

УДК 681.5

В. В. ГОРЮХИН, Н. М. ДУБИНИН

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ОПЕРАТОРА
В СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Обосновывается необходимость внедрения системы поддержки оператора и анализа технологических режимов на сложных и опасных производствах. Дается обзор методов увеличения безошибочной работы оператора, анализируются их преимущества и недостатки. Рассматривается эксперимент по раннему распознаванию критической ситуации на основе анализа технологических параметров. *Контроль оператора; анализ технологических параметров; критическая ситуация; аварийная ситуация*

В управлении сложными техническими процессами, такими как насосные станции, химические производства, управление энергосистемами предполагается участие оператора в качестве контроллера за режимами работы и дублирующего звена в аварийных ситуациях (АС). В этих ситуациях ошибки оператора, как правило, недопустимы, так как аварии на опасных производственных объектах приводят к значительным экономическим, экологическим и другим потерям.

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В КС

Согласно [1], опасность нежелательного i -го события определяется как

$$O_i = A_i \cdot P_i$$

где A_i — последствия i -го нежелательного события; P_i — вероятность успешного парирования i -го нежелательного события.

Эта формула определена для нежелательных событий, которые не могут быть парированы оператором.

С учетом того, что многие критические ситуации (КС) могут быть не допущены оператором до АС и формула может быть преобразована в следующий вид:

$$O_i = A_i \cdot P_i \cdot (1 - p_{\text{пар}}),$$

где $p_{\text{пар}}$ — вероятность успешного парирования i -го нежелательного события.

Вероятность $p_{\text{пар}}$ может быть увеличена за счет правильных действий оператора в предаварийном режиме, то есть в критической ситуации (КС). Однако, как показывают исследования АС, возникающих в авиации [3, 6], в

некоторых случаях оператор выполняет действия не только правильные, но и ошибочные, тем самым усугубляя последствия нежелательных событий, приводящих часто к большим потерям. Кроме того, вероятность ошибочного парирования $(1 - p_{\text{пар}})$ во многих случаях, а особенно в стрессовой ситуации очень велика и может достигать 0,3 и существенно зависит от имеющегося времени на выполнение корректирующих действий, внезапности появления нежелательных событий и ответственности за ошибочное выполнение действий.

С целью сокращения времени, необходимого для коррекции КС и уменьшения количества ошибочных действий, вводятся средства контроля и поддержки оператора.

Логический анализ таких систем в авиации показывает, что с помощью программных средств сначала формируют эталон действия (событие Э). Этот эталон может быть передан оператору ошибочно с вероятностью q или верно с вероятностью $(1 - q)$. С учетом этих данных оператор может принять верное решение и осуществить действие по выдаче команд (событие Р) с вероятностью $(1 - p)$. После чего он выдает команды на выполнение в электронный пульт, где команды анализируются на правильность выполнения и передаются на исполнение (событие В), в случае если команды не соответствуют алгоритмам парирования, они блокируются и формируется рекомендация оператору на повторное выполнение действий или ведение коррекции в эталон (событие П). Такой процесс парирования ситуации может быть представлен как цепь Маркова, показанной на рис. 1. В данной модели финальными событиями обозначены:

O – событие правильного выполнения операции; \bar{O} – событие ошибочного выполнения операции.

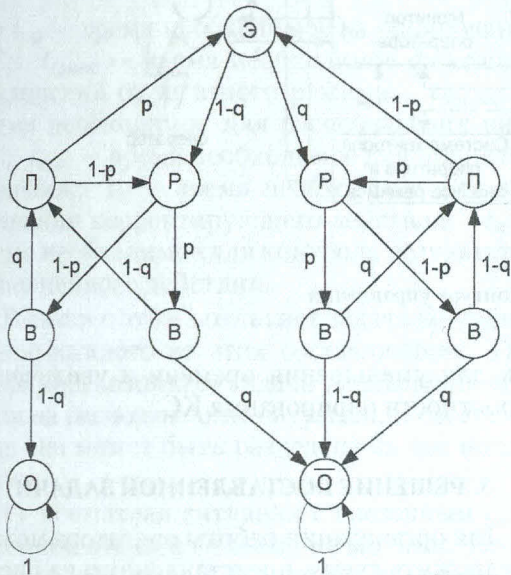


Рис. 1. Модель парирования ситуации

Используя формулу Мэзона [2], можно вычислить финальную вероятность парирования КС оператором совместно с автоматическими устройствами подсказки и блокировки $P(O)$, попадания процесса в вершину O с помощью следующей формулы:

$$P(O) = \frac{(1-p)(1-q)^2}{[1 - (1-p)W_1](1 - W_1) - (1-q)pW_2},$$

где

$$W_1 = \frac{q * (1-p)^2}{(1-p * (1-q))};$$

$$W_2 = q * (1-p) + p * (1-q).$$

На основании этой формулы можно показать, что при отсутствии ошибок, то есть при высокой надежности системы подсказки и блокировки вероятность $q = 0$, а вероятность правильного парирования равна единице. Следовательно, имеется потенциальная возможность вывести каждую КС в штатный режим.

