

**УДК 532.5**

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ  
ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В ТРУБАХ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ.**

**Ишанов Жавлон Хамидуллаевич, PhD, Научный информационно центр  
МКВК ЦА специалист 1-категория.**

*Аннотация.* В системе капельного орошения изучена скорость потока при начальном движении воды в трубе с частичным открытием воды в гибкой оросительной трубе и изменением скорости воды в результате расхода воды из капелниц по длине трубах. В оросительном трубопроводе проанализирована ситуация снижения кинетической энергии при повышении давления и уменьшении расхода потока в трубопроводе. В оросительной трубе анализировали уменьшение кинетической энергии и увеличение давления, а также уменьшение расхода потока в трубе. Поскольку оросительная труба является гибкой, ее деформация и увеличение во времени в момент ( $t$ ) определяет массу оставшейся в трубе жидкости, протекшей с течением времени. Проанализированы расширение трубы системы капельного орошения под действием давления на стенки, а также теоретическая деформация данных труб. На основе теории Жуковского проанализирована деформированность распределительных и оросительных трубах в системе капельного орошения.

*Ключевые слова:* система капельного орошения, движение воды, капелница, скорость воды, длина трубы, повышение и потери давления в трубопроводах, деформация, неустановившееся движение, гибкий трубопровод.

**Hydraulic calculation of unsteady water movement in pipes of a drip irrigation system. Ishanov Zhavlon Khamidullaevich, PhD, specialist 1st category, Scientific Information Center ICWC Central Asia**

*Abstract.* The drip irrigation system has studied the flow rate at the initial movement of water in the pipe with partial opening of water in a flexible irrigation pipe and changing

the speed of water as a result of the flow of water from droppers along the length of pipes. In the irrigation pipeline, the situation of kinetic energy reduction with increasing pressure and decreasing flow rate in the pipeline was analyzed. In the irrigation pipeline, the situation of kinetic energy reduction with increasing pressure and decreasing flow rate in the pipeline was analyzed. The irrigation pipe analyzed a decrease in kinetic energy and pressure, as well as a decrease in the flow rate in the pipe. Since the irrigation pipe is flexible, its deformation and increase in time at the moment ( $t$ ) determines the mass of the liquid remaining in the pipe, flowing over time. The expansion of the pipe of the drip irrigation system under the action of pressure on the walls, as well as the theoretical deformation of these pipes was analyzed. On the basis of Zhukovsky's theory, the deformity of distribution and irrigation pipes in the drip irrigation system was analyzed.

*Key Salts:* drip irrigation system, water movement, droplet, water speed, pipe length, increase and loss of pressure in pipelines, deformation, unspecified movement, flexible pipeline.

**Введение.** 80% водных ресурсов, используемых в сельском хозяйстве Республики Узбекистан, приходятся на трансграничные реки. В последние годы рациональное использование водных ресурсов является проблемой, связанной с дефицитом пресной воды и из года в год остается сложной во всем мире, в том числе и в странах Центральной Азии. Реки Амударья и Сырдарья, снабжающие водой страны Центральной Азии, с каждым годом уменьшаются из-за изменения климата. В целях предотвращения дефицита воды Президент Республики Узбекистан в последние пять лет уделял большое внимание водосберегающим технологиям орошения. Особенно следует отметить Указы Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года за № УП-6024 "Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 — 2030

годы” [1], а также от 1 апреля 2023 года за № УП-107 “О неотложных мерах по повышению эффективности использования водных ресурсов” [2;].

Система капельного орошения не только экономит большое количество воды, но и положительно влияет на мелиорацию земель и дает возможность резко повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Одним из факторов, негативно влияющих на широкое внедрение технологии капельного орошения, является то, что научный анализ гидравлических процессов в гибких трубах не реализован в достаточной степени. Гидравлические процессы, происходящие в трубопроводах капельного орошения, их научно обоснованный анализ являются факторами, создающими возможность широкого внедрения этой водосберегающей технологии. Потери давления в системе вследствие гидравлического сопротивления и дифформаций, анализ процесса изменения при использовании гибких труб являются одними из важнейших проблем, имеющих научное и практическое значение.

