

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ИНЪЕКЦИОННОГО ОРОШЕНИЯ

Л. М. МИРСАЛАХОВА

Азербайджанский государственный аграрный университет,  
г. Гянджа, Азербайджан, AZ2000; e-mail: lamiyatirsalahova@gmail.com

(Поступила в редакцию 15.03.2022)

*Статья посвящена методике гидравлического расчёта системы инъекционного орошения, предназначенной для полива плодовых деревьев, виноградников, декоративных кустов и садов, а также других растений. Система инъекционного орошения является наиболее прогрессивной техникой полива, применение которой позволяет полностью предотвратить потери воды на фильтрацию и физическое испарение, а также сэкономить оросительной воды в 2–3 раза по сравнению с другими системами орошения. Однако, эта система изучена крайне мало и нет конкретной методики для её гидравлического расчёта и проектирования. Предложенный метод может быть использован при проектировании подобных систем. Изложена последовательность расчёта и проектирования, а также сущность метода на конкретном примере. Установлено, что в системе инъекционного орошения потеря напора происходит в основном в магистральном трубопроводе, однако в распределительных и поливных трубопроводах практически нет потери напора, что связано с наличием малого расхода воды в этих трубопроводах и равномерным распределением (раздачей) воды в распределительных и поливных трубопроводах. На основе конкретного примера выяснено, что для работы системы инъекционного орошения не требуется высокого рабочего напора. Она способна работать даже при низком рабочем напоре, что позволяет её применять в предгорных и горных зонах. При этом рабочий напор, необходимый для работы системы, создаётся за счёт уклона, при котором образуется напор за счёт разности естественных отметок поверхности земли. В этих условиях отпадает необходимость в возведении водонапорных башен.*

**Ключевые слова:** система инъекционного орошения, гидравлический расчёт, рабочий напор, потеря напора, инжектор.

*The article is devoted to the method of hydraulic calculation of the injection irrigation system intended for watering fruit trees, vineyards, ornamental bushes and gardens, as well as other plants. The injection irrigation system is the most advanced irrigation technique, the use of which allows you to completely prevent water losses due to filtration and physical evaporation, as well as save irrigation water by 2–3 times compared to other irrigation systems. However, this system has been studied very little and there is no specific methodology for its hydraulic calculation and design. The proposed method can be used in the design of such systems. The sequence of calculation and design, as well as the essence of the method are outlined on a specific example. It has been established that in the injection irrigation system, the pressure loss occurs mainly in the main pipeline, but there is practically no pressure loss in the distribution and irrigation pipelines, which is due to the presence of a small water flow in these pipelines and the uniform distribution of water in the distribution and irrigation pipelines. Based on a specific example, it was found that a high operating pressure is not required for the operation of an injection irrigation system. It is able to work even at low operating pressure, which allows it to be used in foothill and mountainous areas. At the same time, the working pressure necessary for the operation of the system is created due to the slope, at which pressure is formed due to the difference in the natural elevations of the earth's surface. Under these conditions, there is no need to build water towers.*

**Key words:** injection irrigation system, hydraulic calculation, operating pressure, pressure loss, injector.

### Введение

Азербайджанская Республика находится в аридной зоне и здесь количество атмосферных осадков в 3–4 раза меньше испаряемости. Республика почти полностью зависит от орошения для развития сельского хозяйства. Несмотря на это, водные ресурсы крайне ограничены, так как по своим внутренним водным ресурсам республика занимает одно из последних мест среди Закавказских республик. Так, ресурсы речных вод на единицу площади и на одного человека в Азербайджане соответственно в 7,2 и 8,3 раза меньше, чем в Грузии. Из суммарного объема 23,2 км<sup>3</sup> всех речных вод республики только 10,3 км<sup>3</sup> формируется ее на территории, а остальной объём за её пределами [1, с. 6]. При этом из года в год потребность в воде растёт, только в сельском хозяйстве она составляет от 7 до 12 км<sup>3</sup> [2, с. 78]. В последнее время в связи с глобальным изменением климата происходит интенсивное уменьшение как поверхностных, так и подземных вод. По данным Всемирного Банка, водные ресурсы Азербайджана до 2050 года уменьшатся на 9,5–11,5 км<sup>3</sup> [3, с.101].

