

## Экспертно-статистический метод оценивания параметров управляющих воздействий на инженерные сети зданий в условиях неопределенности

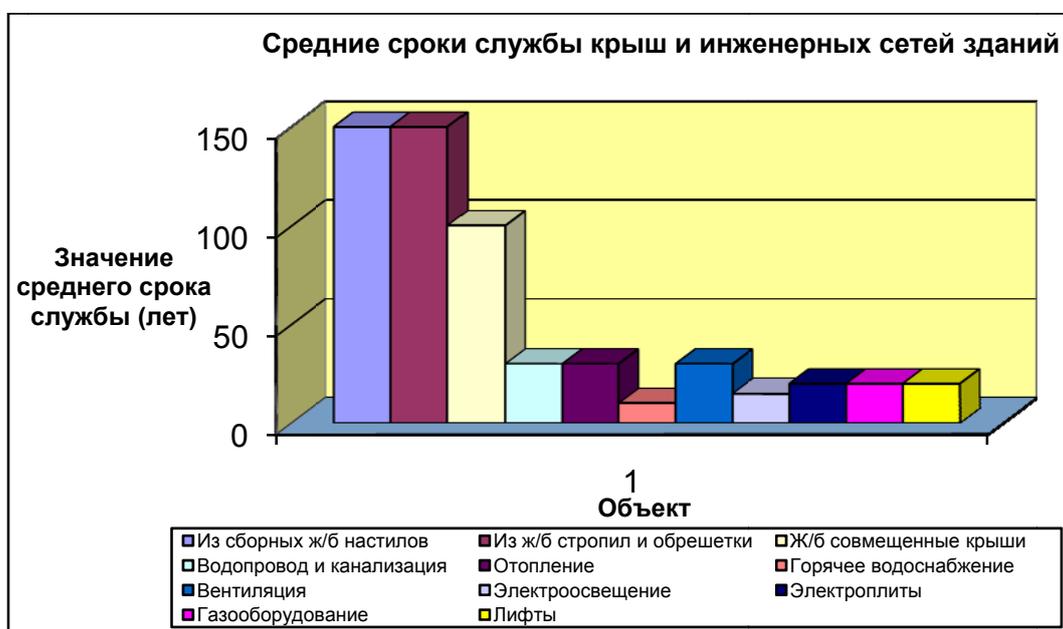
Старший преподаватель Т.Н. Солдатенко\*,  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

**Ключевые слова:** нечеткие переменные; показатели надежности; аналитическое моделирование

Инженерные сети играют важную роль в жизнеобеспечении зданий и сооружений. Качество их функционирования в значительной мере зависит от уровня надежности и долговечности [1,2]. Для обеспечения этих свойств осуществляются необходимые управляющие воздействия, к которым относятся профилактическое обслуживание, плановый и неплановый ремонт, модернизация, реконструкция инженерных сетей зданий [3,4,5]. Важнейшим показателем указанных мероприятий является периодичность управляющих воздействий. В настоящее время разработано большое число моделей управления состоянием инженерных сетей [6,7 и др.]. В них величина интервалов между смежными управляющими воздействиями используется как аргумент в расчетных соотношениях для показателей качества инженерных систем. При этом период между управляющими мероприятиями рассматривается как детерминированная величина [3,8,9].

Однако данный подход имеет существенный недостаток, состоящий в том, что рассматриваемый показатель может быть также случайной или нечеткой величиной. Это обусловлено действием ряда факторов. Согласно данным, приведенным в [3], долговечность инженерных сетей (рис. 1) значительно меньше, чем у конструктивных элементов зданий, в которых они функционируют.

Это приводит к необходимости проведения реконструкции или модернизации соответствующих сетей при существенной неопределенности состояния зданий. При этом сами показатели долговечности оцениваются главным образом экспертными методами [3, 10]. Для инженерных систем зданий характерен также не только физический, но и моральный износ, обусловленный трудно прогнозируемыми предпочтениями пользователей зданий и сооружений [2, 11].



