

**О. А. Аширова, А. Т. Салохиддинов**

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

## **МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО ПОИСКА СКРЫТЫХ МЕСТ УТЕЧЕК ВОДЫ В ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ**

В статье приведены результаты исследований по разработке метода поиска зон подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения. Целью исследований являлась разработка метода эффективного поиска скрытых мест утечек воды в подземных трубопроводах. Предлагаемый метод базируется на экстраполяции серий измеренных пьезометрических напоров при нескольких различающихся напорах воды на входе в трубопровод. Для обоснования метода поиска зоны возможного повреждения трубопровода использовалась разработанная авторами математическая модель. Модель в полном объеме учитывает эксплуатационные характеристики трубопроводов: напор и расход воды, степень изношенности водовода, геодезическое положение точек забора воды. Математическая модель, подтвержденная ранее десятками независимых экспериментов, позволила заменить дорогостоящие гидравлические эксперименты и доказала возможность использования разработанного метода поиска скрытых повреждений водоводов методом экстраполяции измеренных пьезометрических напоров. Предлагаемый программный комплекс для расчета зоны подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения позволяет определить скрытые зоны повреждения трубопровода на основе решения гидравлической задачи для линейного трубопровода и для исследования гидравлических процессов. Созданная оптимизационная модель, работающая в режиме симуляций, может быть использована как достоверный аналог физического гидравлического стенда при гидравлических исследованиях.

Ключевые слова: модель, трубопровод, система, водоотбор, скрытые зоны, утечка, вода, напор.

**O. A. Ashirova, A. T. Salokhiddinov**

Tashkent Institute of Irrigation and Melioration, Tashkent, Republic of Uzbekistan

## **EFFECTIVE HIDDEN WATER LEAKS DETECTING METHOD IN UNDERGROUND PIPELINES**

The research results on development of a detecting method of pipeline underground damage zones in water supply systems are given. The aim of research was to develop an effective hidden water leaks detecting method in underground pipelines. The proposed method is based on extrapolating the series of measured piezometric heads at several different water heads at the pipeline inlet. The developed mathematical model to substantiate the detecting method of possible pipeline damage zone was used. The model takes into account the operational characteristics of pipelines to the full extend: head and water flow, the degree of deterioration of water conduit, the geodetic position of water intake points. The mathematical model, confirmed earlier by dozens of independent experiments, made it possible to replace expensive hydraulic experiments and prove the possibility of using the developed method of detecting hidden damages of water conduits by extrapolating the measured piezometric forces. The proposed software system for calculating the underground pipeline damage zone in water supply systems makes it possible to determine the pipeline damage hidden zones based on solving the hydraulic problem for a linear pipeline and for studying hydraulic processes. The

created optimization model, operating in the simulation mode, can be used as a proved analogue of a physical hydraulic stand in hydraulic studies.

Key words: model, pipeline, system, water withdrawal, hidden zones, leakage, water, pressure.

**Введение.** Вода в зонах с аридным климатом, к которым относится бассейн Аральского моря, является фундаментальным ресурсом для жизнеобеспечения человека и общества, производственно-хозяйственной деятельности и развития экономики государства. Об этом наглядно свидетельствует практический опыт использования водных ресурсов в Центрально-Азиатском регионе за последние 40–45 лет, показывающий, что население низовьев Сырдарьи и Амударьи чаще страдает от недостатка воды и его социально-экономических последствий [1].

На сегодняшний день водопроводные сети во многих населенных пунктах находятся в изношенном состоянии. Анализ состояния этих сетей в городах и поселках показывает, что их средний износ составляет до 42 % [2]. Возникновение в стенках трубопроводов сквозных отверстий приводит к большим потерям транспортируемой воды, к примеру, только через отверстие диаметром 3 мм при давлении воды в трубопроводе 5 кг/см<sup>2</sup> теряется более 13 м<sup>3</sup> воды в сутки. Снижение потерь от утечек является важнейшим мероприятием для обеспечения населения чистой водой. Быстрое обнаружение и соответственно быстрая ликвидация утечки – это дополнительная вода, доставленная людям.

