

УДК 502/504:628.171

С. Н. КАРАМБИРОВ, П. М. УМАНСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ УЧАСТКОВ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Рассмотрено применение кластерного анализа и нейронных сетей для оценки правильности проектирования и эксплуатации действующей системы водоснабжения. Основными признаками, характеризующими участки сети, являются условные проходы, скорости воды, расходы, потери напора. Рассмотрение ведется на примере реального объекта (г. Кингисепп в Ленинградской области). Отмечается, что для оценки эффективности работы напорных гидравлических систем используют стоимостные и физические категории, например, себестоимость 1 м³ воды, ее качество, затраты на строительство, реконструкцию и эксплуатацию системы, обеспечение бесперебойности подачи воды потребителям и т. д. Приводятся алгоритмы обучения нейронной сети, в качестве которой принят слой Кохонена. В результате получены центры кластеров, вокруг которых группируются данные. Рассмотрены кластеризации участков: по условным проходам и скоростям, по диаметрам и расходам, по диаметрам и потерям напора. Кластеризация участков позволяет обозначить границы применения кластерного анализа и отрегулировать механизм интерпретации результатов. Сделан вывод, что кластерный анализ позволяет разделить участки действующей системы водоснабжения на несколько групп со сходными параметрами и сделать заключение о правильности проектирования и эксплуатации системы.

Система подачи и распределения воды, водоснабжение, гидравлические расчеты, кластерный анализ, нейронные сети.

Введение. Для оценки эффективности работы напорных гидравлических систем используют стоимостные и физические категории, такие, как себестоимость 1 м³ воды, ее качество, затраты на строительство, реконструкцию и эксплуатацию системы, обеспечение бесперебойности подачи воды потребителям и др.

Вместе с тем, остаются в стороне такие характеристики системы, как разделение потребителей (узлов сети) по отборам и располагаемым напорам в штатных и аварийных ситуациях; определение сходных гидравлических условий при переходных процессах; выявление близких параметров элементов системы при случайном характере отбора воды; нахождение тенденций упорядочения отдельных участков труб по условным проходам и скоростям течения воды в них, диаметрам и расходам и др. [1–3].

Такие объединения характеризуют правильность проектирования и эксплуатации системы, как правило, не имеют признаков функциональных зависимостей и обычно относятся к конкретному гидравлическому объекту. Применение к нему традиционных подходов регрессивного анализа не всегда является эффективным. Конструктивным в данном случае

оказалось использование методов классификации и кластеризации. Оба подхода имеют много общего, но классификация образов предполагает наличие предварительно определенных классов, задание которых для напорных гидравлических систем возможно лишь в редких случаях.

По этой причине основное внимание уделялось задачам кластеризации, которые помещают близкие образы в один кластер. В данной статье авторы рассматривают только кластеризацию участков сети.

Материалы и методы. В качестве объекта изучения выбрана водопроводная сеть г. Кингисеппа Ленинградской области. План сети приведен на рисунке 1, на котором показаны номера узлов сети. Для идентификации участков используется матрица вершин, приведенная в таблице. В качестве инструмента кластеризации использовались нейронные сети и, в частности, слой Кохонена. За последние годы интерес к нейронным сетям существенно возрос. Они применяются в финансах, бизнесе, медицине, промышленности, технике, геологоразведке и других областях, где требуется решать задачи прогнозирования, классификации или управления. Они применимы практи-

чески в любой ситуации, когда имеется связь между переменными, даже если эта связь имеет сложную природу и ее трудно выразить в обычных терминах корреляций или различий между группами. Сила нейронных сетей заключается в их способности самообучаться.

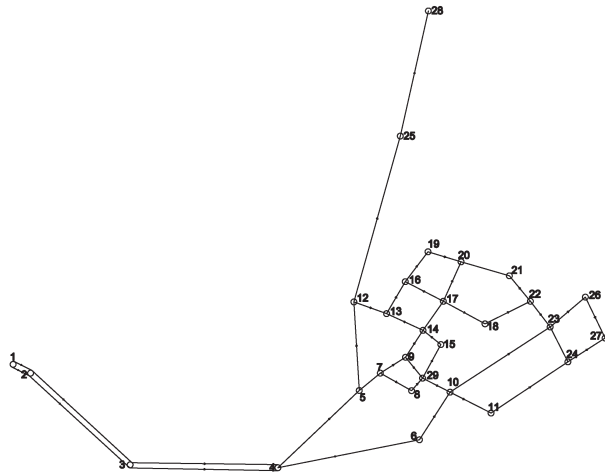


Рис. 1. План сети г. Кингисеппа

Идея нейронных сетей возникла в результате попыток смоделировать

деятельность человеческого мозга.

