

*А.И. Васильев,  
В.В. Соловей*

## **РОЛЬ МАЛОЗАТРАТНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ В ПРОДЛЕНИИ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Сложившаяся ситуация в водохозяйственном комплексе Украины требует принятия экстренных мер по обеспечению продления срока эксплуатации действующего оборудования на ближайшие 10-15 лет за счет реконструкции (модернизации) и восстановительных ремонтов с заменой наиболее изношенных агрегатов узлов и деталей. Практически все предприятия нуждаются в санации действующих производственных мощностей и повышении эффективности их эксплуатации [1]. Этот путь в условиях дефицита финансов обеспечит эффективное, устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса и позволит аккумулировать необходимые средства для последующего развития его организационной и материально-технической базы [2].

Одним из путей решения этой задачи может быть малозатратная модернизация оборудования за счет замены отдельных узлов и агрегатов, а также на основе совершенствования технологических схем водоснабжения, обеспечивающих возможность не только продления срока их эксплуатации [3].

Практическая реализация концепции малозатратной модернизации требует перехода от качественных к количественным характеристикам этого понятия. В отличие от понятия «санация технического оборудования», которое предусматривает действия, направленные

на фактическое восстановление функций и показателей оборудования на уровне, соответствующем периоду его ввода в эксплуатацию, малозатратная модернизация предполагает не только продление ресурса и связанного с этим возможного продолжения эксплуатации, но и обязательное улучшение технико-экономических показателей до уровня, соответствующего современным аналогам. Это достигается на основе применения новых материалов, использования современных технических решений, включая автоматизированные системы управления, и других ресурсо- и энергосберегающих мероприятий.

Установлено, что реализация малозатратной модернизации экономически целесообразна в случае, если затраты на ее проведение в зависимости от вида оборудования не превышают 20-25% стоимости современного аналога.

Исследования технического состояния оборудования на предприятиях водохозяйственного комплекса показали, что по условиям надежной и безопасной работы возможно дальнейшее продление срока службы основных элементов оборудования сверх предельного паркового ресурса. При определении фактического технического состояния объектов должны в равной мере использоваться как экспериментальные методы оценки накопленной поврежденности в металле

---

© Васильев Анатолий Иосифович – кандидат социологических наук.  
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.  
Соловей Виктор Васильевич – доктор технических наук.  
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков.

основных элементов (дефектоскопический контроль, исследование структуры и свойств металла, вибродиагностика и т.п.), так и современные расчетно-теоретические методы. Комплексный подход позволяет принимать более обоснованные решения о возможности, условиях и сроках продления индивидуального ресурса оборудования. Для его реализации необходимо располагать соответствующим инструментарием.

Рассмотрим алгоритм оценки надежности сложных технических систем с помощью метода типовых структурных схем с целью разработки стратегии проведения малозатратной модернизации. Иерархия структурно-логической модели надежности и безопасности системы зависит от сложности ее функциональной схемы [4]. Чем большее число элементов в схеме и чем большее число различных физических процессов участвует в выполнении функции системы, тем труднее выделить условия, определяющие отказ системы [5].

Рассмотрим принципиальный графологический образ модели расчёта вероятности аварии на примере оборудования крупных насосных станций, являющихся наиболее сложным и энергоёмким элементом водохозяйственного комплекса. Для этого запишем выражение для оценки вероятности аварии

$$P(A_1) = Q(S_1)(\gamma_{1,1} + \gamma_{1,2} + \gamma_{1,N_1}), \quad (1)$$

где  $Q(S_i)$  – вероятность отказов системы  $S_i$ ;

$\gamma_{1m}(m=1, 2, \dots, N)$  – коэффициенты, полученные в результате перемножения ненулевых вероятностей отказов систем, образующих соответствующие цепочки протекания аварий;

$N_1$  – количество путей протекания аварий.

Величину  $Q(S_1)\gamma_{1,1}$  можно представить в виде

$$Q(S_1)\gamma_{1,1} = Q(S_1)Q(S_{2,1})Q(S_{3,1}) \dots Q(S_{m,1}), \quad (2)$$

где  $S_1, S_{2,1}, S_{3,1}, \dots, S_{m,1}$  – системы, совместное появление отказов которых приводит к аварии.

Выражение (2) можно представить в виде некоторой структурной схемы расчёта надёжности системы, образованной параллельным соединением систем  $S_1, S_{2,1}, S_{3,1}, \dots, S_{m,1}$ . Учитывая особую роль системы  $S_1$ , являющейся наиболее важным звеном системы, отказ в работе этого звена является исходным событием аварии. Структурная схема вычисления вероятности аварии, инициированной отказом системы  $S_1$  при совместном появлении отказов систем  $S_1, S_{2,1}, S_{3,1}, \dots, S_{m,1}$ , представлена на рис. 1.

