

СИСТЕМНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Н. РАДЮК

Предложен подход к системному оцениванию функционирования сложных технических систем, базирующийся на своевременном выявлении причин, оперативном предупреждении перехода штатных ситуаций в нештатные, а также прогнозирования основных показателей «живучести» объекта на протяжении всего периода его эксплуатации.

Новые подходы к созданию современной техники определяют качественно новые требования к обеспечению ее техногенной и экологической безопасности. Это обусловлено не только тем, что потери от частичного или полного разрушения машин или конструкций могут в десятки раз превышать стоимость их создания. Но и тем, что катастрофы иногда имеют национальные или глобальные масштабы воздействия на население и окружающую среду. Более того, катастрофы с многомиллионными и миллиардными потерями, прошедшие на протяжении двух-трех последних десятилетий прошлого века почти во всех промышленно развитых странах, доказывают, что существующие принципы и механизмы управления безопасностью сложных объектов не отвечают современным требованиям [1].

Прежде всего, управление сложными объектами должно быть системным, что следует трактовать как системную согласованность управления работоспособностью и управления безопасностью не только в соответствии с целями, задачами, ресурсами и ожидаемыми результатами, но и, что особо важно, в оперативности и результативности взаимодействия в реальных условиях нештатной ситуации [2]. Такая согласованность должна обеспечить оперативное и результативное взаимодействие указанных систем управления. С одной стороны, должна обеспечиваться оперативность и результативность системы безопасности по своевременному обнаружению нештатной ситуации, оцениванию ее степени и уровня риска, определению ресурса допустимого риска в процессе формирования рекомендаций по оперативным действиям ЛППР. С другой стороны, система управления работоспособностью после получения сигнала о нештатной ситуации должна оперативно и результативно действовать, чтобы обеспечить готовность сложного объекта к экстренному переходу в нерабочее состояние и обеспечить возможность его реализации в пределах ресурса допустимого риска. Отсюда следуют основные цели задачи системного управления сложными объектами.

Цель работы — предложить подход к оцениванию функционирования сложных технических систем (СТС) на основе системного управления этими объектами, суть которого заключается в системно согласованном оценивании и корректировании работоспособности и безопасности в процессе функционирования таких объектов.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТС В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Алгоритм управления безопасностью функционирования СТС в нештатных ситуациях базируется на принципе своевременного обнаружения причин, оперативного предотвращения перехода штатных ситуаций в нештатные, аварийные или чрезвычайные; а также выявления факторов риска, прогнозирования основных показателей «живучести» объекта в течение заданного периода его эксплуатации как основы обеспечения гарантированной безопасности в динамике функционирования СТС, устранения причин возможного перехода работоспособного состояния объекта в неработоспособное состояние на основе системного анализа многофакторных рисков нештатных ситуаций [3].

Прежде всего, следует обратить внимание на принципиальные отличия этой задачи от типовых задач управления. Важнейшее отличие в том, что исходная информация о сложном объекте содержит лишь незначительную часть сведений о его состоянии, свойствах, процессах функционирования, характеристиках работоспособности. Эти сведения отображают только работу таких объектов в штатном режиме. Конечно, этих сведений может быть достаточно для принятия решений при управлении сложными объектами при условии, что штатный режим сохраняется продолжительное время. Однако, в реальных объектах при существующих системах технического диагностирования, ориентированных на обнаружение отказов и неисправностей, нельзя гарантировать, что отказ или неисправность не произойдет в ближайшие 5–10 мин. И априори неизвестно, сколько времени потребуется для устранения неисправности. И, следовательно, априорно неизвестен возможный ущерб, и потому система управления безопасностью является, по существу, регистратором информации о свершившихся фактах и накопителем сведений об ущербах.

Принципиально иной подход к управлению безопасностью может быть осуществлен на основе системного управления сложными объектами, суть которого в системно согласованном оценивании и корректировании работоспособности и безопасности в процессе функционирования таких объектов. Структурная схема алгоритма управления безопасностью в нештатных ситуациях приведена на рис. 1. По этой схеме блоками 2, 3, 5 реализуются процедуры диагностирования и оценивания нештатных ситуаций в процессе перехода штатного режима функционирования сложной системы в последовательность нештатных ситуаций. С использованием результатов этих процедур формируется база данных и сценарий возникновения последовательности нештатных ситуаций (блоки 4 и 6). Полученная информация используется для принятия решения о последующих действиях (блок 7). В этом блоке определяется возможность перехода сложного объекта из нештатных ситуаций в штатный режим.

Анализируются три варианта: переход возможен (вариант 1); переход невозможен (вариант 2); информации о нештатных ситуациях недостаточно для принятия решения (вариант 3). Если переход в штатный режим возможен, то выполняется процедура оценивания степени и уровня «живучести» объекта (блок 8.1). Если переход в штатный режим невозможен, то выполняется процедура оценивания степени и уровня риска последовательности нештатных ситуаций для объекта (блок 8.0). Если информации о нештатных ситуациях недостаточно для принятия решения о возможности или невозможности перехода в штатный режим, то выполняется процедура оценивания степени и уровня безопасности объекта (блок 8.2).