Были проведены исследования по обоснованию нового метода определения зоны подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения. Данный метод основан на принципиальной разнице между контролируемом отбором воды потребителями воды и не контролируемом истечении воды через повреждения трубопроводов. В первом случае потребители используют воду как некоторый полезный и часто платный ресурс и потому этот отбор воды из трубопровода чаще всего слабо зависит от напора в трубе. При неконтролируемом истечении воды должна прослеживаться связь

между напором воды в трубе и скоростью ее истечения через повреждение трубопровода.

Вместо сложного исследования на физических моделях был предложен метод аналитического решения, базирующийся на простейших уравнения гидравлики и решения этой же задачи с помощью оптимационной модели разработанной авторами, но решаемой в режиме имитации (все параметры трубопровода фиксированы и заданы). Время работы этой оптимационной модели в режиме имитации составляет от нескольких секунд до нескольких минут. Программа написана на языке GAMS [3, 4].

Целью исследований является разработка метода эффективного поиска скрытых мест утечек воды по характеру падения давления в подземных трубопроводах.

**Материалы и методы.** В настоящее время существует множество различных методов поиска утечек.

*Гидравлические методы:* визуальный контроль уровня воды в гидрантах при закрытии участка сети; анализ потерь воды (обнаружение и определение величины утечки на наружной сети города и внутренних сетях зданий) с помощью лаборатории фирмы «Себа Динатроник». Существенным недостатком в данном случае является необходимость отключения участков сети, что делает эти методы неоперативными и трудоемкими. В частности, при пропусках арматуры требуется установка рассечек на трубопроводах [5–8]. То есть для использования данного метода требуется нарушение целостности трубопроводов, за счет организации специальных окон в трубопроводе для контроля и в случае использования армированных бетонных труб делать разрывы в арматуре нарушая прочностные характеристики трубопроводов.

*Акустические методы:* акустический; корреляционно-акустический; обнаружение утечки с помощью проталкиваемого микрофона СОК А-10; применение регистраторов шумов утечки (системы мониторинга водопро-

водной сети). Основным недостатком акустического метода является обнаружение всех шумов, а отличить шум утечки от постороннего шума иногда бывает сложно [5–8].

*Прочие методы:* обнаружение места повреждения трубопровода с помощью приборов телевизионной диагностики – робототехнических комплексов или промышленных эндоскопов (при снятии давления воды); обследование водопроводных сетей на предмет утечек с применением газа – индикатора (гелия, смеси водорода и азота); мониторинг сети с помощью систем Seatalog и Zonescan [5–8].

Все перечисленные методы позволяют находить скрытую утечку и зоны подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения. Однако методы, позволяющие точно и эффективно определить потери воды на широком участке сети без его отключения, разработаны недостаточно.

В предлагаемом методе обнаружения зоны утечки из трубопровода используется главное отличие неконтролируемой человеком утечки от контролируемого человеком водоотбора из системы водоснабжения. У не контролируемой человеком утечки расход пропорционален напору воды в системе. Контролируемый человеком забор воды определяется его нуждами, и это не расход, а объем воды. Это отличие использовано для определения зоны утечки, которая может находиться вне зоны зрительного контроля.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим систему уравнений, отражающую изменения гидравлических характеристик на участке трубы длиной  $L$ .

$$\frac{dH(x)}{dx} = -F\{d_0, Q(x)\}, \quad (1)$$

$$\frac{dQ(x)}{dx} = -Q_u(x) - B(x) \cdot L_u, \quad (2)$$

$$H(x) = H_0 \text{ при } x=0,$$

где  $H(x)$  – напор, м;

$x$  – горизонтальная координата, м;

$d_0$  – диаметр трубопровода, м;

$Q(x)$  – расход воды в данной точке трубопровода, м<sup>3</sup>/с;

$F\{d_0, Q(x)\}$  – эмпирические функции, найденные в результате исследований ученых гидравликов, м<sup>3</sup>/с;

$Q_u(x)$  – известный забор потребителями воды, м<sup>3</sup>/с;

$L_u$  – потери воды из повреждения в трубе, м<sup>3</sup>/с;

$B(x)$  – безразмерная функция равная нулю по всей трубе, за исключением небольшой зоны, в которой имеется утечка из трубы. В зоне утечки из трубы данная функция равна единице.

