя необходимые преобразования, получим гидравлический уклон в сечении  $dx$  на расстоянии  $x$  от начала поливного трубопровода:

$$i = \frac{[(Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пут}}) - \frac{x}{l} Q_{\text{пут}}]^2}{K^2}. \quad (3)$$

Тогда падение напора вдоль элементарного отрезка  $dx$  будет равно:

$$dh_{\text{л}} = i \cdot dx = \frac{1}{K^2} [(Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пут}})^2 - 2(Q_{\text{тр}} + Q_{\text{пут}}) \cdot \frac{x}{l} Q_{\text{пут}} + \frac{x^2}{l^2} Q_{\text{пут}}^2] \cdot dx. \quad (4)$$

Интегрируя уравнение (4) от 0 до  $l$  и преобразовав его, получим падение напора по всей длине поливного трубопровода, или потери напора по длине капельной ленты при  $Q_{\text{тр}} = 0$ :

$$h_{\text{л}} = \frac{l}{K^2} (Q_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{тр}} Q_{\text{пут}} + \frac{1}{3} Q_{\text{пут}}^2), \text{ или } h_{\text{л}} = \frac{1}{3} l \frac{Q_{\text{пут}}^2}{K^2}. \quad (5)$$

При известных геометрических размерах капельной линии (гидравлический радиус  $R = d/4$  м; площадь поперечного сечения  $S = 0,25\pi d^2$ ,  $\text{м}^2$ ) через постоянную Шези  $C = \sqrt{8g/\lambda}$  можно определить расходную характеристику:

$$K = C \sqrt{R} \cdot i = S \cdot C \sqrt{R}. \quad (6)$$

Поскольку расход и скорость движения жидкости по трубопроводу взаимосвязаны ( $Q = v \cdot S$ ), то с учетом формул (5) и (6) получим:

$$h_{\text{л}} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{v^2 \cdot S^2 \cdot 4\lambda}{S^2 \cdot 8g \cdot d} = \frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot \frac{l \cdot v^2}{2g}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ;  $v$  – скорость жидкости в начале (в голове) трубопровода,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l$  – длина трубопровода,  $\text{м}$ ;  $d$  – диаметр трубопровода,  $\text{м}$ .

Таким образом, линейные потери напора по длине капельной ленты определяются формулами (7) или Дарси–Вейсбаха, уменьшенной в три раза.

Коэффициент гидравлического сопротивления в формуле (7), как известно, зависит от режима движения жидкости или критерия Рейнольдса  $Re$ , а также шероховатости трубопровода [4, 5, 7–9]. При этом многие специалисты, например Ф. А. Шевелев, отмечают,

что капельные линии необходимо рассматривать как «гидравлически гладкий» трубопровод с установившимся турбулентным движением жидкости [6]. В реальных же условиях турбулизуются только часть потока, а около стенок существует тонкий слой ламинарного течения (рис. 2). В этом случае  $\lambda$  описывается уравнением Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (8)$$

где  $\text{Re}=(v \cdot d)/\nu$  – число Рейнольдса;  $\nu$  – кинематическая вязкость.

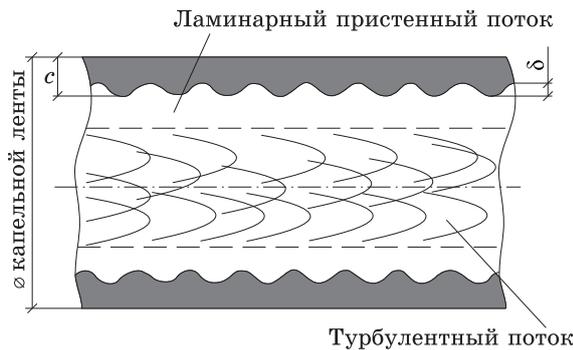


Рис. 2. Схема движения жидкости в «гидравлически гладких» трубопроводах:  $c$  – толщина стенки капельной линии;  $\delta$  – шероховатость стенки

По данным Ф. А. Шевелева, при определении  $\lambda$  необходимо дополнительно ввести коэффициент  $k_1 = 1,15$ , который учитывает различия качества укладки поливных трубопроводов в лабораторных и производственных условиях, а также материал и качество их изготовления (наличие стыков) [6]. С учетом коэффициента  $k_1$ , формул (7) и (8), а также приняв вязкость воды  $(0,99...1,01) \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  соответственно при температурах  $20...22 \text{ }^\circ\text{C}$  (стандартная температура оросительной воды), получим уравнение для расчета потерь напора по длине капельной ленты:

$$h_n = k_1 \cdot k_2 \cdot l \cdot v^{1,75} \cdot d^{-1,25}, \quad (9)$$

где  $k_2 = 1,7 \cdot 10^{-4}$ .