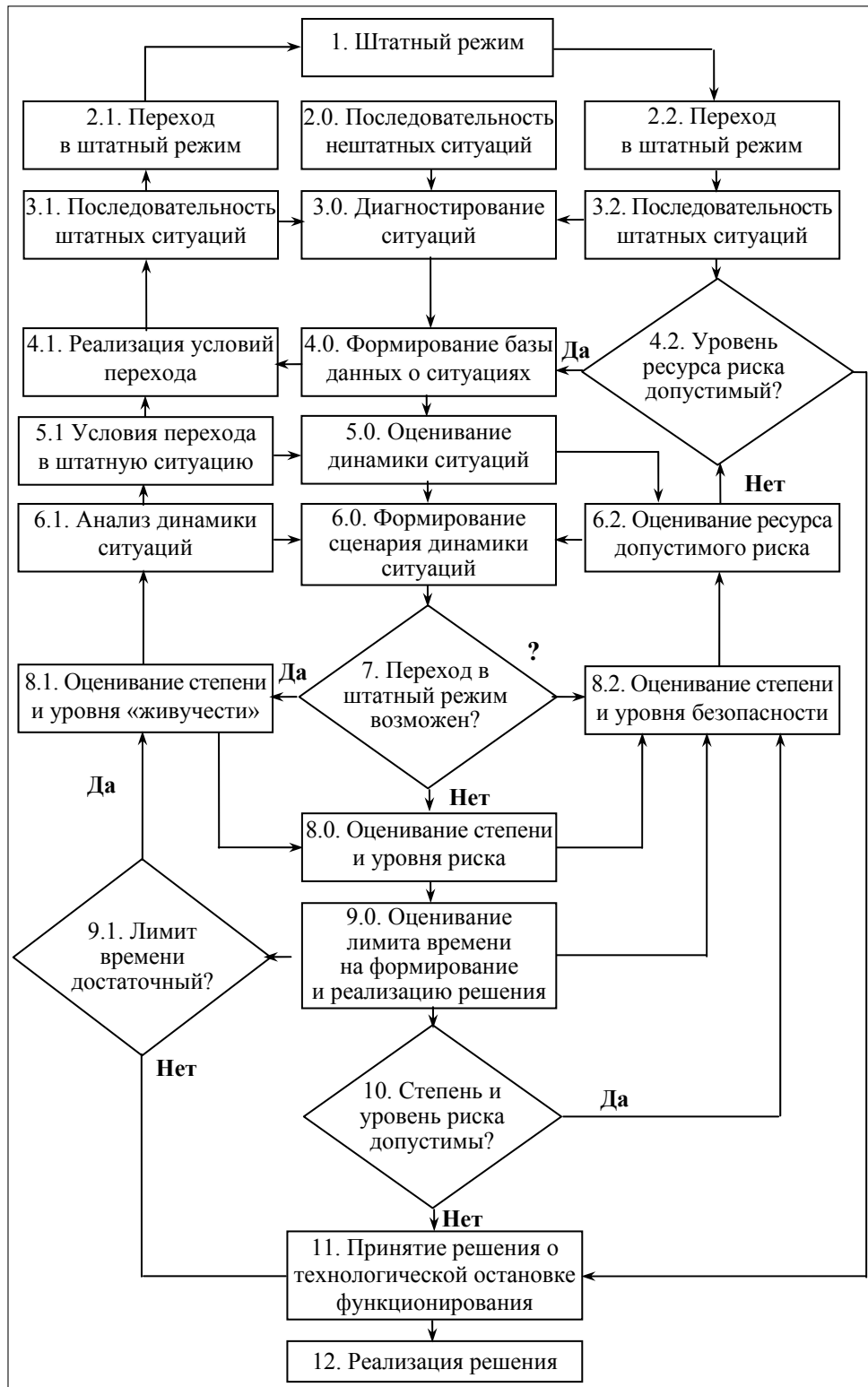


Рис. 1. Структурная схема алгоритма управления безопасностью сложных объектов в нештатных ситуациях

Последующие действия системы управления в условиях нештатных ситуаций ориентированы на исключение возможности аварии или катастрофы. В варианте 1-ом принимаются меры для перехода нештатных ситуаций в штатный режим на основе последовательного выполнения процедур, определяемых блоками от 9.1 до 2.1. В варианте 2-ом принимаются меры для оценивания степени и уровня риска, лимита времени на формирование и реализацию решения о технологической остановке функционирования объекта на основе последовательного выполнения процедур, определяемых блоками 9.0; 10–12. В варианте 3-м принимаются меры для оценивания степени и уровня безопасности, ресурса допустимого риска, лимита времени для формирования и реализации решения о технологической остановке функционирования объекта на основе последовательного выполнения процедур, определяемых блоками от 9.0; 8.2 до 4.2. Все варианты ориентированы на предотвращение аварии до момента T_{cr} .