Если принять $p = 0,1; 0,2; \dots; 0,9$, то соответственно можно получить зависимости парирования КС от вероятности ошибочных действий системы контроля оператора q . Соответствующие зависимости представлены на рис. 2 как ряд 1, ряд 2 и т. д.

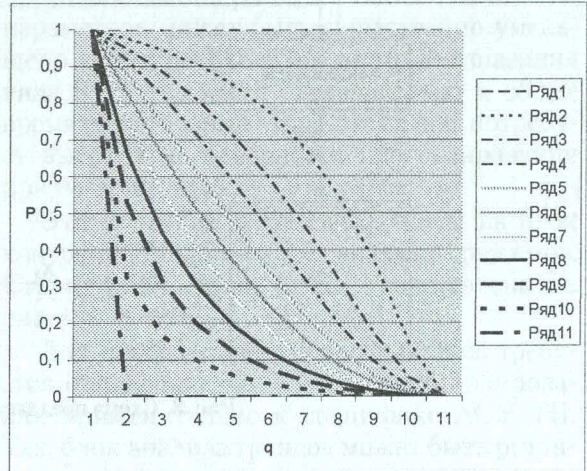


Рис. 2. Зависимости вероятности парирования от вероятности ошибок автоматике

Как видно из этих зависимостей, успешное применение автоматических устройств подсказки и блокировки команд оператора определяются в точках, где $P(O) \geq (1-p)$ при этом вероятность q выбирается левее этой точки — это условие эффективного использования системы автоматике. Отсюда возникает проблема обеспечения эффективного формирования команд в КС с учетом ошибочной работы оператора в КС и возможности применения устройств, увеличивающих вероятность парирования.

Существует ряд исследований по решению данной проблемы. Однако вопросы, связанные с обеспечением надежности в технологических процессах, недостаточно рассмотрены и имеют свою специфику.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализ работы оператора по парированию КС в сложных технических системах [3] позволяет ориентироваться на следующие показатели, увеличивающие безошибочность его работы:

- а) подготовка оператора к парированию нештатных режимов, включая специальный профтехотбор;
- б) обеспечение эргономики рабочего места оператора, пульта управления и средств индикации [7];
- в) автоматизация ряда выполняемых оператором действий и исключение его из контура управления;
- г) дублирование работы операторов [4].

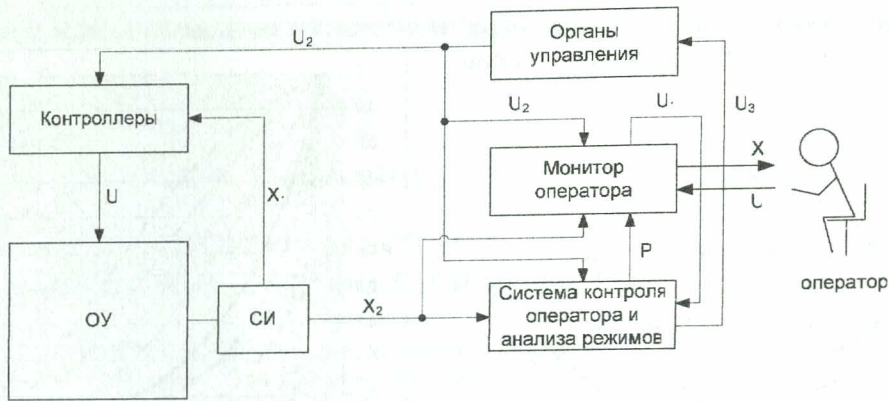


Рис. 3. Схема предлагаемого контура управления

Недостатками методов а–г соответственно является следующее:

- требуется постоянная подготовка оператора и их профтехотбор к работе. Подготовка к работе в критических режимах требует времени, дополнительных средств и отвлечение от основной работы. Причем полученные стереотипы действий в КС при малой интенсивности обучения быстро забываются. Оператор остается один на один с АС;

- этот способ позволяет снизить ошибки за счет удобства в реализации действий, уменьшить время исполнения действий, но не дает рекомендаций по формированию алгоритмов действий парирования КС и АС;

- автоматизация усложняет систему управления. С помощью автоматизации обычно решаются простые алгоритмы парирования, в которых оператор сам не часто допускает ошибки. При автоматических способах парирования не учитывается неопределенность информации. В результате автоматика не справляется с управлением без участия оператора и ответственность за не устранение АС ложится на оператора;

- дублирование позволяет резко уменьшить вероятность ошибки. Однако чем сложнее пульт управления, тем больше времени требуется на выполнение согласованных действий, в конечном итоге, все это приводит к существенному увеличению времени парирования КС.

