

Э.П. АЩΙΑНЦ

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ
ТРУБОПРОВОДА**

Рассматривается движение жидкости в нагнетательном трубопроводе с участками различного уклона в процессе опорожнения его последнего участка. Получены простые расчетные зависимости, с помощью которых определяется продолжительность опорожнения этого участка. В случае, когда истечение жидкости из трубопровода в атмосферу происходит через отверстие в тонкой стенке, диаметр которого меньше диаметра трубопровода, рекомендуется формула, определяющая продолжительность опорожнения жидкости из последнего участка.

Результаты расчета по полученным формулам сопоставлены с соответствующими экспериментальными данными.

Ключевые слова: трубопровод, участки различного уклона, опорожнение жидкости, скорость, гидравлические сопротивления.

Введение. При проектировании и эксплуатации напорных автоматизированных оросительных систем, включающих гидравлические линии связи в виде полиэтиленовых труб малых диаметров [1], возникает необходимость определения продолжительности их опорожнения.

Анализ исследований [2-4], посвященных этому вопросу, показывает, что для случая опорожнения водоводов, имеющих участки различного уклона, в технической литературе не приводится общего аналитического решения этой задачи. Даже в случае опорожнения водовода с участками постоянного уклона, если при расчетах учитывать одновременно влияние как местных, так и распределенных по длине водовода гидравлических сопротивлений, аналитическое решение задачи значительно усложняется и является предметом дальнейших исследований.

Постановка задачи и методы исследования. Целью настоящей работы является устранение некоторых недостатков существующих зависимостей, с помощью которых определяется продолжительность опорожнения жидкости на последнем участке трубопровода, а также рекомендация формулы, с помощью которой определяется вышеуказанное время в случае истечения жидкости из трубопровода в атмосферу через отверстие в тонкой стенке.

Изменение скорости колонны жидкости при ее опорожнении из трубопровода (см. рис.) определяется путем использования уравнения Д. Бернулли [5], взятого для двух сечений. Первое сечение принимается на свободной поверхности жидкости в опорожняющемся трубопроводе (точка А, рис.), а второе - на выходе жидкости из трубопровода (точка В, рис.) в атмосферу.

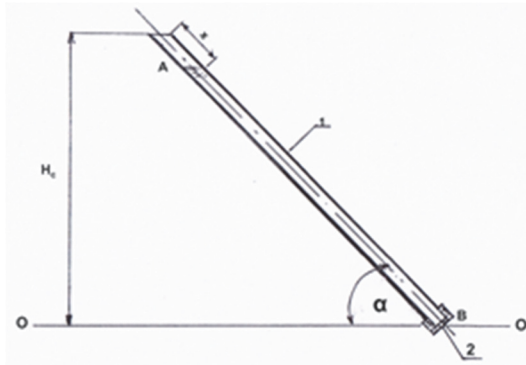


Рис. Расчетная схема трубопровода: 1 – трубопровод, 2 - отверстие

В результате интегрирования этого уравнения при нулевых начальных условиях для скорости в работе [2, гл. XII] получена зависимость изменения скорости колонны жидкости в трубопроводе в процессе ее опорожнения от времени:

$$V = a \frac{e^{2akt} - 1}{e^{2akt} + 1}, \quad (1)$$

где $a = \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{k}}$; $k = \lambda / 2d$; λ - коэффициент гидравлического трения по длине трубопровода; d - диаметр трубопровода; $\sin \alpha = H_c / l$ (рис.1); H_c - статический напор жидкости в конце трубопровода при его полном заполнении; l - длина трубопровода; g - ускорение силы тяжести.

При выводе формулы (1) предполагалось, что в трубопроводе отсутствуют местные гидравлические сопротивления и жидкость свободно вытекает из трубопровода в атмосферу.

Если в (1) обозначить $T_0 = 1 / 2ak$, то уравнение (1) примет вид

$$V = ath \frac{\tau}{2T_0}, \quad (2)$$

t - текущее время.

Таким образом, зависимость (2) показывает, что при опорожнении трубопровода средняя скорость колонны жидкости изменяется по закону гиперболического тангенса.

Для определения продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода в формуле (1) скорость V представляется в виде $V = dx / dt$, где x - координата перемещения свободной поверхности колонны жидкости в трубопроводе (рис.). Интегрируя это уравнение с учетом начального условия (при $t = 0$, $x = 0$), получим зависимость

$$x = \frac{1}{k} [\ln(1 + e^{2akt}) - \ln 2] - at. \quad (3)$$

Продолжительность полного опорожнения жидкости из трубопровода определяется из (3) путем подстановки в это уравнение такого значения t , при котором $x = l$.