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТС

СТС здесь — это технический объект разной природы, который образован из нескольких подсистем (рис. 2). Каждая из подсистем состоит из функционально взаимозависимых параметров, значения которых измеряются с помощью датчиков. Для этого к каждой подсистеме подсоединяются группы датчиков, причем у каждого из них, в зависимости от физической природы, имеют место разные рабочие показатели (разная дискретизация по времени, по раздельной способности).

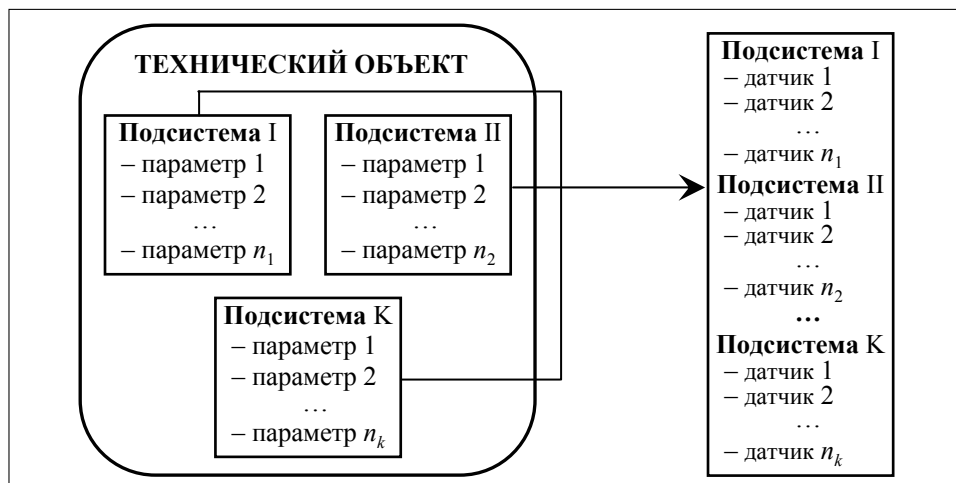


Рис. 2. Схема структуры технического объекта

Основой реализации алгоритма управления безопасностью СТС является разработка блока диагностирования в виде инструментария технической диагностики (ИТД) функционирования СТС [4]. Инструментарий технической диагностики функционирования СТС состоит из следующих модулей (рис. 3):

1. Получение исходной информации в процессе функционирования СТС, которое включает:

- снятие в реальном режиме времени показателей датчиков объемом N_{01} и N_{02} выборок, где N_{01} ($N_{01} \gg 200$) — общее количество выборки в процессе функционирования СТС в реальном режиме времени; N_{02} ($N_{02} \ll N_{01}$; $N_{02} = 40 \div 70$) — количество базовой выборки, требуемое для восстановления функциональных зависимостей (ФЗ);
- приведение исходной информации к определенному стандартному виду, который обеспечивает возможность формирования функциональных зависимостей. С учетом предлагаемой методики в качестве базовых аппроксимирующих функций выбираются полиномы Чебышева, что обуславливает нормирование всей исходной информации к отрезку $[0, 1]$.



Рис. 3. Структурная схема информационной платформы технической диагностики СТС

2. Восстановление ФЗ и выявление закономерностей по эмпирическим дискретно заданным выборкам, включающее такую последовательность взаимосвязанных задач [5]:

- формирование приближающих функций в виде иерархической многоуровневой системы моделей;
- выбор класса и структуры приближающих функций при формировании функциональных зависимостей;
- выбор критериев, принципов, подходов и методов построения приближающих функций;

- установление связей восстановленных приближающих функций с функциями риска;
- восстановление функциональных зависимостей по N_{02} заданным выборкам.

3. Процедура квантования исходных переменных состоит из:

- восстановления функциональных зависимостей по N_{02} выборкам, смещенным на k ($k = 1 \div 15$) значений;
- выявления случайного сбоя с учетом элементов робастности с целью обеспечения минимизации уровня зависимости от погрешности измерения переменных

$$x_j, j = \overline{1, n}; y_i, i = \overline{1, m} \text{ (процедура «ступенька»)}.$$

4. Построение процесса технического диагностирования включает:

- прогнозирование функциональных зависимостей на p выборок с использованием свойств полиномов Чебышева;
- установление причин возможного перехода штатной ситуации в нештатную;
- обеспечение «живучести» и работоспособности СТС.

Штатный режим функционирования исследуемого объекта и возможные нештатные режимы описывает система моделей функционирования СТС при допущениях и утверждениях, приведенных в [6].