В связи с этим как в Азербайджане, так и в аридных зонах стоит вопрос всемерного предотвращения потери оросительной воды при транспортировке и использовании её на орошаемых полях. Для экономного и эффективного использования воды специалистами разработаны различные системы орошения.

Одной из водосберегающих систем орошения является система капельного орошения [4, с. 140–142; 5, с. 97–100; 6, с. 113–119; 7, с. 33–40]. Капельное орошение, в частности, системы капельного орошения имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными способами и техниками полива. При капельном орошении вода малыми расходами непосредственно подаётся в корнеобитаемую зону рас-

тений, резко снижается потеря воды на фильтрацию, отсутствует поверхностный сток и т.д. Однако, анализ работы системы капельного орошения показывает, что она имеет ряд недостатков: капельницы быстро закупориваются; требуются специальные фильтры для очистки воды; из-за прямого попадания воды на поверхность почвы происходит интенсивное испарение, что приводит к потерям воды и т. д.

Также известны системы инъекционного орошения, позволяющей предотвратить потери воды на испарение, уменьшить объём воды, поданной на орошение в 2–3 раза по сравнению с другими видами поливов [6, с.121–128; 7, с. 37–38]. Однако, предложенные системы инъекционного орошения имеют ряд недостатков, к числу которых относятся несовершенство конструкции системы в целом и ее рабочих органов. Учитывая это, нами разработана более совершенная система инъекционного орошения, содержащая насосную установку с аванкамерой, водонапорную башню (резервуар), устройство для приготовления и подачи в систему удобрений, магистральный, распределительные и поливные трубопроводы, датчики влажности, дистанционно управляемые задвижки, пульт управления и инжекторы (рис.1) [8, с. 42–49].

Отметим, что система инъекционного орошения изучена мало и почти не имеется конкретной методики для её гидравлического расчёта и проектирования. В связи с этим **целью исследований** является разработка методики для гидравлического расчёта системы инъекционного орошения и тем самым для её проектирования.

### Основная часть

Методика гидравлического расчёта системы инъекционного орошения разработана путём изучения законов гидравлики, гидравлических расчётов простых, сложных длинных и разветвлённых трубопроводов, работы системы водоснабжения и водоотведения, изложенных в различных литературных источниках [9, 10, 11, 12]. Изучены также работы специалистов по гидротехнической мелиорации [4, 5, 6, 13], орошаемому земледелию [14] и по дренажу [15].

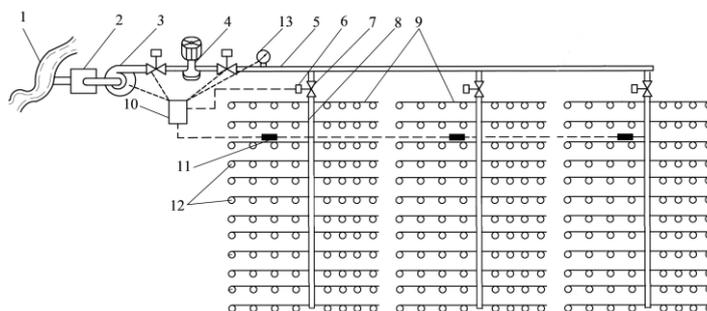


Рис. 1. Принципиальная схема системы инъекционного орошения: 1 – водоисточник; 2 – аванкамера; 3 – насос; 4 – водонапорная башня с устройством для приготовления и подачи воды в систему удобрений; 5 – магистральный трубопровод; 6 – датчик; 7 – задвижка; 8 – распределительные трубопроводы; 9 – поливные трубопроводы; 10 – пульт управления; 11 – датчик влажности; 12 – инжекторы; 13 – водомер

Гидравлический расчёт системы инъекционного орошения заключается в следующем:

- установление общего количества расхода воды, необходимого для орошения растений и расчёта системы;
- определение диаметров магистрального, распределительных и поливных трубопроводов и средней скорости воды в них;
- определение потери напора в трубопроводах и в целом в системе;
- определение расхода одного инжектора, т. е. его водопропускной способности.