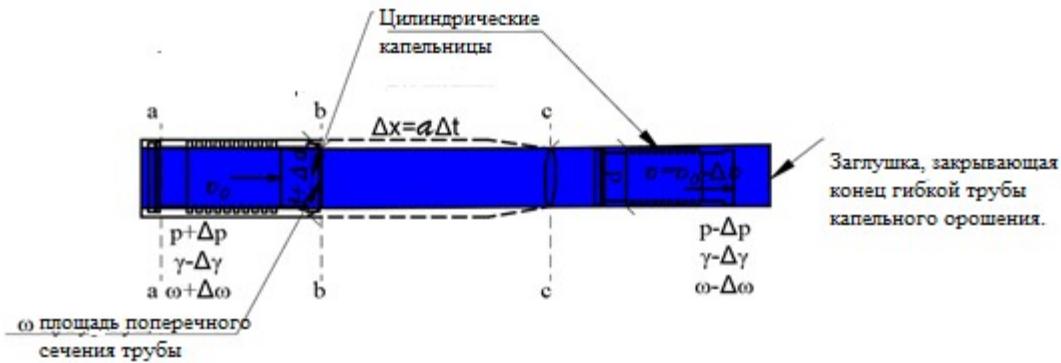
**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** Исследование гидравлических процессов в трубопроводе при капельном орошении проводилось следующим образом:

Длина гибкой трубы капельного орошения – 193 метра, площадь его сечения  $\omega = \frac{\pi d^2}{4} = 0,000201 \text{ м}^2$ , толщина стенки трубы  $\delta = 0,9 - 1,2 \text{ мм}$ . На

выходе воды из трубы установлен кран, при полном открытии которого вода движется с начальной равномерной скоростью  $v_0 = 2,0 \text{ м/с}$ .

В середине движения воды давление воды в нижней части трубы равно,  $p$ , а объем воды равен  $\gamma$  (рис. 1). *A* при частично открытом клапане скорость движения жидкости в трубе равна  $v = v_0 - \Delta v$ . Изменение скорости наблюдалось сначала возле крана, а затем распространилось по длине трубы.

$t$ - время изменения скорости воды в трубе, начинающегося с установленного кранника до капельницы а-а; и установившегося на участке б-б (рис. 1). Тогда в момент ( $t + \Delta t$ ) это изменение проявляется по частям а-а; б-б; в-в). Это изменение происходит при изменении скорости жидкости в трубе от исходного  $\vartheta_0$  значения до значения  $\vartheta$  при ее движении по длине трубы, в направлении против потока, с определенной  $a$  скоростью. Наблюдаемое в трубе уменьшение скорости жидкости приводит к уменьшению ее кинетической энергии, это уменьшение вызывает изменение давления  $p$  жидкости на этом участке трубы до  $p + \Delta p$ . Увеличение давления, в свою очередь, вызывает увеличение объемного веса  $\gamma$  жидкости (воды и смесь удобрения) на  $\gamma + \Delta \gamma$ .



### 1.1-рис. Влияние давления воды на эластичность стенок труб.

**Метод исследования.** При этом толщина и диаметр стенки трубы изменяются с  $d$  на  $d - \Delta d$ , а площадь поперечного сечения трубы меняется с  $\omega$  на  $\omega - \Delta \omega$ . Если повышение давления и расширение трубы в момент  $t$  времени происходит в части  $a/a$ , трубы, то следующий в момент  $t + \Delta t$  это расширение происходит на участке  $b-b$ ;  $c-c$  по длине трубы  $\Delta x = a\Delta t$ . Где ( $\Delta t$ ) – изменение времени за короткий промежуток времени. (рис. 2.1). В интервале времени  $b-b$ ;  $c-c$  жидкость течет через сечение  $b-b$  со скоростью  $\vartheta_0$ , а через сечение  $a-a$  течет со скоростью  $\vartheta = \vartheta_0 - \Delta \vartheta$ . ( $\Delta t$ ) масса жидкости, оставшейся в трубе за интервал времени[3;]:

$$\Delta M = \frac{\gamma}{g} \omega \Delta \vartheta \Delta t \quad (1.1)$$

Труба (b-b); (c-c) на сечениях масса жидкости в момент ( $t$ ) следующая.  
(Рисунок 1-2):

$$M = \frac{\gamma}{g} \omega \Delta x \quad (1.2)$$

$(t + \Delta t)$  остаточная масса воды в трубе на данный момент:

$$M + \Delta M = \frac{\gamma + \Delta \gamma}{g} (\omega + \Delta \omega) \Delta x \quad (1.3)$$