Несмотря на то, что функция  $F\{d_0, Q(x)\}$  является нелинейной, можно предложить ее линейную аппроксимацию для нашей задачи [9]:

$$\frac{dH(x)}{dx} = -A(d_0) \cdot Q(x). \quad (3)$$

Продифференцируем ее повторно по оси  $x$ :

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} = -A(d_0) \cdot \frac{dQ(x)}{dx}. \quad (4)$$

Подставив записанную выше формулу баланса воды (2) в уравнение (4), получим:

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} = A(d_0) \cdot \left\{ Q_u(x) + \frac{B(x)}{A(d_0)} \cdot L_u \right\}. \quad (5)$$

Чем же отличается управляемый полезный водозабор потребителем воды от неконтролируемой утечки через повреждение в трубе? Потребитель определяет водозабор объемом воды, который ему необходим. Утечка через повреждение в трубе бесконтрольна по объему и пропорциональна давлению воды в трубопроводе. Окружающий трубу грунт может формировать преграду потоку утечки, но не меняет принцип. То есть:

$$L_u = k \cdot H(x), \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от величины повреждения целостности трубы.

Тогда:

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} = A(d_0) \cdot \left\{ Q_u(x) + \frac{B(x)}{A(d_0)} \cdot k \cdot H(x) \right\} \quad (7)$$

или

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} = B(x) \cdot k \cdot H(x) + A(d_0) \cdot Q_u(x). \quad (8)$$

Достаточно сложно решить данное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка при произвольной функции  $Q_u(x)$ .

Вполне возможно, что путем непростой эвристической аппроксимации функции  $Q_u(x)$  можно будет получить такой вид данного уравнения, который будет решен аналитически. Но и в этом нет необходимости. Нам требуется определить место расположения утечки, а не функцию падения напора в трубопроводе.

Предположим, что участок с утечкой намного короче исследуемого трубопровода.

$$U \ll L, \quad (9)$$

где  $L$  – длина исследуемого участка трубы, м;

$U$  – участок утечки из трубы, м.

Пусть утечка располагается в точке  $L_u$ . Трубопровод имеет длину  $L$ .

Начало трубопровода расположим в нуле координаты  $x$ .

Найдем решение уравнения на участках  $\{0\} \longleftrightarrow \{L_u\}$  и  $\{(L_u + U)\} \longleftrightarrow \{L\}$ .

Главное, что вид решаемого уравнения изменится:

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} = A(d_0) \cdot Q_u(x). \quad (10)$$

Именно потому, что только на участке утечки величина  $B(x)$  равна

единице. В других местах  $B(x)=0$ .

В общем случае решение выглядит следующим образом:

$$H(x) = \int \int A(d_0) \cdot Q_u(x) dx + C_1 \cdot x + C_2, \quad (11)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – константы интегрирования, которые могут быть найдены из граничных условий.

В самом общем случае, соответствующем практике, решение будет представлять вогнутую линию.

Если рассматривать участок трубы, в котором транзитный расход значительно меньше водоотбора потребителей, или выбрано время суток, когда водоотбор потребителями мал или потребители воды в момент исследования временно и значительно сократили водоотбор, то решение для участков  $\{0\} \leftarrow \rightarrow \{L_u\}$  и  $\{(L_u+U)\} \leftarrow \rightarrow \{L\}$  будет выглядеть в виде линейного уравнения:

$$H(x) = C_1 \cdot x + C_2. \quad (12)$$

Предположим, что на участке потерь отсутствует водоотбор или он значительно меньше неконтролируемых потерь. Чем больше расход, тем больше падение напора, значит величина  $C_1$  – отрицательна, а величина  $C_2$  равна напору на входе в исследуемый участок. На участке после зоны утечки величина  $C_1$  также отрицательна, а величина  $C_2$  определяется равенством:

$$C_1 \cdot x + C_2 = H_e(x)|_{x=L}, \quad (13)$$

где  $H_e(x)|_{x=L}$  – напор в конце исследуемого участка трубы.

Главное, что коэффициент  $C_1$  в начале исследуемого участка будет гарантированно меньше коэффициента  $C_1$  в конце исследуемого участка. Докажем это.

