

2. Колесов А. Особенности технологий раннего и позднего связывания в Visual Basic [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.visual.2000.ru/develop/ms-vb/cp0009-1/binding.htm>.

3. Арчер Том, Уайтчепел Эндоу. Visual C++.NET. Библия пользователя: Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2003. – 1216 с.

4. Буллен Стивен, Боуи Роб, Грин Джон. Профессиональная разработка приложений Excel: Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д.Вильямс”, 2007. – 736 с.

5. Кашаев С.М. Офисные решения с использованием Microsoft Excel 2007 и VBA. – СПб.: Питер, 2009. – 352 с.

6. Уокенбах Джон. Microsoft Office Excel 2007: профессиональное программирование на VBA: Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д.Вильямс”, 2008. – 928 с.

Получено 14.04.2010

УДК 378.14

Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, А.Б.КОСТЕНКО, канд. физ.-матем. наук,
В.А.ПОПОВ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСЧЕТЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Определяется математическая модель влияния установки дополнительной запорной арматуры на функциональную надёжность простейшей трубопроводной системы. Проверяется адекватность модели с помощью цифрового моделирования процесса эксплуатации такой системы.

Визначається математична модель впливу установки додаткової запірної арматури на функціональну надійність простої трубопровідної системи. Перевіряється адекватність моделі за допомогою цифрового моделювання процесу експлуатації такої системи.

The mathematical model of influencing of setting of additional constipation armature is determined on functional reliability of the simplest pipeline system. Model adequacy is checked up by the digital design of process of exploitation of such system.

Ключевые слова: городские трубопроводные сети, функциональная надежность системы, цифровое моделирование.

Установка дополнительной запорной арматуры в трубопроводных транспортных системах является одним из широко используемых структурных методов изменения системной надёжности. При этом надёжность системы в зависимости от надёжности устанавливаемой арматуры $p_{ад}$ может изменяться как в одну, так и в другую сторону.

Анализ методов расчёта функциональной надёжности (ФН) сложных трубопроводных сетей говорит о необходимости учета влияния запорной арматуры на общую надёжность сети.

Целью статьи является формализация влияния дополнительной задвижки на ФН системы и проверка адекватности полученной математической модели с помощью вычислительного эксперимента.

Основным показателем ФН является вероятность бесперебойной поставки целевого продукта (ЦП) потребителю в течение определённого периода времени.

Простейшая трубопроводная транспортная система показана на рис.1.

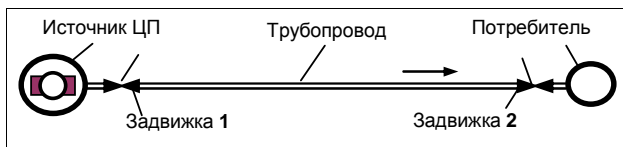


Рис. 1 – Схема простейшей магистральной трубопроводной системы

Функциональной надёжности системы, изображенной на рис.1, соответствует последовательная модель (рис.2). Система выполняет свою функциональную задачу, если только все её конструктивные элементы (трубопровод, задвижки 1 и 2) одновременно находятся в работоспособном состоянии. Система не способна выполнять функциональную задачу, если хотя бы один из её конструктивных элементов выходит из строя.

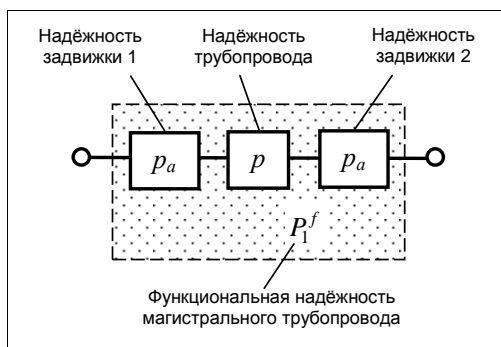


Рис. 2 – Последовательная модель ФН простейшего трубопровода

Пусть техническая надёжность обеих задвижек одинакова и равна p_a , а техническая надёжность трубопровода равна p , тогда в соответствии с последовательной моделью (рис.2) ФН системы определится выражением

$$P_1^f = p \cdot p_a^2. \quad (1)$$

Важной функциональной особенностью трубопровода является

его зависимость от работоспособности любого участка трубопровода. Какую бы длину не имел участок и где бы он не располагался по маршруту пролегания трубопровода, выход его из строя автоматически влечёт выход из строя всего трубопровода. Для ликвидации неисправности необходимо весь трубопровод освободить от ЦП.