Ключевым здесь является понятие нейрона – нервной клетки, способной воспринимать, преобразовывать и распространять сигналы. В общем виде, в состав нейрона входят умножители (синаптические веса), сумматор и нелинейный преобразователь.

Существует много разновидностей нейронных сетей. Для решения задач кластеризации наиболее подходит сеть, известная под названием слой Кохонена.

На вход искусственного нейрона поступает некоторый вектор сигналов. При обучении по правилу Кохонена, относящемуся к соревновательным методам обучения, в слое сети изменяются веса только одного нейрона-победителя, у которого веса признаются наиболее близкими к значениям входного сигнала. В качестве меры близости используется либо скалярное произведение вектора входа на вектор весов, либо расстояние между этими векторами:

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \omega_{ij})^2},$$

где n – размерность входного вектора; ω_{ij} – вес связи между i -тым входом и j -тым нейроном; x_i – i -тая координата входного вектора.

Матрица вершин сети

Матрица вершин					
№ участка	Начальный узел	Конечный узел	№ участка	Начальный узел	Конечный узел
1	1	2	22	13	16
2	1	2	23	14	13
3	2	3	24	14	17
4	2	3	25	10	23
5	3	4	26	11	24
6	3	4	27	16	19
7	4	6	28	17	16
8	4	5	29	17	20
9	5	7	30	17	18
10	6	10	31	18	22
11	7	8	32	19	20
12	8	29	33	20	21
13	10	29	34	22	21
14	29	9	35	23	22
15	10	11	36	23	24
16	7	9	37	23	26
17	5	12	38	26	27
18	9	14	39	24	27
19	29	15	40	12	25
20	15	14	41	25	28
21	12	13			

Соревновательное обучение используется, например, при кластеризации данных. Похожие последовательности входных данных группируются сетью и представляются одним и тем же выходом.

Алгоритм обучения состоит из следующих шагов:

1. Присвоение весам связей случай-

ных малых значений.

2. Подача на входы сети вектора данных X .

3. Коррекция весов нейрона-победителя j по правилу:

$$\omega_{ij}(t + 1) = \omega_{ij}(t) + \alpha(x_i - \omega_{ij}(t)),$$

где α – коэффициент, регулирующий скорость обучения.

4. Выполнение шагов 2 – 3 вплоть до того, когда выходы сети не стабилизируются с требуемой точностью.

После обучения весовые коэффициенты образуют центры кластеров [4].

Кластеризация участков по основным признакам (диаметрам, скоростям, потерям напора, расходам и др.) обычно служит для констатации правильности или ошибочности решений, принятия некоторых тенденций к сведению, определения возможности нахождения регрессионных связей и др. Кроме того, кластеризация участков позволяет обозначить границы применения кластерного анализа и отрегулировать механизм интерпретации результатов.

Результаты и обсуждение. Авторы статьи исследование начали с рассмотрения кластеризации участков гидравлической сети по условным проходам труб и скоростям воды в них (рис. 2).

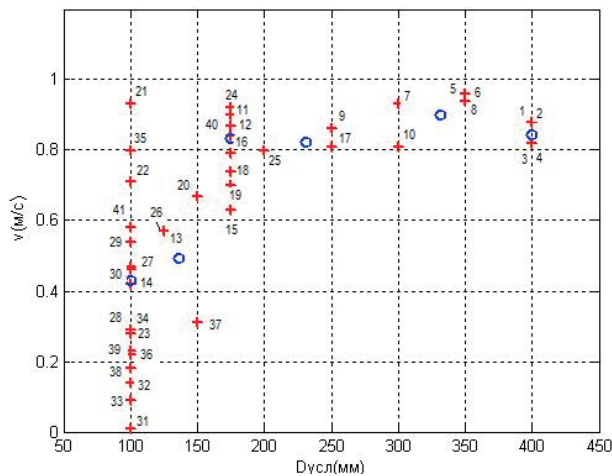


Рис. 2. Кластеризация участков по условным проходам и скоростям: цифрами у крестиков обозначены номера участков, а кружочками – центры кластеров

Так как диаметры выбираются из стандартного ряда сортиментов труб, значения признаков по оси абсцисс дискретны. Центры кластеров лежат или на фиксированных значениях условных проходов (для $D_{усл} = 100, 175$ и 400 мм) или между ними (для $D_{усл} = 125...150, 200...250$ и $300...350$ мм).

