

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <http://resources.today>

2014, Том 1, №4 / 2014, Vol 1, No 4 <http://resources.today/issues/vol1-no4.html>

URL статьи: <http://resources.today/PDF/01RRO414.pdf>

DOI: 10.15862/01RRO414 (<http://dx.doi.org/10.15862/01RRO414>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н., Казаков А.С. К вопросу эффективности работы трубопроводов в быту и коммунальном хозяйстве // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 1, №4 (2014) <http://resources.today/PDF/01RRO414.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Suchilin V.A., Kochetkov A.S., Gubanov N.N., Kazakov A.S. [To question the efficiency of the pipelines in household and communal services] Russian journal of resources, conservation and recycling, 2014, Vol. 1, no. 4. Available at: <http://resources.today/PDF/01RRO414.pdf> (In Russ.)

УДК 628

Сучилин Владимир Алексеевич

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва
Профессор кафедры «Сервисного инжиниринга»
Доктор технических наук
E-mail: suchilinv@mail.ru

Кочетков Алексей Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва
Магистр
E-mail: Kochetkov@mail.ru

Губанов Николай Николаевич

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва
Магистр
E-mail: Gubanov@mail.ru

Казаков Артем Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва
Магистр
E-mail: Kazakov@mail.ru

К вопросу эффективности работы трубопроводов в быту и коммунальном хозяйстве

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностями снижения потерь в трубопроводах системы подачи воды и тепла в сфере бытового обслуживания и ЖКХ. Показаны причины снижения давления в трубах водоснабжения отопления, приведены расчетные формулы этих процессов. Дается алгоритм моделирования проблемных участков трубы на основе аналитических зависимостей в системе Mathcad. В бытовой службе и коммунальном хозяйстве много работ связано с разработкой и ремонтом водопроводных и отопительных сетей. Для обеспечения необходимой эффективности этой сферы деятельности приходится решать множество задач, связанных с оптимизацией проектных и производственных проблем. В частности, важно прогнозировать и выявлять причины снижения давления в трубопроводах, которые неизбежны в процессе их эксплуатации. Необходимо правильно оценивать исходные параметры надежности и долговечности, закладывать условия эксплуатации и ресурс как сети в целом, так и отдельных ее элементов. Показаны некоторые, часто встречающиеся задачи в практике обслуживания и разработки

трубопроводов в системе бытового обслуживания и коммунального хозяйства, способы моделирования проблемных участков их, что может безусловно способствовать более глубокому пониманию проблем в области повышению эффективности работы системы водоснабжения и энергосбережения отопительных сетей.

Ключевые слова: трубопровод; потери напора; моделирование участков труб; аналитические зависимости

Введение

В процессе проектирования трубопроводной сети важно правильно моделировать процесс движения потока жидкости по элементам трубопровода, что позволит снижать потери напора при эксплуатации. Известно, что потери напора связаны прежде всего с протяженностью трубопровода, которые отражают в том числе и качество исполнения внутреннего слоя трубы. Кроме этого существуют местные сопротивления в трубопроводе, которые также существенно влияют на потерю напора жидкости в трубе. К местным гидравлическим сопротивлениям относятся различные устройства и элементы, устанавливаемые на трубопроводах, в которых происходит нарушение нормального движения потока жидкости и возникновение вихреобразования. К подобным элементам и устройствам относятся фасонная и трубопроводная арматура: отводы (колена), переходники, тройники, крестовины, диафрагмы, сетки, запорные регулирующие вентили (краны), задвижки, затворы, предохранительные и регулирующие клапаны, всасывающие наконечники, устанавливаемые на входе в трубу насосов, и т.д.

Рассмотрим одно из наиболее часто встречающихся местных сопротивлений в трубопроводе - возможные варианты поворота трубы:

- поворот по дуге (а);
- поворот прямым углом - коленом (б).