ДИАГНОСТИКА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В качестве примера реализации методологии гарантированной безопасности функционирования сложной технической системы рассматривается реальная глубинная установка, функциональная схема которой приведена на рис. 4. Основное назначение установки: обеспечение заданного уровня Q_n расхода воды для потребителей. Приоритетным является здесь процесс по охлаждению технологической экологически опасной установки.

Приведем описание работы системы водоснабжения в штатном режиме, при котором потребители расходуют воду в нормальном режиме, утечки отсутствуют, глубинный насос обеспечивает номинальную продуктивность. Расход воды каждым потребителем — переменный, изменяющийся от минимального до максимального по синусоидальному закону. Глубинный насос осуществляет наполнение резервуара емкостью $V_r = 25 \text{ м}^3$. Регулятор глубинного насоса релейный, с приведенной на рис. 5 характеристикой. В резервуаре установлен датчик уровня воды, выдающий сигнал уровня воды h_r . Включение насоса происходит при снижении уровня воды в резервуаре ниже значения $h_{\text{of}} = h_r \leq 40$ м; выключение — при $h_{\text{of}} = h_r \geq 45$ м. Глубинный насос во включенном состоянии обеспечивает производительность $Q_{dn} = 1,5Q_n$. Подает воду из резервуара потребителям в системе водоснабжения установка, состоящая из трех насосов (А 1, А 2, А 3), два из которых работают в штатном режиме, один — в аварийном. Производительность каждого составляет $Q_{nn} = Q_n / 2$. Насосная установка работает в режиме стабилизации давления, для чего на выходной трубе стоит датчик ДД 1 измерения напора воды H_1 . Через нерегулируемый вентиль В 1 и клапан КЛ 1 вода поступает в водопроводную сеть.

