

УДК 631.674.6

Козыкеева А.Т., Мустафаев Ж.С., Жатканбаева А.О.

*Казахский национальный аграрный университет,
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОНАПОРНЫХ КАПЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация

На основе уравнения движений жидкости в трубопроводах круглого сечения Дарси-Веймбаха, разработана методика определения гидравлических параметров низконапорных капельных систем, позволяющая равномерно распределять расход воды в капельных трубопроводах.

Ключевые слова: система, капельница, низконапорная, параметры, гидравлика, трубопровод, методика, уравнение, вода, скорость.

Введение

В настоящее время основная часть земель Казахстана, подлежащих орошению, расположена на предгорных и равнинных географических зонах, которые орошаются поверхностным способом и имеют ряд недостатков, главными из которых являются: большой непроизводительный расход поливной воды, возникновение ирригационной эрозии почв и низкий уровень автоматизации и механизации технологического процесса при поливе сельскохозяйственных культур.

В связи с этим проблема эффективного и рационального использования водных, земельных, энергетических и других ресурсов вызывают необходимость совершенствовать системы капельного орошения для мелиорируемых земель, основанной на сохранении благоприятной эколого-мелиоративной обстановки территории и охране окружающей среды.

В последнее время всё большее распространение приобретают технологии малообъёмной и низконапорной системы капельного орошения, которые обеспечивают более эффективную и экономную доставку воды и питательных веществ непосредственно к корневой зоне растений. При этом являясь ресурсосберегающими технологиями орошения, они не только сохраняют экологическую обстановку территории на должном уровне, но и заметно повышают уровень мероприятий по рационализации и совершенствованию использования генетического потенциала сельскохозяйственных культур.

Цель работы - разработка методики определения гидравлических параметров низконапорной капельной системы на основе уравнения Дарси-Веймбаха, позволяющей равномерно распределять расход воды в капельных трубопроводах.

Материалы и методика исследования

На основе систематизации и анализа конструкций и конструктивных решений определены достоинства, надежность и существующие недостатки системы капельного орошения для полива сельскохозяйственных культур в различных природно-климатических зонах О. З. Зубаировым, А. А. Таттибаевым, А. О. Жатканбаевой и Х. А. Таттибаевым разработана безнапорная система капельного орошения, обеспечивающая равномерное распределение воды по длине поливного трубопровода на землях с небольшим поверхностным перепадом (рисунок 1) [1].