В этом случае участок а-а; б-б увеличение массы воды ( $\Delta t$ ) на интервале времени:

$$\Delta M = (M + \Delta M) - M = \frac{\gamma + \Delta \gamma}{g} (\omega + \Delta \omega) \Delta x - \frac{\gamma}{g} \omega \Delta x = \frac{\Delta x}{g} (\omega \Delta \gamma + \gamma \Delta \omega + \Delta \omega \Delta \gamma)$$

$\Delta \omega \Delta \gamma$  имеющий причину бесконечно малости второго порядка, не учитывая:

$$\Delta M = \frac{\Delta x}{g} (\omega \Delta \gamma + \gamma \Delta \omega) \quad (1.4)$$

(2.1.1) и (2.1.4) по следующим формулам:

$$\frac{\gamma}{g} \omega \Delta \vartheta \Delta t = \frac{\Delta x}{g} (\omega \Delta \gamma + \gamma \Delta \omega) = \frac{a \Delta t}{g} (\omega \Delta \gamma + \gamma \Delta \omega)$$

Из этого выражения находим скорость распространения волны при неустановившемся движении:

$$a = \frac{\Delta \vartheta}{\frac{\Delta \gamma + \Delta \omega}{\gamma + \omega}} \quad (1.5)$$

Считаем относительную объемную плотность жидкости  $(\frac{\Delta \gamma}{\gamma})$  и относительное увеличение относительной площади поперечного сечения трубы  $(\frac{\Delta \omega}{\omega})$ . За счет этих изменений модуль вязкости воды, давление, деформативность материала стенки трубы меняется. Из теории упругости известно, [4;] что прочность на сжатие равна произведению объема деформативности на уменьшение или увеличение относительного объема изотропного вещества:

$$\Delta p = \pm \frac{\Delta \gamma}{\gamma} K,$$

или:

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \pm \frac{\Delta p}{K} \quad (1.6)$$

где:  $K$  - модуль деформационный смеси,  $K = 2,10^8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ . Относительное увеличение поверхности сдвига трубы  $\frac{\Delta \varsigma}{\varsigma}$  равно значению деформативности материала трубы в состоянии растяжения, умноженному на удлинение модуля деформативности. В тонкостенных трубках напор ( $\Delta p$ ), возникающий в результате воздействия давления на поперечное сечение, следующий:

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta p d}{2 \delta}$$

Относительное удлинение периметра трубы:

$$\frac{\pi(d + \Delta d) - \pi d}{\pi d} = \frac{\Delta d}{d}$$

Учитывая вышеизложенное:

$$\frac{\Delta pd}{2\delta} = \frac{\Delta d}{d} \varepsilon \quad \text{или} \quad \frac{\Delta pd}{d} = \frac{\Delta pd}{2\delta\varepsilon} \quad (1.7)$$

где:  $\varepsilon$  – модуль деформации стенки гибкой трубы.

Поверхность поперечного сечения трубы имеет следующий вид:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4},$$

Преобразовав получим следующее выражение:

$$\Delta\omega = \frac{\pi d \Delta d}{4}$$

Из обоих приведенных выше уравнений находим:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\Delta d}{d}$$

Подставим значение  $(\frac{\Delta d}{d})$  из этой формулы в формулу (1.7):

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\Delta pd}{2\delta\varepsilon} \quad (1.8)$$

Найденные в формулах (1.6) и (1.8) значения  $(\frac{\Delta\gamma}{\gamma})$ ,  $(\frac{\Delta\omega}{\omega})$ , подставим в формулу (1.5):

$$a = \frac{\Delta\theta}{\frac{\Delta\gamma + \Delta pd}{K} + \frac{\Delta pd}{2\delta\varepsilon}} = \frac{\Delta\theta}{\Delta p \left( \frac{1}{K} + \frac{d}{2\delta\varepsilon} \right)} \quad (1.9)$$

