

Анализ диаграммы, приведенной на рис.6, показывает, что с ростом числа экспериментов  $n$  среднее значение надёжности  $P_{\text{ср}}^f$  неуклонно стремится к значению  $P^f = 0,9985$ , полученному с помощью математической модели (1). Следовательно, адекватность модели (1) доказана.

1.Гавриленко И.А., Самойленко Н.И. Метод расчета функциональной надежности трубопроводных транспортных систем // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.81. – К.: Техніка, 2008. – С.176-183.

2.Беляев Ю.К. Статистические методы в теории надежности. – М.: Знание, 1978. – 66 с.

3.Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.

4.Адекватность моделей функциональной надежности трубопроводных систем / Н.И.Самойленко, А.Б.Костенко, Т.С.Сенчук, И.А.Гавриленко, А.В.Лобан; Под ред. Н.И.Самойленко. – Харьков: НТМТ, 2009. – 115 с.

*Получено 19.04.2010*

УДК 658

Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, Т.С.СЕНЧУК  
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ**

Рассматриваются вопросы организации и проведения вычислительного эксперимента по проверке адекватности метода аварийно-ремонтных зон и математических моделей, построенных с его помощью.

Розглядаються питання організації та проведення обчислювального експерименту по перевірці адекватності методу аварійно-ремонтних зон і математичних моделей, побудованих за його допомогою.

In the given paper questions of the organization and carrying out of calculation experiment on check of adequacy of a method of zones of breakdown and repair and the mathematical models constructed with its help are considered.

*Ключевые слова:* функциональная надежность, метод аварийно-ремонтных зон, перемычка, задвижка, магистральная трубопроводная транспортная система.

При проектировании городских трубопроводных сетей с учётом показателей функциональной надёжности (ФН) необходимо иметь математические модели, которые адекватно отражают эти показатели в зависимости от структуры и состава сети.

Существующие подходы к проблеме расчета ПФН трубопровода освещаются в работах [1-3]. Анализ этих и других источников по данной тематике свидетельствует, что существующие методы расчёта на-

дёжности трубопроводных сетей ориентированы на расчёт показателей, характеризующих их техническое состояние [2] или точность гидравлического расчёта по доставке и распределению целевого продукта [3]. Вопросы же ФН трубопроводных сетей или не рассматриваются вообще, или касаются только их оценки. При этом проведение вычислительного эксперимента (ВЭ) по проверке адекватности расчетных моделей, как правило, остается вне рассмотрения.

Целью работы является проверка адекватности математических моделей функциональной надёжности трубопроводных сетей с помощью ВЭ, имитирующего во времени и пространстве процессы эксплуатации системы. Имитация заключается в организации с помощью генераторов случайных чисел аварийных ситуаций (отказов) на различных элементах трубопроводной системы в течение определённого периода времени  $T$  и подсчёте относительного времени бесперебойной поставки целевого продукта каждому потребителю системы.

Скоротечность работы компьютерных программ позволяет кардинально изменить качество проверки. Теперь нет необходимости строить доверительные интервалы для исследуемого показателя, поскольку многократное повторение ВЭ, согласно закону больших чисел, приводит к истинному значению показателя ФН

$$P^f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{P}_i^f, \quad (1)$$

где  $n$  – достаточно большое количество экспериментов по проверке адекватности модели;  $\tilde{P}_i^f$  – значение показателя ФН при  $i$ -м эксперименте;  $P^f$  – истинное, или адекватное, значение показателя ФН.

Из всех трубопроводных систем, используемых в хозяйственной деятельности городов, регионов и страны в целом, наиболее подходящими для проверки адекватности аналитического метода являются магистральные трубопроводные транспортные системы, которые по пути транспортировки от источника до конечного пункта не имеют промежуточных пунктов отбора целевого продукта. Объясняется это тем, что данные системы имеют малую размерность: один источник целевого продукта, один потребитель, малое количество трубопроводных участков. Причём все трубопроводные участки обладают однородностью: имеют одинаковый диаметр труб, толщину стенок, материал изготовления и достаточно равные условия эксплуатации и проведения аварийно-ремонтных и профилактических работ. Однородность участков позволяет в программе проверки использовать одну интенсивность отказов  $\lambda$  и одну интенсивность восстановления  $\mu$

для всех трубопроводов.

Организация ВЭ по проверке адекватности моделей ФН даже для несложных трубопроводных систем требует больших затрат времени и сил.