**Рисунок 1. Сравнительные данные по долговечности крыш и инженерных систем зданий и сооружений**

Проведенными исследованиями [12] установлено, что даже в условиях плановой централизованной экономики и достаточно устойчивого финансирования содержания зданий и сооружений более чем в 90% случаев реальное время проведения управляющих воздействий переносилось в силу различных обстоятельств. Это привело к рассмотрению интервала между управляющими воздействиями как случайной величины [4, 9] и получению рекомендаций по формированию управляющих мероприятий с учетом этой особенности.

Солдатенко Т.Н. Экспертно-статистический метод оценивания параметров управляющих воздействий на инженерные сети зданий в условиях неопределенности

На современном этапе развития страны ситуация по управлению состоянием зданий (сооружений) и их инженерных сетей характеризуется возросшим уровнем неопределенности условий принятия решений о параметрах управления. Основными причинами такого положения являются следующие [13]:

- децентрализация системы управления состоянием зданий и сооружений;
- нестабильность и сокращение возможностей финансирования управляющих воздействий;
- сокращение источников объективной информации о состоянии зданий и их инженерных сетей;
- общее снижение уровня компетентности обслуживающего персонала и др.

Такое положение позволяет сделать вывод о том, что известные подходы к планированию мероприятий по управлению состоянием инженерных сетей зданий не в полной мере соответствуют сложившейся ситуации. Выходом из нее может стать рассмотрение интервалов времени между управляющими мероприятиями как нечетких величин [14] и использование аппарата нечеткой логики при оценке качества функционирования инженерных сетей. Этот подход является актуальным для современного состояния системы управления инженерными сетями, поскольку позволяет расширить информационную базу принятия решений о проведении управляющих воздействий. Объектом рассмотрения в настоящей статье выступают инженерные сети зданий и сооружений. Предметом исследования является процесс формирования нечетких оценок показателей качества функционирования инженерных сетей. Практическая значимость получаемых результатов состоит в том, что при таком подходе повышается обоснованность принимаемых решений по обеспечению качества функционирования инженерных сетей зданий. Перейдем к изложению существа предлагаемого метода.

### *Построение модели нечетких показателей качества функционирования инженерных сетей зданий*

Пусть результативность функционирования инженерной сети здания описывается некоторым показателем  $\pi$ , который может быть выражен в терминах экономики, технологии или надежности. Величина показателя  $\pi$  некоторым образом функционально зависит от интервала времени  $\tau_{\text{УВ}}$  до очередного управляющего воздействия. При классическом «четком» подходе эта зависимость может быть представлена в виде общего соотношения:

$$\pi = G(\tau_{\text{УВ}}), \quad (1)$$

где  $G$  - вид функциональной зависимости.

При формировании соотношения (1) предполагается, что неопределенность при принятии решения отсутствует, а показатель  $\tau_{\text{УВ}}$  является детерминированной «четкой» величиной, например, «100 часов». Введем теперь условие неопределенности  $\omega$  ситуации. Это условие означает невозможность на практике точного указания значения  $\tau_{\text{УВ}}$ . В силу действия  $\omega$  будем рассматривать величину интервала времени  $\tau_{\text{УВ}}$  до очередного управляющего воздействия как нечеткую переменную  $\tilde{\tau}_{\text{УВ}}$  [14]. Это позволяет использовать при назначении значения  $\tau_{\text{УВ}}$  такие термины, как «почти 100 часов», «несколько более 100 часов» и подобные, вместо точного «четкого» значения «100 часов». Указанные «нечеткие» значения  $\tilde{\tau}_{\text{УВ}}$  могут быть получены в виде мнений экспертов при оценивании величины  $\tau_{\text{УВ}}$ . В этом случае соотношение (1) преобразуется к виду:

$$\pi = G(\tilde{\tau}_{\text{УВ}}, \omega). \quad (2)$$

Такой прием позволяет объединить накопленную ретроспективную информацию о характере изменения качества инженерных сетей здания, которая определяется видом  $G$ , и неформальную экспертную информацию [10], отражающую компетентность и знания специалистов, что описывается нечеткой переменной  $\tilde{\tau}_{\text{УВ}}$ . Рассмотрим методику решения данной задачи применительно к случаю, когда показатель  $\pi$  характеризует надежность инженерных сетей здания.

