

улучшается также окисление СПАВ и цианистых соединений. Для удаления продуктов озонлиза в хвосте сооружений устанавливается биосорбционный фильтр.

Альтернативой использованию хлора для обеззараживания воды является использование диоксида хлора, который эффективно устраняет привкусы, запахи, обусловленные жизнедеятельностью водорослей и актиномоцетов. Рационально использование диоксида хлора для обработки воды, содержащей продукт жизнедеятельности и отмирания зеленых, диатомовых, сине-зеленых водорослей, а также воды, загрязненной промышленными сточными водами. При этом в воде, обработанной диоксидом хлора, отсутствует запах, в отличие от воды, обработанной хлором [3].

Проведенные исследования показали необходимость выполнения дальнейших изысканий в данном направлении с целью обоснования экологической безопасности систем водоподготовки.

1. Душкін С.С., Дегтерева Л.І., Крамаренко Л.В., Яровінська Г.Л. Водопідготовка і процеси мікробіології. – К.: ІЗМН, 1996. – 164 с.

2. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. – 256 с.

3. Петренко Н.Ф., Мокиенко А.В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки. – Одесса: Optimum, 2005. – 486 с.

Получено 10.11.2009

УДК 693.54

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

АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБопРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Представлено доказательство адекватности аналитического метода расчета функциональной надежности. Проверку адекватности основывали на статистических методах, которые позволяют непосредственно оценить тот или иной показатель надежности системы. С помощью проведенного вычислительного эксперимента который имитирует во времени и пространстве эксплуатацию системы, доказана адекватность рассмотренных моделей.

Представлено доказ адекватності аналітичного методу розрахунку функціональної надійності. Адекватність даного методу перевірено за допомогою статистичних методів, які дозволяють безпосередньо оцінити той або інший показник надійності системи. За допомогою проведеного обчислювального експерименту, який імітує в часі та просторі експлуатацію системи, доведена адекватність розглянутих моделей.

In the given paper the analytical method of adequacy proof of functional reliability calculation has been introduced. The adequacy examination was based on the statistical methods, which allow to estimate directly this or that system reliability index. With the help of the car-

ried out calculation experiment that imitates the exploitation systems at time and space the adequacy of the considered models has been proven.

Ключевые слова: метод аварийно-ремонтных зон, адекватность метода, функциональная надёжность, трубопроводные транспортные системы.

Метод аварийно-ремонтных зон (АРЗ) позволяет решать очень важную задачу по определению вероятности непрерывной поставки целевого продукта конкретному потребителю. Этот метод положен в основу разрабатываемой теории функциональной надёжности трубопроводных систем, в которой фигурируют несколько различных показателей функциональной надёжности. Метод АРЗ является основной научной предпосылкой для проведения ряда новых исследований в области трубопроводных систем.

Аналитические методы построения математических моделей для расчёта показателей функциональной надёжности наиболее эффективны при проектировании новых систем или систем с малым периодом эксплуатации, когда базы статистических данных о системе отсутствуют или имеют недостаточный объём для получения статистически надёжных результатов.

Разработка аналитических методов сопровождается строгим научным обоснованием с соблюдением всех принципов теории надёжности технических систем. Тем не менее, генерируемые с их помощью математические модели должны быть проверены на адекватность.

Проверка адекватности моделей преследует две цели:

- доказательство адекватности конкретных моделей;
- доказательство адекватности самого метода построения моделей.

Проверку адекватности целесообразно основывать на статистических методах, которые позволяют непосредственно оценить тот или иной показатель надёжности системы. При этом проверка считается успешной, если значение показателя, рассчитанное по аналитической модели, попадает в доверительный интервал значений, полученный методами статистического анализа.

Существующие подходы к проблеме расчета функциональной надёжности трубопровода освещаются в работах [1-3]. Анализ этих и других источников по данной тематике свидетельствует, что существующие методы расчёта надёжности трубопроводных сетей ориентированы на расчёт показателей, характеризующих их техническое состояние [4-9] или точность гидравлического расчёта по доставке и распределению целевого продукта [10-12]. Вопросы же функциональной надёжности трубопроводных сетей или не рассматриваются вообще, или касаются только их оценки [13]. При этом доказательство аде-

кватности расчетных моделей функциональной надежности, как правило, не рассматривается вообще.