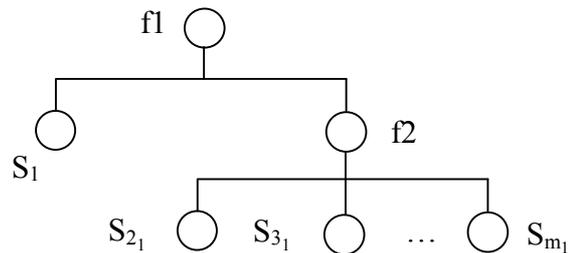


Рис. 1. Графологический образ модели расчёта вероятности аварии, инициированной исходным событием – отказом системы  $S_1$  и совместными отказами систем  $S_{2,p}, S_{3,p}, \dots, S_{m,1}$ ;  $f1, f2$  – независимые виртуальные переключатели с вероятностью отказа, равной 0

Аналогичным образом можно рассмотреть и другие слагаемые выражения (1) и поставить в соответствие каждому слагаемому графологический образ – структурную схему расчёта надёжности вполне определённой системы. Тогда

выражению (1) будет соответствовать графологический образ, моделирующий вероятность аварии  $P(A_1)$ . Этот графологический образ представлен на рис. 2 совокупностью структурных схем, который обозначен  $\Omega(S_1)$ .

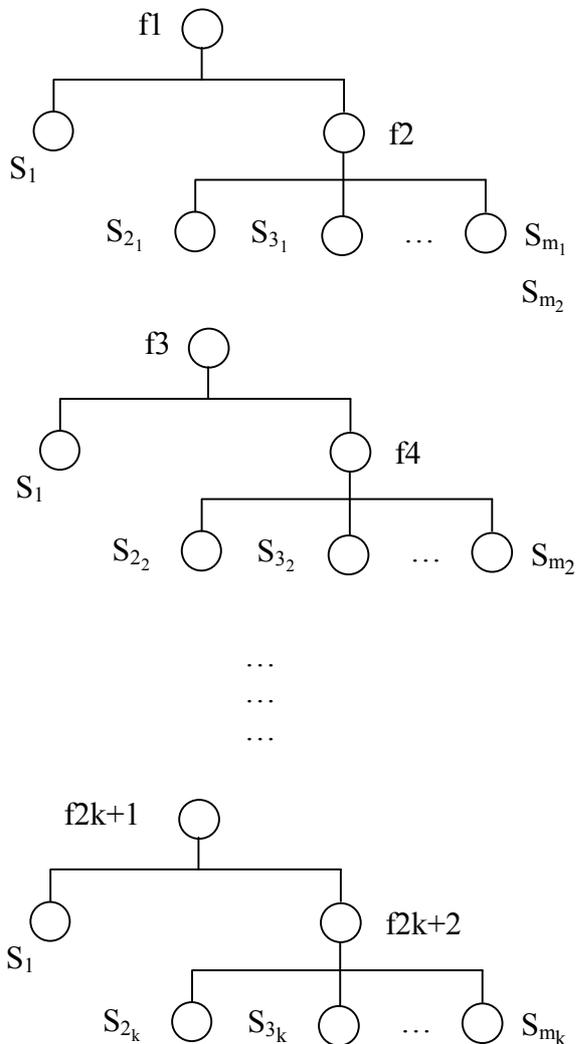


Рис. 2. Графологический образ модели расчёта вероятности аварии, инициированной исходным событием – отказом системы  $S_1$  и совместными отказами систем  $S_{21}, S_{31}, \dots, S_{m1}$  "ИЛИ"  $S_{22}, S_{32}, \dots, S_{m2}$  "ИЛИ" ... "ИЛИ"  $S_{2k}, S_{3k}, \dots, S_{mk}$ ;  $f(1 - 2K + 2)$  – независимые виртуальные переключатели с вероятностью отказа, равной 0

Особенностью метода расчёта вероятности аварии с использованием графологического образа  $\Omega(S_1)$  (рис. 2) является наличие повторяющейся информации. Так, во всех структурных схемах присутствует образ одной и той же системы  $S_1$ . Кроме того, системы, которые параллельно соединены с  $S_1$ , могут совпадать частично или полностью. Отмеченная особенность может быть учтена путем соответствующей организации процедуры вычислительного процесса на ЭВМ при расчете  $P\{A_1\}$ . Если для каждой аварии  $A_i, i=2, 3, \dots, N$  так же, как и для  $A_1$ , построить графологические образы моделей расчета вероятностей аварий, инициированных отказами систем  $S_i, i=2, 3, \dots, N$ , то совокупность всех структурных схем

$$\Omega(S) = \Omega(S_1) \text{Y} \Omega(S_2) \text{Y} \dots \text{Y} (S_N)$$

определит графологический образ модели расчёта вероятности аварии в многоэлементном технологическом комплексе.