Зависимость (3) можно представить в виде

$$Chakt = e^{kx}, \quad (4)$$

а для определения продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода используем таблицы показательных, гиперболических и тригонометрических функций [6]. Например, при $x = l$, определив значение e^{kl} , которое равно численному значению гиперболического косинуса, из вышеуказанной таблицы [6] определяется соответствующее значение его аргумента $M = akT$, где T - продолжительность опорожнения жидкости из трубопровода. Из равенства следует, что

$$T = \frac{M}{ak}.$$

Для установления корректности зависимостей (3), (4) в гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова были смонтированы экспериментальные установки, схема которых показана на рисунке.

Опорожняющиеся трубопроводы представляли собой полиэтиленовые шланги диаметром $d = 0,016$ м, имеющие различные уклоны и длины. При проведении экспериментов краники на концах трубопроводов отсутствовали, и закрытие их концов осуществлялось с помощью резиновых пробок. После закрытия концов трубопроводов они полностью заполнялись водой. Затем

пробки быстро удалялись, и с помощью секундомера фиксировалось время их опорожнения. В результате получены следующие экспериментальные значения продолжительности опорожнения жидкости из трубопроводов - T^o :

- при параметрах трубопровода: $d = 0,016$ м, $l_1 = 6,2$ м, $\sin \alpha_1 = 0,293$, $\lambda_1 = 0,026$, где его численные значения определялись с учетом рекомендаций, приведенных в работах [7,8], согласно эксперименту - $T_1^o = 4,0$ с , а согласно расчету по зависимостям (3) и (4) - $T_1^P = 3,85$ с ;

- при изменении угла наклона вышеуказанного трубопровода, при котором $\sin \alpha_2 = 0,207$: $T_2^o = 4,7$ с, а $T_2^P = 4,5$ с ;

- при дальнейшем уменьшении угла наклона этого трубопровода, при котором $\sin \alpha_3 = 0,172$: $T_3^o = 5$ с, а $T_3^P = 4,95$ с .

- при опорожнении вертикального полиэтиленового шланга диаметром $d = 0,016$ м, длиной $l = 2,95$ м и $\lambda = 0,023$: $T_4^o = 1$, а $T_4^P = 1,06$ с.

Из сопоставления видно, что результаты расчета по зависимостям (3) и (4) хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Следует отметить, что если трубопровод имеет участки различного уклона, то при опорожнении последнего участка скорость колонны жидкости на этом участке определяется путем интегрирования уравнения Д. Бернулли при начальном условии для скорости, отличной от нуля. В этом случае зависимость для скорости будет иметь вид

$$V_1 = a \frac{e^{2ak(t-c)} - 1}{e^{2ak(t-c)} + 1}, \quad (5)$$

где $c = -\frac{1}{ak} \ln \frac{a + V_0}{a - V_0}$; V_0 - скорость колонны жидкости на последнем участке в начале его опорожнения.

Заменяя в (5) $V_1 = dx/dt$ и интегрируя (5) с учетом начального условия (при $t = 0$, $x = 0$), получается зависимость

$$x = \frac{1}{k} [\ln(e^c + e^{2akt}) - \ln(e^c + 1)] - at. \quad (6)$$

Из (6) видно, что при $c < 0$ продолжительность опорожнения этого участка уменьшается.

Полученные выше зависимости справедливы в случае отсутствия на трубопроводе местных гидравлических сопротивлений. Если же в конце трубопровода установлены различные запорные устройства, то аналитическое решение задачи существенно затрудняется и является предметом дальнейших исследований.

В этих условиях при проектировании трубопроводов используются различные приближенные формулы, позволяющие при минимальных затратах времени с удовлетворительной погрешностью определить время опорожнения жидкости из трубопровода. В настоящей работе рекомендуется формула, справедливая для случая, когда в выходном отверстии трубопровода (рис.) крепятся шайбы с отверстиями, диаметр которых меньше диаметра трубопровода d :

$$T = \beta \frac{W}{Q_0}, \quad (7)$$

где β - коэффициент, численное значение которого зависит от характера изменения расхода жидкости в процессе истечения из трубопровода; W - объём жидкости в трубопроводе; Q_0 - значение расхода жидкости в трубопроводе в условиях стационарного течения при напоре H_c [5], равное

$$Q_0 = \frac{\varepsilon A_0 \sqrt{2gH_c}}{\sqrt{1 + \xi_0 - (\varepsilon n)^2 + \lambda \frac{l}{d} \left(\frac{A_0}{A_T} \right)^2}}. \quad (8)$$

Здесь ε - коэффициент сжатия струи при выходе ее из отверстия в атмосферу; A_0 - площадь отверстия шайбы; ξ_0 - коэффициент сопротивления отверстия в тонкой стенке, который при истечении холодной воды, согласно рекомендациям [5], принимается равным $\xi_0 = 0,06$; $n = A_0 / A_T$ и называется степенью сжатия потока; A_T - площадь сечения трубы.