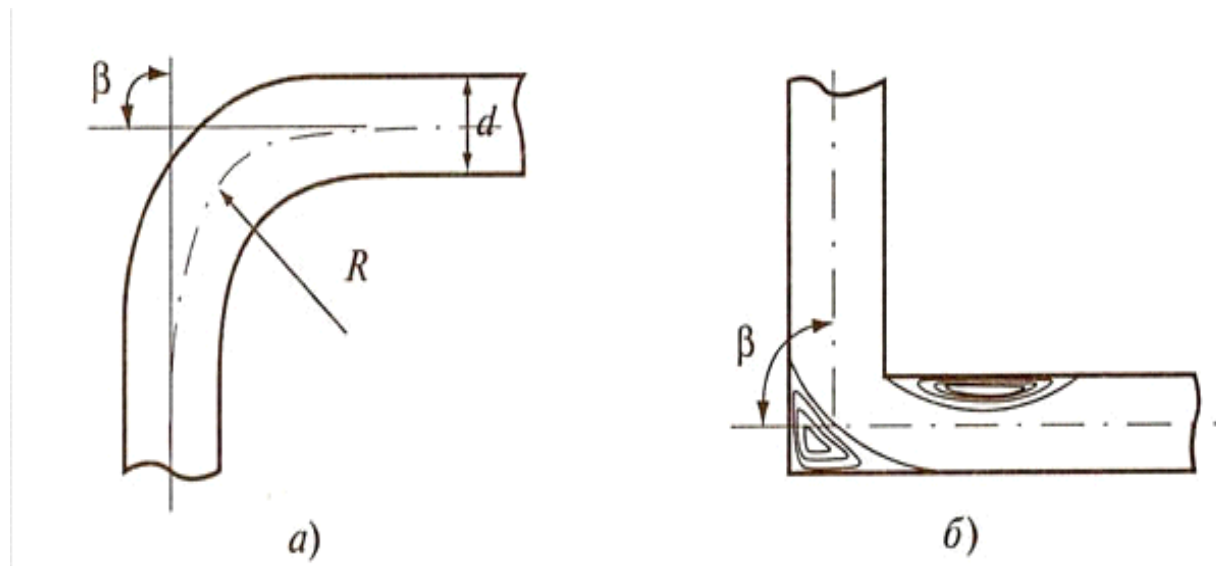


Рисунок 1. Виды местных сопротивлений в трубопроводах

Разберем сначала второй вариант (рис. 1, б), так как он вызывает большое гидравлическое сопротивление нежели с поворотом трубы по дуге. Данный вид местного сопротивления вызывает значительные потери энергии потока жидкости, т.к. в нем

происходят отрыв потока и вихреобразования, причем потери тем больше, чем больше угол β . Потерю напора в этом случае рассчитывают по формуле Вейсбаха [1, 2, 4]

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

где:

h - потеря напора здесь она измеряется в метрах;

ζ - коэффициент сопротивления, он определяется по дополнительным формулам, а для труб 30-50 мм данный коэффициент табулирован (табл-1);

V - скорость потока жидкости (м/с);

g - ускорение свободного падения равен 9,81 м/с²

Таблица 1

Значения коэффициента сопротивления ζ

| β° | 20° | 40° | 60° | 80° | 90° | 100° | 120° | 140° |
|---------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| ζ | 0,045 | 0,14 | 0,36 | 0,74 | 0,98 | 1,26 | 1,86 | 2,43 |

Видно, что при 90° коэффициент местного сопротивления приблизительно равен единице. Полученный коэффициент местного сопротивления вставляют в формулу (1) и получают потерю напора в метрах. На практике это незначительная величина, но если движение жидкости отмечается очень большими скоростями и количество таких местных сопротивлений исчисляется десятками, то следует учитывать общее сопротивление движению жидкости. Каждая потеря на местном сопротивлении, просто складывается к остальному числу, если они соединены последовательно.

По формуле (1) определяют местное сопротивление и в трубах на поворотах по дуге (рис. 1, а). Это могут быть и гнутые трубы определенного радиуса и под определенным углом. В связи с этим выше приведенная формула (1) справедливо при условии:

$$d \leq 2R \leq 5d$$

Плавность поворота значительно уменьшает интенсивность вихреобразования, а следовательно, и местное сопротивление на данном участке трубы по сравнению с участком в виде колена. Это уменьшение тем больше, чем больше относительный радиус кривизны участка R/d (рис. 1, а). Коэффициент сопротивления ζ зависит от отношения R/d , угла β , а также формы поперечного сечения трубы.

Для поворота трубы по дуге с круглым сечением при $\beta = 90$ и $R/d \geq 1$ и при турбулентном течении можно воспользоваться при определении местного сопротивления эмпирической формулой [4] или табулированными данными (табл. 2).

