

## Гидротехника

УДК 628.153

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**С.Н.Карамби́ров<sup>1</sup>**, доктор технических наук, **М.А.Мордясов<sup>2</sup>**, член-корреспондент Академии жилищно-коммунальных наук, **П.М.Уманский<sup>1</sup>**  
(Представлено академиком РАН **Н.Н.Дубенком**)

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А.Тимирязева, 127550, Москва

<sup>2</sup>Академия жилищно-коммунальных наук, 125371, Москва

E-mail: karamba.msuee@mail.ru

*Приведены результаты расчета переходных процессов для действующей системы водоснабжения. Возмущающим воздействием, приводящим к гидравлическому удару, является кратковременное отключение электроэнергии. Помимо представления решения в традиционных координатах «время – гидравлические параметры», исходные данные обрабатывались методами кластерного анализа и нейронных сетей, что позволило получить принципиально новые результаты.*

### STUDYING OF PRESSURE PIPING TRANSIENT PROCESS CALCULATION RESULTS USING CLUSTER ANALYSIS AND NEURAL NETWORK METHODS

**Karambirov S.N.**, **Mordyasov M.A.**, **Umansky P.M.**

*This paper presents the results of calculation of specific transient processes applicable to the current water supply system. Any short-term power failure is stated as a disturbing action that can induce hydraulic impacts. In addition to the decision to be made in the conventional “time-hydraulic value” rated coordinates, initial data were processed using the cluster analysis and neural network methods, thus making it possible to gain principally new results.*

**Ключевые слова:** водоснабжение, переходные процессы, гидравлический удар, кластерный анализ, нейронные сети

**Key words:** water supply, transient processes, hydraulic impact, cluster analysis, neural networks

Эффективность и долговечность напорных гидравлических систем (НГС) зависит как от их правильного проектирования, так и от организации эксплуатации. Опыт эксплуатации НГС показал, что резкие колебания давления (гидравлический удар) могут привести к поломкам трубопроводной арматуры, разрушению сети и даже к полному выходу из строя насосных станций. Аварии, возникающие при гидравлических ударах, наносят значительный экономический ущерб вследствие перерывов подачи воды потребителям и затрат, связанных с ремонтом.

Переходные процессы в НГС имеют специфические особенности, связанные с:

- распределенными водопотребителями и стохастическим характером разбора воды;
- наличием кольцевых структур в плане сети;
- недопустимостью попадания загрязнений в сеть и длительным перерывом в подаче воды;
- наличием высоконапорных пожарных насосов;
- возможностью подсоса воздуха через водоразборную арматуру;
- наличием напорно-регулирующих емкостей-источников отраженных волн.

Основными причинами переходных процессов в трубопроводах являются: аварийные отключения и про-

валы электроэнергии, срабатывание запорной трубопроводной арматуры, сбой систем управления и автоматики, быстрые коммутационные переключения, аварийные разрывы трубопроводов, ошибки обслуживающего персонала, выход из строя арматуры и насосных агрегатов.

Целью данной работы является разработка нового вида граничных условий при численном моделировании переходных процессов в кольцевых водопроводных сетях и методов комплексной обработки результатов расчетов. Достижение поставленной цели потребовало решения ряда задач: обоснование расчетной схемы, наиболее адекватно учитывающей особенности переходных процессов в кольцевых сетях систем водоснабжения; реализация расчетной схемы в программе для ЭВМ; проведение численных экспериментов на ЭВМ; обработка результатов расчетов методами нейронных сетей и кластерного анализа; интерпретация решения.

Исследования показали, что одной из наиболее частых и опасных причин возникновения переходных процессов в кольцевых НГС является кратковременное аварийное отключение электроэнергии на насосных станциях [1-2]. При этом переходные процессы начинаются с распространения по трубам волн понижения давления. Однако оно может уменьшаться только до давления насыщенных паров, которое при нормальных условиях

составляет примерно 2000 Па. Дальнейшее понижение давления невозможно и происходит образование разрыва сплошности потока в трубопроводе. Пространство между расходящимися водяными

колоннами будет заполняться парами воды и выделяющимися из нее газами. В зависимости от условий колонны могут начать сдвигаться, вплоть до соударения, приводящего к резкому повышению давления.