Коэффициент сжатия ε определяется с помощью формул и графика кривой $\varepsilon = f(n)$, приведенных в работах [2,5].

Численное значение коэффициента β определено исходя из полученных экспериментальных данных. Экспериментальная установка представляла собой вертикальный полиэтиленовый шланг длиной $l = 2,95$ м и диаметром

$d = 0,016$ м, в выходном сечении которого крепились шайбы с диаметрами отверстий 16; 13,5; 10,5 и 6,5 мм.

При каждом диаметре отверстия в шайбе экспериментально определялись продолжительности опорожнения жидкости из трубопровода, которые были равны 1,2; 1,8; 2,4 и 5,6 с.

При соответствующих диаметрах отверстий по формуле (8) определялись расходы Q_0 при постоянных значениях $H_c = 2,95$ м и $\lambda = 0,023$ (639,9, 434,32, 311,9, 139,46) $см^3/с$. Эти значения Q_0 подставлялись в формулу (7), где значение $W = 590$ $см^3$ также было неизменным при всех диаметрах отверстий в шайбах.

Подставляя в (7) вместо T соответствующее значение T_2^* , определялось значение коэффициента β , которое в среднем принято равным 1,32.

Таким образом, при истечении жидкости из трубопровода в атмосферу через отверстие в тонкой стенке время его опорожнения рекомендуется определять по формуле

$$T = 1,32 \frac{W}{Q_0}. \quad (9)$$

Формула (9) одновременно учитывает влияние всех основных факторов, влияющих на продолжительность опорожнения жидкости из трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Արտոնազիր N 2651A. Ճնշումային ռոբոտիկայի ավտոմատացված համակարգ / Է. Աշիյանց, Ա. Մարգարյան, Վ. Թորմաջյան. - 2012:
2. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др. - М.: Машиностроение, 1981. -464 с.
3. Рафаэлян Р.М., Ащиянц Э.П., Мелконян А.С. Расчет параметров неустановившегося движения жидкости при заполнении и опорожнении водовода // Известия АН Армении. Сер. ТН. - 1992. - Т.45, № 2. - С. 50-55.
4. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в нагнетательных водоводах.- Ереван: Лимуш., 2010. – 210 с.
5. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1987. - 414 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике.- М.: Наука, 1967.- 608 с.

7. **Ащиянц Э.П., Токмаджян В.О.** Рекомендуемые зависимости для определения коэффициентов гидравлического трения в пластмассовых трубах малых диаметров // Известия Национального аграрного университета Армении. – 2013. - №4. - С. 87-91.
8. **Ухин Б.В.** Гидравлика.- М.: Форум, 2014. – 464 с.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиазарова. Материал поступил в редакцию 18.11.2019.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ՈՐՈՇ ԳՈՐԾՈՆՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄԸ ԶՐԻ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ԴՍՏԱՐԿՄԱՆ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔՈՒՄ

Դիտարկվում է հեղուկի շարժման բնութագիրը տարբեր թեքությամբ հատվածներ ունեցող մղման խողովակաշարում՝ դրա վերջին հատվածի դատարկման ընթացքում: Ստացված են պարզ վերլուծական հաշվարկային բանաձևեր, որոնցով որոշվում է այդ հատվածի դատարկման տևողությունը: Այն դեպքում, երբ հեղուկի արտահոսումը խողովակաշարից մթնոլորտ կատարվում է բարակ պատ ունեցող անցքի միջով, որի տրամագիծն ավելի փոքր է խողովակաշարի տրամագծից, առաջարկվում է բանաձև, որով որոշվում է ջրի խողովակի վերջին հատվածի դատարկման տևողությունը: Վերլուծական բանաձևերով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են համապատասխան փորձարարական տվյալների հետ:

Առանցքային բառեր. խողովակաշար, տարբեր թեքությամբ հատվածներ, հեղուկի դատարկում, արագություն, հիդրավլիկական դիմադրություններ:

E.P. ASHCİYANTS

CONSIDERING THE INFLUENCE OF SOME FACTORS AT CALCULATING THE TIME OF EMPTYING THE PIPELINE

The flow of liquid arising in the forcing pipeline with the sections of various inclinations in the emptying process of the last section is investigated. Simple calculation dependences are obtained by which the emptying duration of that section is determined. In the case when the emptying of the liquid from the pipeline into the atmosphere takes place through an opening in the thin wall, the diameter of which is smaller than that of the pipeline, a formula, defining the emptying time of the last section is recommended. The results of calculation by the obtained formulae are compared with the corresponding experimental data.

Keyword: pipeline, sections of different gradients, emptyng of liquid, hydraulic resistances, speed.