Целью настоящей работы является доказательство адекватности расчетных моделей, полученных методом АРЗ и предназначенных для определения точного значения показателя функциональной надежности. Доказательство адекватности моделей подтвердит правомерность использования метода АРЗ для получения модели произвольной системы. Последнее особенно актуально для сложных систем, когда проверка адекватности модели представляет собой достаточно трудоёмкий процесс.

Задачей данной работы является проведение вычислительного эксперимента, имитирующего во времени и пространстве эксплуатацию системы, для которой проверяется адекватность модели функциональной надёжности. 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.

Современные информационные и компьютерные технологии позволяют создавать виртуальные системы и осуществлять сбор виртуальных данных о поведении этих систем, ни в чём не уступающих обычным статистическим данным. Более того, в виртуальных системах можно управлять масштабом времени и сжимать период эксплуатации системы до продолжительности работы программы, реализующей процедуру проверки адекватности. При этом реальные периоды эксплуатации систем, измеряемые годами, заменяются виртуальными, измеряемыми секундами.

Скоротечность работы компьютерных программ позволяет кардинально изменить качество проверки. Теперь нет необходимости строить доверительные интервалы для исследуемого показателя, поскольку многократное повторение эксперимента, согласно закону больших чисел [4], приводит к истинному значению показателя функциональной надёжности

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

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

чение показателя функциональной надёжности.

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 λ и одну интенсивность восстановления μ для всех трубопроводов. Кроме того, структуру проверяемых магистральных трубопроводных систем можно значительно упростить: нет необходимости рассматривать всю магистраль – достаточно ограничиться её фрагментом.

Организация вычислительного эксперимента по проверке адекватности моделей функциональной надёжности даже для несложных трубопроводных систем требует больших затрат времени и сил.

Пусть для системы произвольной сложности уже с помощью метода АРЗ рассчитаны показатели функциональной надёжности системы относительно каждого потребителя системы, т.е. определены величины P^{f_k} , где $k = \overline{1, \Pi}$; Π – общее количество потребителей. Расчёт показателей функциональной надёжности 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 функциональной надёжности. Тогда вычислительный эксперимент 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 λ и интенсивности восстановления μ .

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 дублирование для отказов каждой АРЗ и каждой задвижки, в соответствии с картами влияния отказов. Присвоение временным осям индексов, соответствующих индексам АРЗ и задвижек.

12. Построение отрезков, определяющих время возникновения и продолжительность отказов в АРЗ или запорной арматуре, на соответствующей дублированной оси.

13. Коррекция расположения отрезков на каждой оси в случае их перекрытия.

14. Анализ и дополнительная коррекция отрезков на дублированных осях для тех элементов сети, отказы которых неоднозначно влияют на поставку целевого продукта конкретным потребителям.

15. Проецирование отрезков дублированных осей на основную временную ось диаграммы. Расчёт показателя функциональной надёжности относительно r -го потребителя.

16. Повторение процедур из пунктов 11-16 для каждого потребителя системы.

17. Повторение всех процедур из пунктов 1-17 достаточно большое количество раз для получения по формуле (1) истинных значений проверяемых показателей и сравнение последних с расчётными, полученными методом АРЗ.

Приведенная последовательность процедур является универсаль-

ной, поскольку позволяет проверять адекватность математических моделей функциональной надёжности систем с произвольной структурой трубопроводных сетей.

Как уже отмечалось ранее, для снижения трудоёмкости проведения эксперимента возьмем системы с простейшими структурами трубопроводных сетей. Примерами таких систем могут служить магистральные трубопроводы, состоящие из двух параллельных ниток трубопроводов, соединённых одной перемычкой.

На рис.1-3 представлены исходные графы трёх вариантов магистральных сетей с несложными трубопроводными сетями.