Таким образом, анализ показывает, что существующие подходы исчерпали себя, они уже давно внедряются в сложные технические системы и не обеспечивают требуемую безопасность в АС.

Возникает необходимость создания дополнительных средств по электронному сопровождению действий оператора и информационному обеспечению с целью исключения оши-

бок для уменьшения времени и увеличения вероятности парирования КС.

3. РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Для организации работы оператора можно предложить схему, представленную на рис. 3, включающую систему управления с возможностью сопровождения и блокирования ошибочных действий оператора.

В этой схеме введен специальный блок «система контроля оператора и анализа режимов». Автоматический режим управления объектом (ОУ) обеспечивается с помощью контроллеров и системы измерений (СИ). Управление этими системами осуществляется в штатных режимах через монитор и органы управления. Причем в отличие от предыдущих систем вектор действий оператора U_1 непосредственно не поступает на органы управления, а подвергается рецензии в блоке «контроля оператора и анализа режимов». В результате эквивалентность между U_1 и U_3 нарушается, что позволяет отсеять ошибочные и некорректные действия.

Организация такого контура управления позволяет:

- 1) организовывать парирование ситуации в диалоговом режиме;
- 2) не допускать ошибочных действий оператора;
- 3) формировать и согласовать список рекомендуемых действий;
- 4) предупреждать оператора о предрасположенности перехода штатной ситуации в критическую и аварийную.

В результате анализа действий оператора по парированию опасных режимов можно утверждать, что правильность действий существенно зависит от времени отведенного на парирование [5].

Время парирования КС можно определить по формуле

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{фикс}} + t_{\text{распоз}} + t_{\text{п.р.}} + t_{\text{д}} + t_{\text{к}},$$

где $t_{\text{пр}}$ — время необходимое на парирование КС; $t_{\text{фикс}}$ — время необходимое фиксации отклонений от штатного режима; $t_{\text{распоз}}$ — время необходимое для распознавания вида КС; $t_{\text{п.р.}}$ — время необходимое для принятия решения; $t_{\text{д}}$ — время необходимое для выполнения корректирующего действия; $t_{\text{к}}$ — время необходимое для контроля результатов выполненного действия.

В связи с этим возникает задача на уменьшение каждого из этих составляющих. Так, например, возникает задача уменьшения времени на распознавание ситуации. В свою очередь она может быть разделена на две подзадачи:

1) нештатная ситуация с внезапным проявлением отказов (попадание молнии, обрыв кабеля) при этом КС возникает мгновенно за время значительно меньшее $t_{\text{пр}}$. КС в таких случаях парируются системой автоматического включения резерва (АВР) или автоматического повторного включения (АПВ). Успешность парирования КС на линиях электропередач с помощью АПВ достигает 70 % [8].

2) возникновение КС в результате постепенного «ухода» технологических параметров из нормальной области в область недопустимых значений. Уход параметров чаще всего протекает незаметно для оператора на фоне помех и многочисленности контролируемых режимов. Путем своевременного выявления и

прогнозирования развития таких отклонений параметров может быть существенно уменьшено время необходимое для распознавания вида КС — $t_{\text{распоз}}$, а следовательно и общее время парирования — $t_{\text{пр}}$. Эта задача потребует высокой достоверности прогнозирования при наличии помех.

Эти и другие задачи возложены на блок контроля оператора и анализа режимов. Структурная схема блока представлена на рис. 4.

Для построения указанных блоков требуется определить законы их функционирования применительно к специфике АСУ ТП. Так, блок анализа трендов может быть реализован с использованием различных алгоритмов аппроксимации [6]. Причем во многих случаях можно использовать метод наименьших квадратов (МНК). Так, был проведен эксперимент по измерению показаний вибродатчиков с целью определения аварийных режимов и выхода параметров за пределы нормы.

4. ЭКСПЕРИМЕНТ

В процессе экспериментального исследования выявлялась эффективность применения разработанной системы контроля оператора и анализа режимов, а также корректность предположений и допущений, принятых при разработке алгоритмов парирования КС. Данная проверка проводилась в рамках разумных затрат на проведение эксперимента и с целью подтверждения гипотезы о существенной пользе контроля оператора.