Таблица 2

Значение коэффициента сопротивления ζ для поворота по дуге на 90°

| d/R | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| ζ | 0,131 | 0,138 | 0,158 | 0,206 | 0,294 | 0,44 | 0,661 | 0,977 | 1,408 | 1,978 |

Полученный коэффициент местного сопротивления также вставляют в формулу (1) и получают потерю напора на местном сопротивлении. Если их много, то просто необходимо найти потерю напора на одном подомном местном сопротивлении и полученный ответ помножить на количество поворотов.

Движение жидкости на рис. 1 представлено как движение в плоскости с небольшим перепадом по высоте, та же методика оценки будет практически правомочна и для случая пространственного расположения участка трубопровода. К местным сопротивлениям можно отнести и сужения в трубопроводе. В этом случае потеря напора обусловлена трением потока при входе в более узкую трубу и потерями на вихреобразование, которые образуются в кольцевом пространстве вокруг суженной части потока (рис. 2).

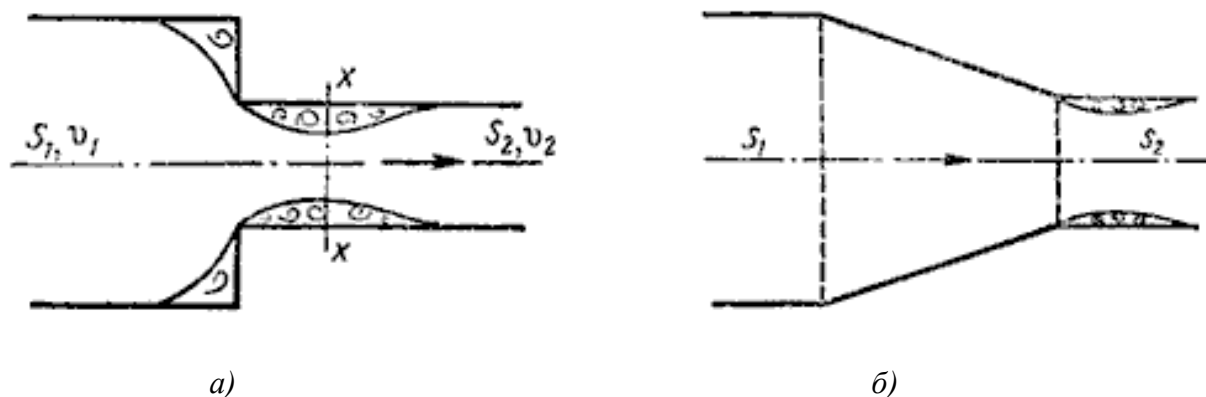


Рисунок 2. Сужение трубы: а-внезапные, б-постепенные

Полная потеря напора при внезапном сужении определится по формуле:

$$h_{суж} = \zeta_{суж} \frac{U_2^2}{2g}, \quad (2)$$

где коэффициент сопротивления сужения $\zeta_{суж}$ определяется по полуэмпирической формуле:

$$\zeta_{суж} = 0,5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1} \right) = 0,5 \left(1 - \frac{1}{n} \right), \quad (3)$$

в которой $n = S_1/S_2$ - степень сужения.

При постепенном сужении трубы местное сопротивление значительно ниже (рис. 2, б)

Плавное закругление сужения трубы дает дополнительное уменьшение потери напора при входе в трубу.

Потеря напора наблюдается и при внезапном расширении трубы, т.к. происходит расход энергии на вихреобразование с отрывом потока от стенок трубы (рис. 3).