Если с помощью установки (врезки) дополнительной задвижки разбить трубопровод на два равных по длине участка (рис.3), то ФН системы будет соответствовать модели на рис.4.

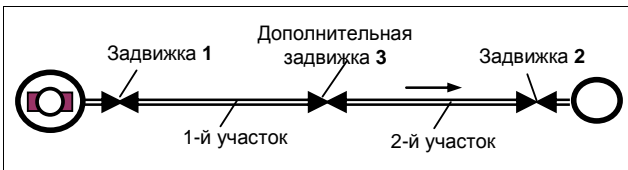


Рис. 3 – Схема простейшей трубопроводной системы с дополнительной задвижкой

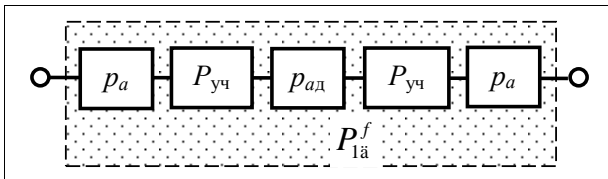


Рис. 4 – Последовательная модель ФН простейшего трубопровода с дополнительной задвижкой

Для количественного определения степени влияния установки дополнительной задвижки на изменение её ФН, необходимо в выражении функциональной надёжности системы (рис.3)

$$P_{1д}^f = p_{уч}^2 \cdot p_a^2 \cdot p_{ад} \quad (2)$$

неизвестную вероятность $p_{уч}$ выразить через вероятность безотказной работы трубопровода p , после чего сравнить между собой величины P_1^f и $P_{1д}^f$.

Поскольку оба участка по длине в два раза меньше длины трубопровода, то частота отказов на каждом из участков будет в два раза меньше частоты отказов в трубопроводе

$$(1 - p_{уч}) = \frac{1}{2}(1 - p). \quad (3)$$

Отсюда

$$p_{\text{уч}} = \frac{(1+p)}{2}. \quad (4)$$

После подстановки (4) в (2) имеем

$$P_{\text{лд}}^f = \frac{(1+p)^2}{4} \cdot p_a^2 p_{\text{ад}}. \quad (5)$$

Выражение (5) является математической моделью ФН системы с учётом симметричной врезки дополнительной задвижки.

Анализ выражений (1), (5) показывает, что при абсолютной технической надёжности всех задвижек ($p_a = p_{\text{ад}} = 1$) ввод дополнительной задвижки приводит к росту надёжности всей системы. Объясняется это тем, что выходы из строя участков являются независимыми. При этом общее время нахождения системы в неисправном состоянии уменьшается за счёт появления возможности одновременной локализации и устранения неисправностей на обоих участках.

Следует заметить, что ввод дополнительной задвижки приводит к уменьшению среднего времени устранения неисправности: при отказе одного из участков нет необходимости удалять ЦП из другого работоспособного участка. На уменьшение среднего времени ремонта сказывается как более быстрое освобождение неисправного трубопроводного участка от ЦП, так и более быстрый ввод в эксплуатацию этого участка после ремонта. К сожалению, математическая модель (5) не учитывает изменение среднего времени ремонта. Поэтому выражение (5) соответствует нижней оценке ФН. Для получения точного значения данного показателя необходимо скорректировать величину p следующим образом:

$p_{\text{кор.}} = 1 - \frac{(1-p)t_{\text{д}}}{t_{\text{ср}}}$, где $t_{\text{ср.}}$ – среднее время устранения

одной аварии в простейшей трубопроводной системе (рис.2); $t_{\text{д}}$ – среднее время устранения одной аварии в системе с дополнительной задвижкой.

В дальнейшем эффект сокращения времени ликвидации одной аварии учитываться не будет.

Нелинейность выражения (5) свидетельствует о различном влиянии ввода дополнительной задвижки на изменение функциональных параметров системы. В таблице 1 приведены расчётные данные для построения графиков зависимостей различных функциональных параметров системы (рис.5) от технической вероятности трубопровода p , а именно: ФН системы P_1^f ; ФН системы с дополнительной задвижкой

кой $P_{1д}^f$; абсолютного повышения ФН $\Delta P_{1д}^f$ системы за счёт ввода дополнительной задвижки; коэффициент повышения ФН $k_{1д}^f$ системы за счёт ввода дополнительной задвижки; относительного повышения ФН $\sigma_{1д}^f$ системы за счёт ввода дополнительной задвижки.