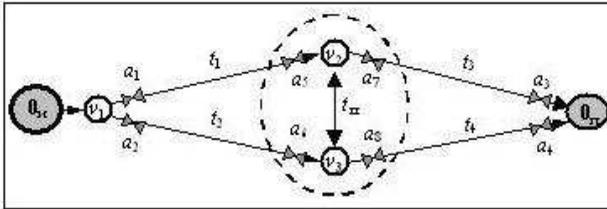


Рис.1 – Граф-схема системы двух параллельных трубопроводов, соединённых одной перемычкой с четырьмя задвижками

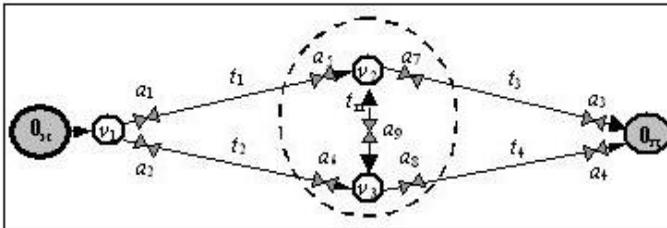


Рис.2 – Граф-схема системы двух параллельных трубопроводов, соединённых одной перемычкой с пятью задвижками

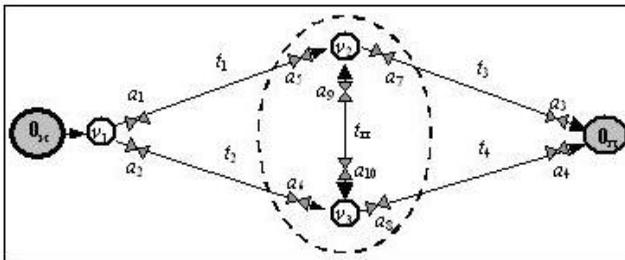


Рис.3 – Граф-схема системы двух параллельных трубопроводов, соединённых одной перемычкой с шестью задвижками

Пунктирными овалами на схемах (рис.1-3) выделены перемычки, соединяющие две нитки параллельных трубопроводов. Во всех системах трубопроводные сети соединяют единственный источник целевого продукта с единственным потребителем.

Представленные на рис.1-3 системы отличаются друг от друга только количеством задвижек на центральной трубе перемычки:

- первая система не имеет задвижек;
- вторая система имеет одну задвижку (a_0);
- третья система имеет две задвижки (a_0 и a_{10}).

Вычислительный эксперимент для проверки адекватности математических моделей надёжности систем с простыми структурами трубопроводных сетей значительно упрощается по сравнению с универсальным экспериментом.

Ещё менее трудоёмким является вычислительный эксперимент, осуществляемый при допущении, что все задвижки обладают абсолютной надёжностью. В последнем случае задвижки не влияют на прерывание поставок целевого продукта потребителям и не участвуют в вычислительном эксперименте. Последовательность процедур, реализующая такой эксперимент, будет самой короткой, а сам эксперимент по трудоёмкости – самый лёгкий.

Таким образом, все элементы систем на рис.1-3, кроме трубопроводных участков t_i ($i = \overline{1,4}$), являются абсолютно надёжными. При таком допущении все три системы будут иметь одинаковую математическую модель функциональной надёжности

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

где p – вероятность безотказной работы трубопровода, длиной l в два раза больше любого из участков t_i ($i \in \overline{1,4}$), т.е. $l = 200$ км.

При заданных исходных данных

$$p = 1 - \frac{l\lambda}{\mu} = 1 - \frac{200 \cdot 0,1}{365} = 0,9452, \quad (3)$$

а функциональная надёжность, согласно математической модели (2), $P^f = 0,9985$.

В соответствии с последней процедурой п.17 n -кратное выполнение всей последовательности процедур по определению показателя \tilde{P} и вычислению его среднего значения P_{cp}^f по формуле (1) позволяет

увидеть тенденцию изменения P_{cp}^f в зависимости от n . Так как P_{cp}^f с ростом n стремится к значению $P^f = 0,9985$, полученному с помощью математической модели (2), то адекватность последней доказана.

Результаты вычислительного эксперимента (ВЭ-1) по изложенной упрощённой методике представлены в виде табл.1 и диаграммы на рис.4.