**Установление общего количества и расхода воды, необходимого для орошения растений и расчёта системы.** Количество и расход воды, необходимые для орошения культуры и расчёта системы, устанавливаются на основе оросительной нормы  $M_{op}$  конкретного растения. В орошаемом земледелии и оросительной мелиорации для гидравлического расчёта оросительной системы значение оросительной нормы можно определяется либо расчётным путём, либо с использованием данных, полученных на основе многолетних экспериментальных исследований в конкретном регионе [13, 14].

В известных методах при определении оросительной нормы предполагается, что этой нормой увлажняется вся площадь орошаемого поля. Однако при орошении инъекционным способом увлажняется только корнеобитаемая зона растений. При этом оросительная норма уменьшается и определяется по зависимости:

$$M_{ин} = KM_{op}, \quad (1)$$

где  $M_{ор}$ ,  $M_{ин}$  – соответственно оросительная норма при обычном и инъекционном орошении,  $m^3/га$ ;  $K$  – коэффициент уменьшения увлажняемой площади почвы и определяется следующим образом:

$$K = \frac{FN}{1000}, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь контура увлажнения в корнеобитаемой зоне растения,  $m^2$ ;  $N$  – количество растений в одном гектаре; 10000 – выражение одного гектара в  $m^2$ .

Общее количество воды  $V$  ( $m^3$ ), необходимое для орошения растений за вегетационный период, определяется по формуле:

$$V = M_{ин} \Omega, \quad (3)$$

где  $\Omega$  – общая площадь орошаемого поля, га;  $M_{ин}$  – оросительная норма при инъекционном способе орошения,  $m^3/га$ .

На основе общего количества (объёма) воды и продолжительности орошения за период вегетации  $t$  устанавливается расход воды для гидравлического расчёта системы инъекционного орошения по следующей известной формуле:

$$Q = \frac{V}{t}. \quad (4)$$

**Гидравлический расчёт магистрального трубопровода.** В общей сложности гидравлический расчёт трубопроводов системы инъекционного орошения заключается в определении диаметров  $d$  трубопроводов, средней скорости воды  $v$  в трубопроводе (при необходимости) и потери напора ( $h_f$ ). Для определения диаметра трубопровода  $d$  существуют различные подходы и формулы. Одной из простейших формул является унифицированная формула, приведённая в работе [15, с. 75]:

$$d = \left( \frac{nQ}{0,312\sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{8}}, \quad (5)$$

где  $Q$  – расход воды в трубопроводе,  $m^3/сек$ ;  $n$  – коэффициент шероховатости;  $i$  – гидравлический уклон.

Значение  $n$  для труб, изготовленных из полимерных и пластмассовых материалов, составляет 0,012.

Средняя скорость воды  $v$  в трубопроводе определяется по унифицированной формуле [15, с.75]:

$$v = \frac{0,397}{n} d^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}, \quad (6)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода,  $m$ ;  $i$  – гидравлический уклон;  $n$  – коэффициент шероховатости.

При гидравлическом расчёте системы инъекционного орошения одним из важных вопросов является установление рабочего напора  $H$  в системе и значения гидравлического уклона  $i$ . На основе многовариантных расчётов выявлено, что если орошаемое поле расположено в равнинных местностях и имеет малый уклон, то в этом случае рабочий напор системы принимается заранее. Если орошаемое поле находится в предгорных и горных зонах, то в этих условиях рабочий напор системы определяется по разности отметок верхней и нижней части орошаемого поля.

В первом случае гидравлический уклон определяется по зависимости:

$$i = \frac{H}{l}; \quad (7)$$

во втором случае

$$i = \frac{\nabla_B - \nabla_H}{l}, \quad (8)$$

где  $H$  – принятый рабочий напор в начале орошаемого поля,  $m$ ;  $l$  – длина трубопровода,  $m$ ;  $\nabla_B$  –  $\nabla_H$  – верхняя и нижняя абсолютная отметка поверхности земли,  $m$ .