Первое слагаемое в знаменателе формулы (1.9) показывает влияние сжатия воды, а второе слагаемое коэффициент жесткости стенки трубы. Из приведенной формулы видно, что скорость распространения волны неустановившегося движения в трубе постоянного диаметра прямо пропорциональна толщине стенки трубы и коэффициенту упругости стенки трубы. Из приведенной формулы видно, что скорость распространения волны неустановившегося движения в трубе постоянного диаметра прямо пропорциональна толщине стенки трубы ( $\delta$ ) и коэффициенту упругости ( $\varepsilon$ ) стенки трубы. (2.1.9) чтобы формула была хорошо видна, (a-a); (b-b) чтобы найти силу, действующую на воду ( $P_{ab}$ ) умножаем силу массы ( $M_{ab}$ ) на ускорение распространения этого вещества. [5]:

$$P_{ab} = M_{ab} \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$$

Из этого:

$$M_{ab} \Delta\vartheta = P_{ab} \Delta t \quad (1.10)$$

(1.10) на основе равенства:

$$M_{ab} \Delta\vartheta = (M + \Delta M) \Delta\vartheta = M \Delta\vartheta + \Delta M \Delta\vartheta$$

Пренебрегая бесконечно малыми второго порядка:

$$M_{ab} \Delta\vartheta = M \Delta\vartheta \quad (1.11)$$

$P_{ab}$  сила a-a; b-b – разность сил, действующих на сечения:

$$\begin{aligned} P_{ab} \Delta t &= (\omega + \Delta\omega)(p + \Delta p) \Delta t - \omega p \Delta t = \\ &= \Delta t(\omega p + p\Delta\omega + \omega\Delta p + \Delta\omega\Delta p - \omega p) \approx \Delta t \omega \Delta p \end{aligned} \quad (1.12)$$

в скобках выражения (1.12) стоят произведения, и мы их не рассматриваем, поскольку это небольшая величина. Приравнивая предыдущие уравнения, получаем следующее выражение:

$(\Delta\omega\Delta p)$  умножения в скобках (1.12),  $(p\Delta\omega)$  и  $(\Delta\omega)$  также являются небольшая величинами, поэтому мы их не учитываем. Приравнивая предыдущие уравнения, получаем следующее выражение:

$$\Delta p = \frac{\gamma}{g} a \Delta \vartheta \quad (1.13)$$

Если подставить значение  $(\Delta p)$  из формулы (1.13) в формулу (1.12), то найдем скорость распространения волны неустановившегося движения:

$$a = \frac{\Delta \vartheta}{\frac{\gamma \Delta \vartheta (\frac{1}{K} + \frac{d}{\delta \varepsilon})}{g}} \quad (1.14)$$

или

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} (\frac{1}{K} + \frac{d}{\delta \varepsilon})}} = \frac{\sqrt{\frac{Kg}{\gamma}}}{\sqrt{1 + \frac{Kd}{\delta \varepsilon}}} \quad (1.15)$$

Выражение в скорости (1.15)  $\sqrt{\frac{Kg}{\gamma}}$  представляет собой скорость распространения звука. При температуре 15°C значение, найденное на основании проведенных исследований, составляет 1425 м/с, а в случае распространения волн в жидкости при неустановившемся движении оно выглядит следующим образом:

$$a = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{Kd}{\delta g}}} \quad (1.16)$$

Это выражение имеет следующие значения  $\varepsilon$ ,  $g$  и  $\gamma$ :

$K = 2,1 \cdot \frac{10^4 \text{ кг}}{\text{см}^2}$  ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  и  $\gamma = 1000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ ) значение формулы равно:

$$\sqrt{\frac{Kg}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 9,81}{1000}} = 1435 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

**Результаты исследований и анализ.** (1.15), (1.16), формулы являются основными выражениями. Формула (1.14) показывает уменьшение скорости ( $\Delta \vartheta = \vartheta_0 - \vartheta$ ) в результате увеличения давления воды в трубе. С учетом изменения водного столба по этой формуле получаем следующую формулу:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{a \Delta \vartheta}{g} \quad (1.17)$$

или

$$h - h_0 = \frac{a}{g} (\vartheta_0 - \vartheta) = - \frac{a}{g} (\vartheta - \vartheta_0) \quad (1.18)$$