Предлагается использовать следующую двухэтапную процедуру. На первом этапе следует применить традиционный, «четкий» подход к описанию показателей надежности [15, 16]. В результате этого этапа будут сформированы соответствующие аналитические зависимости, в которых интервалы  $\tau_{\text{УВ}}$  рассматриваются как аргументы.

На втором этапе необходимо в полученных моделях заменить «четкие» значения интервалов  $\tau_{yB}$  на их нечеткие аналоги  $\tilde{\tau}_{yB}$  и выполнить соответствующие расчеты показателей надежности по правилам нечеткой логики [14]. Рассмотрим порядок выполнения указанных этапов.

Получим математическое описание закономерностей поведения инженерных сетей здания на интервале  $[0, \tau_{yB}]$  между смежными управляющими воздействиями. Предположим, что при анализе накопленной ранее статистической информации установлен вид плотности вероятности  $f(\tau)$  случайной величины наработки  $\xi$  между отказами инженерных сетей [15, 17]. На основе знания  $f(\tau)$  не составляет труда с помощью известных соотношений определить показатели надежности [15]. К ним могут относиться вероятность безотказной работы  $P(\tau)$  анализируемой инженерной сети, средняя продолжительность  $\bar{\tau}_p$  нахождения ее в работоспособном состоянии на интервале до очередного управляющего воздействия и т.д. Например, при четком значении  $\tau_{yB}$  средняя продолжительность  $\bar{\tau}_p$  нахождения инженерной сети в работоспособном состоянии на интервале до очередного обслуживания определяется по формуле [15]:

$$\bar{\tau}_p = \int_0^{\tau_{yB}} P(x) dx, \quad (3)$$

где  $P(x)$  - вероятность безотказной работы ИСЗ на интервале наработки  $[0, x]$ .

Учтем теперь допущение о том, что интервал до очередного управляющего воздействия – нечеткая величина, и подставим в формулу (3) вместо параметра  $\tau_{yB}$  его нечеткий аналог –  $\tilde{\tau}_{yB}$ . При сделанном предположении интервал до очередного управляющего воздействия описывается следующим образом [14]:

$$\tilde{\tau}_{yB} = \left\{ \left\langle x, \mu(x) \right\rangle_{\tilde{\tau}_{yB}} \right\}, \quad (4)$$

где  $x$  - нечеткая переменная, характеризующая значение величины интервала до очередного управляющего воздействия;

$\mu(x)$  - функция принадлежности нечеткого числа  $\tilde{\tau}_{yB}$ .

Используя выражение для вероятности безотказной работы  $P(\tau)$ , рассчитаем  $P(\tilde{\tau}_{yB})$  и, соответственно, нечеткую величину  $\bar{\tau}$  средней продолжительности нахождения средства в работоспособном состоянии на интервале до очередного управляющего воздействия. Эта величина будет представлять собой нечеткое множество вида:

$$\bar{\tau}_p = F^{(Hq)}(\tilde{\tau}_{yB}) = \left\{ \left\langle x, \mu(x) \right\rangle_{\tilde{\tau}_{yB}} \right\}, \quad (5)$$

где  $F^{(Hq)}(\tilde{\tau}_{yB})$  - аналитическое описание нечеткой функции, аргументом которой является нечеткое значение интервала до очередного управляющего воздействия  $\tilde{\tau}_{yB}$ .

Таким образом, выражение для нечеткой величины  $\bar{\tau}_p$  средней продолжительности нахождения инженерной сети здания в работоспособном состоянии на интервале между смежными управляющими воздействиями приобретает вид:

$$\bar{\tau}_p = \int_0^{\tau_{VB}} P(x) dx = \left\langle \tau_{VB}, \mu(\tau_{VB}) \right\rangle. \quad (6)$$

Проанализируем выражение (6). Использование при расчете аналитической функции надежности  $P(\tau)$  нечеткой верхней границы интегрирования  $\tau_{VB}$  позволяет учесть экспертную информацию, отражающую опыт и знания специалистов. Таким образом, в общем аналитическом выражении совместно используется статистическая «четкая» информация и нечеткая экспертная информация. Рассмотренный подход позволяет существенно снизить уровень неопределенности при принятии решений по управлению состоянием инженерных систем зданий и сооружений. Проиллюстрируем работоспособность предлагаемой методики на расчетном примере.