Зависимости параметров системы от технической надёжности трубопровода p при абсолютной технической надёжности задвижек

$P_1^f = p$	$P_{1д}^f = \frac{(1+p)^2}{4}$	$\Delta P_{1д}^f = P_1^f - P_{1д}^f$	$k_{1д}^f = \frac{P_{1д}^f}{P_1^f}$	$\sigma_{1д}^f = \frac{\Delta P_{1д}^f}{P_1^f} 100\%$
0,0	0,2500	0,2500	∞	∞
0,01	0,2550	0,2450	25,50	2450,00
0,1	0,3025	0,2025	3,025	202,50
0,2	0,3600	0,1600	1,800	80,00
0,3	0,4225	0,1225	1,408	40,83
0,4	0,4900	0,0900	1,225	22,50
0,5	0,5625	0,0625	1,125	12,50
0,6	0,6400	0,0400	1,067	6,67
0,7	0,7225	0,0225	1,032	3,21
0,8	0,8100	0,0100	1,012	1,25
0,9	0,9025	0,0025	1,003	0,28
0,99	0,990025	0,000025	1,000025	0,0025
1,0	1,0000	0,0000	1,000	0,00

Данные в таблице получены в предположении, что все задвижки системы обладают абсолютной технической надёжностью, т.е. $P_a = P_{ад} = 1$.

Графики на рис.5 демонстрируют абсолютное и относительное увеличение ФН системы при вводе дополнительной задвижки. При этом наибольший эффект увеличения наблюдается при низкой технической надёжности трубопровода p . Так, на интервале $p \in (0,0 \div 0,7)$ абсолютное увеличение ФН $\Delta P_{1д}^f$ изменяется от 0,25 до 0,0225, а относительное – от ∞ до 3,21%. Следовательно, при низкой надёжности исходного трубопровода врезка задвижки с целью повышения ФН системы вполне оправдана.

В рабочем диапазоне технической надёжности трубопровода $p \in (0,7 \div 0,99)$, наблюдается довольно слабый эффект повышения ФН: абсолютное повышение – от 0,0225 до 0,000025; относительное – от 3,21 до 0,0025. Безусловно, врезка дополнительной задвижки в таких условиях не принесёт ощутимого полезного результата. Более того, в реальных трубопроводных системах не бывает идеальных задви-

жек. А это значит, что при последовательной модели надёжности (рис. 4), которое имеет место в простейшей трубопроводной системе, ввод задвижки с технической надёжностью $p_{ад} < 1$ может существенно ослабить эффект повышения ФН всей системы, а порой – привести к отрицательному результату.

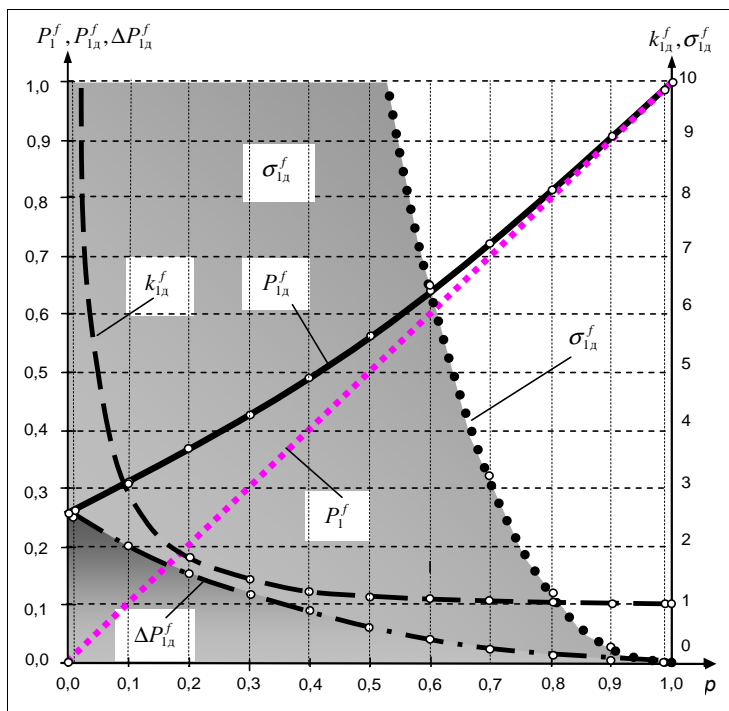


Рис. 5 – Графики зависимостей параметров системы от технической надёжности трубопровода p при абсолютной надёжности задвижек