Из магистрального трубопровода на различных расстояниях  $l_i$  от него разветвляются распределительные трубопроводы с равными расходами  $Q_i$ . При этом потери напора на каждом участке  $h_{fi}$  магистрального трубопровода определяются отдельно, а затем суммируются [10, с.151]:

$$h_{fM} = \sum h_{fi} = \sum \frac{l_i Q_i^2}{K_i^2}, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (9)$$

В общем виде, значение  $h_{fM}$  с учётом длины каждого участка трубопровода, расход воды в них  $Q_i$  определяется по формуле при постоянном диаметре трубопровода:

$$h_{fM} = \frac{1}{K^2} (l_1 Q_1^2 + l_2 Q_2^2 + \dots + l_n Q_n^2), \quad (10)$$

где  $l_i$  – длина каждого участка магистрального трубопровода, м;  $Q_i$  – расходы воды в этих участках, м<sup>3</sup>/сек;  $K$  – модуль расхода, м<sup>3</sup>/сек.

Модуль расхода  $K$  выражается по формуле [10, с. 149]:

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (11)$$

где  $\omega$  – живое сечение трубопровода, м<sup>2</sup>;  $C$  – коэффициент Шези, м<sup>0.5</sup>/сек;  $R=d/4$  – гидравлический радиус, м.

Значение модуля расхода  $K$  в зависимости от  $C$ ,  $R$  и диаметра трубы  $d$  при коэффициенте шероховатости  $n = 0,012$  рассчитаны и табулированы, которые приведены в справочниках и литературе по гидравлике, например в [10, с. 335].

**Гидравлический расчёт распределительного трубопровода** производится следующим образом: вначале по плану орошаемого поля устанавливается количество  $n$  распределительных трубопроводов и определяется их расход  $Q_p$ :

$$Q_p = \frac{Q}{n}, \quad (12)$$

где  $Q$  – общий расход воды, м<sup>3</sup>/сек;  $n$  – количество распределительных трубопроводов.

Затем определяется гидравлический уклон  $i_p$ , по формуле:

$$i_p = \frac{i}{l_m + l_p}, \quad (13)$$

где  $l_m$  – длина магистрального трубопровода, м;  $l_p$  – длина распределительного трубопровода, м;  $H$  – рабочий напор в начале системы м.

По формуле (5) определяется диаметр  $d$ , а по формуле (6) – средняя скорость воды в распределительном трубопроводе.

Потеря напора в этом трубопроводе, в отличие от магистрального, определяется по расходу одного поливного трубопровода, которой рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{п}} = \frac{Q_p}{N_{\text{п}}}, \quad (14)$$

где  $Q_p$  – расход распределительного трубопровода, м<sup>3</sup>/сек;  $N_{\text{пол}}$  – количество поливных трубопроводов, которое определяется следующим образом:

$$N_{\text{п}} = \frac{l_p}{b}, \quad (15)$$

где  $l_p$  – длина распределительного трубопровода, м;  $b$  – расстояние между поливными трубопроводами или расстояние между рядами растений (для виноградников величина  $b$  составляет 2,5÷3,0 м, а для садов – 4–5 м).

Распределительный трубопровод раздаёт равномерно вдоль своего пути расход  $Q_n$  и при этом потеря напора определяется по формуле [12, с. 225]:

$$h_{f\text{п}} = \frac{l_p Q_n^2}{3K^2}, \quad (16)$$

**Гидравлический расчёт поливного трубопровода.** С целью гидравлического расчёта поливного трубопровода вначале задают длину поливного трубопровода с учётом рельефа местности. Она может изменяться от 50 м до 200 м, затем определяется его гидравлический уклон по формуле:

$$i_{\text{п}} = \frac{H}{l_m + l_p + l_{\text{п}}}, \quad (17)$$

где  $H$  – расчетный напор в начале орошаемого поля (в водоупорной башне), м;  $l_m$ ,  $l_p$ ,  $l_{\text{п}}$  – соответственно длина магистрального, распределительного и поливного трубопроводов, м.

По расходу  $Q_n$ , найденному по формуле (14), и гидравлическому уклону  $i_n$ , найденному по формуле (17), рассчитывается диаметр  $d_n$  поливного трубопровода по формуле (5), а затем по формуле (6) – средняя скорость воды в нём.

