

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОЛИВНОГО ПОЛИЭТИЛЕНОВОГО ТРУБОПРОВОДА СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Микитюк А. В. – к. т. н., доцент

Кажаров В. М. – аспирант

Шугай П. Ю. – ассистент

Кубанский государственный аграрный университет

В статье приведен гидравлический расчет поливного полиэтиленового трубопровода системы капельного орошения. Получена теоретическая формула для определения потери напора в поливном трубопроводе, которая учитывает нелинейный закон изменения средней скорости потока по длине поливного трубопровода.

Одним из основных элементов систем капельного орошения являются поливные трубопроводы с водовыпусками. Потери напора в поливном трубопроводе (ПТ) рекомендуется вычислять по формуле Дарси – Вейсбаха (1):

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (1)$$

При гидравлическом расчете ПТ необходимо учитывать движение жидкости с убывающим по пути расходом. Особенно значительно влияние переменной массы жидкости на потери напора, если поливные трубопроводы превышают длину 50 м [1].

Поэтому при вычислении потери напора в ПТ будем учитывать скорость жидкости в начале трубопровода. Определим потери напора на участках ПТ по формуле, используя выражение (1):

$$h_i = \lambda_i \frac{\mathbf{l}_i}{D_i} \cdot \frac{V_i^2}{2g}, \quad (2)$$

где λ_i – коэффициент гидравлического трения на участке, определяемый по скорости в начале ПТ;

V_i – скорость в начале расчетного участка длиной \mathbf{l}_i и диаметром D_i , м/с.

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

$$V_i = V_n \left(1 - \frac{x}{\mathbf{l}_i} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где x – расстояние от начала трубопровода до расчетного сечения;

α – показатель степени, учитывающий нелинейный характер распределения скорости по длине трубопровода с капельницами.

При $\alpha=1$ получаем линейный закон изменения средней скорости потока по пути трубопровода, то есть равномерную раздачу расхода по пути, что необходимо при режиме капельного орошения культур. Но коэффициент α может изменяться от 1 до 0 в зависимости от длины трубопровода. Подставляя (3) в формулу (2), получим:

$$h_i = \frac{\lambda_i \cdot \mathbf{1}_i}{D \cdot 2g} \cdot \left[V_H \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}} \right) \right]^{2\alpha}. \quad (4)$$

Формула (4) является функцией потерь напора при движении жидкости с переменной массой в зависимости от закона изменения средней скорости потока $V_i = f\left(\frac{x}{\mathbf{1}}\right)$.

В зависимость (4) входит параметр λ_i , который также зависит от V_i . Проведем анализ коэффициента гидравлического трения λ_i в случае движения жидкости в ПТ с капельницами.

Как было ранее установлено Е. В. Кузнецовым [2], А. А. Федорцом [3] и др. [4; 5], в случае движения жидкости с переменной массой в полиэтиленовых трубопроводах коэффициент λ_i зависит от числа Рейнольдса R_{e_i} и определяется по эмпирической формуле вида:

$$\lambda_i = \frac{A}{R_{e_i}^\alpha}, \quad (5)$$

где A – постоянный коэффициент, учитывает влияние длины и диаметра трубопровода на потери напора;

R_{e_i} – число Рейнольдса, учитывает режим движения жидкости.

Проанализируем безразмерный коэффициент α . При $\alpha=1$ в трубопроводе может установиться ламинарный режим, тогда $A=64$. Имеются исследования Я. Т. Ненько, Г. А. Петрова [5; 6], которые указывают на то, что при небольших скоростях потока устанавливается переходной режим движения жидкости от ламинарного до области "гладких труб". В этом случае коэффициент A принимает любые другие целые значения в зависимости от длины ПТ и числа капельниц на нем. При $\alpha=0$ коэффициент λ_i

автомоделен относительно числа R_e , и в трубопроводах устанавливается квадратичная область сопротивления. Скорость $V_i = V_H$ (3).

Решим уравнение (4), подставив в него формулу (5). После преобразований и дифференцирования получим:

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{A_i}{R_{e_i}^\alpha} \cdot \frac{\mathbf{1}}{2g \cdot D} \cdot V_H^2 \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^{2\alpha} = \\ &= \frac{A_i \cdot \nu^\alpha}{V_i^\alpha \cdot D^\alpha} \cdot \frac{\mathbf{1}}{2g \cdot D} \cdot V_H^2 \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^{2\alpha} = \\ &= \frac{A_i \cdot \nu^\alpha \cdot \mathbf{1}}{2g \cdot D^{1+\alpha} \cdot V_H^\alpha \cdot \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^\alpha} \cdot V_H^2 \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^{2\alpha}. \end{aligned}$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости.