Натурную оценку линейных потерь по длине капельного трубопровода  $h_n^{\text{нат}}$  проводили методом последовательного суммирования [5]. Расчет начинали с первого или последнего участков поливного трубопровода, для чего капельную линию длиной  $l$  условно делили на  $n$  равных отрезков с длиной каждого  $l_n$  и расходом по

пути  $q_n$ . В этом случае принимали допущение, что на каждом  $n$  участке происходят равные потери скорости  $\Delta v$  транспортируемой жидкости. С учетом формулы (9) и принятого допущения потери напора  $h_n$  на  $n$  участке длиной  $l_n$  и расходом по пути  $q_n$  будут равны:

$$h_n = k_1 \cdot k_2 \cdot l_n \cdot (v - n \cdot v \cdot \frac{l_n}{l})^{1,75} \cdot d^{-1,25}, \quad (10)$$

где  $\Delta v = v - v_n$ , а  $v_n = v \cdot (1 - l_n/l)$  – скорость потока жидкости на  $n$  участке, м/с, причем  $v$  – скорость в начале (голове) капельной линии.

Исследование потерь напора по длине капельных лент отечественного производства (с расходом 4 л/ч на п. м., или 0,4 л/ч одним эмиттером) проводили на участке с раскладкой линий на 200 и 140 м при максимальном давлении на входе 0,12 МПа. Капельные трубопроводы условно делили на 20 и 14 равных отрезков по 10 м, в начале каждого участка монтировали расходомеры, в конце – манометры. Результаты натурных исследований сравнивали с данными, рассчитанными по формуле (10) (рис. 3).

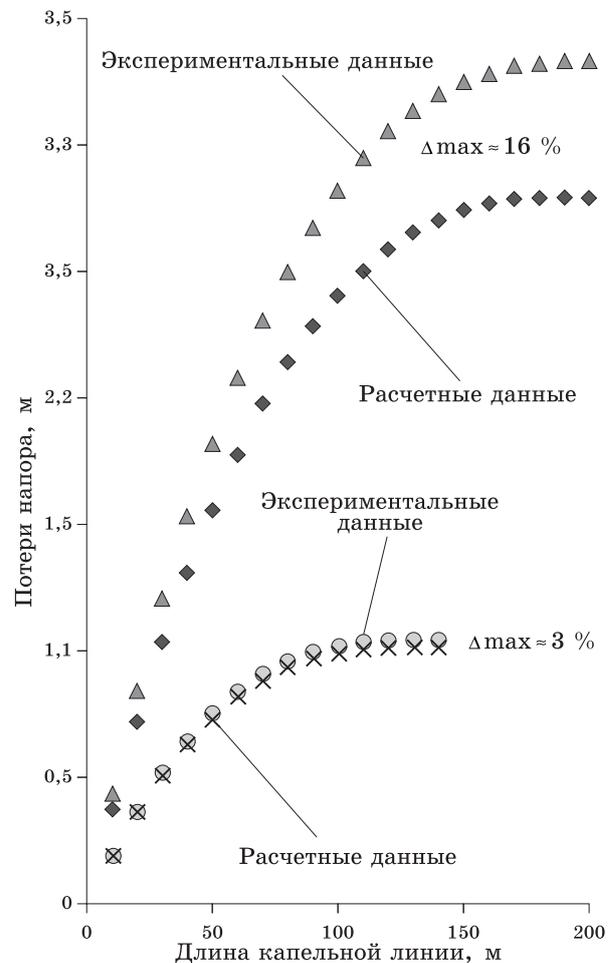


Рис. 3. Результаты натурных и расчетных исследований потерь напора в капельных лентах с раскладкой на 200 и 140 м

Из полученных экспериментальных данных следует, что математическое описание достаточно адекватно описывает потери напора в капельных лентах (см. рис. 3). Так, при раскладке линий на длину до 140 м погрешность  $\Delta$  между расчетными и натурными данными незначительна – составляет не более 3 %, при раскладке линий на длину свыше 140 м погрешность  $\Delta$  увеличивается, при этом максимум составляет порядка 16 %. Это обусловлено более сложными условиями эксплуатации.

Равномерность расхода жидкости капельными лентами изучали на участке 100 м в течение часа. Линия условно делилась на отрезки по 25 м, в начале каждого участка на длине одного метра под эмиттеры устанавливали мерные емкости в количестве 10 шт.

Анализ полученных данных показал, что коэффициент эффективного расхода составил 0,635, что меньше норматива, установленного агротехническими требованиями, на 9,3 % (рис. 4) [СТО АИСТ 11.1–2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – Взамен СТО АИСТ 11.1-2004, ОСТ 10 11.1-2000; введ. 15.04.2011.].