Далее, по расходу одного иньектора, определяется потеря напора в поливном трубопроводе. Дело в том, что поливной трубопровод на своем пути равномерно и при постоянном расходе распределяет воду между иньекторами. Поэтому потери напора в поливном трубопроводе определяются не по его расходу, а по расходу иньектора по формуле:

$$h_{f\text{п}} = \frac{l_{\text{п}} q_{\text{ин}}^2}{3K^2}, \quad (18)$$

где  $q_{ин}$  – расход воды, поступающей в инжектор, м<sup>3</sup>/сек;  $K$  – модуль расхода, м<sup>3</sup>/сек.

Расход инжектора  $q_{ин}$  определяется по выражению:

$$q_{ин} = \frac{Q_{п}}{N_{ин}}, \quad (19)$$

где  $Q_{п}$  – расход поливного трубопровода, м<sup>3</sup>/сек;  $N_i$  – количество инжекторов на поливном трубопроводе, которое находят по выражению:

$$N_{ин} = \frac{l_{п}}{a}, \quad (20)$$

где  $l_{п}$  – длина поливного трубопровода, м;  $a$  – расстояние между инжекторами или расстояние между растениями в ряду, м.

Расстояние между растениями в рядах для виноградника колеблется от 1,2 до 2,0 м, а для деревьев – от 4 до 5 м.

**Водопропускная способность инжектора** заключается в определении расхода воды, проходящей через штуцер, установленный на поливном трубопроводе и соединённый с инжекторной трубкой.

Отметим, что инжектор содержит штуцер, дроссель и инжекторную трубку (рис. 2).

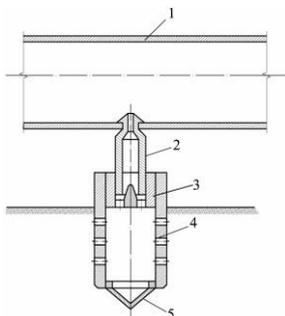


Рис. 2. Общий вид инжектора: 1 – поливной трубопровод; 2 – штуцер; 3 – дроссель; 4 – инжекторная трубка; 5 – наконечник

Расход воды, проходящей через штуцер, определяется формулой, выведенной для водопропускных устройств (насадки, патрубки, короткие трубы и т.д.) [9, с. 110]:

$$Q_{ин} = \mu\omega\sqrt{2g(H - \sum h_f)}, \quad (21)$$

где  $\mu=0,82$  – коэффициент расхода;  $\omega=\pi d^2/4$  – площадь живого сечения входной части штуцера, м<sup>2</sup>;  $d$  – внутренний диаметр штуцера, м;  $g=9,81$  м/сек<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  $H$  – расчётный напор в начале системы, м;  $\sum h_f$  – общая потеря напора в системы, м.

**Пример расчёта.** Орошаемый массив расположен в Гянджа-Казахской зоне Азербайджана. На орошаемом поле посажен виноградник. Схема посадки 1,5х3,0 м (расстояние между кустами в ряду 1,5 м, а междурядное расстояние 3,0 м). Площадь виноградника  $\Omega=30$  га. Ширина орошаемого массива 500 м, а его длина 600 м. Уклон поверхности земли слабый. Количество растения на одном гектаре 2220 кустов. Следует произвести расчёт системы инжекционного орошения.

**Ход расчёта:**

**1. Установление общего количества (объём) воды, необходимого для орошения виноградника за период вегетации.** По данным Азербайджанского научно-исследовательского института Гидротехники и Мелиорации, оросительная норма виноградника при самотечном поверхностном орошении составляет 3600 м<sup>3</sup>/га ( $M_{ор}=3600$  м<sup>3</sup>/га). При инжекционном орошении диаметр ( $d$ ) контура увлажнения одного куста виноградника составляет 1,5 м, и при этом площадь увлажнения –  $F=\pi d^2/4=3,14 \cdot 1,5^2/4=1,77$  м<sup>2</sup>. Согласно данным, определяем коэффициент уменьшения увлажненной площади по формуле (2):