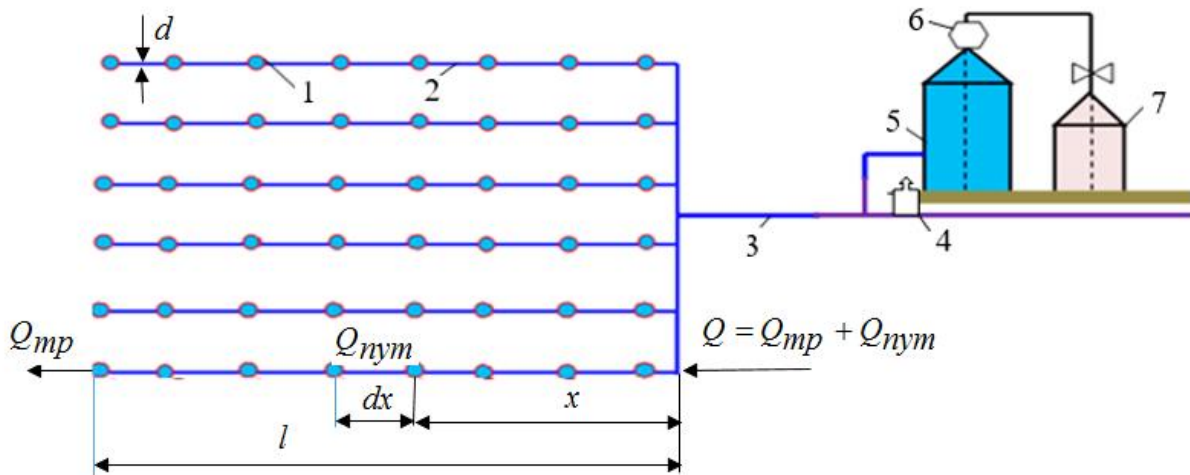


Рисунок 1 – Схема безнапорной системы капельного орошения

Безнапорная или низконапорная система капельного орошения состоит из поливных трубопроводов (2) с капельницами (1), распределительного трубопровода (3), на котором подсоединен гидроаккумулятор (5) со штуцером (6). Распределительный трубопровод имеет запорный орган (4). Система снабжена также переносным пневмоаккумулятором (7).

Надежность работы капельниц в процессе эксплуатации можно характеризовать функцией [2]:

$$q(t)_э = f(q_c, v_t, H, A, \rho, t),$$

где q_c - начальный средний расход капельниц; v_t - технологический коэффициент вариации расходов капельниц; H - среднее давление в поливном трубопроводе; A - параметр, характеризующий конструкцию капельниц и отзывчивость конструкции на воздействия окружающей среды; ρ - мутность воды, поступающая в поливные трубопроводы очистки; t - продолжительность работы капельниц с начала эксплуатации.

Таким образом, надежность работы низконапорной капельной системы орошения является многофакторной гидравлической задачей и относится к трубопроводам с непрерывной и равномерной раздачей воды с убывающим расходом по длине поливного трубопровода.

Результаты исследования

Низконапорная система капельного орошения работает за счет использования уклона местности, обеспечивающего в поливных трубопроводах постоянный ток воды при заполнении сечения трубы. При этом предел наполнения трубопровода зависит от конструкции микроводовыпусков, то есть капельницы, а нижний предел наполнения определяется минимально допустимым расходом трубопровода в концевой части. Равномерное распределение поливной воды между капельницами обеспечивает практически одинаковый напор в них, который равен сумме глубины наполнения трубопровода и высоты емкости водовыпуска [3; 4; 5; 6; 7; 8].

Расход истечения жидкости из отверстия капельницы определяется по формуле [9; 10]:

$$q_k = 3.6 \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot h_k},$$

где q_k – подача воды, л/час; 3.6 - переводной коэффициент; d_o - диаметр водовыпускного отверстия, см; h_k - глубина наполнения емкости, см.

Надежность работы и равномерности расхода воды в капельных трубопроводах характеризуется потерями напора и равномерностью расхода по длине поливного трубопровода. При этом потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений делятся на две группы: местные (h_m) – вызываемые изменением конфигурации границ потока, то есть наличие ремонтных муфт в местах нарушения целостности поливного трубопровода; линейные (h_l) – затрачиваемые на преодоление сопротивления трения по длине поливного трубопровода. Следовательно, полные потери капельной системы равны сумме всех потерь, то есть $h = h_m + h_l$. Для определения линейных потерь для ламинарного и турбулентного движений жидкости в трубопроводах круглого сечения (h_l) можно использовать формулу Дарси-Вейсбаха [11; 12]:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; g – ускорение свободного падения, 9.81 м/с^2 ; V – скорость жидкости в начале (в голове) трубопровода, м/с ; l – длина трубопровода, м ; d – диаметр трубопровода, м .

При изучении потерь напора по длине поливного трубопровода (капельную линию) рекомендуют рассматривать как трубопровод с непрерывной и равномерной раздачей жидкости с убывающим расходом по пути движения воды [13; 14].

Согласно конструктивной схеме расположения поливного трубопровода и капельницы в нем, расход по поливному трубопроводу (Q) состоит из двух частей, то есть $Q = Q_{mp} + Q_{num}$ (рисунок 1):

- путевого расхода (Q_{num}), то есть раздача воды в числе пунктов с расходом, расположенных на одинаковых расстояниях друг от друга по длине поливного трубопровода (l);
- транзитного расхода (Q_{mp}), то есть транспортируемой через этот же участок поливного трубопровода (x) в последующие участки поливного трубопровода (l).