## Численная апробация предлагаемого метода

### Постановка задачи

Исполнительным элементом системы вентиляции здания является компрессор. По результатам эксплуатации аналогичных агрегатов известно, что наработка на отказ  $\tau$  компрессора имеет нормальное распределение с параметрами: математическое ожидание  $M[\tau] = m = 200$  час.; СКО  $\sigma[\tau] = \sigma = 50$  час. Управляющим воздействием является профилактическое обслуживание. Согласно эксплуатационной документации интервал времени  $\tau_{VB}$  до очередного профилактического обслуживания компрессора равен 300 часам. Однако в силу неопределенности экономической ситуации неизвестно, удастся ли провести очередное профилактическое обслуживание в установленный срок. Статистически оценить возможный интервал не представляется возможным из-за отсутствия необходимых данных.

Для оценки искомой величины проведен экспертный опрос. Его результаты представлены для интервала времени  $\tau_{VB}$  в виде нечеткой переменной  $\tau_{VB}$ . При этом функция принадлежности  $\mu(x)$  для

$\tau_{VB}$  имеет треугольную форму с координатами вершин:  $(b_1; 0)$ ,  $(b_3; 1)$ ,  $(b_5; 0)$ . При этом  $b_1 = 200$  час.;  $b_3 = 300$  час.;  $b_5 = 400$  час. Необходимо найти оценки среднего времени нахождения компрессора в работоспособном состоянии на интервале до очередного профилактического обслуживания.

### Решение задачи

Для решения задачи будем использовать выражение (3). В соответствии с условиями задачи можно записать:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(\tau-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (7)$$

С учетом формулы (7) выражение для  $P(\tau)$  имеет вид [15]:

$$P(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} f(x) dx. \quad (8)$$

Теперь рассмотрим, как ввести в выражение (8) нечеткую величину  $\tau_{VB}$ . Первоначально сделаем переход от непрерывного нечеткого множества  $\tau_{VB}$  к дискретному  $\tau_{VB}^{(d)}$  [14]. Нечеткая переменная  $\tau_{VB}$  теперь представляется в виде:

$$\tau_{TO} = \left\langle \underline{b}_1, 0 \right\rangle, \left\langle \underline{b}_2, 0,5 \right\rangle, \left\langle \underline{b}_3, 1 \right\rangle, \left\langle \underline{b}_4, 0,5 \right\rangle, \left\langle \underline{b}_5, 0 \right\rangle, \quad (9)$$

где

$$\underline{b}_j = \left\langle b_j, \mu_j \right\rangle. \quad (10)$$

Переменные  $b_j$  являются нечеткими точками [14]. Рассмотрим теперь значения нечеткой величины  $\bar{\tau}_p$  среднего времени нахождения компрессора в работоспособном состоянии для множества дискретных значений нечетких точек  $b_j$ , определяемых соотношением (9). В итоге получаем множество:

$$\bar{\Omega}^\tau = \left\{ \left\langle \tau_{p_j}, \mu(\tau_{p_j}) \right\rangle_{\bar{\tau}_j} \right\}. \quad (11)$$

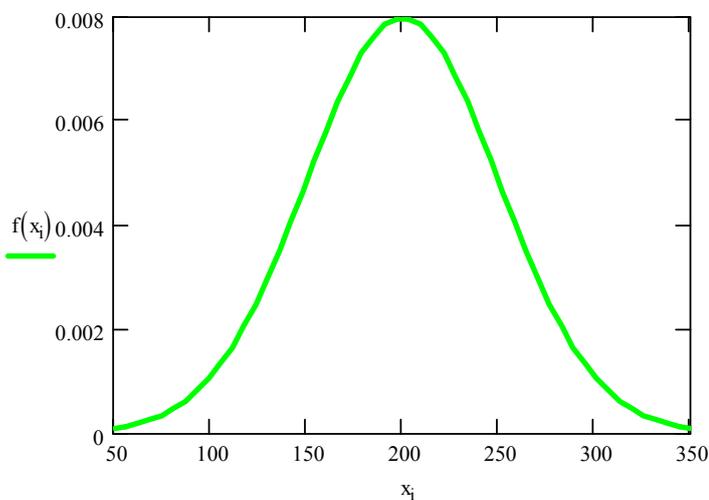
Результаты расчетов удобно представить в табличной форме.