$$K=1,77 \cdot 2220/10000=0,39,$$

а затем оросительную норму при инжекционном орошении по формуле (1):

$$M_{ин}=0,39 \cdot 3600=1400 \text{ м}^3/\text{га}.$$

По формуле (3) находим общее количество воды, необходимое для орошения виноградника:

$$V=1400 \cdot 30=42000 \text{ м}^3.$$

**2. Определение расхода воды для гидравлического расчёта системы.** Согласно режиму орошения, в условиях Гянджа-Казахской зоны полива начинаются с июня месяца и заканчиваются в августе. Продолжительность поливного периода в зависимости от водности года составляет от 30 до 70 дней.

Следует отметить, что поливы с помощью системы инъекционного орошения могут быть осуществлены непрерывно или периодически. Более надёжным является периодический полив. При этом продолжительность полива, и тем самым работа системы инъекционного орошения уменьшается в 2–3 раза. Учитывая изложенное, продолжительность полива принимаем за 30 дней и по формуле (4) определяем расход воды, необходимый для расчёта системы:

$$Q=42000/30=1400 \text{ м}^3/\text{сут}=0,0162 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

**3. Гидравлический расчёт магистрального трубопровода.** По размеру орошаемого массива, с учетом допустимой длины поливных трубопроводов, длину магистрального трубопровода принимаем  $l_m=500 \text{ м}$ .

Для обеспечения работы системы принимается рабочий напор  $H$  в начале орошаемого массива. Принятый рабочий напор в процессе расчёта уточняется. В первом приближении принимаем  $H=4 \text{ м}$  и по формуле (7) находим гидравлический уклон  $i_m=4/500=0,008$ .

По формуле (5) при  $n=0,012$ ,  $Q=0,0162 \text{ м}^3/\text{сек}$  и  $i_m=0,008$  определяем диаметр магистрального трубопровода:

$$d_m = \left( \frac{0,012 \cdot 0,0162 \cdot \frac{3}{8}}{0,312 \sqrt{0,008}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0,158 \text{ м} \approx 160 \text{ мм}.$$

По формуле (6) находим среднюю скорость воды в трубопроводе:

$$v_m = \frac{0,397}{0,012} 0,16^{\frac{2}{3}} \sqrt{0,008} = 0,87 \text{ м/сек}.$$

Принимаем длину каждой ветви поливного трубопровода 100 м. Согласно длине орошаемого массива, из магистрального трубопровода, предусматривается отделить 3 распределительных трубопровода. При этом расход каждого распределительного трубопровода составит  $Q_p=Q/3=0,0162/3=0,0054 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Первый распределительный трубопровод расположен на расстоянии 100 м, второй – на расстоянии 300 м, а третий – на 500 м от водонапорной башни. При этом длина первого участка трубопровода составляет 100 м, второго и третьего – 200 м. В первом участке магистрального канала его расход составляет  $Q_1=0,0162$ , во втором участке –  $Q_2=Q-Q_1=0,0162-0,0054=0,0108$ , а в третьем –  $Q_3=Q_2-Q_3=0,0108-0,0054=0,0054 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

При диаметре магистрального трубопровода  $d_m=160 \text{ мм}$  и  $n=0,012$ , из таблицы находим значение модуля расхода  $K=0,179 \text{ м}^3/\text{сек}$  [10, с. 335 прилож.1.2]. По формуле (10) вычисляем потери напора в магистральном трубопроводе  $h_{fm}=(100 \cdot 0,0162^2+200 \cdot 0,0108^2+200 \cdot 0,0054^2) / 0,179^2=1,74 \text{ м}$ .