Основной задачей при расчете переходных процессов в напорных трубопроводных сетях является определение максимальных и минимальных давлений. В качестве инструмента решения подобных задач в настоящее время используют численные методы интегрирования дифференциальных уравнений переходных процессов (уравнений Н.Е.Жуковского), реализованные на современных компьютерах. Для корректной постановки задачи уравнения дополняют начальными и граничными условиями. Последние весьма многообразны и составляют в настоящее время основной предмет дальнейших исследований переходных процессов.

В простейшем случае при расчете нестационарных режимов работы НГС определяют параметры, выход которых за допустимые пределы может привести к нарушению работоспособности системы. В связи с этим был проведен расчет переходных процессов для трубопроводной сети города Кингисеппа Ленинградской области (рис. 1) с населением 60 тыс. человек. В качестве возмущающего воздействия было выбрано кратковременное отключение электроэнергии на насосной станции в течение 4 с. Поскольку авторы не нашли стандартных пакетов программ по расчету переходных процессов, учитывающих все перечисленные граничные условия, то было создано оригинальное приложение, по которому проводили расчеты. Результаты расчетов приведены на рис. 2 (а, б). Из графиков видно, что в начале отсчета времени основные параметры решения — абсолютное давление (Па), мгновенная скорость (м/с) и избыточный напор (м) сохраняют постоянные на заданном временном интервале значения, соответствующие стационарному потокораспределению. На 50-й секунде происходит отключение электроэнергии. Условие для напора насоса, зависящего от угловой скорости ротора насосного агрегата, описывается дифференциальным уравнением:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_n, \quad (1)$$

где  $I$  — момент инерции насоса, ротора двигателя и присоединенных масс воды;  $\omega$  —

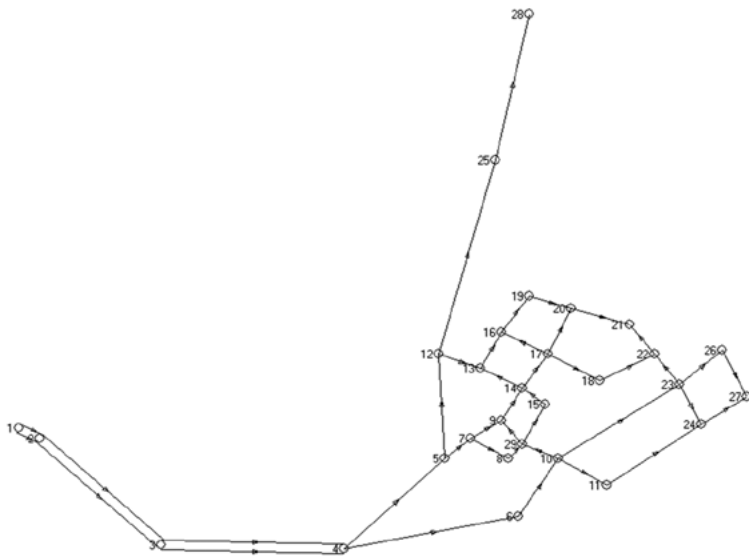


Рис. 1. Схема водопроводной сети г. Кингисеппа.