**Таблица 1. Среднее время нахождения компрессора в р/с состоянии**

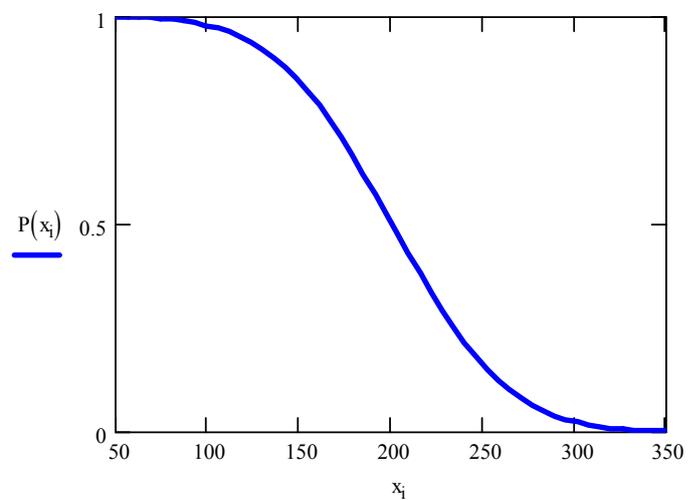
Индекс нечеткой точки ( $j$ )	1	2	3	4	5
$\bar{\tau}_{yB_j}$	$\bar{\tau}_{yB_1}$	$\bar{\tau}_{yB_2}$	$\bar{\tau}_{yB_3}$	$\bar{\tau}_{yB_4}$	$\bar{\tau}_{TO_5}$
$\mu(\tau_{yB_j})$ $\bar{\tau}_{yB_j}$	0	0,5	1	0,5	0
$\bar{\tau}_j^{(d)}$	$\bar{\tau}_1^{(d)}$	$\bar{\tau}_2^{(d)}$	$\bar{\tau}_3^{(d)}$	$\bar{\tau}_4^{(d)}$	$\bar{\tau}_5^{(d)}$

Тогда имеем следующие расчетные результаты. Теоретическое изменение плотности распределения времени безотказной работы компрессора представлено на рис. 2. Для расчетов применена формула (7).

Изменение четкой вероятности безотказной работы компрессора при заданных исходных данных представлено на рис. 3. Расчетные значения получены в соответствии с формулой (8).