Обозначив через $A_1 = \frac{A_i \cdot \nu^\alpha}{2g \cdot D^{1+\alpha}}$, получаем:

$$h_i = A_1 \cdot V_H^{2-\alpha} \cdot \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^{2\alpha} \cdot \mathbf{1}. \quad (6)$$

Далее дифференцируем (6) по dx , получим:

$$dh = -A_1 \cdot V_H^{2-\alpha} \left(1 - \frac{x}{\mathbf{1}}\right)^{\alpha-1} dx. \quad (7)$$

Решим дифференциальное уравнение (7). Считаем, что температура жидкости постоянная, следовательно, $n = const$, диаметр трубопровода и скорость в его начале также постоянны:

$$\int_0^1 dh = -A_1 \cdot V_n^{2-\alpha} \int_0^1 \left(1 - \frac{x}{1}\right) dx,$$

$$h(1) - h(0) = A_1 \cdot 1 \cdot V_n^{2-\alpha} \int_0^1 \left(1 - \frac{x}{1}\right) d\left(1 - \frac{x}{1}\right).$$

$$h(1) - h(0) < 0; \quad h(1) - h(0) = -h,$$

$$-h = A_1 \cdot 1 \cdot V_n^{2-\alpha} \cdot \left. \frac{\left(1 - \frac{x}{1}\right)^\alpha}{\alpha} \right|_0^1,$$

или

$$h = \frac{A}{\alpha} \cdot 1 \cdot V_n^{2-\alpha}. \quad (8)$$

Формула (8) служит для вычисления потерь напора в поливных трубопроводах систем капельного орошения. Формулу (8) можно представить в виде:

$$h = \frac{A_i}{\alpha \cdot R_{e_i}^\alpha} \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{V_n^2}{2g}, \quad (9)$$

где $\lambda_i = \frac{A_i}{\alpha \cdot R_{e_i}^\alpha}$ – коэффициент гидравлического трения, учитывающий

изменение расхода по пути трубопровода.

Проведем анализ формулы (9). При $\alpha=1$ получаем линейный закон изменения средней скорости потока по пути в трубопроводе. При этом коэффициент гидравлического трения будет определяться формулой [7]:

$$\lambda = \frac{A_i}{R_e}. \quad (10)$$

При $\alpha=0,25$ коэффициент гидравлического трения будет вычисляться формулой Блазиуса [8]:

$$\lambda = \frac{A_i}{R_e^{0,25}}. \quad (11)$$

При $\alpha=0,45$ коэффициент гидравлического трения принимает вид [6]:

$$\lambda = \frac{A_i}{R_e^{0,45}}. \quad (12)$$

Экспериментально учеными установлено [2; 9; 10], что A_i в полиэтиленовых ПТ систем капельного орошения возрастает с увеличением показателя степени α от 0,25 до 0,45 соответственно с 0,612 до 2,111. Здесь также прослеживается определенная гидравлическая закономерность в изменении коэффициентов α и A_i .

В результате теоретических исследований можно прийти к выводу о том, что коэффициент гидравлического трения λ в поливных полиэтиленовых трубопроводах находится для чисел $R_{e_n} = 2300 \div 40000$ по формуле:

$$\lambda_n = \frac{A_i}{\alpha \cdot R_{e_n}^\alpha}, \quad (13)$$

где A_i и α – гидравлические параметры, определяемые опытным путем для каждого конкретного случая.

Список литературы

1. Орел, И. П. Гидравлический расчет поливных трубопроводов систем капельного орошения / И. П. Орел, Ю. Н. Великанов // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7, С. 52–55.
2. Кузнецов, Е. В. Влияние транзитной скорости на отклонение потока при истечении через отверстия-водовыпуски / Е. В. Кузнецов // Тр. Кубан. СХИ. – Краснодар, 1980. – Вып. 172. – С. 115–122.
3. Федорец, А. А. Гидравлические исследования поливных трубопроводов систем капельного орошения. – В кн. : Новое в техн. и технол. полива / А. А. Федорец // Сб. науч. тр. ВНПО "Радуга". – 1978. – Вып. 2. – С. 115–120.
4. Маланчук, З. Р. Экспериментальные зависимости гидравлического расчета поливных трубопроводов. – В кн. : Новое в техн. и технол. полива / З. Р. Маланчук // Сб. науч. тр. ВНПО "Радуга". – 1979. – Вып. 12. – С. 184–189.
5. Ненько, Я. Т. О движении жидкости с переменной вдоль потока массой / Я. Т. Ненько // Тр. Харьковского гидромет. ин-та. – Харьков, 1938. – С. 3–50.
6. Петров, Г. А. Гидравлика переменной массы / Г. А. Петров. – Харьков : Изд. Харьк. ун-та, 1964. – 223 с.
7. Novotny, M. Technologia a hydraulika pomalej podpovrchovej zavlahy pre trvale plodiny / M. Novotny, A. Klopčák // Vyskumneho ustavu zavlahoveho hospodarstva. – Bratislave, 1981. – № 15. – С. 145–161.
8. Черноморцева, В. Н. Гидравлический расчет поливного трубопровода, оборудованного капельницами / В.Н. Черноморцева // Докл. ВАСХНИЛ. – 1983. – № 2. – С. 40–41.
9. Кузнецов, Е. В. Расходные характеристики капельниц-водовыпусков / Е. В. Кузнецов, Ю. А. Скобельцын // Тр. Кубан. СХИ. – Краснодар, 1982. – Вып. 198. – С. 73–79.
10. Федорец, А. А. Определение коэффициента гидравлического трения полиэтиленовых трубопроводов, применяемых для капельного орошения / А. А. Федорец, С. М. Мороз, Л. А. Конюхов. – В кн. : Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – Львов, 1979. – Вып. 7. – С. 63–67.