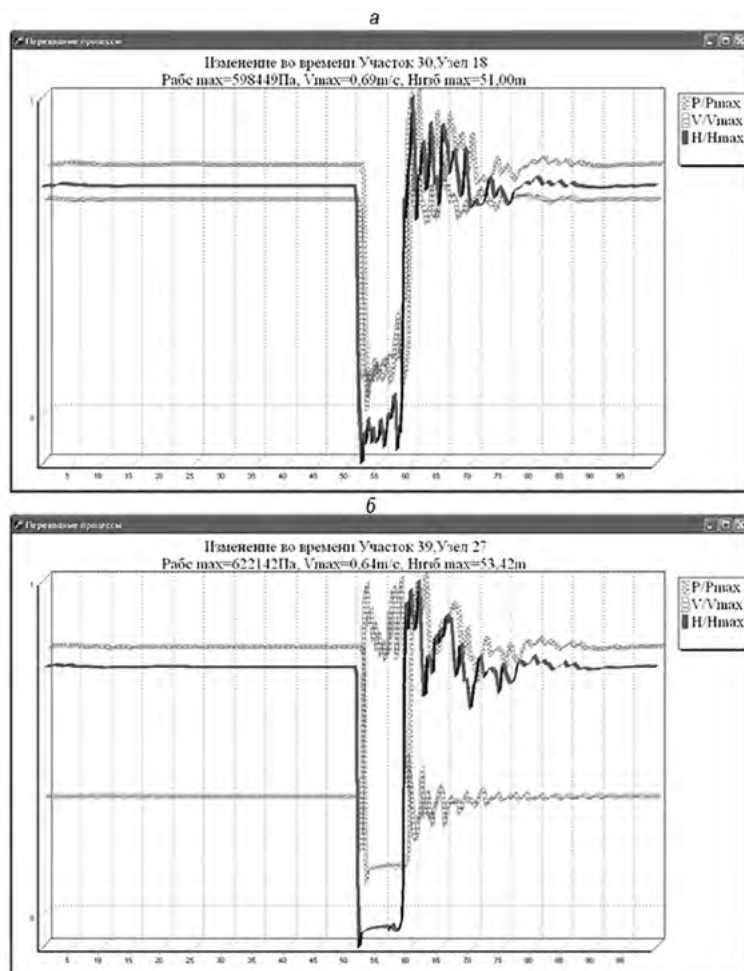


Рис. 2. Переходные процессы при отключении электроэнергии на 4 с: а - участок 30, б - участок 39.

угловая скорость  $rad/c$  ( $\omega = \pi \cdot n / 30$ ),  $n$  – частота вращения;  $M_d = M_d(n)$  – момент, развиваемый двигателем;  $M_n = M_n(n, Q)$  – момент потребляемый насосом, в данном случае интегрируется при  $M_d = 0$ .

Нештатная ситуация приводит в начале к резкому падению напора и давления. При этом возникает кавитационный разрыв сплошности потока, дальнейшее схлопывание которого после включения насосов приводит к сильным пульсациям гидравлических параметров, связанных с повышением давления и напора выше стационарных значений. После затухания колебаний система снова возвращается к стационарным параметрам.

Для обобщения результатов использовали методы кластеризации на основе нейронных сетей со слоем Кохонена. В последнее время для решения многих задач науки и техники используют новый математический аппарат – искусственные нейронные сети (ИНС). Под нейронными сетями подразумевают вычислительные структуры, которые моделируют простые биологические процессы, обычно ассоциируемые с процессами человеческого мозга. Нейронные сети способны решать обширный круг задач идентификации, распознавания образов, управления сложными нелинейными системами и т.д. [3]. В данной статье ИНС использовали для решения проблем классификации и кластеризации.