Решим уравнение для участка, связанного с утечкой из трубопровода. Предположим, что в зоне утечки отсутствует регулируемый водозабор

от реального потребителя. Это вполне допустимо и является следствием ранее принятого предположения о точечном характере зоны утечки воды из трубопровода. Тогда из уравнения (8) получим:

$$\frac{d^2H(x)}{(dx)^2} - k \cdot H(x) = 0, \quad (14)$$

так как  $B(x)=1$  на всем участке  $U$ .

Характеристическое уравнение для выражения (14) выглядит следующим образом:

$$Y^2 = k, \quad k > 0. \quad (15)$$

Характеристическое уравнение (15) имеет два действительных корня:

$$\lambda_{1,2} = +\sqrt{k}, -\sqrt{k}. \quad (16)$$

Тогда решение уравнения на участке  $U$  примет вид:

$$H(x) = C_3 \cdot e^{-\sqrt{k}x} + C_4 \cdot e^{\sqrt{k}x}. \quad (17)$$

Так как поведение функции  $H(x)$  при учете корня  $+\sqrt{k}$  не соответствует физике процесса, то данный корень уравнения не должен рассматриваться, значит  $C_4 = 0$ .

Воспользуемся свойством функции  $e^{-\sqrt{k}x}$ . Производная от данной функции всегда отрицательная и, кроме того, уменьшается и по абсолютному значению. Это означает, что правая точка функции всегда обладает меньшей величиной, чем ее точка, расположенная левее. Следовательно, в зоне утечки воды из трубопровода будет наблюдаться скачкообразное падение напора по экспоненте. Все три решения уравнения (8) должны представлять одну линию на графике  $H(x)$  – абсцисса,  $x$  – ордината. На линии будет существовать два разрыва первого рода (разрыв первого рода – значения функций слева и справа от разрыва равны, а производные – нет).

По-другому быть не может, поскольку давление внутри трубопровода – непрерывная функция, какой бы незначительной не являлась зона  $U$ . До и после утечки решение представляет собой слабо искривленные линии

(небольшой регулируемый водоотбор) или в случае временного прекращения регулируемого водоотбора – прямые линии. И они обязательно пересекутся в зоне неконтролируемой утечки воды.

Следовательно, зону утечки легко определить, если построить прямую линию в начале трубопровода под наклоном, который соответствует решению или замерам, и линию в конце исследуемого участка трубопровода под наклоном, который также соответствует решению или замерам, но в начале участка. Точка пересечения будет являться точкой, где происходят неконтролируемые человеком, но пропорциональные напору потери воды.

Чем больше разница в наклонах линий, тем точнее определена точка потерь воды.

Наклоны линий целиком определяются кривизной функции решения на участке потерь воды и как результат сопряжения всех трех решений.

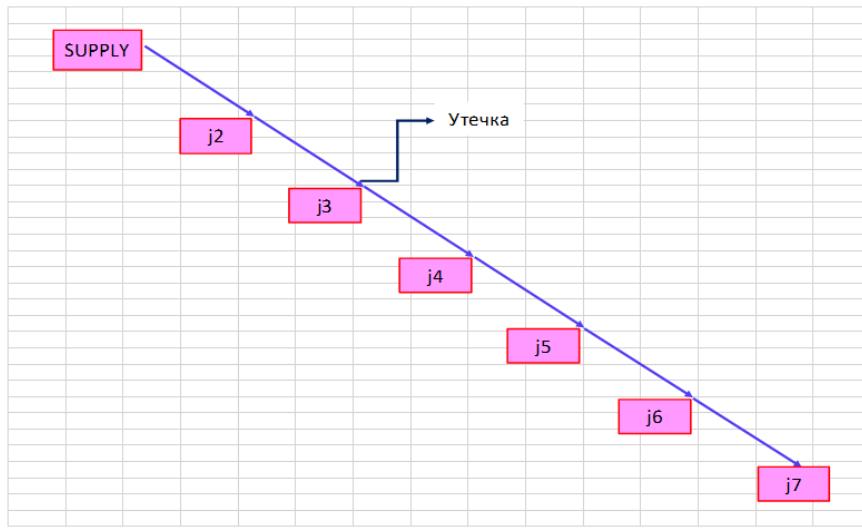
Если линии будут идти параллельно или почти параллельно, то потеря на изучаемом участке трубопровода нет. В идеале – при отсутствии утечек и водозаборов – прямые линии должны совпадать.