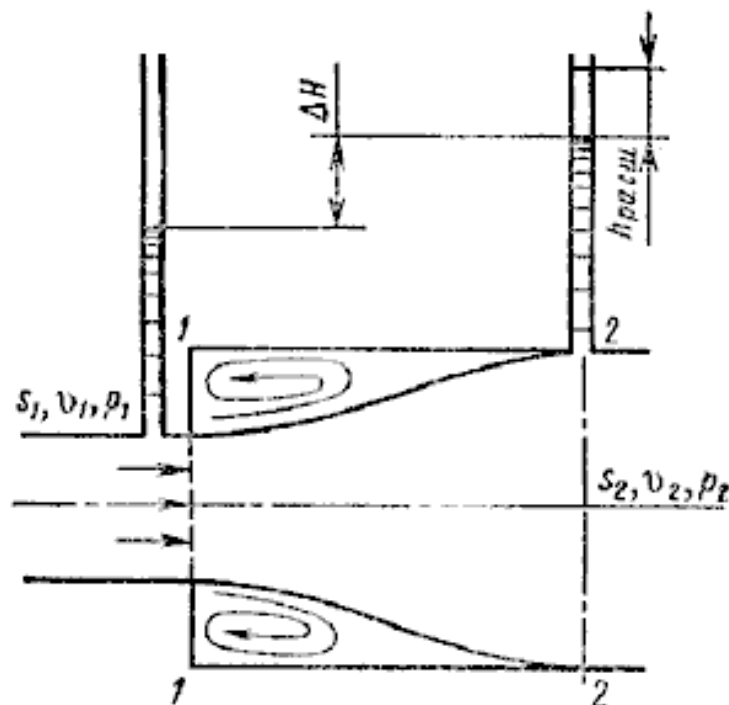


Рисунок 3. Внезапное расширение трубы

При внезапном расширении трубы (рис. 3) поток срывается с угла и расширяется не внезапно, как профиль трубы, а постепенно, причем в кольцевом пространстве между потоком и стенкой трубы образуются вихри, которые и являются причиной потерь энергии. Рассматривая сечения потока жидкости 1-1 и 2-2 в зоне расширения трубы, видно, что в сечении 2-2 он заполняет все сечение широкой трубы. Так как поток между рассматриваемыми сечениями расширяется, то скорость его уменьшается, а давление возрастает. Поэтому вторая измерительная трубка показывает высоту на ΔH большую, чем первая; но если бы потерь напора в данном месте не было, то вторая трубка измерительная показала бы высоту большую еще на $h_{расш}$. Эта высота и есть местная потеря напора на расширение, которая определяется по формуле [4]:

$$h_{расш} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}, \quad (4)$$

где S_1, S_2 - площадь поперечных сечений 1-1 и 2-2.

При постепенном расширении трубы сопротивление течению уменьшается. Однако так же, как и при внезапном расширении трубы, происходит отрыв основного потока от стенки и вихреобразование. Интенсивность этих явлений возрастает с увеличением угла расширения трубы α (рис. 4).

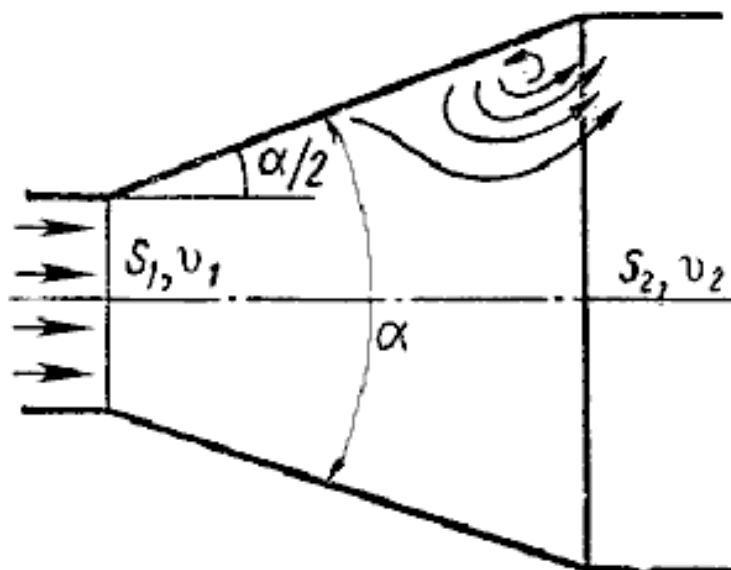


Рисунок 4. Постепенное расширение трубы

Надо также отметить, что на всех приведенных участках трубы имеются и обычные потери на трение, подобные тем, которые возникают в трубах постоянного сечения, что особенно важно при использовании труб в подземных коммуникациях [5, 6]. Поэтому полную потерю напора на отмеченных участках надо рассматривать как сумму двух слагаемых: из местного сопротивления и потери на трение.