В этом случае расход в некотором сечении dx поливного трубопровода на расстоянии x от начала будет равен [11]:

$$Q = (Q_{mp} + Q_{num}) - \frac{x}{l} \cdot Q_{num}.$$

Как известно из гидравлики жидкости, расход жидкости (Q) и линейные потери (h_l) по трубопроводу связаны между собой расходной характеристикой (K), которая представляет собой расход жидкости через заданное сечение при гидравлическом уклоне (i), равном единице, то есть:

$$Q = K \sqrt{\frac{h_l}{l}}.$$

Если решить это уравнение относительно гидравлического уклона, то есть $i = h_l / l$, тогда получим:

$$\left(\frac{Q}{K} \right)^2 = \frac{h_l}{l} = i.$$

На основе уравнения $Q^2 / K^2 = h_l / l = i$ при известном значения Q , то есть $Q = (Q_{mp} + Q_{num}) - (x/l) \cdot Q_{num}$ можно определить гидравлический уклон в сечении dx на расстоянии x от начала поливного трубопровода [11]:

$$i = \frac{\left[(Q_{mp} + Q_{nym}) - \frac{x}{l} \cdot Q_{nym} \right]^2}{K^2}$$

или

$$i = \frac{\left[(Q_{mp} + Q_{nym})^2 - 2(Q_{mp} + Q_{nym}) \cdot \frac{x}{l} \cdot Q_{nym} + \frac{x^2}{l^2} \cdot Q_{nym}^2 \right]}{K^2}.$$

Следовательно, падение напора вдоль элементарного отрезка dx будет равно:

$$dh_L = \frac{1}{K^2} \left[(Q_{mp} + Q_{nym})^2 - 2(Q_{mp} + Q_{nym}) \cdot \left(\frac{x}{l}\right) \cdot Q_{nym} + \frac{x^2}{l^2} \cdot Q_{nym}^2 \right] dx.$$

где $dh_L = i \cdot dx$.

Если интегрировать это уравнение от 0 до l тогда получим падение напора по всей длине поливного трубопровода, то есть [5]:

$$\int_0^l dh_L = \frac{1}{K^2} \int_0^l \left[(Q_{mp} + Q_{nym})^2 - 2(Q_{mp} + Q_{nym}) \cdot \left(\frac{x}{l}\right) \cdot Q_{nym} + \frac{x^2}{l^2} \cdot Q_{nym}^2 \right] dx;$$

$$h_L = \frac{l}{K^2} (Q_{mp}^2 + Q_{mp} \cdot Q_{nym} + \frac{1}{3} Q_{nym}^2).$$

При этом учитывая особенности работы поливного трубопровода капельной системы, то есть поливной трубопровод работает только на путевой расход, а транзитный расход будет равен нулю ($Q_{mp} = 0$), тогда получаем уравнение для определения падения напора по длине трубопровода в следующем виде:

$$h_L = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{Q_{nym}^2}{K^2}.$$

При известных геометрических размерах поливного трубопровода круглого сечения, то есть гидравлический радиус - $R = d/4$ в метрах и площадь поперечного сечения $S = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2$ в метр квадратах, через постоянную скоростной характеристики Шези - $C = \sqrt{8 \cdot g / \lambda}$ можно определить расходную характеристику поливного трубопровода [15; 16; 17; 18]:

$$K = C \cdot \sqrt{R} \cdot i = S \cdot C \sqrt{R}.$$

Коэффициент сопротивления C может быть определён по формуле Н. Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

где n - коэффициент шероховатости, характеризующий состояние поверхности русла, для случая канализационных труб принимается в диапазоне (0.012-0.015); y - показатель степени, зависящий от величины коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса.