Алгоритм кластеризации основан на подобию образов и помещает близкие образцы в один кластер. Известно применение кластеризации для извлечения знаний, сжатия данных и исследования свойств данных [3]. Элементарным преобразователем в ИНС является искусственный нейрон – аналог биологического прототипа. В состав нейрона входят умножители (синапсы),

сумматор и нелинейный преобразователь. Синапсы осуществляют связь между нейронами и умножают входной сигнал на число, характеризующее величину связи – вес синапса. Сумматор выполняет операцию сложения сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь представляет собой нелинейную функцию активации. Нейрон в целом реализует скалярную функцию векторного аргумента. Математическая модель нейрона описывается соотношением:

$$s = \sum w_i \cdot x_i + b, y = f(s), \quad (2)$$

где  $w_i$  – вес синапса,  $i = 1 \dots n$ ,  $n$  – число входов нейрона;  $b$  – смещение;  $x_i$  – вектор входного сигнала;  $y$  – выходной сигнал нейрона. Процесс получения решения с помощью ИНС сводится к двум этапам: выбору типа (архитектуры) сети; подбору весов (обучение) сети.

Для решения задач кластеризации наиболее пригодна сеть Кохонена, или в простейшей форме – слой Кохонена. В процессе работы алгоритма настраиваются синаптические веса нейронов. После предъявления достаточного числа входных векторов синаптические веса определяют кластеры. Слой Кохонена обучается без учителя (самообучается). При обучении слоя Кохонена на вход подается входной вектор и вычисляют его скалярные произведения с векторами весов всех нейронов. Скалярное произведение является мерой сходства между входным вектором и вектором весов. Нейрон с максимальным значением скалярного произведения объявляется «победителем», и его веса подстраиваются (весовой вектор приближается к входному). Каждый вес, связанный с выигравшим нейроном Кохонена, изменяется пропорционально разности между его величиной и величиной входа, к которому он присоединен. После проведения достаточно большого числа итераций веса определяют центры кластеров, вокруг которых группируются данные.

Результаты расчета представлены на рис. 3 для участка 3, находящегося между узлами 17-18, и участка 39, который находится между узлами 24-27, где в качестве признаков использовали стационарные свободные напоры в узлах гидравлической сети и их максимальное повышение при переходных процессах, вызванных указанным возмущением. Кластеры и их центры группируются в окрестности некоторой убывающей кривой, что говорит о возможности построения регрессионной модели. При относительно невысоких свободных напорах в стационарных условиях на периферии сети повышение напора выше, чем в головных узлах с изначально высокими напорами. Это приводит к некоторому усреднению потребителей по опасности возникновения аварий при гидрав-

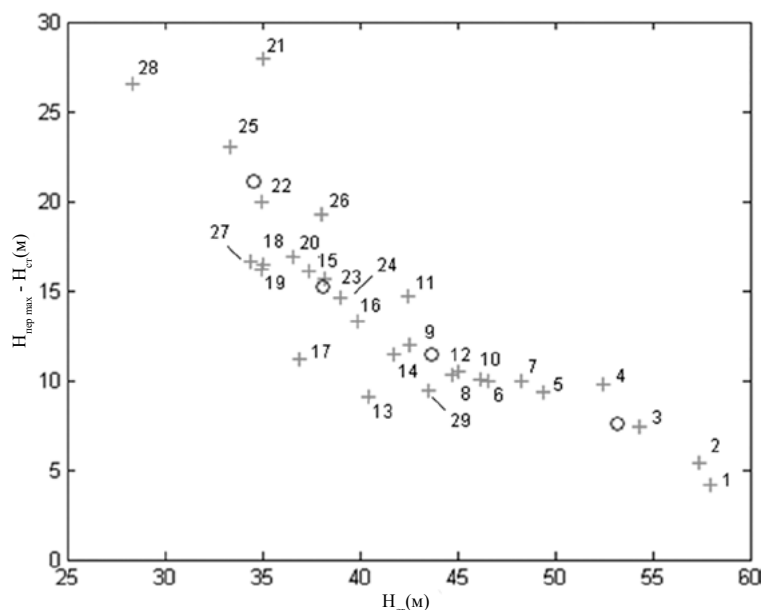


Рис. 3. Кластеризация напоров узлов в стационарных условиях  $H_{cm}$  (м) и максимального повышения напора в переходных режимах при кратковременном отключении электроэнергии  $H_{пер\ max} - H_{cm}$  (м); цифрами обозначены номера узлов, кружками - центры кластеров.