Таблица 1 – Результаты вычислительного эксперимента ВЭ-1

Кол-во эксп. i	\tilde{P}	P_{cp}^f
1	0,997260	0,997260
2	0,994521	0,995890
3	0,997260	0,996347
4	0,997260	0,996575
5	1	0,997260
6	1	0,997717
7	0,997260	0,997652
8	1	0,997945
9	1	0,998174
10	1	0,998356
100	1	0,998849
200	1	0,998384
300	0,997260	0,998584
400	0,997260	0,998466
500	0,997260	0,998597

Кол-во эксп. i	\tilde{P}	P_{cp}^f
600	1	0,998479
700	1	0,998532
800	1	0,998640
900	1	0,998673
1000	1	0,998542
2000	0,994521	0,998558
3000	0,99726	0,998561
4000	1	0,998542
5000	1	0,998525
6000	0,994521	0,998527
7000	1	0,998535
8000	0,99726	0,998510
9000	0,99726	0,998521
10000	0,99726	0,998524

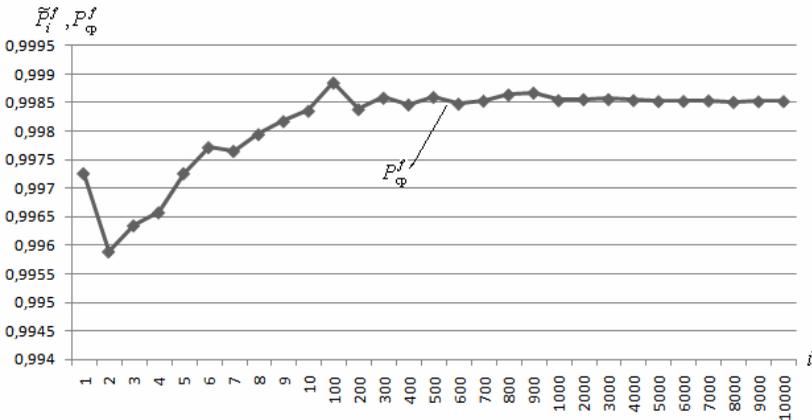


Рис.4 – Диаграмма P_{cp}^f в зависимости от количества экспериментов i

Вычислительный эксперимент значительно усложняется, если при расчёте показателя функциональной надёжности учитывать отказы запорной арматуры. Более того, вычислительные эксперименты для трёх систем на рис.1-3 будут отличаться друг от друга, поскольку будут различны их математические и графические расчётные модели, которые приведены на рис.5-7.

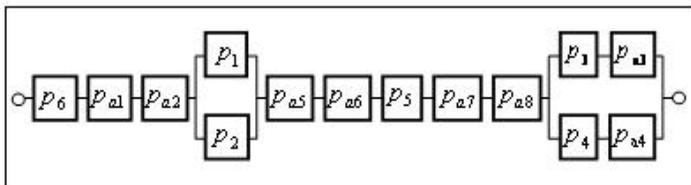


Рис.5 – Расчетная графическая модель функциональной надёжности для системы двух параллельных трубопроводов, соединенных одной перемычкой с четырьмя задвижками

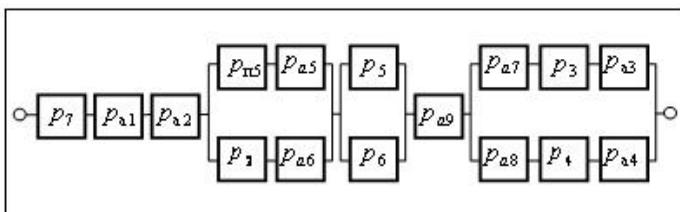


Рис.6 – Расчетная графическая модель функциональной надёжности для системы двух параллельных трубопроводов, соединенных одной перемычкой с пятью задвижками

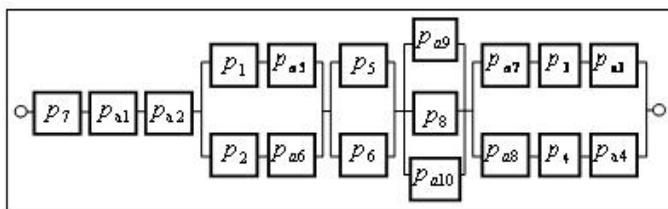


Рис.7 – Расчетная графическая модель функциональной надёжности для системы двух параллельных трубопроводов, соединенных одной перемычкой с шестью задвижками

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.