Формула Шези для определения средней скорости потока при установившемся равномерном турбулентном движении жидкости в области квадратичного сопротивления для случая безнапорного потока имеет вид:

$$V = C \cdot \sqrt{R} \cdot i,$$

где V - средняя скорость потока, м/с; C - коэффициент сопротивления трения по длине (коэффициент Шези), являющийся интегральной характеристикой сил сопротивления; i - гидравлический уклон, м/м.

Следовательно, расход и скорость движения воды по трубопроводу взаимосвязаны $Q = V \cdot S$, тогда с учетом $K = C \cdot \sqrt{R \cdot i} = S \cdot C \sqrt{R}$ можно получить следующие уравнения для определения потери напора по длине трубопровода:

$$h_{\text{л}} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot S^2}{C^2 \cdot R \cdot i} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot \pi^2 \cdot d^3}{32 \cdot g \cdot i};$$

$$h_{\text{л}} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot S^2}{C^2 \cdot S^2 \cdot R} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot \lambda}{2 \cdot g \cdot d}.$$

Предположим, что движение жидкости с раздачей расхода по пути можно описать в виде закона изменения средней скорости по длине участка трубопровода [12]:

$$V_i = V_H \left(1 - \frac{x}{l} \right)^{\alpha}$$

где V_H - скорость в начале расчетного участка длиной l и диаметром d , м/с; V_i - средняя скорость по длине участка поливного трубопровода, м/с; x - расстояние от начала трубопровода до расчетного сечения; α - показатель степени, учитывающий нелинейный характер распределения скорости по длине трубопровода с капельницами.

Следовательно, с учетом уравнения характеризующей изменения средней скорости воды по длине участка трубопровода, то есть при $V_i = V_H [1 - (x/l)]^2$, формула Дарси-Вейсбаха примет следующий вид [6]:

$$h_{\text{л}} = \frac{l}{d} \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot g} \left[V_H \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right]^{2\alpha}.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления (λ), как известно зависит от режима движения жидкости или критерия Рейнольдса (Re), а также шероховатости трубопровода (n). При этом, как было установлено Е.В. Кузнецовым [3; 4], Я.Т. Неньком [13], А.А. Федорцом [15], З.Р. Маланчуком [16], в случае движения жидкости с переменной массой в трубопроводах коэффициент λ зависит от числа Рейнольдса (Re) и определяется по эмпирической формуле вида [12]:

$$\lambda = A / Re^{\alpha},$$

где A - постоянный коэффициент, учитывает влияние длины и диаметра трубопровода на потери напора; $Re = (V \cdot d) / \nu$ - число Рейнольдса, учитывает режим движения жидкости; ν - коэффициент кинематической вязкости.

Таким образом, с учетом $\lambda = A / Re^{\alpha}$ формула Дарси-Вейсбаха для определения потери напора по длине поливного трубопровода в зависимости от изменения средней скорости воды примет следующий вид [12]:

$$h_{\text{л}} = \frac{l}{2 \cdot g \cdot d} \cdot \frac{A}{Re^{\alpha}} \left[V_H \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right]^{2\alpha}.$$

Если подставить данное уравнение в формулу для определения числа Рейнольдса, учитывающего режим движения жидкости, то есть $Re = (V_H \cdot d) / \nu$, тогда формула Дарси-Вейсбаха принимает вид:

$$h_L = \frac{l}{2 \cdot g \cdot d} \cdot \frac{A \cdot v^\alpha}{V_H^\alpha \cdot d^\alpha} V_H^{2\alpha} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha}$$

или

$$h_L = \frac{A \cdot l \cdot v^\alpha}{2 \cdot g \cdot d^{1+\alpha}} \cdot V_H^\alpha \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha}.$$

Обозначив через $A_O = [(A \cdot v^\alpha) / 2 \cdot g \cdot d^{1+\alpha}]$, получим:

$$h_L = A_O \cdot l \cdot V_H^\alpha \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha}.$$