Наиболее распространенным диаметром является 100 мм. Это трубы на периферии сети, где разбор воды не велик и отсутствуют крупные промышленные предприятия. Поскольку, по требованиям СНиП из

условия пожарной безопасности, не разрешается укладка труб с диаметром меньше 100 мм, разброс скоростей для него наиболее широк и лежит в диапазоне от величины, близкой к 0, до величины, близкой к 1 м/с. Центр кластера при аргументе 100 мм смещен внутри диапазона скоростей в сторону меньших значений ($\approx 0,42$ м/с), где точки расположены гуще, что объясняется отмеченным выше обстоятельством.

Второй слева кластер образует участки с условными проходами 125 и 150 мм, которые нейронная сеть отнесла к одной группе (классу). Центр кластера (136; 0,5) показывает усредненные значения признаков.

Третий кластер образует только участки с $D_{усл} = 175$ мм, его центр (175; 0,83) и все последующие центры кластеров, расположенных правее, попадают в область «оптимальных» скоростей 0,7...1,5 м/с, что говорит о правильности подбора диаметров.

Четвертый и пятый кластеры образуют участки с условными проходами 200...250 и 300...350 мм соответственно.

Наконец, последний шестой кластер состоит из двух пар параллельных участков с условным проходом 400 мм и усредненной скоростью воды 0,84 м/с.

В целом можно отметить, что сеть спроектирована правильно.

Следующая карта признаков задает кластеризацию участков по условным диаметрам и расходам в них (рис. 3).

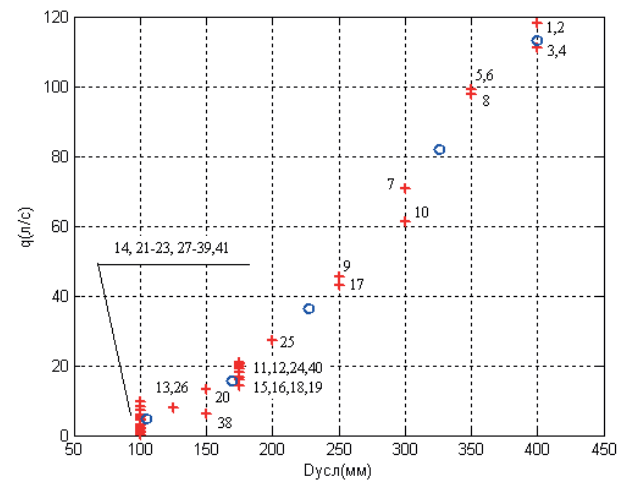


Рис. 3. Кластеризация участков по диаметрам и расходам

В этом случае кластеры легко

угадываются, а их центры лежат на функциональной зависимости, что легко понять, если в формуле расхода:

$$q = \frac{\pi D^2}{4} v,$$

принять в качестве скорости v наиболее распространенное значение $\approx 0,84$ м/с (см. рис. 2).

И в качестве последнего примера приведем кластеризацию участков по диаметрам и потерям напора (рис. 4). Здесь справедливы замечания, сделанные для кластеризации на рис. 2. Кластеры хорошо отделимы, а их центры хаотично меняются по потерям в узком, диапазоне от 2 до 6 м, что интуитивно представляется положительным фактором. Точки расположены достаточно близко к центрам кластеров. Единственным исключением является участок 40 (12...25) с потерей напора 16 м. Представляется, что диаметр этого участка следует увеличить.