С учётом сделанных допущений математические модели функциональной надёжности, полученные методом АРЗ, будут иметь вид:

– для системы на рис.1 в соответствии с расчётной моделью на рис.5

$$P^f = p_a^6 \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} \right)^2 \right] \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right]; \quad (4)$$

– для системы на рис.2 в соответствии с расчётной моделью на рис.6

$$P^f = p_a^3 \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right] \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a^2 \right)^2 \right]; \quad (5)$$

– для системы на рис.3 в соответствии с расчётной моделью на рис.7

$$P^f = p_a^2 \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a \right)^2 \right] \left[1 - (1 - p_a)^2 \right] \left[1 - \left(1 - \frac{1+p}{2} p_a^2 \right)^2 \right]. \quad (6)$$

В математических моделях (4)-(6), согласно выражению (2), $p = 0,9452$. Тогда численное значение показателя функциональной надёжности:

– для системы на рис.1 в соответствии с математической моделью (4)

$$P^{f_1} \approx 0,9499;$$

– для системы на рис.2 в соответствии с математической моделью (5)

$$P^{f_2} \approx 0,97255;$$

– для системы на рис.3 в соответствии с математической моделью (6)

$$P^{f_3} \approx 0,9805.$$

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

Результаты вычислительных экспериментов (ВЭ 2-4) приведены в виде табл.2-4 и диаграмм (рис.8-10) соответственно.

Данные в табл.2-4 и диаграммы зависимости P_{cp}^f от числа экспериментов n на рис.8-10 свидетельствуют об адекватности математических моделей (4)-(6).

Таблица 2 – Результаты вычислительного эксперимента ВЭ-2

Кол-во эксп. i	\tilde{P}_i^f	P_{cp}	Кол-во эксп. i	\tilde{P}_i^f	P_{cp}
1	0,958904	0,958904	600	0,939726	0,949991
2	0,950685	0,954795	700	0,947945	0,950239
3	0,956164	0,955251	800	0,939726	0,950240
4	0,956164	0,955479	900	0,934247	0,950137
5	0,936986	0,951781	1000	0,956164	0,950112
6	0,947945	0,951142	2000	0,942466	0,949984
7	0,945205	0,950294	3000	0,950685	0,949980
8	0,953425	0,950685	4000	0,942466	0,949879
9	0,950685	0,950685	5000	0,945205	0,949850
10	0,950685	0,950685	6000	0,939726	0,949826
100	0,953425	0,950466	7000	0,956164	0,949779
200	0,942466	0,950151	8000	0,947945	0,949753
300	0,945205	0,950219	9000	0,945205	0,949784
400	0,945205	0,949911	10000	0,942466	0,949789
500	0,942466	0,950005			

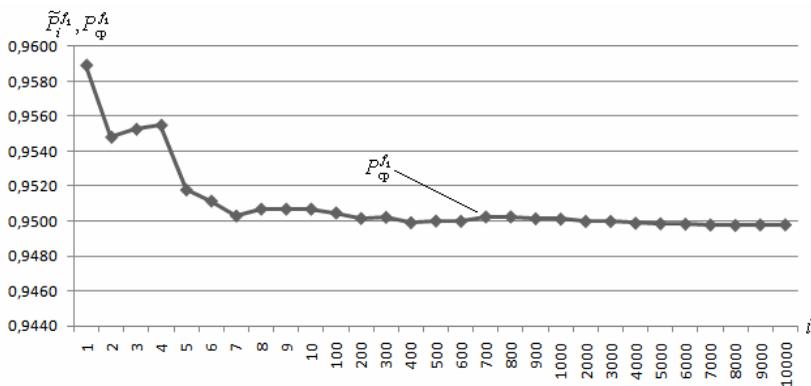


Рис.8 – Диаграмма P_{cp}^f в зависимости от количества экспериментов i

Таблица 3 – Результаты вычислительного эксперимента ВЭ-3

Кол-во эксп. i	$\tilde{P}_i^{f_2}$	P_{cp}^f	Кол-во эксп. i	$\tilde{P}_i^{f_2}$	P_{cp}^f
1	2	3	1	2	3
1	0,975342	0,975342	600	0,978082	0,972735
2	0,972603	0,973973	700	0,975342	0,972368
3	0,980822	0,976256	800	0,975342	0,972449
4	0,972603	0,975342	900	0,978082	0,972481
5	0,972603	0,974795	1000	0,978082	0,972293

Продолжение табл.3

1	2	3
6	0,983562	0,976256
7	0,989041	0,978082
8	0,980822	0,978425
9	0,980822	0,978691
10	0,956164	0,976438
100	0,961644	0,973068
200	0,972603	0,972562
300	0,978082	0,973187
400	0,969863	0,971884
500	0,969863	0,971962