Из сказанного следует, что ввод идеальной задвижки в систему с технической надёжностью $p_{ад} = 1$ позволяет при низкой надёжности трубопровода ($p \ll 1$) значительно повысить ФН всей системы. Результат же влияния ввода задвижки на изменение ФН системы при высокой надёжности трубопровода ($p \approx 1$) зависит от технической надёжности вводимой задвижки. Для выявления этой зависимости необходимо установить соотношение между выражениями (1) и (5):

$$P_1^f \diamond P_{1д}^f, \quad (6)$$

где \diamond – знак соотношения ($<$, $=$, $>$).

После подстановки (1) и (5) в (6) имеем

$$p \cdot p_a^2 \diamond \frac{(1+p)^2}{4} \cdot p_a^2 \cdot p_{ад}, \text{ или} \\ p \diamond \frac{(1+p)^2}{4} \cdot p_{ад}. \quad (7)$$

Левая и правая части выражение (7) равны при технической надёжности вводимой задвижки

$$p_{ад} = \frac{4p}{(1+p)^2}. \quad (8)$$

Следовательно, ввод задвижки при условии (8) не имеет практической целесообразности, поскольку ФН системы не меняется, а затраты на установку задвижки имеют место.

При $p_{ад} > \frac{4p}{(1+p)^2}$ ФН системы возрастает. Докажем это утверждение.

Пусть $p_{ад} = \frac{4p}{(1+p)^2} + \delta$, где δ – сколь угодно малая величина.

Тогда соотношение (7) примет вид :

$$p \diamond \frac{(1+p)^2}{4} \left[\frac{4p}{(1+p)^2} + \delta \right], \text{ или} \\ p \diamond p + \frac{(1+p)^2}{4} \delta. \quad (9)$$

Из (8) следует, что знаком « \diamond » является знак « $<$ », т.е. ФН системы возрастает.

При $p_{ад} < \frac{4p}{(1+p)^2}$ ФН системы падает. В данном случае уста-

новка дополнительной задвижки в систему противопоказана: затраты на установку задвижки усугубляются ещё и потерей ФН системы.

Современные информационные технологии позволяют осуществить доказательство адекватности модели (5) для конкретных значений $p, p_a, p_{ад}$. Доказательство осуществляется с помощью вычислитель-

ного эксперимента, который предполагает создание виртуальной модели трубопроводной сети и имитацию процесса её эксплуатации. Для имитации используется генератор случайных чисел, который в зависимости от заданной интенсивности возникновения неисправностей случайным образом распределяет их во времени между различными конструктивными элементами сети. Тривиальные статистические методы позволяют вычислить случайное значение ФН системы при однократном проведении вычислительного эксперимента. Многократное повторение вычислительного эксперимента согласно закону больших чисел приводит к математическому ожиданию ФН системы [2]. Сравнение получаемого экспериментального результата с его расчётным аналогом позволяет определить степень адекватности модели.

Организованный и проведенный вычислительный эксперимент по проверке математической модели (5) полностью подтвердил её адекватность.

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

2.Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Получено 19.04.2010

УДК 658

А.Б.КОСТЕНКО, канд. физ.-матем. наук, А.В.ЛОБАН,

Н.И.САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПО ПРОВЕРКЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

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

Розглядаються питання побудови обчислювального алгоритму з перевірки адекватності методу аварійно-ремонтних зон і математичних моделей, що побудовані з його допомогою.

In the given paper questions of calculation algorithm construction on check of adequacy of a method of zones of breakdown and repair (ZBR) and the mathematical models constructed with its help are considered.

Ключевые слова: метод АРЗ, функциональная надежность, запорная арматура, трубопроводная транспортная система (ТТС), адекватность математических моделей.

В настоящее время разработан метод [1], позволяющий теоретически рассчитать надежность поставки целевого продукта (ЦП) к по-