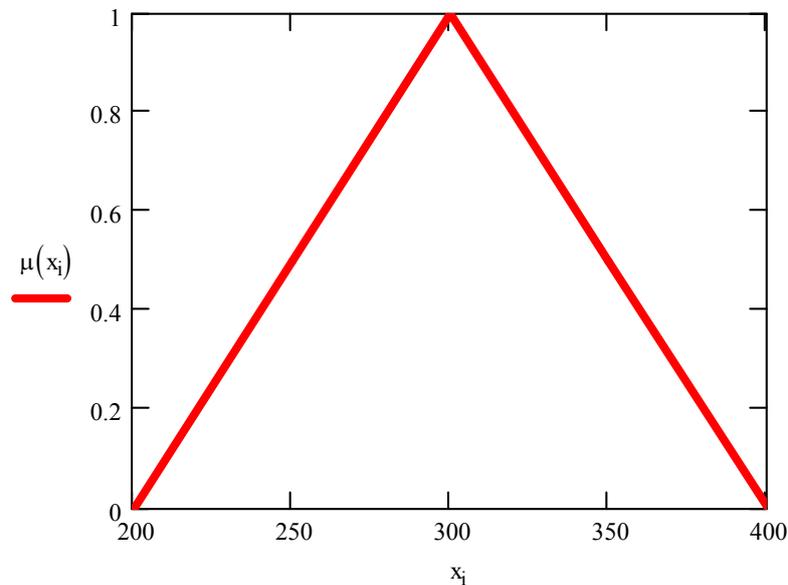


**Рисунок 2. Характер изменения плотности распределения времени безотказной работы компрессора**



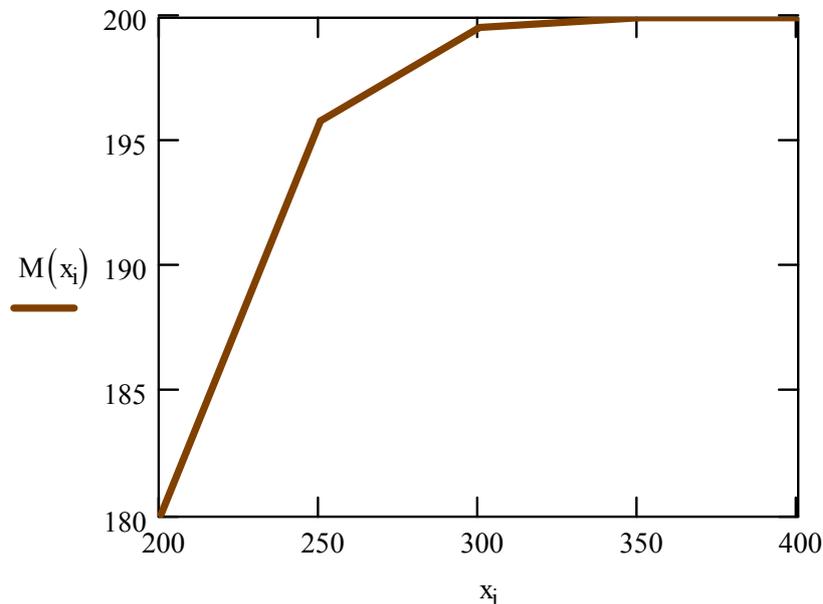
**Рисунок 3. Изменение вероятности безотказной работы компрессора**

Функция принадлежности, построенная по результатам экспертного опроса о величине возможного интервала до очередного профилактического обслуживания компрессора, характеризуется графиком на рис. 4.



**Рисунок 4. Функция принадлежности величины интервала до очередного профилактического обслуживания компрессора**

Нечеткие значения среднего времени нахождения компрессора в безотказном состоянии на интервале до очередного профилактического обслуживания представлены на рис. 5. Расчетные значения получены в соответствии с выражением (3).



**Рисунок 5. Значения нечеткого среднего времени безотказного функционирования компрессора на интервале до очередного профилактического обслуживания**

Анализ графика на рис. 5 показывает, что среднее время безотказного функционирования компрессора на интервале до очередного управляющего воздействия асимптотически стремится к теоретическому значению его средней наработки на отказ. Полученные расчетные результаты можно представить в табл. 2, аналогичной табл. 1.

Таблица 2. Итоговые результаты расчетов

Индекс нечеткой точки ( $j$ )	1	2	3	4	5
$\tau_{VB_j}$ (час.)	200	250	300	350	400
$\mu(\tau_{VB_j})$ $\tau_{VB_j}$	0	0,5	1	0,5	0
$\bar{\tau}_j^{(d)}$ (час.)	180,05	195,84	199,58	199,98	200,00

Таким образом, получены нечеткие значения среднего времени нахождения компрессора в работоспособном состоянии на интервале до его очередного профилактического обслуживания. При этом объективная информация о характере изменения безотказности компрессора дополняется субъективной информацией, предоставляемой специалистами-экспертами, анализирующими ситуацию о возможности проведения управляющего воздействия на компрессор в реальных условиях экономической ситуации. Аналогичные соотношения могут быть получены и в случае использования показателей качества функционирования инженерных сетей зданий, имеющих иной физический смысл.

### Выводы

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы. При отсутствии информации о точных сроках проведения управляющих воздействий на инженерные сети зданий применим математический аппарат нечеткой логики. При этом целесообразно использовать комбинированные расчетные соотношения для показателей, которые объединяют как накопленные (ретроспективные) данные о свойствах исследуемых объектов, так и заключения экспертов. Использование полученных с помощью нечеткой логики расчетных результатов позволяет повысить обоснованность принимаемых решений по обеспечению функционирования инженерных сетей за счет снижения уровня неопределенности объективных условий материального обеспечения эксплуатации зданий.