Как отмечалось выше, повышение качества вновь создаваемых трубопроводных сетей во многом зависит от предварительного моделирования проблемных мест, в которых возможны большие потери энергии на прокачку жидкости. А в случае необходимости и проведение исследований гидродинамических процессов в них. В качестве примера рассмотрим ряд подобных элементов. При моделировании, например, колена трубы по дуге можно воспользоваться компьютерными возможностями, в частности программой в среде Mathcad. Моделируем элементы трубы на основе аналитических зависимостей [3]. Для этого составляют в трехмерной системе координат формулы(1) каркаса участка трубы. Меняя значения переменных u и v , а также параметров a и b , получают необходимую форму участка и его размеры. Аналитические зависимости дают возможность точно определять также поверхностную площадь участка и объем его. Параметрическая форма задания данной поверхности для моделирования в системе Mathcad имеет вид:

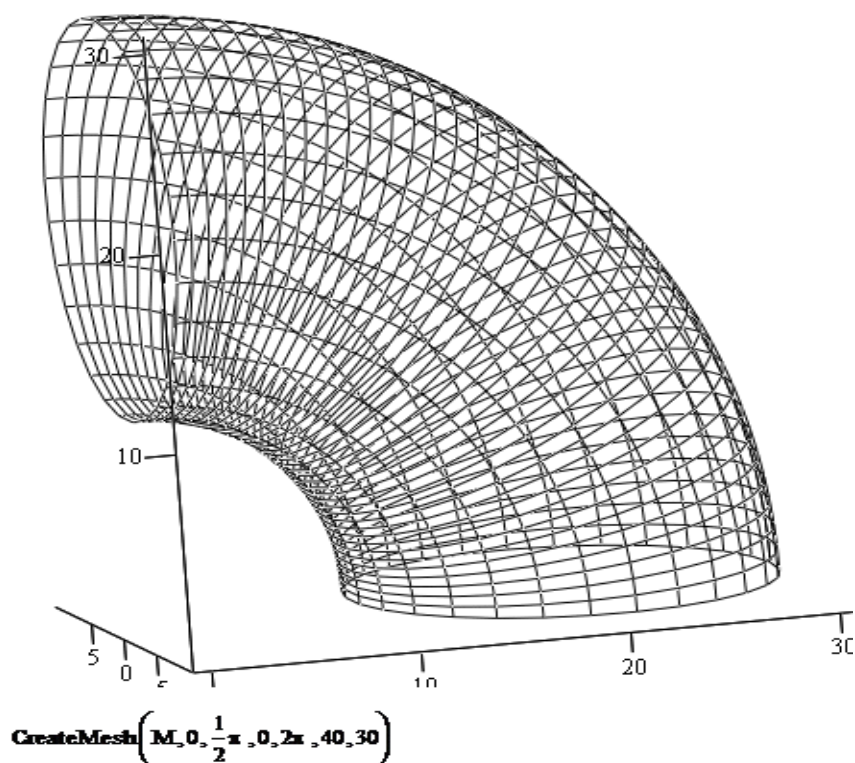
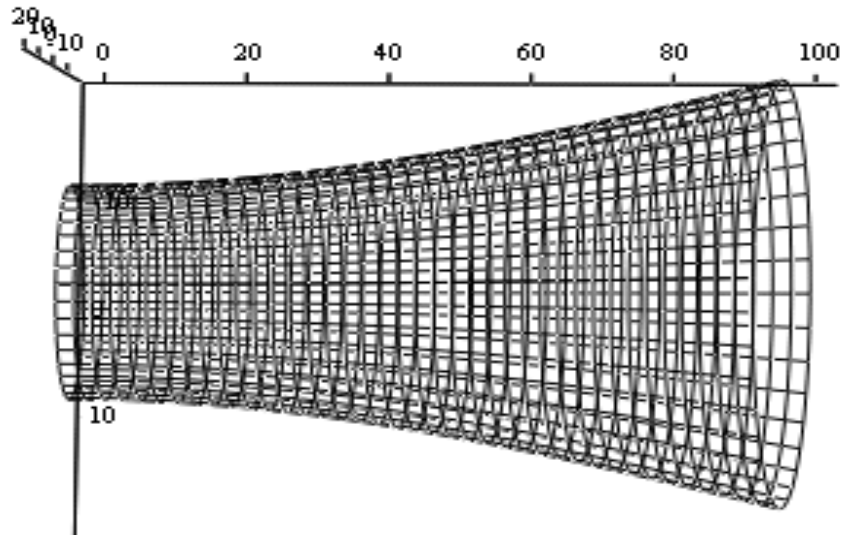