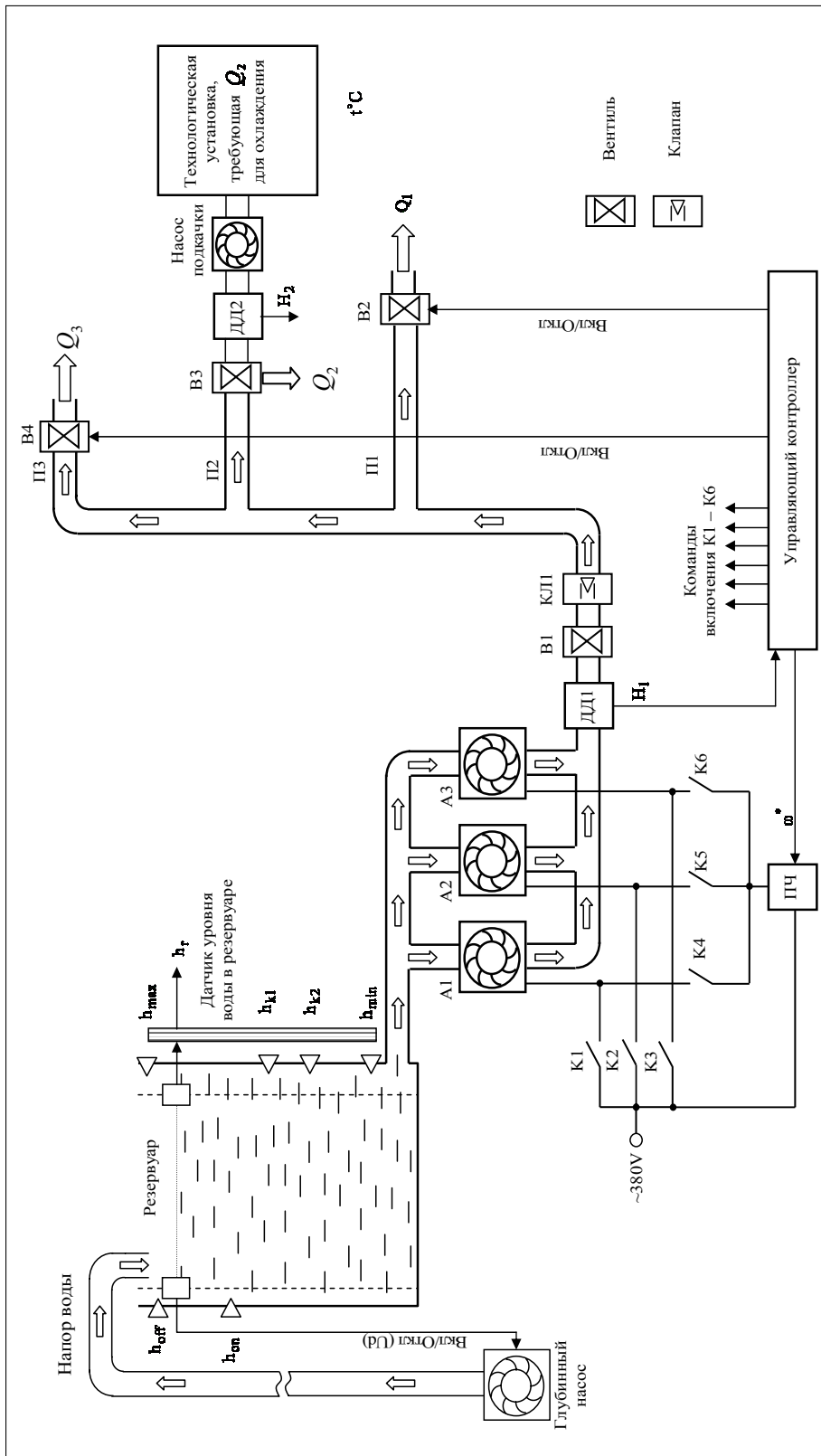


Рис 4. Функциональная схема водопроводной глубинной системы водоснабжения

К водопроводной сети подключены три группы потребителей, у которых максимально возможный штатный уровень расхода соответственно составляет: $Q_1 \leq 0,3Q_n$, $Q_2 \leq 0,4Q_n$, $Q_3 \leq 0,3Q_n$. Подача воды к потребителям П1 и П3 не является критическим фактором. Она может быть перекрыта путем запираания управляемых вентилей В2 и В4 соответственно. Подача воды в технологический объект является обязательной, ее нарушение ведет к недопустимой аварии. На входе технологического объекта (бойлера) установлен контрольный датчик давления ДД 2, а также насос подкачки для регулирования количества расходуемой воды, а, следовательно, — и температуры бойлера. График заданной температуры бойлера изменяется по синусоидальному закону, в диапазоне от 50°C до 90°C с периодом $T_f = 1200$ сек. В штатном режиме требования технологического процесса в отношении необходимого расхода воды полностью удовлетворяются, т.е. обеспечивается надежный отбор тепла в бойлере, и его температура находится в допустимых пределах.

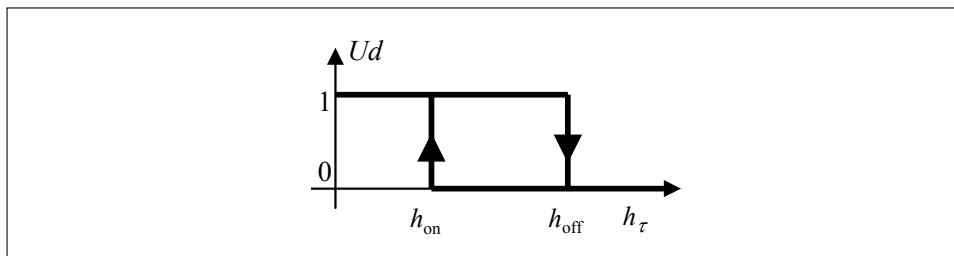


Рис. 5. Схема релейного регулятора глубинного насоса

В штатном режиме работает один или два насоса одновременно, в зависимости от уровня расхода воды. Стабилизацию давления на выходе установки осуществляет управляющий контроллер, который формирует задание на скорость регулируемого насоса, а также подключает/отключает к сети / от сети нерегулируемые насосы.

Переходные процессы для нештатного режима могут быть связаны как с недостаточной (половиной или четвертью от номинальной) продуктивностью работы глубинного насоса, так и с возможностью прогрессирующей утечки у потребителей № 1 и № 2. Перечень описания нештатных режимов, потенциально приводящих к аварийным ситуациям, и непосредственно потенциально возможные аварийные ситуации приведены соответственно в табл. 1 и табл. 2.

В процессе функционирования системы водоснабжения, с целью своевременного выявления причин потенциально возможных нештатных ситуаций и обеспечения «живучести» ее функционирования в реальном масштабе времени, проводится мониторинг технического диагностирования. В соответствии с требованиями разработанного инструментария технического диагностирования, по глубине резервуара и в ряде ключевых точек системы водоснабжения были установлены датчики, с которых через каждые 10 сек. снимались показатели. Для рассмотренного эксперимента приводятся показания датчиков уровня воды h_r в резервуаре и напора воды H_2 при входе в технологическую установку и их аргументов в течении 5000 сек. (500 выборок).

Таблица 1. Описание нештатных режимов, потенциально приводящих к аварийным ситуациям