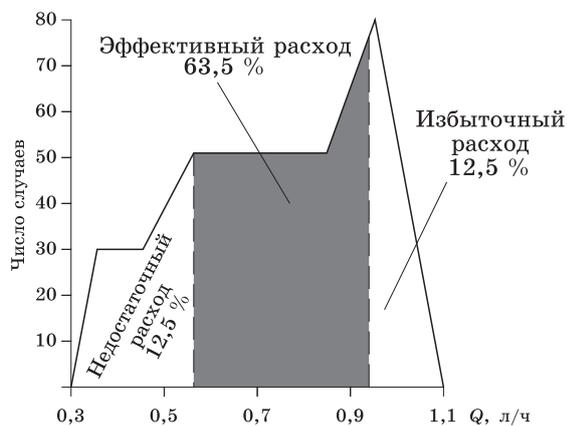


Рис. 4. Частотный график распределения расхода жидкости через эмиттеры

### Заключение

На равномерность расхода повлиял тип сварки капельных лент. Известно, что лента должна располагаться эмиттерами вниз, в противном случае жидкость сбегает по ленте, копируя рельеф местности. Испытуемые капельные линии, как и многие другие отечественного произ-

водства, сварены внахлест, причем стык расположен горизонтально. Укладка лент такого типа на поверхности почвы стыком вниз недопустима, поэтому надежная работа капельных лент, сваренных внахлест, возможна при их укладке под слоем почвы 50...100 мм.

1. Мирцхулава Ц. Е. О надежности крупных каналов. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

2. Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. – 280 с.

3. Первичная водоочистка на закрытых оросительных системах со стальными трубами / П. И. Кузнецов, А. Е. Новиков, М. И. Ламскова // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 6 (66). – С. 44–45.

4. Орёл И. П., Великанов Ю. Н. Гидравлический расчет поливных трубопроводов систем капельного орошения // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7. – С. 52–55.

5. Капельное орошение: справочное пособие к СНиП 2.06.03–85 «Мелиоративные системы и сооружения»; введ. 11.04.1986. – М.: Союзводпроект, 1986. – 147 с.

6. Шевелёв Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 112 с.

7. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев [и др.]; под ред. П. Г. Киселева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.

8. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика: справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

9. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). – М.: Стройиздат, 1965. – 275 с.

Материал поступил в редакцию 03.03.14.  
**Новиков Андрей Евгеньевич**, кандидат технических наук, докторант кафедры «Механика»  
 Тел. 8-927-513-70-65  
 E-mail: ae\_novikov@mail.ru  
**Ламскова Мария Игоревна**, аспирантка

Тел. 8-927-517-32-20

E-mail: lamskov@yandex.ru.

**Моторин Вадим Андреевич**, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Ремонт машин и ТКМ»

Тел. 8-987-651-29-21

E-mail: vmotorin001@yandex.ru.

**Некрасова Вера Владимировна**, ассистент кафедры «Высшая математика»  
Тел. 8-961-661-71-40.

УДК 502/504:633.174.1:631.5

## А. Д. АХМЕДОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

# ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ САХАРНОГО СОРГО НА СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Показано преимущество дифференцированного режима орошения по сравнению с режимами, рассчитанными на увлажнение постоянного по глубине активного слоя почвы. Приведены данные среднесуточного и суммарного водопотребления, урожайности зеленой массы сахарного сорго на разных вариантах водного и пищевого режимов.*

*Сахарное сорго, водопотребление, урожайность, удобрения, режим орошения.*

*There is shown the advantage of the differential irrigation regime in comparison with the regimes intended for moistening of the permanent according to the depth of the active soil layer. Data of average daily and total water consumption, productivity of sugar sorghum green mass at different variants of water and nutrient regimes are given.*

*Sugar sorghum, water consumption, productivity, fertilizers, irrigation regime.*

В настоящее время для укрепления кормовой базы животноводства и для получения гарантированных урожаев кормовых культур в Волгоградской области необходимо проведение оросительных видов мелиорации. Большие перспективы в этом направлении открывает внедрение культуры сахарного сорго. На орошаемых землях Волгоградской области сахарное сорго занимает незначительные площади, а урожаи культуры остаются низкими. Этим и объясняется необходимость проведения исследований. Однако, по мнению М. Н. Багрова, М. С. Григорова, И. П. Кружилина, получение максимальных урожаев возможно лишь при поддержании влажности почвы на высоком уровне в течение всего вегетационного периода [1–3].

Опыты проводились в 2010–2012 годах в СПК «Ахтубинский» Среднеахтубинского района Волгоградской области. Почвенный покров представлен средне- и тяжелосуглинистыми светло-каштановыми почвами, которые бедны минеральными

соединениями азота, имеют среднюю обеспеченность подвижным фосфором и повышенную обменным калием. Водно-физические свойства почвы опытного участка в слое 0...0,8 м характеризуются следующими показателями: наименьшая влагоемкость – 21,5 % массы сухой почвы; плотность твердых фаз грунта – 1,43 т/м<sup>3</sup>, плотность – 2,63 т/м<sup>3</sup>, порозность – 45,7 %.

Высевали сорт Камышинский-8 сплошным рядовым способом. Глубина заделки семян 4...5 см, норма посева 25 кг на 1 га. Предшественником была кукуруза на зеленую массу. Повторность опыта трехкратная. Между режимами орошения предусматривались защитные полосы шириной 8 м, между повторностями – 20 м. Вегетационные поливы проводили дождевальными машинами «Кубань-ЛК».

Во всех вариантах опыта предполивной порог влажности почвы поддерживался на уровне 75...80 % НВ. Повторность опыта трехкратная. Посев проводили сплошным рядовым способом.