Рисунок 5. Моделирование дугового колена трубы по аналитическим зависимостям

$$M(u, v) = \begin{bmatrix} (a + b \cdot \cos(v)) \cdot \cos(u) \\ (a + b \cdot \cos(v)) \cdot \sin(u) \\ b \cdot \sin(v) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M(\alpha, \beta) = \begin{bmatrix} \left[\left[(R_2 - R_1) \cdot \left(\sin\left(\alpha \cdot \frac{\alpha}{4b}\right) \right)^2 + R_1 \right] \cdot \cos(\beta) \right. \\ \left. \left[\left[(R_2 - R_1) \cdot \left(\sin\left(\alpha \cdot \frac{\alpha}{4b}\right) \right)^2 + R_1 \right] \cdot \sin(\beta) \right] \right. \\ \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

Таким же способом, т.е. по аналитическим зависимостям (2) строится модель плавного расширения-сужения участка трубы, обеспечивающего наилучшее (гармоническое) течение жидкости (рис. 6).



CreateMesh(M, 0, 100, 0, 2π, 40, 40)

Рисунок 6. Моделирование участка расширение-сужение трубы по аналитическим зависимостям

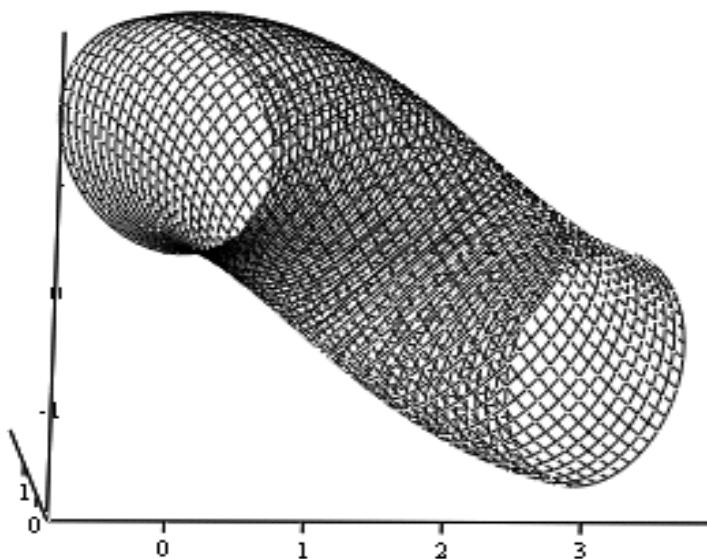
Та же процедура проводится и для участка трубы, где поворот осуществляется не в плоскости, а в пространстве. Аналитические зависимости каркаса участка трубы будут иметь вид (3). Подобные участки в трубопроводной сети встречаются часто. Тут дополнительно проведен расчет площади участка. Весь алгоритм не показан, так как это дается в разделах вузовского учебника по высшей математики. Зная площадь участка трубы дополнительно можно рассчитать необходимые расходы на изоляционные материалы и покраску.

$$M(u, v) = \begin{bmatrix} a \cos(u) - (1 - \cos(v)) + \frac{ab \sin(u) \sin(v)}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ a \sin(u) - (1 - \cos(v)) - \frac{ab \cos(u) \sin(v)}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ b - u + a^2 \frac{\sin(v)}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$S = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} [b^2 - a^2 (\cos(v) - 1)] du dv \rightarrow 2\pi^2 a \sqrt{a^2 + b^2} \rightarrow$$

$$a = 1 \quad b = 1$$

$$2x^2 - a\sqrt{a^2 + b^2} \rightarrow 2\sqrt{2-x^2}$$



CreateMesh(M, 0, x, 0, 2x, 50, 50)

Рисунок 7. Моделирование дугового пространственного колена трубы по аналитическим зависимостям