В рамках данного научного исследования создана и алгоритмизирована гидравлическая модель, адекватно отражающая реальные гидравлические процессы в трубопроводах. Адекватность и репрезентативность модели проверена на многочисленных сравнениях с реальными гидравлическими системами и результатами расчетов по другим математическим моделям и системам. Режим работы модели для исследований, проведенных для обоснования метода определения зоны утечки воды – имитация (заданы длины трубопроводов и их диаметры). Режим оптимизации в модели не применялся и оптимального выбора диаметров не производилось, хотя такая возможность предусмотрена в модели [4] и соответствующие численные эксперименты и сравнения доказали правильность модели во всех возможных режимах ее эксплуатации.

Однако для проведения численного эксперимента в модель поиска

оптимальных параметров сети водоснабжения, разработанную авторами данной статьи, необходимо добавить уравнение, связывающее водоотбор в какой-либо заранее известной точке (определенное место утечки) не с требованиями на воду, как в базовой модели [10], а определить водоотбор, пропорциональный напору воды в данной точке.

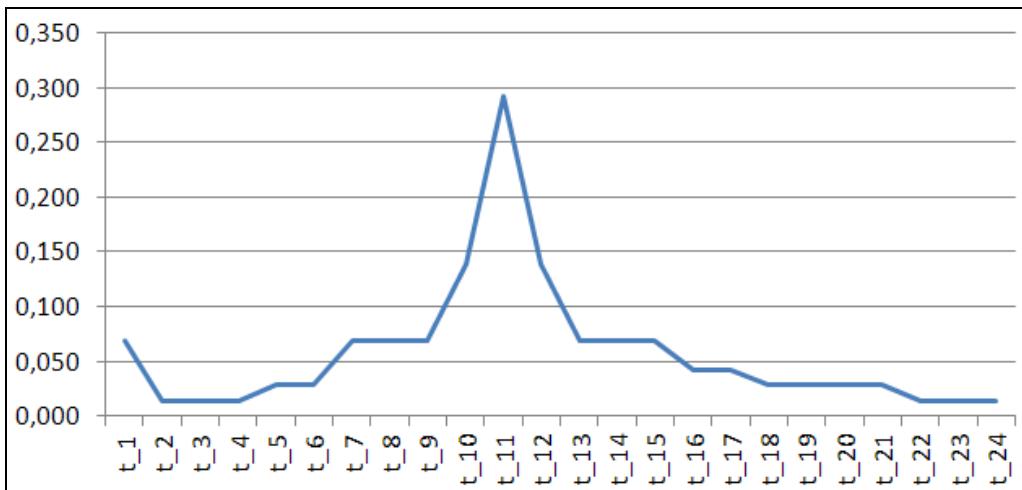
Возьмем участок трубопровода длиной 6 км с одинаковым условным диаметром и расположим зону утечки на расстоянии 2 км от начала участка (рисунок 1). Точка выбрана произвольно, и наша задача поиску данной точки будет выполнена, если нам удастся ее определить, исходя из анализа полученного решения.



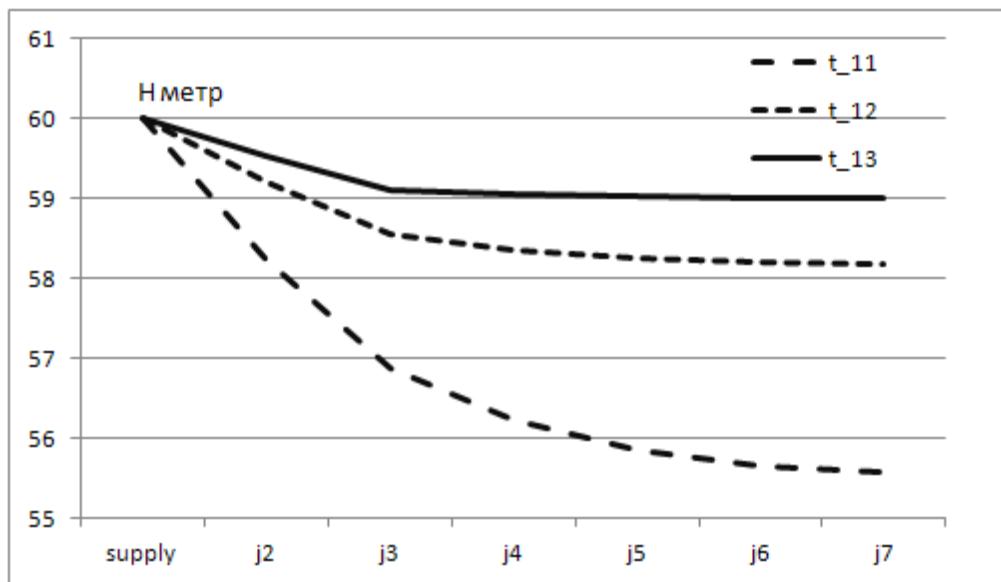
**Рисунок 1 – Схема участка с организованной утечкой в узле «j3»  
(расстояние между узлами 1 км)**