№	Причина возникновения	Способ идентификации	Причины и последствия
1.	Отказ привода регулируемого насоса	Сигнал с преобразователя частоты	Выход из строя электропривода. Регулирование давления в сети осуществляется одним/двумя двигателями в релейном режиме. При пусках происходят гидравлические удары, что приводит к снижению надежности водопроводной сети и насосов
2.	Уровень воды в резервуаре ниже h_{k1}	Датчик уровня в резервуаре	Рабочие параметры глубинного насоса вне нормы (снижено напряжение питающей сети, засорение трубы глубинного насоса). Резервуар наполняется с меньшей производительностью (прямопропорционально снижению напряжения сети или возросшему гидравлическому сопротивлению трубы глубинного насоса). При отсутствии утечки (т.е., когда работают два насоса, ситуация может быть как штатной, когда производительность $Q_{dn} > Q_n$, так и нештатной, когда $Q_{dn} < Q_n$). Если есть утечка, глубинный насос потенциально не сможет обеспечить производительность на уровне $1,5Q_n$). Если уровень в резервуаре выше h_{k2} , то ситуация нештатная. Если ниже h_{k2} — предаварийная, перекрываются потребители Q_1, Q_2
3.	Давление на выход ниже нормы (работают два насоса)	ДД 1, ДД 2	1. Утечка между выходом насосной установки и ДД 2. 2. Утечка между В 3 и ДД 2. Включается третий насос. Общий уровень утечки — $Q_{out} < Q_n$
4.	Выход из строя одного из насосов	Сигнал, поданный насосом	При наличии утечки в системе водоснабжения нет возможности обеспечить полный штатный расход Q_n
5.	Для поддержания H_2 в заданных пределах необходима большая скорость регулируемого насоса или включение большего количества нерегулируемых. Расход воды из резервуара занижен	Сигнал задания на скорость, команды включения насосов, ДД 1, ДД 2.	Частичная закупорка водопровода между насосной установкой и бойлером
6.	Отказ двух насосов	Сигнал коммутационной аппаратуры, от контроллера (по косвенным признакам)	Один насос способен обеспечить нужды технологического процесса, если суммарная утечка $Q_{out} < 0,2Q_n$
7.	$H_2 > H_{max}$	ДД 2	Выход из строя ДД 1 или его обрыв. Завышенное давление в водопроводе приводит к возникновению или увеличению утечки
8.	Выход из строя контроллера управления	Сигнал контроллера	Один насос включается напрямую, некритичные потребители перекрываются, регулирование давления отсутствует

Таблица 2. Потенциально возможные аварийные ситуации

№	Перечень аварий	Способ идентификации	Описание ситуации
1.	Отказ двух насосов, утечка $Q_{out} < 0,2Q_n$	Сигнал коммутационной аппаратуры, от контроллера (по косвенным признакам)	Аварийная ситуация с возможностью перехода к нештатной, если привести уровень утечки в норму
2.	Отказ трех насосов	Сигнал коммутационной аппаратуры, от контроллера (по косвенным признакам)	Авария
3.	Давление на входе бойлера ниже H_{2min} , ДД1 в норме, расхода нет	ДД 1, ДД 2, датчик уровня h_r	Полная закупорка водопровода, залипание клапана, и др. Авария
4.	Давление на входе бойлера ниже H_{2min} (работают три насоса), ДД1 в норме, расход завышен, все другие потребители перекрыты	ДД1, ДД2, датчик уровня h_r	Утечка выше допустимой. Авария
5.	Отказ глубинного насоса, снижение $h_r < h_{k2}$	Датчик уровня, сигнал состояния глубинного насоса	Авария

В соответствии с разработанной методологией гарантированной безопасности функционирования сложной технической системы на начальном этапе $t = t_0$ по $N = 50$ начальным дискретно заданным выборкам значений h_r и H_2 и их аргументов выполняется восстановление функциональных зависимостей $y_i = f_i(x_1, \dots, x_j, \dots)$. Здесь $y_1 = h_r(x_{11}, x_{12})$; $y_2 = H_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$, где x_{11} — суммарный расход воды; x_{12} — продуктивность глубинного насоса; x_{21} — напор воды H_1 на выходе насосной установки; x_{22} — суммарный расход воды; x_{23} — число включенных насосов; x_{24} — скорость регулируемого насоса.

В качестве базовой динамической статистики по тем же переменным принимаются статистики выборки динамики функционирования объекта за последние 50 измерений. Поэтому при очередном измерении $N + k = 51$, $k = \overline{1, K}$ должна производиться процедура отбрасывания самого первого измерения исходной выборки и выполняться перенумерация измерений (рис. 6). При восстановлении функциональных зависимостей h_r и H_2 используются текущие 50 значений выборки, так как при использовании большего количества элементов выборки результирующая функция будет очень медленно реагировать на кардинальное изменение входных параметров, а при существенно меньшем количестве элементов выборки данных будет не достаточно для корректного восстановления функциональной зависимости.

При этом полагается, что в качестве базового используются смещенные полиномы Чебышева $T_q^*(x_j)$ первого рода q -го порядка, вследствие чего все x_j и y_i нормируются к интервалу $[0, 1]$.