Далее дифференцируем данное уравнение по dx , получим

$$dh_L = A_O \cdot l \cdot V_H^\alpha \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha} dx.$$

Считаем, что температура воды в поливном трубопроводе постоянная, следовательно

коэффициент кинематической вязкости $\nu = const$, диаметр трубопровода и скорость в его начале также постоянны, тогда после решения дифференциального уравнения от 0 до l , получим:

$$\int_0^l dh_L = A_O \cdot l \cdot V_H^\alpha \int_0^l \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha} dx$$

или

$$h_L = \frac{A_O}{\alpha} \cdot l \cdot V_H^\alpha.$$

Таким образом, полученное уравнение для определения линейной потери напора по длине поливного трубопровода в зависимости от скорости движения воды является одной из модификации формулы Дарси-Вейсбаха:

- от начальной скорости движения воды (V_H) в поливных трубопроводах:

$$h_L = A_O \cdot l \cdot V_H^\alpha \left(1 - \frac{x}{l}\right)^{2\alpha};$$

- от путевого расхода поливного трубопровода ($Q_{пут}$) и расходной характеристикой (K):

$$h_L = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot S^2}{C^2 \cdot R \cdot i} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot \pi^2 \cdot d^3}{32 \cdot g \cdot i};$$

$$h_L = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot S^2}{C^2 \cdot S^2 \cdot R} = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \frac{V^2 \cdot \lambda}{2 \cdot g \cdot d}.$$

Обсуждение

На основе уравнения движений жидкости в трубопроводах круглого сечения Дарси-Вейсбаха, при известных геометрических размерах поливного трубопровода круглого сечения, то есть гидравлический радиус - $R = d/4$ в метрах и площадь поперечного сечения $S = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2$ в метр квадратах, через постоянную скоростной характеристики Шези - $C = \sqrt{8 \cdot g / \lambda}$, получена система уравнения для определения линейной потери

напора по длине поливного трубопровода с капельницы, которая является одной из модификации формулы А.Е. Новикова, М.И. Ламсковой [11] и А.В. Микитюка, В.М. Кажарова, П.Ю. Шугай [12], позволяющей оценивать потери напора и равномерность расхода воды по их длине при проектировании низконапорных капельных систем.