Анализ известных работ, посвященных обоснованию управляющих воздействий на сложные технологические объекты, показал, что в рассматриваемых методиках планирования не учитывается существенная неопределенность при организации эксплуатации зданий и их инженерных сетей. Однако в современных условиях действует совокупность факторов, приводящих к слабо прогнозируемому изменению плановых сроков проведения требуемых эксплуатационных мероприятий.

Поэтому в статье обоснована актуальность рассмотрения интервалов до очередных управляющих воздействий на инженерные сети в виде нечетких переменных. Это позволяет объединять экспертные заключения с имеющимися предварительными данными о свойствах инженерных сетей и получать прогнозные значения требуемых показателей их качества с помощью математического аппарата нечеткой логики. Такое комбинированное использование информации различного типа позволяет снизить уровень неопределенности экономической ситуации и принимать более обоснованные решения по воздействию на инженерные сети зданий.

Обоснованность принимаемых решений характеризуется значением функции принадлежности, сформированной экспертным методом, для каждого из значений нечеткого интервала до очередного управляющего воздействия. Данный подход может найти практическое применение в управляющих компаниях, обслуживающих жилищный фонд, а также в эксплуатационных подразделениях предприятий, на балансе которых имеются здания и сооружения.

**Литература**

1. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник // Под ред. В.Д. Дмитриева, Б.Г. Мишукова. Л. : Стройиздат, Ленигр. отд-ние, 1988. 338 с.
2. Алексеев М. И., Мишуков Б. Г., Дмитриев В. Д. и др. Эксплуатация систем водоотведения и канализации, М.: Высшая школа, 1993. – 272 с.
3. Рогонский В. А. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений / В.А. Рогонский, А.И. Костриц, В.Ф. Шеряков и др. – СПб.: ОАО Издательство «Стройиздат СПб», 2004.– 272 с.
4. Игнатчик С. Ю. Обеспечение надежности и энергосбережения при расчете сооружений для транспортирования сточных вод. // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 8, с. 56.
5. Поршнева В. Н., Привен Е. М., Битиев А. В. Принципы обеспечения надежности функционирования системы водоснабжения. // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 7, ч. 1, с. 40.
6. Аснина А. Я., Аснина Н. Г., Ефимова О. Е., Шипилов В. Н. Механизмы построения оптимального плана технического обслуживания и ремонтов инженерных сетей. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 8. С. 125-128.
7. Merenkov A., Sennova E., Sumarokov S. Optimization of development of heat and water supply system // Sov. Techn. Rev., A, Energy. New York : Harwood Academic Publ. GmbH, 1994. Vol. 6.1. Part 4. P.1-31.
8. Grigg Neil S. Urban Water infrastructure: Planning, management and operations New York etc.: Wiley cop. 1986. 328 p.
9. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. / Пер. с нем. М. : Радио и связь, 1988. 392 с.
10. Попов Э.В. Экспертные системы. М. : Наука, 1987. 284 с.
11. Huppi W. Facility Management. ERNST & SOHN, 1998. 250 p.
12. Зеленцов В. А. Надежность, живучесть и техническое обслуживание сетей связи. Л. : МО, 1991. 169 с.
13. Кобилев А. Г., Кирнеев А. Д., Рудой В. В. Муниципальное управление и социальное планирование в муниципальном хозяйстве. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 608 с.
14. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / пер. с англ. М. : Мир, 1976. 166 с.
15. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
16. Ильин Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. М. : Стройиздат., 1985. 240 с.
17. Алексеев М. И., Ермолин Ю. А. Вероятностные характеристики времени наработки между отказами восстанавливаемых объектов водопроводно-канализационного хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 5. С. 26.

*\*Тамара Николаевна Солдатенко, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: soldatenko-tn@bk.ru*

# The expert and statistical method of estimation the parameters of control actions on building networks under uncertainty conditions

T.N. Soldatenko,

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia,  
+7(812)297-59-49; e-mail: soldatenko-tn@bk.ru

## Key words

engineering networks; fuzzy variables; reliability indicators; accessory function; fuzzy logic

## Abstract

Known methods of definition the parameters of operating influences on engineering networks leave out of account the uncertainty at the organization of upkeep of buildings and their engineering networks. In these methods the interval before the next operating influence is considered as determined value or sometimes as a random variable. The urgency of the offered approach consists in the account of the actual conditions in management of engineering networks.