Допустим, на данном прямолинейном участке сети длиной 6 км имеются водопотребители с заданным режимом водопотребления (рисунок 2).

На рисунке 3 отображено решение, полученное разработанной оптимационной моделью в режиме симуляции [10]. Хорошо просматривается точка пересечения линий, характеризующих падение напора в начале и конце исследуемого участка. На одиннадцатом часу (максимальный регулируемый водоотбор) прослеживается вогнутость линий падения напора, как это и было предсказано теорией, изложенной выше.



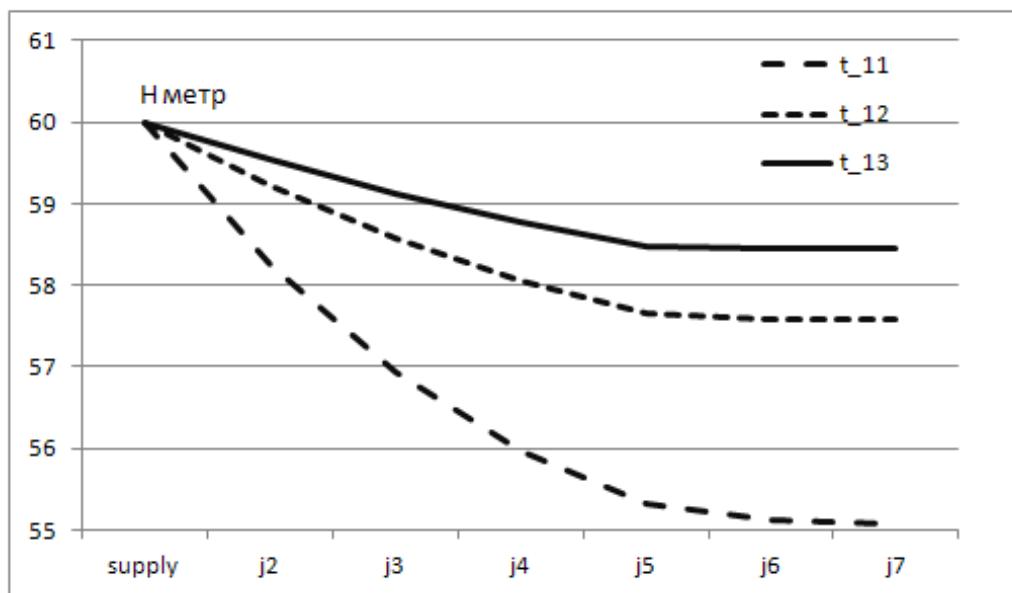
**Рисунок 2 – Водоотбор из всех шести узлов изучаемого участка для каждого часа суток, л/с**



**Рисунок 3 – Падение напора по длине участка трубы для трех разных часов в течение суток (утечка в точке «j3»)**

На рисунке 3 легко прослеживается излом линий решения в районе узла «j3». Именно так же должны повести себя серии реальных замеров, сделанных в начале и конце участка сети водоснабжения. Экстраполяции пьезометрических уклонов в начале и конце участка сети также должны пересечься в точке «j3». Модель показывает то, что покажут и реальные измерения на реальной сети, так как адекватность и точность построенной авторами и опубликованной модели проверялась в десятках независимых исследований и экспериментов [10].

Если бы утечка в нашей задаче находилась в точке «j5», то кривые потерь напора располагались по-другому, и пересечение веток решения справа и слева от точки утечки находилось бы в точке «j5» (рисунок 4). Численный эксперимент также подтвердил данное предположение.