Литература

1. *Зубаиров О.З., Таттибаев А.А., Жатканбаева А.О., Таттибаев Х.А.* Безнапорная система капельного орошения // Предварительный патент №20096, 2008.- 4 с.
2. *Орел, И.П., Великанов Ю.Н.* Гидравлический расчет поливных трубопроводов систем капельного орошения // Гидротехника и мелиорация. – 1978. - № 7.- С. 52–55.
3. *Козыкеева А.Т., Жатканбаева А.О.* Система капельного орошения для предгорных зон с небольшим поверхностным перепадом воды // Мелиорация и водное хозяйство, 2016.-№1.- С.37-39.
4. *Жатканбаева А.О., Козыкеева А.Т., Мустафаев Ж.С.* Математическое моделирование линейного параметра контуров увлажнения при капельном орошении // Исследования, результаты, 2016.-№02(070).-С. 120-127.
5. *Козыкеева А.Т., Жатканбаева А.О.* Системы капельного орошения для орошения сельскохозяйственных культур на предгорных зонах с небольшим поверхностным перепадом // Материалы Международного научного форума / Проблемы управления водными и земельными ресурсами. - Москва, 2015.- часть2.- С.3-12.
6. *Безбородов Ю.Г., Козыкеева А.Т., Кирейчева Л.В., Жатканбаева А.О.* Режим орошения сельскохозяйственных культур при капельном орошения в условиях Жамбылской области Республики Казахстан // Материалы международной конференции / Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения, 2016.- том 1.- С. 151-158.
7. *Козыкеева А.Т., Жатканбаева А.О.* Методика определения параметров капельного орошения сельскохозяйственных культур // Исследования, результаты, 2015.-№04(068).-С. 118-125.
8. *Козыкеева А.Т., Иванова Н.И., Жатканбаева А.О.* Методика расчета поливного режима сельскохозяйственных культур при капельном орошении // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета им. Б.Н. Ельцина.-Бишкеке, 2015.-том 15.- №5.- С. 175-177.
9. *Кузнецов Е.В., Скобелъцын Ю.А.* Расходные характеристики капельниц-водовыпусков// Труды Кубанского СХИ. – Краснодар, 1982. – Вып. 198. – С.73–79.
10. *Кузнецов Е.В.* Влияние транзитной скорости на отклонение потока при истечении через отверстия-водовыпуски / Е.В. Кузнецов // Труды Кубанского СХИ. – Краснодар, 1980. – Вып. 172. – С. 115–122.
11. *Новиков А.Е., Ламскова М.И.* Исследование потерь напора и равномерности расхода жидкостей в капельных трубопроводах // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса, 2014.-№2(34).- С. 89-95.
12. *Микитюк А.В., Кажаров В.М., Шугай П.Ю.* Гидравлический расчет поливного полиэтиленового трубопровода системы капельного орошения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета, 2015.- №13.-С. 105-111.
13. *Ненько Я.Т.* О движении жидкости с переменной вдоль потока массой // Труды Харьковского гидромелиоративного ин-та. – Харьков, 1938. – С. 3–50.
14. *Петров Г.А.* Гидравлика переменной массы / Г.А. Петров. – Харьков: Изд. Харьковского ун-та, 1964. – 223 с.

15. Федорец А.А. Гидравлические исследования поливных трубопроводов систем капельного орошения // Сб. науч. тр. ВНПО «Радуга» / Новое в техника и технология полива. – 1978. – Вып. 2. – С. 115–120.

16. Маланчук З.Р. Экспериментальные зависимости гидравлического расчета поливных трубопроводов // Сб. науч. тр. ВНПО «Радуга» / Новое в техника и технология полива. – 1979. – Вып. 12. – С. 184–189.

17. Черноморцева В.Н. Гидравлический расчет поливного трубопровода, оборудованного капельницами // Доклады ВАСХНИЛ. – 1983. – № 2. – С. 40–41.

18. Федорец А.А., Мороз С.М., Конюхов Л.А. Определение коэффициента гидравлического трения полиэтиленовых трубопроводов, применяемых для капельного орошения // В кн.: Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – Львов, 1979. – Вып. 7. – С. 63–67.

Қозыкеева Ә.Т., Мұстафаев Ж.С., Жатқанбаева А.О.

ТӨМЕН АРЫНДЫ ТАМШЫЛАТҚЫШ ЖҮЙЕСІНІҢ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аннотация

Дарси-Веймбах қимасы шеңбер құбырлардағы сұйықтың қозғалу теңдеуінің негізінде, тамшылатқыш жүйелерінде су өтімін бірқалыпты таратуға мүмкіндік беретін, төмен арынды тамшылатқыш жүйелерінің гидравликалық параметрлерін анықтау әдістемесі әзірленді.

Кілт сөздер: жүйе, тамшылатқыш, қысымы төмен, параметрлер, гидравлика, құбырлар, әдістеме, теңдеу, су, жылдамдық.

Kozykeyeva A.T., Mustafaev Zh.S., Zhatkanbaeva A.O.

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF HYDRAULIC NIZKONAPARNYH DRIP SYSTEM

Annotation

On the basis of the equations of fluid motion in pipes of circular cross section Darcy-Veymbaha, developed a method of determining the hydraulic parameters of low pressure drip systems to evenly distribute the flow of water in the drip lines.

Keywords: system, drip, low-pressure, settings, hydraulics, piping method, the equation, the water speed.