**4. Гидравлический расчёт распределительного трубопровода.** Длина распределительного трубопровода равна 500 м. По формуле (14) определяем гидравлический уклон:

$$i_p=4/(500+500)=0,004.$$

Находим диаметр распределительного трубопровода по формуле (6) при  $Q_p=0,0054 \text{ м}^3/\text{сек}$ ,  $i=0,004$  и  $n=0,012$ :

$$d_p=[(0,012 \cdot 0,0054) / 0,392 \sqrt{0,004}]^{\frac{3}{8}} = 0,112 \text{ м}=112 \text{ мм}.$$

По формуле (15) определяем количество поливных трубопроводов, разветвлённых из распределительного трубопровода при межрядном расстоянии  $b=3 \text{ м}$ :

$$N_n=500/3=167.$$

По формуле (14) находим расход одного поливного трубопровода при  $Q_p=0,0054 \text{ м}^3/\text{сек}$  и  $N_n=167$

$$Q_n=0,0054/167=0,000032 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Из таблицы [10, с. 335, прилож.1.2] при  $d_p=112 \text{ м}$  и  $n=0,012$  находим значение модуля расхода  $K=0,086 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

По формуле (16) вычисляем потери напора в распределительном трубопроводе:

$$h_{fp}=(500 \cdot 0,000032^2) / 3 \cdot 0,086^2=2,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

**5. Гидравлический расчет поливного трубопровода.** Длина поливного трубопровода равна 200 м. По формуле (14) находим гидравлический уклон:

$$i_n=4/(500+500+200)=0,0033.$$

По формуле (5) определяем диаметр поливного трубопровода при  $Q_n=0,000032 \text{ м}^3/\text{сек}$  и  $n=0,012$ :

$$Q_n = [(0,012 \cdot 0,000032) / 0,392 \sqrt{0,0033}]^{3/8} = 0,016 \text{ м} \approx 20 \text{ мм}$$

Количество инжекторов, установленных на поливном трубопроводе, находим по формуле (20) при расстоянии между виноградными кустами  $a = 1,5 \text{ м}$ :

$$N_{ин} = 200 / 1,5 = 133 \text{ ин.}$$

По выражению (19) определяем расход воды, поступающей в один инжектор.

$$q_{ин} = 0,000032 / 133 = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Значения модуля расхода  $K$  для труб диаметром менее 50 мм в справочниках и технической литературе не даются. Поэтому значение  $K$  определяем формулой (11). С этой целью сначала находим значение коэффициента Шези  $C$  по формуле Л. Куттери при гидравлическом радиусе  $R = d/4 = 0,02/4$  [12, с. 212]:

$$C = 100 / [1 + (0,25/\sqrt{R})] = 100 / [1 + (0,25/\sqrt{0,02/4})] = 22,1 \text{ м}^{0,5}/\text{сек.}$$

Затем, вычисляем модуль расхода при диаметре поливного трубопровода  $d_n = 0$   
 $\omega = \pi d^2/4 = 3,14 \cdot 0,02^2/4 = 0,000314 \text{ м}^2$ .

$$K = 0,000314 \cdot 22,1 \sqrt{0,005} = 0,00049 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Потерю напора в поливном трубопроводе находим по формуле (16):

$$h_{fm} = 200 \cdot (2,4 \cdot 10^{-7})^2 / 3 \cdot (4,9 \cdot 10^{-4})^2 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Проверяем достоверность принятого рабочего напора в начале орошаемого массива. При этом должно соблюдаться условие:

$$H \geq h_f = h_{fm} + \Sigma h_{fp} + \Sigma h_{fn}, \quad (a)$$

где  $h_{fm}$  – суммарная потеря напора в магистральном трубопроводе, м;  $\Sigma h_{fm} = N_p h_{fp}$  – суммарная потеря напора в распределительном трубопроводе, м;  $N_p$  – количество распределителей;  $\Sigma h_{fn} = N_n h_{fn}$  – суммарная потеря напора в поливных трубопроводах, м;  $N_n$  – количество поливных трубопроводов.

В системе  $N_p = 3$ ,  $N_n = 3 \cdot 167 = 501$  и следовательно,  $\Sigma h_{fp} = 3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} = 0,000072 \text{ м}$ ,  $\Sigma h_{fn} = 501 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} = 0,80 \text{ м}$ , и  $h_{fm} = 1,74 \text{ м}$ .

При этих значениях суммарная потеря напора в системе:

$$h_f = 1,74 + 0,000072 + 0,80 = 2,54 \text{ м.}$$

Условие (a) соблюдается полностью, так как  $H = 4 > h_f = 2,54$ , но принятый расчетный напор. При этом либо можно увеличивать площадь орошаемого массива за счёт остаточного напора, либо уменьшить рабочий напор не менее, чем на 1,0–1,2 м. С другой стороны, наличие остаточного напора необходимо для промывки и удаления мелких наносов из системы.