**Рисунок 4 – Падение напора по длине участка трубы для трех разных часов в течение суток (утечка в точке «j5»)**

Главным преимуществом данного метода являются простота и точность, с которой можно измерять давление в изучаемом трубопроводе. Манометр необходимо подсоединить к водоотводу для каких-либо двух потребителей в конце и начале исследуемого участка трубопровода. С помощью нивелира следует точно определить высоту расположения манометров при замерах и расстояние между ними по длине трубопровода. Точность может достигать нескольких сантиметров и миллиметров. В рамках данного исследования разработка методики определения утечки из трубопроводов не предполагалась. Однако вполне очевидно, что ее можно определить таким образом: в случае если утечка отсутствует, а вместо нее произошло повреждение трубопровода с возникновением местных потерь (заливание; коррозия, сузившая живое сечение трубопровода; сдавление трубопровода), линии потерь напора, экстраполированные от начала

и с конца трубопроводов, будут почти параллельны, на практике и в теории просто не пересекаются.

### **Выводы.**

1 Разработанный новый программный комплекс для расчета зоны подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения позволяет определить скрытые зоны повреждения трубопровода на основе решения гидравлической задачи для линейного трубопровода и применения комплекса программ для исследования гидравлических процессов.

2 При использовании данного метода отпадает необходимость в дорогостоящих, имитирующих ситуацию физических моделях.

3 Созданная оптимизационная модель, работающая в режиме симуляций, может быть использована как достоверный аналог физического гидравлического стенда при гидравлических исследованиях.

### **Список использованных источников**

1 Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан (2008–2011 гг.). – Ташкент, 2013. – 254 с.

2 Совершенствование городского управления и инфраструктуры городов в Узбекистане: проблемы и поиск новых механизмов и инструментов: аналитический доклад. – Ташкент: Центр экономических исследований, 2011. – 103 с.

3 Rosenthal, R. E. GAMS – A User’s Guide / R. E. Rosenthal. – Washington: Development Corporation, 2012. – 316 p.

4 Программа расчета определения зоны подземного повреждения трубопровода в системах водоснабжения / О. А. Аширова, А. Г. Савицкий, А. Т. Салохиддинов. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № DGU 03705. – Ташкент, 2016.

5 Обнаружение скрытых утечек с использованием системы мониторинга водопроводной сети / А. Б. Косыгин, В. Н. Ханин, К. И. Государев, И. В. Фомина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 4. – С. 22–26.

6 Мониторинг скрытых утечек на водопроводной сети [Электронный ресурс] / А. Б. Косыгин, В. Н. Ханин, К. И. Государев, И. В. Фомина // Доклад, представленный на междунар. конф. «NO-DIG – 2010» / Центр технической диагностики «Мосводоканал». – Режим доступа: <http://трубопровод.рф/статьи/все/2013/11/1/мо-мониторинг-скрытых-утечек-на-водопроводной-сети/>, 2010.

7 Тимошкин, А. С. Приборы для определения состояния и мест повреждений трубопроводов тепловых сетей / А. С. Тимошкин // Новости теплоснабжения. – 2001. – № 2(06). – С. 29–31.

8 Кублановский, Л. Б. Определение мест повреждений напорных трубопроводов / Л. Б. Кублановский. – М.: Недра, 1971. – 136 с.

9 Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление. В 2 т. / Н. С. Пискунов. – М.: Физматлит, 1972. – Т. 2. – 575 с.

10 Салохиддинов, А. Т. Математическая модель расчета водопроводной сети с возможностью оптимизации ее элементов / А. Г. Савицкий, О. А. Аширова // Ирригация и мелиорация. – 2015. – № 1. – С. 42–47.