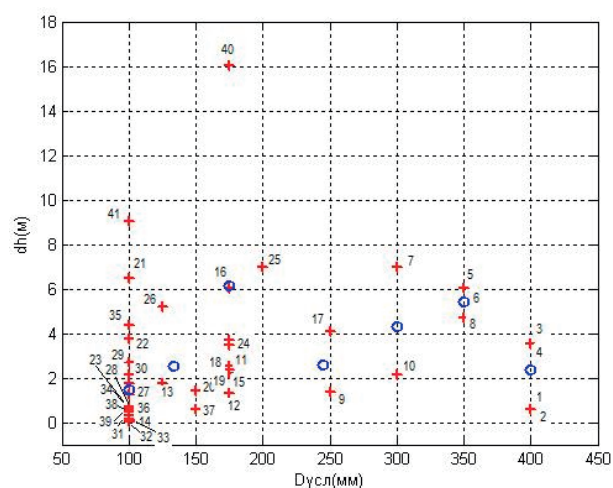


Рис 4. Кластеризация участков по диаметрам и потерям напора

Выводы

Кластерный анализ позволяет разделить участки действующей системы водоснабжения на несколько групп со

сходными параметрами и сделать выводы о правильности проектирования и эксплуатации.

Библиографический список

1. Карамбиров С. Н., Бекишева Л. Б. О некоторых статистических закономерностях водопотребления в системах водоснабжения // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 45–48.
2. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. – М.: МГУП, 2004. – 196 с.
3. Карамбиров С. Н. Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных систем. Основы, концепции, методы. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 355 с.
4. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2+Simulink5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М.: Солон-Пресс, 2006. – 456 с.

Материал поступил в редакцию 15.10.2015.

Сведения об авторах

Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий в строительстве; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: 8(499)153-97-66; e-mail: karamba.msuee@mail.ru.

Уманский Петр Михайлович, старший преподаватель кафедры эксплуатации, электрификации и автоматизации технических средств и систем природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: 8(499)976-18-69.

S. N. KARAMBIROV, P. M. UMANSKY

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

CLUSTER ANALYSIS OF PARTS OF WATER SUPPLY NETWORK

There is considered an application of the cluster analysis and neural networks for assessment of the correctness of designing and operation of the existing system of water supply. The main indicators characterizing network parts are conditional passages, water speeds, consumptions, losses of head. The consideration is carried out by the example of a real object (town Kingisepp in the Leningrad area). It is noted that for the assessment of the efficiency of operation of head hydraulic systems they use value and physical categories, eg. cost of 1 m³ water, its quality, expenditures on building, reconstruction and operation of the system, provision of continuous water supply to consumers, etc. There are given training algorithms of the neural network which is represented by Kohonen layer. As a result there are obtained centers of clusters around which the data are grouped. There is considered clustering of parts: according to conditional passages and speeds, diameters and consumptions, diameters and losses of head. Clustering of parts allows to indicate boundaries of cluster analysis application and to regulate a mechanism of results interpretation. The conclusion is drawn that cluster analysis makes it possible to divide the parts of the existent system of water supply into several groups with similar parameters and draw a conclusion on the correctness of designing and operation of the system.

System of water supply and distribution, water supply, hydraulic calculations, cluster analysis, neural networks.

References

1. Karambirov S. N., Bekisheva L. B. About some statistical regularities of water consumption in systems of water supply // Environmental engineering. – 2012. – № 4. – P. 45–48.
2. Karambirov S. N. Mathematical simulation of systems of water supply and distribution under the conditions of multiplicity and fuzziness: monograph. – M.: MSUEE, 2004. – 196 p.
3. Karambirov S. N. New approaches in simulation and optimization of pipeline systems. Fundamentals, concepts, methods. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 355 p.
4. Djakonov V. P., Kruglov V. V. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2+Simulink5/6. Instruments of artificial intellect and bioinformatics, Series «Library of a professional». – M.: Solon-Press, 2006.

– 456 p.

Received on October 15, 2015.

Information about the authors

Karambirov Sergej Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of informational technologies in construction; FSBEI HE RSAU-MTAA; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: 8(499)153-97-66; e-mail: karamba.msuee@mail.ru.

Umansky Petr Mikhailovich, senior lecturer of the chair of operation, electrification and automation of technical means and systems of environmental engineering and protection in emergency situations; FSBEI HERSAU-MTAA; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: 8(499)976-18-69.