Пусть для системы произвольной сложности уже с помощью метода аварийно-ремонтных зон (АРЗ) [1] рассчитаны показатели ФН системы относительно каждого потребителя системы, т.е. определены величины  $P^{f_k}$ , где  $k = \overline{1, P}$ ;  $P$  – общее количество потребителей. Расчёт показателей ФН предполагает, что программно реализованы все этапы метода АРЗ. А это значит, что в память компьютера введены все основные исходные данные о структуре и параметрах трубопроводной сети, построен исходный граф сети, проведено разбиение графа сети на подграфы АРЗ, рассчитаны показатели технической надёжности каждой АРЗ, построены и упрощены графы АРЗ сети относительно каждого потребителя, определены расчётные модели ФН. Тогда ВЭ для систем произвольной сложности предполагает разработку и отладку программного обеспечения для следующих процедур:

1. Разбиение всех трубопроводных участков сети на однородные группы в зависимости от интенсивности возникновения отказов  $\lambda$  и интенсивности восстановления  $\mu$ .
2. Расположение трубопроводных участков каждой однородной группы в одну координатную линию. Определение общей длины участков, координат начала и конца каждого участка.
3. Определение общего числа отказов на трубопроводных участках для каждой однородной группы в течение расчётного периода времени  $T$ .
4. Определение параметров отказов трубопроводных участков.
5. Разбиение запорной арматуры на однородные группы в зависимости от вероятности их безотказной работы.
6. Определение общего числа отказов на запорной арматуре для каждой однородной группы в течение расчётного периода времени  $T$ .
7. Определение параметров отказов запорной арматуры.
8. Привязка отказов трубопроводных участков к аварийно-ремонтным зонам.
9. Составление карты влияния отказов возникающих в АРЗ, на поставку целевого продукта разным потребителям.
10. Составление карты влияния отказов запорной арматуры на поставку целевого продукта конкретным потребителям.
11. Построение основной временной оси для временной диаграммы поставки целевого продукта для  $r$ -го потребителя сети и её



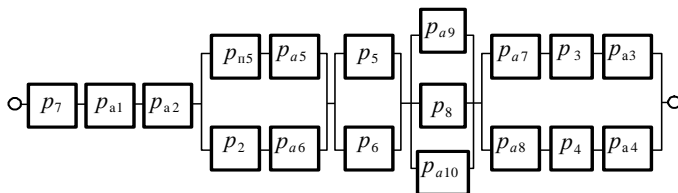


Рис.2 – Расчётная графическая модель ФН

Пусть трубопроводные участки  $t_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) системы имеют равные параметры, а именно: длина  $l_i = 100$  км; интенсивность отказов  $\lambda = 0,1 \text{ км}^{-1}\text{год}^{-1}$ ; интенсивность восстановления  $\mu_t = 365 \text{ год}^{-1}$ . Пусть также вероятность безотказной работы  $p_a$  каждой задвижки равна 0,9918, а интенсивность восстановления задвижки совпадает с интенсивностью восстановления трубопроводных участков, т.е.  $\mu_a = \mu_a = 365 \text{ год}^{-1}$ .

Поскольку длины всех трубопроводных участков перемычки и трубопроводных участков, соединяющих напорные агрегаты с ближайшими задвижками, на несколько порядков меньше любого трубопроводного участка сети, то принимаем их равными нулю. Следовательно, технические надёжности АРЗ с индексами 5, 6, 7 и 8 будут равны единице:  $p_5 = p_6 = p_7 = p_8 = 1$ .

С учётом сделанных допущений математическая модель ФН надёжности, полученная методом АРЗ, будет иметь вид:

$$P^f = p_a^2 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right] \left[ 1 - (1-p_a)^2 \right] \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1+p}{2} p_a^2 \right)^2 \right]. \quad (2)$$

В математической модели (2) при заданных исходных данных  $p = 1 - l\lambda / \mu = 0,9452$ . Тогда численное значение показателя ФН  $P^f \approx 0,9805$ .

Одноразовое выполнение программы даёт случайное значение показателя ФН  $\tilde{P}^f$ . В соответствии с последней процедурой п.17  $n$ -кратное выполнение программы и определение показателя среднего значения  $P_{\text{ср.}}^f$  по формуле (1) позволяет увидеть тенденцию изменения  $P_{\text{ср.}}^f$  в зависимости от величины  $n$ .

Результаты ВЭ представлены в виде таблицы и диаграммы на рис.3.