1	2	3
2000	0,975342	0,972538
3000	0,980822	0,972423
4000	0,972603	0,972613
5000	0,972603	0,972370
6000	0,975342	0,972516
7000	0,969863	0,972487
8000	0,969863	0,972441
9000	0,964384	0,972559
10000	0,967123	0,972618

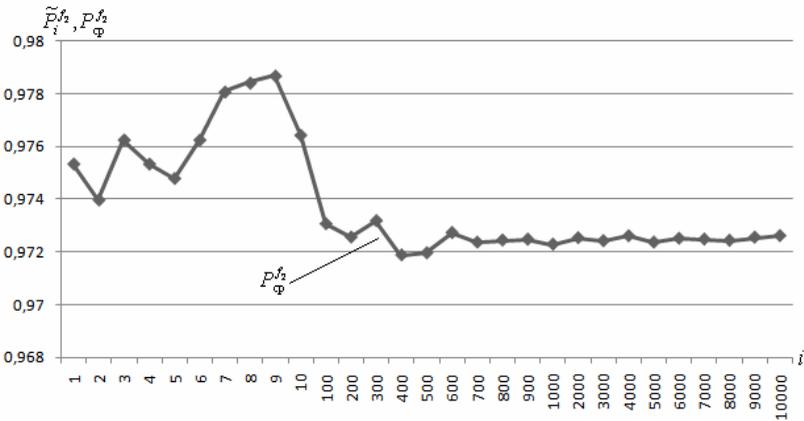


Рис.9 – Диаграмма $P_{ср}^{f_2}$ в зависимости от количества экспериментов i

Таблица 4 – Результаты вычислительного эксперимента ВЭ-4

Кол-во эксп. i	$\tilde{P}_i^{f_3}$	$P_{ср}^f$
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

Кол-во эксп. i	$\tilde{P}_i^{f_3}$	$P_{ср}^f$
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

Продолжение табл.4

1	2	3
200	0,980822	0,980849
300	0,978082	0,980411
400	0,972603	0,980479
500	0,980822	0,980367

1	2	3
8000	0,980822	0,980451
9000	0,986301	0,980526
10000	0,983562	0,980454

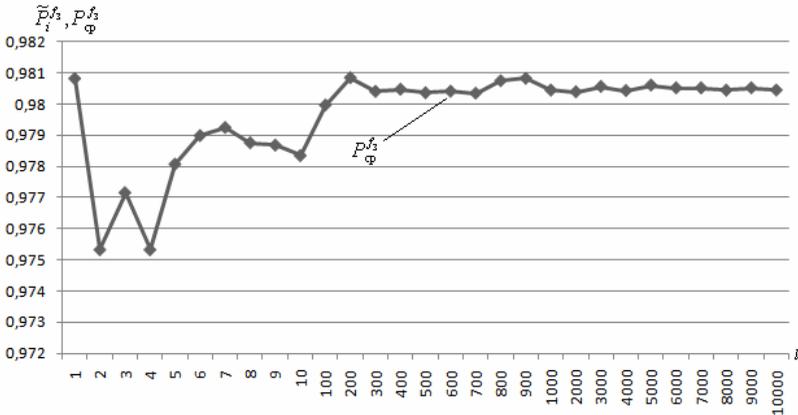


Рис.10 – Диаграмма P_{cp}^f в зависимости от количества экспериментов i

Основным научным результатом настоящей работы является доказательство состоятельности аналитического метода (метода АРЗ) для расчёта показателя функциональной надёжности (вероятности бесперебойной поставки целевого продукта (ЦП) конкретному потребителю). Доказательство основано на виртуальном построении (цифровом моделировании) тестовых трубопроводных систем и проверки статистическими методами адекватности получаемых с помощью метода АРЗ математических моделей.

Основные практические результаты:

- разработка универсальной методики проверки адекватности аналитических моделей для расчёта вероятности бесперебойной поставки ЦП потребителям для систем со сложной структурой и разнородным составом трубопроводной сети;
- разработка упрощённой методики проверки адекватности аналитических моделей для расчёта вероятности бесперебойной поставки ЦП потребителям для простых трубопроводных систем.