Заключение

В практике обслуживания и разработки трубопроводов в системе бытового обслуживания и коммунального хозяйства часто используется моделирование проблемных участков [7], что способствует более глубокому пониманию проблем в области повышению эффективности работы системы водоснабжения и энергосбережения отопительных сетей. Данные проблемы остро возникают при монтажных работах тепловых водных полов, когда оптимальным считается прокладка труб по спирали, т.е. практически без переходных колен, или подключения тепловых насосов в сфере ЖКХ и частном секторе. Эти задачи необходимо учитывать также и в системе автосервиса, где, например, отмечается большой расход воды и при достаточно высоком напоре ее на операциях мойки машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.О. Ботук. Гидравлика. Москва, «Высшая школа», 1962.
2. Н.Н. Кременецкий и др. Гидравлика. Москва, «Энергия», 1973.
3. С.Н. Кривошапко и др. Аналитические поверхности. Наука. Москва, 2006.
4. www.techgidravlika.ru
5. Губанов, Н.Н., Иванов, В.А. Методика пластики рельефа в территориальном планировании подземных коммуникаций // Сервис в России и за рубежом. – 2011. – №8 (27). [http://rguts.ru/reg_numbers8\(27\)](http://rguts.ru/reg_numbers8(27)) (дата обращения: 07.03.2014).
6. Губанов Н.Н., Иванов В.А., Крымская Е.Я., Есипов В.Е. Влияние внешних факторов на долговечность инженерных подземных коммуникаций // Сервис в России и за рубежом. №1 (39) 2013. С. 59-69 (дата обращения: 07.03.2014).
7. Иванов, В.А., Комаров, Н.М., Крымская, Е.Я., Панова, М.В. Водные ресурсы России, модели метода их сохранения и вызовы проекта. [Электронный ресурс]: <http://publ.naukovedenie.ru> Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» №6 (19). Выпуск 6, ноябрь – декабрь 2013 (дата обращения: 05.03.2014).

Suchilin Vladimir Alekseevich

Russian State University of Tourism and Service, Russia, Moscow
E-mail: suchilinv@mail.ru

Kochetkov Aleksej Sergeevich

Russian State University of Tourism and Service, Russia, Moscow
E-mail: Kochetkov@mail.ru

Gubanov Nikolaj Nikolaevich

Russian State University of Tourism and Service, Russia, Moscow
E-mail: Gubanov@mail.ru

Kazakov Artem Sergeevich

Russian State University of Tourism and Service, Russia, Moscow
E-mail: Kazakov@mail.ru

To question the efficiency of the pipelines in household and communal services

Abstract. The article discusses issues related to the opportunities to reduce losses in the piping system of water and heat in the domestic sector and housing. The reasons for reducing the pressure in the water pipes of heating systems, calculation formula for these processes. Given an algorithm for modeling the problem areas of the pipe on the basis of the analytical dependencies in the system Mathcad. In domestic service and utilities many works related to the development and repair of water supply systems and heating networks. To ensure the necessary efficiency in this type of activity is necessary to solve many problems associated with optimization of design and production problems. In particular, it is important to predict and identify the causes of pressure drop in pipelines, which are inevitable in the course of their operation. It is necessary to estimate correctly the source parameters of reliability and durability, to lay the conditions and resources of our network in General and its separate elements. Shows some common challenges in the practice of maintenance and development of the pipelines system of household maintenance and utilities, methods of modeling their problem areas that may certainly contribute to a deeper understanding of the problems in the area of improving the efficiency of water supply systems and energy saving heating networks.

Keywords: pipeline; pressure loss; simulation of tube parts; analytical dependences

REFERENCES

1. B.O. Botuk. Gidravlika. Moskva, «Vysshaja shkola», 1962.
2. N.N. Kremeneckij i dr. Gidravlika. Moskva, «Jenergija», 1973.
3. S.N. Krivoshapko i dr. Analiticheskie poverhnosti. Nauka. Moskva, 2006.
4. www.techgidravlika.ru
5. Gubanov, N.N., Ivanov, V.A. Metodika plastiki rel'efa v territorial'nom planirovanii podzemnyh kommunikacij // Servis v Rossii i za rubezhom. – 2011. – №8 (27). [http://rguts.ru/reg_numbers8\(27\)](http://rguts.ru/reg_numbers8(27)) (data obrashhenija: 07.03.2014).
6. Gubanov N.N., Ivanov V.A., Krymskaja E.Ja., Esipov V.E. Vlijanie vneshnih faktorov na dolgovechnost' inzhenernyh podzemnyh kommunikacij // Servis v Rossii i za rubezhom. №1 (39) 2013. S. 59-69 (data obrashhenija: 07.03.2014).
7. Ivanov, V.A., Komarov, N.M., Krymskaja, E.Ja., Panova, M.V. Vodnye resursy Rossii, modeli metoda ih sohraneniya i vyzovy proekta. [Jelektronnyj resurs]: <http://publ.naukovedenie.ru> Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» №6 (19). Vypusk 6, nojabr' – dekabr' 2013 (data obrashhenija: 05.03.2014).