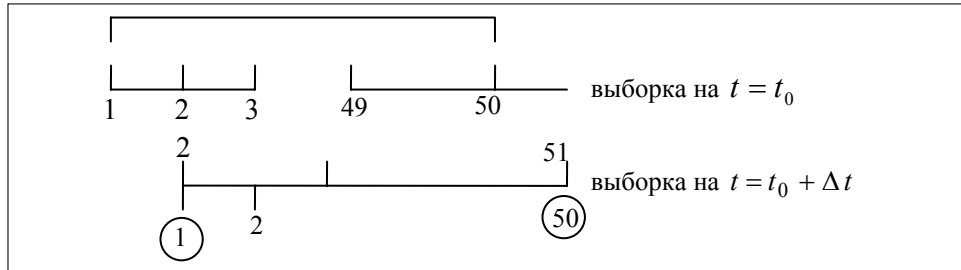


Рис. 6. Схема статистики выборки динамики функционирования объекта

На основании восстановленных в аналитическом виде закономерностей h_r и H_2 в интервале $[0; 0,8]$, используя известное свойство смещенных полиномов Чебышева — обеспечивать равномерное приближение функций на интервале $[0, 1]$, осуществляется гарантированный прогноз на 10 значений в интервале $(0,8; 1]$.

Работу в штатном режиме обеспечивают синхронные и синфазные изменения показателей закономерностей h_r и H_2 и их аргументов. Нештатная ситуация возникает, если хотя бы одна из функциональных зависимостей h_r или H_2 достигают значения ниже допустимого уровня: $h_r < 39$ м; $H_2 < 100$. Здесь авария — это ситуация, когда H_2 опускается ниже значения $H_{2\min} \leq 50$ м и наблюдается снижение уровня воды $h_r < h_{k2} = 2$ м на период времени более 60 сек. Сбой в работе датчиков фиксируется при использовании процедуры «построения ступенчатой функции», что позволяет выявить случайный выброс одного из датчиков.

Для качественного оценивания ситуации вводится понятие «уровень опасности». В зависимости от перехода в штатную ситуацию и поведения функциональных зависимостей $y_1 = h_r(x_{11}, x_{12})$ и $y_2 = H_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$, вводится классификация 8-ми уровней опасности (табл. 3), распределение которых по времени приведено на рис. 7.

Таблица 3. Классификация уровней опасности

Уровень опасности	Описание
0	Безопасная ситуация
1	Нештатная ситуация по одному параметру
2	Нештатная ситуация по нескольким параметрам
3	Наблюдается угроза аварии
4	Высокая угроза аварии
5	Критическая ситуация
6	Шанс избежать аварии исключительно мал
7	Авария



Рис. 7. Распределение по времени уровней опасности

Вероятность наступления нештатной ситуации рассчитывается по формуле:

$$P = 1 - (1 - P_{H_2})(1 - P_{h_r}),$$

где P_{H_2} — вероятность, что уровень напора воды H_2 опустится ниже аварийного уровня; P_{h_r} — вероятность, что уровень воды h_r опустится ниже аварийного уровня. Расчет P_{H_2} и P_{h_r} проводится следующим образом:

$$P_{h_r} = 1 - \left| \frac{(h_{нс} - y_{1пр})}{(h_{нс} - h_a)} \right|, h_{нс} \neq h_a;$$

$$P_{H_2} = 1 - \left| \frac{(H_{2нс} - y_{2пр})}{(H_{2нс} - H_a)} \right|, H_{2нс} \neq H_a,$$

$h_{нс}$ — уровень воды в нештатной ситуации ($h_r < 39$ м);

$y_{1пр}$ — текущий уровень воды (восстановленная функциональная зависимость $y_1 = h_r(x_{11}, x_{12})$ с учетом прогноза на 10 значений выборки);

h_a — уровень воды в аварийной ситуации ($h_r = h_{k2} \leq 2$ м);

$H_{2нс}$ — уровень напора воды в нештатной ситуации ($H_2 < 100$);

$y_{2пр}$ — текущий уровень напора воды (восстановленная функциональная зависимость $y_2 = H_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$ с учетом прогноза на 10 значений выборки);

H_a — уровень напора воды в аварийной ситуации ($H_2 = H_{2min} \leq 50$).

В процессе функционирования системы водоснабжения на информационном табло (табл. 4) отображается процесс диагностирования, что дает возможность оператору получать своевременную предварительную информацию о возможном переходе функций $y_{1пр}$ и $y_{2пр}$ в нештатный режим и принимать решение о своевременном устранении причины возникновения нештатной ситуации, аварии и катастрофы.

Как следует из анализа полученной статистики функционирования системы водоснабжения, до момента времени 1300 сек. система запускается и работает в штатном режиме. В момент времени 1300 сек. открывается прогрессирующая утечка у потребителя П 1, а в момент времени 1700 сек. — у потребителя П 3. В результате, возрастание суммарного расхода воды приводит к угрозе возникновения нештатной ситуации, когда постоянно включенный глубинный насос не в состоянии поддерживать уровень воды в резервуаре на заданном уровне. При этом напор на входе в технологическую

установку снижается. При снижении объема воды в резервуаре менее 30 м^3 перекрывается потребитель № 1, а при снижении менее 28 м^3 — потребитель № 3. В момент времени 1810 сек. наступает нештатная ситуация, когда уровень воды h_r в резервуаре опускается ниже 39 м^3 и значение напора $H_2 < 67 \text{ м}$. Обратное включение потребителей № 1 и № 2 выполняется при объемах воды в резервуаре, равных 38 м^3 и 36 м^3 соответственно в момент времени 2910 сек.