Формула (1.18) представляет собой интеграл от следующего дифференциала:

$$dh = - \frac{a}{g} d\vartheta \quad (1.19)$$

Полное давление, возникающее при гидравлическом неустановившемся движении в трубе (1.18), находится по формуле:

$$h = h_0 + \frac{a}{g} (\vartheta_0 - \vartheta) \quad (1.20)$$

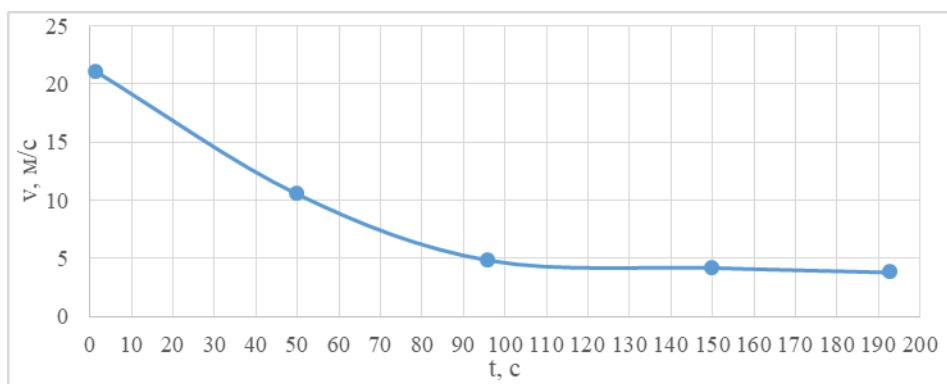
Если выразить  $a$  и  $\vartheta$   $\left(\frac{M}{c}\right), g, \left(\frac{M}{c^2}\right), h, h_0$  выразить в единицах водного столба

(м вод. столб) по формуле (1.16), то скорость распространения волны при неустановившемся движении зависит от материала трубы, вязкости жидкости и толщины стенки трубы. При этом скорость волны  $a$  при неустановившемся движении жидкости в трубе постоянна и не зависит от расхода текущей жидкости.

Согласно этим условиям коэффициент  $\frac{a}{g}$  в формулах (1.19) и (1.20) имеет постоянное значение.

В результате непрерывного изменения скорости потока  $\vartheta$  ее значение в трубе непостоянно, образуя неустойчивое течение (волны), при этом неустойчивом движении силы воздействия различны и создают повторяющееся состояние.

На рисунках 2.3 и 2.4 представлена диаграмма изменения давления в трубе в результате расхода воды по длине оросительной трубы с помощью кранника, установленного в начальной части трубы.



**Рис. 2.2. Изменение скорости движения жидкости в трубе по времени.**

Линия (a-a), представленная на рис. 2.2, показывает изменение расхода в случае закрытия кранника в трубе. ( $t_k$ , ордината между кривой a-a и участком a-c

уменьшение соответствующей скорости на этом интервале до значения  $\Delta\vartheta$ , кривая на графике указывает на процесс изменения давления вокруг кранника. Ордината графика равна произведению приведенной  $\Delta\vartheta$  скорости на постоянный коэффициент  $\frac{a}{g}$ .

### **Литература.**

1. Указ Президента Республики Узбекистан “Об Утверждении Концепции Развития Водного Хозяйства Республики Узбекистан на 2020 — 2030 годы”
2. Постановление Президента Республики Узбекистан “О неотложных мерах по повышению эффективности использования водных ресурсов”
3. П.Г. Киселев Гидравлика основы механики жидкости Москва “Энергия” 1980 г.
4. Э.Ж.Махмудов Ж.Ишанов, Кўп фазали суюқликлар модели асосида томчилатиб суғориш гидравлик жараёнлар таҳлили // “O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi” журнали. – Тошкент, 2022.-№5 Б.79-80
5. А.А. Хамидов, С.И. Худайқулов, И.Э. Махмудов «Гидромеханика» Тошкент Ўзбекистон Фанлар академияси “ФАН” нашриёти 2008, 436 б.
6. Э.Ж. Махмудов, Ж.Х. Ишанов Томчилатиб суғоришнинг мураккаб тақалувчи қувурларида гидравлик “Agro Ilm” журнали. 2023 й, №1. 45-47 б.