**6. Водопропускная способность инжектора.** Внутренний диаметр штуцера  $d_{ш} = 4 \text{ мм} = 0,004 \text{ м}$ . По формуле (21) при известных гидравлических данных, определяем расход воды, проходящей через штуцер инжектора:

$$Q_{ин} = 0,81 \cdot 0,785 \cdot 0,004^2 \sqrt{2 \cdot 9,81(4 - 2,54)} = 0,000054 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Расчёт показывает, что водопропускная способность инжектора очень высокая. Поэтому, необходимо регулировать его расход с помощью дросселя, установленного на выходной части штуцера (рис. 2).

### Заключение

Предложенный метод расчёта системы инжекционного орошения может быть использован при проектировании как этой, так и подобной системы орошения.

В распределительных и поливных трубопроводах практически не происходит потери напора, что объясняется незначительностью расхода и равномерным распределением (раздачей) его по длине этих трубопроводов.

Система способна работать на низком рабочем напоре, что даёт возможность применять её в горных и предгорных зонах, где имеется достаточный напор, образовавшийся за счёт разности отметок поверхности земли. При этом отпадает необходимость в строительстве водонапорной башни.

Отдельные участки магистрального трубопровода могут быть выполнены с различным диаметром, т. е. в телескопической форме. Но при этом увеличивается потеря напора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов, Р. Г. Подземные воды Азербайджана и использование их в народном хозяйстве в условиях платы за ресурсы / Г. Г. Мамедов, С. Т. Гасанов // Обзорная информация. Серия Сельское хозяйство. – Баку: АзНИИНТИ, 1990. – 28 с.
2. Ахмедзаде, А. Дж. Энциклопедия. Мелиорация и водное хозяйство / А. Дж. Ахмедзаде, А. Д. Гашимов. – Баку: Радиус, 2016. – 632 с. (на азерб. языке).
3. Засуха. Оценка управления и смягчения эффектов для стран Центральной Азии и Кавказа / Отчёт Всемирного Банка № 31998 –ЕСА, 2005, 126 с.
4. Колпаков, В. В. Сельскохозяйственные мелиорации / В. В. Колпаков, И. П. Сухарев. – М.: Колос, 1981. – 328 с.
5. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / А. А. Богушевский [и др.]. – М.: Колос, 1981. – 375 с.

6. Оросительная мелиорация / О. З. Зубаиров [и др.]. – Алматы: Нур-Принт, 2014. – 273 с.
7. Баширов, Н. Б. Технический прогресс в орошении сельскохозяйственных культур на склоновых землях Азербайджана / Н. Б. Баширов. – Баку: Изд. КТН, 1996. – 112 с.
8. Мирсалахова, Л. М. Система инъекционного орошения / Л. М. Мирсалахова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – Рязань: 2022, т.14, №1, с. 42–49.
9. Агроскин, И. И. Гидравлика: учеб. для вузов / И. И. Агроскин, Г. Т. Дмитриев, Ф. Н. Пикалов. – Москва: Энергия, 1954. – 484 с.
10. Угинчус, А. А. Гидравлика: учебник для вузов / А. А. Угинчус, Е. А. Чугаева. – Ленинград: Стройиздат, 1971. – 350 с.
11. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика: учебник для вузов / Д. В. Штеренлихт. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 640 с.
12. Горчин, Н. К. Гидравлика в задачах / Н. К. Горчин, М. Д. Чертоусов. – Ленинград: Лениблисполкома и Ленсовета, 1933. – 364 с.
13. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костякова. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 624 с.
14. Льгов, Т. К. Орошаемое земледелие. – Т. К. Льгов. – М.: Колос, 1973. – 191 с.
15. Гасанов, С. Т. Дренаж: расчёты, проектирование и эксплуатация. – С. Т. Гасанов. – Баку: Элм, 2009. – 234 с. (на азерб. языке).