Таким образом, алгоритм расчета вероятности аварии в случае анализа поведения сложной технической системы, каковой в общем случае является и предприятие водохозяйственного комплекса, определяется следующей последовательностью действий:

- построение графологического образа модели расчёта вероятности аварии;
- расчет надежности каждой структурной схемы из графологического образа модели расчета вероятности аварии и накопление результатов расчета;
- расчет вероятности аварии на основе применения формулы полной вероятности.

Наибольшую сложность при расчете вероятности аварии представляет построение структурных схем,

содержащих сложные элементы. Для обеспечения завершенности структурной схемы необходимо использовать прием, при котором сложные элементы путем последовательного вложения структурных схем друг в друга разлагаются на простые.

Для количественной оценки надежности сложных технических систем и оценки вероятности аварии на этих объектах разработана рабочая версия программы расчета. Программа предназначена для количественной

оценки надежности и безопасности сложных технических систем, представленных структурными схемами определенного класса. С её помощью можно решать следующие задачи:

- а) оценивать вероятность отказа системы;
- б) ранжировать степень влияния элементов системы на её надежность и безопасность.

Принципиальная схема организационной структуры программы представлена на рис. 3.



Рис. 3. Принципиальная схема организационной структуры программы

Применение программы расчета ориентировано на базу данных структурных схем сложных технических систем, включающих данные о ненадежности элементов. Количественная оценка вероятности отказа должна быть вычислена путем обработки статистического материала либо определяется экспертом. В программе допускается 10-уровневая вложенность подсистем.

- Программный комплекс состоит из:
- а) предметной программы на языке FORTRAN;
  - б) управляющих программ и программ интерфейса, выполненных в СУБД Visual FoxPro5.0;
  - в) базы данных структурных схем.

Принципиальная структура алгоритма расчетной части программы представлена в таблице.

Разработанный метод на основе использования типовых базисных конфигураций и типовых элементов схем предназначен для решения задач структурной надежности систем, которые представлены структурно-логическими схемами определенного класса. Применение метода позволяет:

стандартизировать построение графологических образов моделей расчета надежности систем;  
упростить подготовку информации для решения задач на ЭВМ;

*Таблица. Принципиальная структура алгоритма расчетной части программы*

Содержание операции
1. Выбор структурной схемы из базы данных структурных схем
2. Определение числа элементов структурной схемы N
3. Определение конечного элемента $e_k$
4. Проверка, есть ли другие конечные элементы? Если да, то передача управления на пункт 5, а если нет – на пункт 9
5. Анализ топологии связи элемента с другими элементами
6. Анализ вида базисной конфигурации и типов элементов
7. Определение вероятности отказа базисной конфигурации и замена её одним элементом $e_k$
8. Передача управления на пункт 4
9. Определение вероятности отказа элемента (структурной схемы)
10. Выход

упростить разработку предметного программного обеспечения в сравнении с логико-вероятностным методом.

Результаты расчетно-теоретического анализа, выполненного с помощью предложенного метода, позволят выявить наиболее уязвимое звено технологического комплекса и разработать мероприятия, направленные на повышение его надежности и эксплуатационной эффективности путем малозатратной модернизации.

Предложенный метод может быть использован широким кругом специалистов для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации оборудования, а также для решения практических задач, связанных с выбором и реализацией стратегии малозатратной модернизации производственных мощностей водохозяйственного комплекса Украины при наличии ограничений, связанных с

недостатком финансовых и материально-технических ресурсов.

### Литература

1. Васильев А.И. Реинжиниринг управления водопользованием. – Харьков: Основа, 2004. – 256 с.
2. Васильев А.Й. Оцінка ефективності капітальних вкладень у водогосподарському комплексі // Вісник Сумського державного університету. Серія: Фінанси і кредит. – 2002. – №1(12). – С. 131-134.
3. Щубенко Л.А., Маляренко В.А., Позигун М.П. Оценка целесообразности малозатратной модернизации цилиндров высокого и среднего давления турбоагрегатов типа К-300-240 // Энергетика и электрификация. – 2003. – №5. – С. 4-11.
4. Кук Д., Бейз Г. Компьютерная математика. – М.: Наука, 1990. – 270 с.

5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1975. – 180 с.

6. Васильев А.И., Зевин Л.И., Соловей В.В. Анализ рисков в системе

водопользования // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2002. – № 3 (49). – С. 309 -312.