После восстановления объема в резервуаре выше 38 м^3 , (момент времени, равный 2900 сек.), т.е. когда водоснабжение всех потребителей возобновлено, ситуация повторяется, поскольку утечка не ликвидирована. В момент времени 3110 сек. устраняется утечка у первого потребителя, а в момент времени 4310 сек. — у потребителя ПЗ. Время, за которое устраняется утечка, принято равным 10 сек. После ликвидации утечек система водоснабжения возвращается в штатный режим.

Таблица 4. Информационное табло для оператора (фрагмент)

№ вы-борки	Уро-вень воды h_r	Напор воды H_2	Состояние функционирования	Риск аварии	Причина нештатной ситуации	Уро-вень опасности
51	40,26	124,16	Система функционирует нормально	0,00%	—	0
52	40,47	125,02	— // —	0,00%	—	0
53	40,74	126,12	— // —	0,00%	—	0
54	40,99	127,15	— // —	0,00%	—	0
176	39,54	69,64	— // —	60,72%	Слабый напор (H_2)	3
177	39,54	69,65	— // —	60,70%	Слабый напор (H_2)	3
178	39,51	69,35	— // —	61,29%	Слабый напор (H_2)	3
179	39,44	68,67	— // —	62,66%	Слабый напор (H_2)	3
180	39,33	67,58	— // —	64,84%	Слабый напор (H_2)	3
181	38,02	66,11	Нештатная ситуация	68,63%	Низкий уровень воды и слабый напор (h_r & H_2)	3
182	37,73	64,36	— // —	72,27%	Низкий уровень воды и слабый напор (h_r & H_2)	4
183	37,42	62,44	— // —	76,18%	Низкий уровень воды и слабый напор (h_r & H_2)	4
421	39,09	129,69	Система функционирует нормально	0,00%	—	0
422	39,04	128,90	— // —	0,00%	—	0
423	38,98	127,86	Нештатная ситуация	0,06%	Низкий уровень воды (h_r)	1
424	38,90	126,58	— // —	0,27%	Низкий уровень воды (h_r)	1

Продолжение табл. 4

425	38,83	125,25	— // —	0,47%	Низкий уровень воды (h_r)	1
426	38,77	124,19	— // —	0,62%	Низкий уровень воды (h_r)	1
427	38,75	123,73	— // —	0,67%	Низкий уровень воды (h_r)	1
428	38,78	124,01	— // —	0,60%	Низкий уровень воды (h_r)	1
429	38,83	124,86	— // —	0,45%	Низкий уровень воды (h_r)	1
430	38,90	125,94	— // —	0,27%	Низкий уровень воды (h_r)	1
431	39,66	126,96	Система функционирует нормально	0,00%	—	0
432	39,73	127,76	— // —	0,00%	—	0
.....						
496	43,26	128,61	— // —	0,00%	—	0
497	43,26	128,93	— // —	0,00%	—	0
498	43,27	129,14	— // —	0,00%	—	0
499	43,27	129,32	— // —	0,00%	—	0
500	43,28	129,54	— // —	0,00%	—	0

Приведенные исследования показывают, что процесс оценивания функционирования системы водоснабжения с привлечением разработанной методологии гарантированной безопасности функционирования сложной технической системы позволяет в реальном режиме времени своевременно выявить причину и предотвратить возможный переход функционирования системы в нештатную ситуацию и принятия решения, обеспечивающего «живучесть» работоспособности сложной технической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Механика катастроф*. Под общ. ред. акад. К.В. Фролова.. — М.: Междунар. инст. безопас. сложных техн. систем, 1995. — 389 с.
2. *Панкратова Н.Д.* Системный анализ в динамике диагностирования сложных технических систем // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 1. — С. 33–49.
3. *Zgurovsky M., Pankratova N.* System analysis: Theory and Applications. — Berlin: Springer Verlag. — 2007. — 475 p.
4. *Панкратова Н.Д., Радюк А.М.* До створення засобів і систем неруйнівного контролю та технічного діагностування // Наукові праці: Наук.-метод. журн. Миколаївський держ. гуманітарний ун-т. ім. Петра Могили комплексу «Київська Могилянська академія». — Серія: Комп'ютерні технології. — 2008. — 90, вип. 77. — С. 43–52.
5. *Панкратова Н.Д.* Рациональный компромисс в системной задаче концептуальной неопределенности // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 4. — С. 162–180.
6. *Панкратова Н.Д., Радюк А.М.* Підхід до розпізнавання позаштатної ситуації в динаміці функціонування техногенно небезпечного об'єкту // Наукові вісті «КПІ». — 2008. — № 3. — С. 43–52.

Поступила 02.12.2009