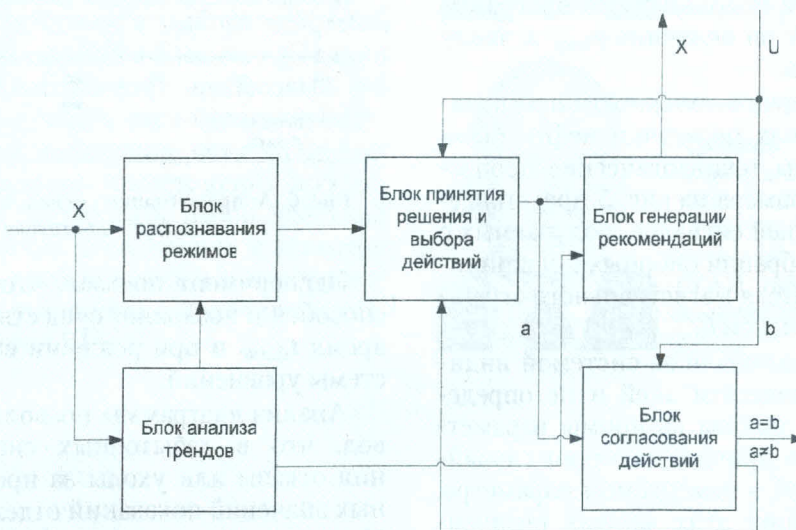


Рис. 4. Схема блока контроля оператора и анализа режимов

В эксперименте участвовали операторы нефтеперекачивающей станции (НПС). Сложность взаимосвязей и закономерностей АСУТП и не учет определенного числа факторов компенсировались построением моделей с параметрами, носящими случайный характер. Поэтому для оценки эффективности применения алгоритмов парирования КС использовались статистические методики.

Для проведения экспериментального исследования по оценке эффективности алгоритмов автоматизированного прогнозирования и принятия решений контроля был выбран выборочный метод, широко применяющийся на практике.

Эксперимент выполнялся в следующей последовательности:

- определение состава испытуемых, числа КС, времени проведения эксперимента, параметров и критериев оценки;
- набор статистики;
- оценка эффективности используемого программного обеспечения (ПО).

Методика проведения исследования основывалась на анализе результатов двух групп операторов, которые в течение трех месяцев участвовали в парировании отказов оборудования НПС. Одна группа использовала информацию системы контроля оператора и анализа режимов в КС, другая выполняла действия по прежней инструкции.

В базу данных заносились параметры оборудования НПС, результаты обнаружения КС, правильность выполняемых действий и составляющие времени парирования отказов. Затем по этим данным производился анализ экспериментальной информации и оценка эффективности используемого программного обеспечения по величине $p_{\text{пар}}$ и числу ошибок оператора.

Так, для проверки возможности прогнозирования в системах перекачки нефти были проанализированы технологические процессы. В качестве примера на рис. 5 представлены графики уровней сигналов, получаемых с двух датчиков вибрации опорных подшипников электродвигателя магистрального агрегата с текущим временем t_0 .

Операторы наблюдали за системой индикации около пятидесяти дней и не определили тенденцию выхода из нормы параметров датчика 2 по причине наличия случайной составляющей в измеряемом параметре. При аппроксимации этих данных внедренный блок анализа трендов определил наличие отрицательного тренда второго датчика с по-

мощью метода наименьших квадратов как показано на рис. 6, и выдал соответствующие рекомендации. В результате операторы смогли выявить неисправность датчика и не допустить аварийного режима. Экстраполирование полученной функции до нижнего предельного значения $V_{\text{пред}}$, позволяло определять время до наступления КС $-t_{\text{КС}}$ и информировать оператора.