Практическое значение научного результата заключается в том, что:

– конструкторы и проектировщики получили инструмент для создания, реконструкции и развития сложных трубопроводных систем (водопроводных, тепловых, газовых и др.) с высокой функциональной надёжностью;

– эксплуатационники трубопроводных систем получили инструмент для определения узких мест, т.е. участков или целых зон трубопроводной сети с недостаточной функциональной надёжностью;

– потребители сети получили критерий, позволяющий определять надёжность поставки ЦП и наиболее выгодные места подключения к трубопроводной сети.

Безусловно, проведенные исследования не исчерпывают всего комплекса задач, решение которых необходимо для окончательного формирования общей теории функциональной надёжности трубопроводных транспортных систем (ТТС). К нерешённым или частично решённым задачам следует отнести:

- разработку универсального алгоритма расчёта функциональной надёжности сети с учётом возможных мостовых соединений в графе аварийно-ремонтных зон;
- обобщение метода АРЗ на расчёт функциональной надёжности трубопроводной системы с двумя и более источниками ЦП;
- определение предельно допустимых параметров трубопроводных систем при заданных ресурсах и условиях, в том числе оптимального количества перемычек в магистральных системах;
- цифровое моделирование методов расчёта и др.

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

2.Гавриленко И.А., Самойленко Н.И. Анализ методов оценки надёжности трубопроводных транспортных систем в автоматизированных системах управления // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.63. – К.: Техніка, 2005. – С.195-199.

3.Рудь И.А. Методы, критерии, и алгоритмы принятия решений по эксплуатации и развитию инженерных сетей с учётом их надёжности: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Харьков, 2001. – 153 с.

4.Рудь И.А. Расчет надёжности технических систем с мостовым соединением элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн.сб. Вып.20. – К.: Техніка, 1999. – С.37-42.

5.Душкин С.С., Краев И.О. Эксплуатация систем водоснабжения и водоотведения. – К., 1993. – 164 с.

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

7.Коваленко И.Н. Исследования по анализу надёжности сложных систем. – К.: Науч. думка, 1976. – 211 с.

8.Коваленко И.Н., Кузнецов И.Ю. Методы расчета высоконадежных систем. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.

9.Рудь И.А. Модели надёжности технических систем с мостовым соединением элементов // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков, 2000. – №3. – С.86-87.

10.Евдокимов А.Г. Минимизация функций и её приложения к задачам автоматизированного управления инженерными сетями. – Харьков: Вища шк., 1980. – 208 с.

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

12.Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. – Харьков: Вища шк., 1980. – 144 с.

13.Петросов В.А. Управление региональными системами водоснабжения. – Харьков: Основа, 1999. – 320 с.

Получено 26.11.2009

УДК 678.01 : 53

С.В.СОРОКИНА, Т.М.ЛЕТУТА, кандидаты техн. наук,

В.О.АКМЕН, О.В.М'ЯЧИКОВ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

ПОРІВНЯЛЬНЕ ТЕСТУВАННЯ ПРОЗОРИХ ПОЛІМЕРІВ

Наведено результати експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей різних видів прозорих пластиків.

Приведены результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств разных видов прозрачных пластиков.

The results of experimental researches of physical and chemical properties of different types of transparent plastics are resulted.

Ключові слова: полімери, прозори пластики, оргскло.

Нові технології виробництва майже повністю витиснули з життя натуральні деревинні матеріали та залізні конструктивні елементи. На заміну їм впевнено входять полімерні матеріали. Слід зауважити, полімери, що володіють достатньою міцністю, недешеві у виробництві. Але технічний прогрес стрімко насичує життя споживачів новими товарами, збуджуючи усіх витратити все більші кошти на модернізацію середовища навколо себе. Зараз полімери зайняли місце стандартних, звиклих конструктивних елементів з ДСП, з нержавіючих елементів, і тим паче з деревини. Пластик застосовується у виробництві меблів, побутових товарів, електротоварів, несучих конструктивних елементах, вікнах, деталях машин, обладнанні та ін. Однак, незважаючи на переваги, негативною є проблема втрати прозорості з часом і нестійкість поверхні до незначних подряпин, що значно погіршує естетичний вигляд виробів [1, 2]. Нині існує багато видів полімерних матеріалів, властивості яких відрізняються, тому актуальним завданням є визначення вигляду матеріалу, що володіє найбільшою стійкістю до тертя та дії світла.