## References

- 1 *Natsionalnyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy i ispolzovanii prirodnnykh resursov v Respublike Uzbekistan* [National report on the state of environment and the use of natural resources in the Republic of Uzbekistan (2008–2011)]. Tashkent, 2013, 254 p. (In Russian).
- 2 *Sovershenstvovaniye gorodskogo upravleniya i infrastruktury gorodov v Uzbekistane: problemy i poisk novykh mekhanizmov i instrumentov: analiticheskiy doklad* [Improving urban governance and urban infrastructure in Uzbekistan: problems and search for new mechanisms and tools: an analytical report]. Tashkent, Center for Economic Research Publ., 2011, 103 p. (In Russian).
- 3 Rosenthal R.E., 2012. GAMS. A User's Guide. Washington, Development Corporation Publ., 316 p. (In English).
- 4 Ashirova O.A, Savitsky A.G., Salohiddinov A.T., 2016. *Programma rascheta opredeleniya zony podzemnogo povrezhdeniya truboprovoda v sistemakh vodosnabzheniya. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM no. DGU 03705* [The program for calculating the definition of the zone of underground pipeline damage in water supply systems. Certificate of state registration of computer program no. DGU 03705]. Tashkent. (In Russian).
- 5 Kosygin A.B., Khanin V.N., Gosudarev K.I., Fomina I.V., 2010. *Obnaruzheniye skrytykh utechek s ispolzovaniyem sistemy monitoringa vodo-provodnoy seti* [Detection of hidden leaks using a water supply network monitoring system]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. no. 4, pp. 22-26. (In Russian).
- 6 Kosygin AB., Khanin V.N., Gosudarev K.I., Fomina I.V., 2010. *Monitoring skrytykh utechek na vodoprovodnoy seti* [Monitoring of hidden leaks on the water supply network]. *Doklad, predstavlenny na mezdunarodnyu konferentsiyu «NO-DIG – 2010»*. Tsentr tekhnicheskoy diagnostiki “Mosvodokanal” (Elektronnyy resurs) [The report presented at the international Conference “NO-DIG – 2010”. Technical Diagnostics Center “Mosvodokanal” (Electronic resource)]. available: <http://трубопровод.рф/статьи/все/2013/11/1/мониторинг скрытых-утечек-на-водопроводной-сети/>. (In Russian).
- 7 Timoshkin A.S., 2001. *Pribory dlya opredeleniya sostoyaniya i mest povrezhdeniy truboprovodov teplovyykh setey* [Devices for determining the condition and failure locations of heat supply networks pipelines]. *Novosti teplosnabzheniya*. [News of Heat Supply]. no. 2(06), pp. 29-31. (In Russian).
- 8 Kublanovskiy L.B., 1971. *Opredeleniye mest povrezhdeniy napornykh truboprovodov* [Determination of failure locations of pressure pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 136 p. (In Russian).
- 9 Piskunov N.S., 1972. *Differentsialnoye i integralnoye ischisleniye* [Differential and Integral Calculus]. In 2 vol., Moscow, Fizmatlit Publ., vol. 2, 575 p. (In Russian).
- 10 Salokhiddinov A.T., Savitsky A.G., Ashirova O.A., 2015. *Matematicheskaya model rascheta vodoprovodnoy seti s vozmozhnostyu optimizatsii yeye elementov* [Mathematical calculation model of a water supply network with the possibility of optimization its elements]. *Irrigatsiya i melioratsiya*. [Irrigation and Water Management]. no. 1, pp. 42-47. (In Russian).

**Аширова Ольга Александровна**

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: Ташкентский институт ирригации и мелиорации

Адрес организации: ул. Кари Ниязова, 39, г. Ташкент, Республика Узбекистан, 100000

E-mail: olgaalexandrovnaa@yandex.ru

**Ashirova Olga Aleksandrovna**

Position: Junior Researcher

Affiliation: Tashkent Institute of Irrigation and Melioration

Affiliation address: st. Kary Niyazov, 39, Tashkent, Republic of Uzbekistan, 100000

E-mail: olgaaleksandrovnaa@yandex.ru

**Салохиддинов Абдульхаким Темирхужаевич**

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: заведующий кафедрой «Экология и управление водными ресурсами»

Место работы: Ташкентский институт ирригации и мелиорации

Адрес организации: ул. Кари Ниязова, 39, г. Ташкент, Республика Узбекистан, 100000

E-mail: pepiwm@mail.ru

**Salohiddinov Abdulhakim Temirkhojaevich**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Head of Department ecology and water resource management

Affiliation: Tashkent Institute of Irrigation and Melioration

Affiliation address: st. Kary Niyazov, 39, Tashkent, Republic of Uzbekistan, 100000

E-mail: pepiwm@mail.ru