лическом ударе указанного типа. Во всех случаях напор при переходном процессе не превышал допустимого.

Таким образом, в кольцевых водопроводных сетях возможно значительное повышение давления при гидравлических ударах, связанных с кратковременным отключением электроэнергии. Применение к результатам расчета переходных процессов кластерного анализа и нейронных сетей позволяет получить новые данные о негативных последствиях гидравлического удара. Для исследуемой системы максимальный напор при заданном типе переходных процессов (кратковременное отключение электроэнергии) стремится к выравниванию для всех узлов в сети.

**Литература.** 1. Карамбиров С.Н., Лиханов Д.М. Проблемы моделирования переходных процессов в кольцевых сетях систем водоснабжения // *Вестник гражданских инженеров*. – 2010. – № 2 (23). – С. 150–155. 2. Карамбиров С.Н. Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных систем. Основы, концепции, методы – LAP LAMBERT Academic Publishing, ISBN: 978-3-659-26845-8. – 2012. – 355 с. 3. Дьяконов В.П., Круглов В.В. *MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2+Simulink5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Сер. «Библиотека профессионала»*. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 456 с.

Поступила в редакцию 30.05.16

## Экология

УДК 635.64:581.5

### ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

А.В.Кокин<sup>1</sup>, доктор геолого-минералогических наук, Г.Е.Шумакова<sup>2</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук  
(Представлено академиком РАН В.Н.Щедриним)

<sup>1</sup>Южно-Российский филиал Российской академии народного хозяйства, 344015, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К.Кортунова, 346407, Новочеркасск  
E-mail: mr.chister2@mail.ru

*Проведены исследования при выращивании томатов на двух экспериментальных площадках в условиях незащищенной и защищенной лесной полосой вблизи автомобильных трасс и на двух контрольных площадках вне влияния автодорог при поливе разным составом воды. Установлено, что в условиях влияния загрязнения автомагистралями подтверждается не только известный факт повышенных концентрации тяжелых металлов в листьях, стеблях, плодах и семенах томата, но меняется и их структура в рядах подвижности элементов. Это влияние сказывается и при орошении разным составом поливной воды. Эффект самоорганизации растений на примере томатов в лесомелиоративных системах приводит к значительному переходу тяжелых металлов в оболочку семян, защищая их ядра от избыточного загрязнения тяжелыми металлами.*

### THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL QUALITY ON THE MOBILITY OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL PRODUCTS UNDER AGROFORESTRY SYSTEMS

Kokin A.V., Shumakova G.E.

*Carried out pilot studies on the cultivation of tomatoes in two areas near the Azov Sea road trails in unprotected conditions, protected forest belt and two control sites outside the influence of motorways, but reclamation tomatoes different composition of water. For the first time it found that under the influence of pollution highways not only confirmed the known fact of high concentrations of heavy metals in tomatoes (leaves and stems, fruits and seeds), but also changes its structure in the ranks of the mobility of elements. This impact affects and reclamation different composition of irrigation water. The effect of self-organization of agricultural products on the example of tomatoes in agroforestry systems results in significant discharge of heavy metals in the shell of the seed, protecting the seed kernels of excessive pollution of heavy metals.*

**Ключевые слова:** томаты, тяжелые металлы

**Key words:** tomatoes, heavy metalloid

До сих пор специалисты в области исследования загрязнений в экосистемах не могут решить проблему, связанную с причинами «перевода» тяжелых металлов растениями минуя семена [1]. Поэтому целью настоящего исследования является проверка гипотезы о возможном влиянии внутренних и внешних

факторов среды (почвы, поливной воды, загрязнениями атмосферного воздуха автомагистралями) на миграционные свойства подвижности тяжелых металлов в условиях агролесомелиоративных систем с позиции синергизма (самоорганизации агролесомелиорированных экосистем), чтобы ответить на