Результаты вычислительного эксперимента

Кол-во эксп. $i$	$\tilde{P}_i^f$	$P_{cp}^f$
1	0,980822	0,980822
2	0,969863	0,975342
3	0,980822	0,977169
4	0,969863	0,975342
5	0,989041	0,978082
6	0,983562	0,978995
7	0,980822	0,979256
8	0,975342	0,978767
9	0,978082	0,978691
10	0,975342	0,978356
100	0,989041	0,979973
200	0,980822	0,980849
300	0,978082	0,980411
400	0,972603	0,980479
500	0,980822	0,980367

Кол-во эксп. $i$	$\tilde{P}_i^f$	$P_{cp}^f$
600	0,989041	0,980416
700	0,975342	0,980352
800	0,986301	0,980753
900	0,980822	0,980828
1000	0,989041	0,980452
2000	0,980822	0,980397
3000	0,986301	0,980569
4000	0,975342	0,980438
5000	0,980822	0,980613
6000	0,986301	0,980523
7000	0,980822	0,980523
8000	0,980822	0,980451
9000	0,986301	0,980526
10000	0,983562	0,980454

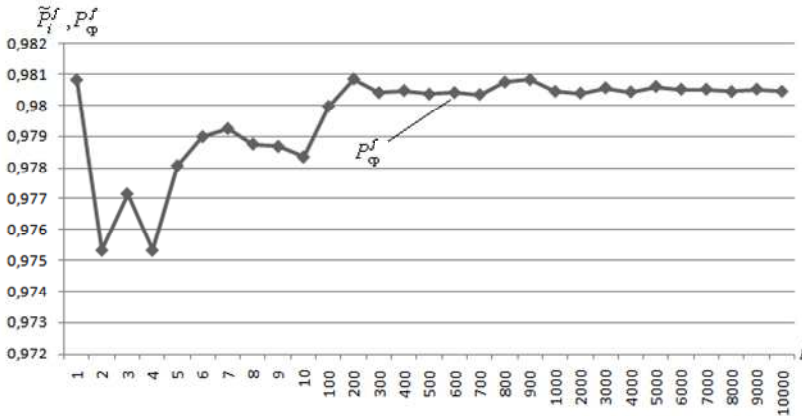


Рис – 3. Диаграмма  $P_{cp}^f$  в зависимости от количества экспериментов  $i$

Данные в таблице и диаграмме (рис.3) зависимости  $P_{cp}^f$  от числа экспериментов  $n$  свидетельствуют об адекватности математической модели (2).

Основным научным результатом настоящей статьи является разработка информационной технологии по проверке адекватности получаемых с помощью метода АРЗ математических моделей ФН и под-

тверждении правомерности использования метода АРЗ в инженерной практике.

1.Самойленко Н.И., Гавриленко И.А. Функциональная надёжность трубопроводных транспортных систем / Под ред. Н.И.Самойленко. – Харьков: ХНАМГ – Горловка: ЧП «Вид-во Ліхтар», 2008. – 180 с.

2.Ильин Ю.А. Надёжность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.

3.Евдокимов А.Г., Панасенко А.А. Оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. – Харьков: Основа, 1996. – 136 с.

*Получено 19.04.2010*

УДК 621.313

М.В.ЧЕРНЯВСКАЯ, И.Т.КАРПАЛЮК, М.Л.ГЛЕБОВА, кандидаты техн. наук  
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Рассмотрены принципы построения математических моделей вентильных двигателей, основанные на замещении открытых и закрытых клапанов сопротивлениями.

Розглянуто принципи побудови математичних моделей клапанних двигунів, побудовані на заміщенні відкритих і закритих клапанів резистивними елементами.

Principles of construction of mathematical models of valve engines are considered based on substituting for the opened and closed valves on resistances.

*Ключевые слова:* клапанный двигатель, физическая модель, электромашинная постоянная тока, синхронная электрическая машина, математическая модель.

Анализ публикаций [1, 2] показывает, что при описании физических явлений и построении физических моделей используются два основных подхода классификации клапанных двигателей (ВД):

1) ВД представляется как коллекторная машина постоянного тока;

2) ВД рассматривается как совокупность синхронного двигателя и зависимого полупроводникового преобразователя.

Большинство авторов при анализе режимов работы ВД средней и большой мощности применяют второй способ, базирующийся на теории машин переменного тока. При этом можно выделить следующие методы исследования ВД:

- аналитические методы, описывающие процессы конечными аналитическими выражениями;
- методы, основанные на гармоническом анализе;