The work purpose is decreasing in level of uncertainty at estimation the parameters of management of engineering networks. The specified interval is considered as fuzzy variable; the apparatus of fuzzy logic is implemented at calculations.

The correction possibility for terms of carrying out of influences on engineering networks was estimated by means of expert poll. The level of confidence of expert estimations is characterized by the values of membership function of fuzzy value of the influence period. In the method the combination of the collected information on properties of change process of engineering network quality and results of expert poll is used. It allows to decrease uncertainty level at decision-making and to raise its validity.

The offered approach got numerical approval on the estimation of reliability indicators of ventilation system compressor and showed the working capacity. On basis of these results the area and conditions of method application are determined.

## References

1. *Ekspluatatsiya sistem vodosnabzheniya, kanalizatsii i gazosnabzheniya: Spravochnik* [Maintenance of water supply, sewage and gas supply systems. Handbook]. Pod red. V.D. Dmitrieva, B.G. Mishukova. Leningrad : Stroyizdat, 1988. 338 p. (rus)
2. Alekseev M. I., Mishukov B. G., Dmitriev V. D. and others. *Ekspluatatsiya sistem vodootvedeniya i kanalizatsii* [Maintenance of drainage and sewage systems]. Moscow : Vysshaya shkola, 1993. 272 p. (rus)
3. Rogonskiy V. A., Kostrits A. I., Sheryakov V.F. and others. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Operate reliability of buildings and structures]. Saint-Petersburg : Stroyizdat SPb, 2004. 272 p. (rus)
4. Ignatchik S. Yu. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2010. No. 8. P. 56. (rus)
5. Porshnev V. N., Priven E. M., Bitiev A. V. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2007. No. 7, part 1. P. 40. (rus)
6. Asnina A. Ya., Asnina N. G., Efimova O. E., Shipilov V. N. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008. vol. 4. No. 8. Pp. 125-128. (rus)
7. Merenkov A., Sennova E., Sumarokov S. Optimization of development of heat and water supply system. *Sov. Techn. Rev., A, Energy*. New York : Harwood Academic Publ. GmbH, 1994. Vol. 6.1. Part 4. Pp. 1-31.
8. Grigg Neil S. *Urban Water infrastructure: Planning, management and operations*. New York etc.: Wiley cop. 1986. 328 p.
9. Baykhelt F., Franken P. *Nadezhnost i tekhnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskiy podkhod* [Reliability and maintenance. Mathematical approach]. Moscow : Radio i svyaz, 1988. 392 p.
10. Popov E.V. *Ekspertnye sistemy* [Expert systems]. Moscow : Nauka, 1987. 284 p. (rus)
11. Huppi W. *Facility Management*. ERNST & SOHN, 1998. 250 p.

12. Zelentsov V. A. *Nadezhnost, zhivuchest i tekhnicheskoe obsluzhivanie setey svyazi* [Reliability, survivability and maintenance of telecommunications]. Leningrad : MO, 1991. 169 p. (rus)
13. Kobilev A. G., Kirneev A. D., Rudoy V. V. *Munitsipalnoe upravlenie i sotsialnoe planirovanie v munitsipalnom khozyaystve* [Municipal management and social planning in municipal services]. Rostov n/D: Feniks, 2007. 608 p. (rus)
14. Zade L. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [Concept of linguistic variable and its application to the approximate decision making]. Moscow : Mir, 1976. 166 p. (rus)
15. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Principles of reliability theory]. Saint-Petersburg : BKHV-Peterburg, 2006. 704 p. (rus)
16. Ilin YU. A. *Nadezhnost vodoprovodnykh sooruzheniy i oborudovaniya* [Reliability of waterworks and equipment]. Moscow : Stroyizdat., 1985. 240 p. (rus)
17. Alekseev M. I., Ermolin Yu. A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2009. No. 5. p. 26. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 60-67**