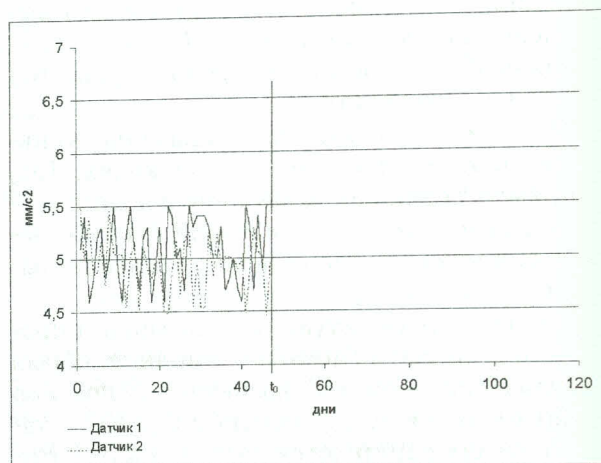


Рис. 5. Графики уровней сигналов вибродатчиков электродвигателя

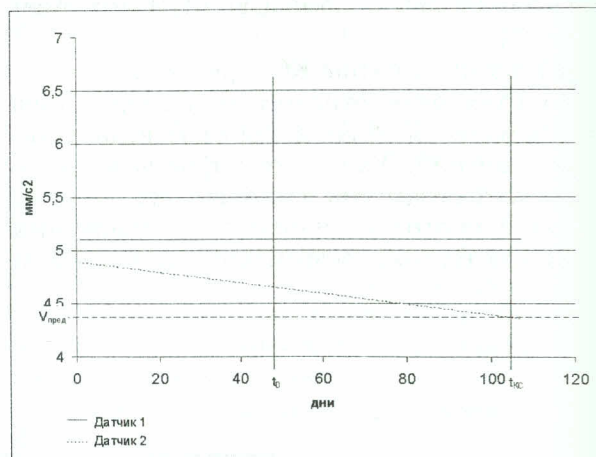


Рис. 6. Аппроксимации сигналов вибродатчиков электродвигателя

Эксперимент показал, что метод работоспособен и позволяет существенно сократить время $t_{\text{фикс}}$ и при решении специальной системы уравнений.

Анализ диаграммы позволяет сделать вывод, что в избыточных системах измерения отказы или уходы за пределы нормальных значений показаний отдельных датчиков $V_{\text{пред}}$ еще не является необходимостью по парированию этих режимов, требуются установить факт КС по другим признакам и с учетом

их принимать решения. В данном случае отключение агрегата могло способствовать возникновению аварийных режимов. Выявлено, что система контроля должна согласовать с оператором необходимость контроля самого датчика. Критический режим в данном случае может быть распознан за счет дополнительных признаков.

ВЫВОДЫ

1. Как показывает анализ предлагаемой марковской модели взаимодействия оператора с системой управления, более эффективное парирование КС может быть достигнуто при взаимодействии оператора с системой контроля оператора и анализа режимов, где интеллектуальная составляющая возлагается на оператора, а основная вычислительная нагрузка на систему контроля. Такое взаимодействие позволяет резко уменьшить число ошибок оператора и опасных ситуаций.

2. Использование возможности применения алгоритмов прогнозирования позволяет задолго до появления критических режимов информировать оператора о тенденциях «ухода» параметров и тем самым исключить элемент неожиданности, стресс. Также ранняя диагностика позволяет операторам осуществлять проверку достоверности поступающей информации и подготовить резерв для исключения АС.

3. Предложенный блок контроля оператора и анализа режимов, включающий в себя блоки распознавания режимов, анализа трендов, принятия решения и выбора действий, генерации рекомендаций и блок согласования действий. Он обеспечивает диалоговый режим, который улучшает распознавание ситуации оператором, выявление нежелательных отклонений медленно протекающих процессов. Позволяет согласовать набор действий и принять алгоритм парирования к исполнению, исключив грубые ошибки и некорректные действия и уменьшив, в конечном итоге, время парирования КС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мушик, Э.** Методы принятия технических решений : пер. с нем. / Э. Мушик, П. Мюллер. М. : Мир, 1990. 208 с.
2. **Мэзон, С.** Электронные цепи, сигналы и системы : пер. с англ. / С. Мэзон, И. Г. Циммерман. М. : Изд. ИЛ, 1963. 620 с.
3. **Дубинин, Н. М.** Исследование и разработка устройства автоматического контроля за реализацией команд управления в аварийных ситуациях : дис. ... канд. техн. наук / Н. М. Дубинин. Уфа : УГАТУ, 1980. 192 с.
4. **Кузьмин, И. В.** Элементы вероятностных моделей автоматизированных систем управления / И. В. Кузьмин, А. А. Явна, В. И. Ключко; под ред. И. В. Кузьмина. М. : Сов. радио, 1975. 336 с.
5. **Котик, М. А.** Ошибки управления: психологические причины, метод автоматизированного анализа / М. А. Котик, А. М. Емельянов. Таллин : Валгус, 1985. 391 с.
6. **Дуброва, Т. А.** Статистические методы прогнозирования : учеб. пособие для вузов / Т. А. Дуброва. М. : ЮНИТИ-ДАН, 2003. 206 с.
7. **Ломов, Б. Ф.** Человек и техника / Б. Ф. Ломов. М. : Сов.радио, 1966. 464 с.
8. **Чернобровов, В. В.** Релейная защита / В. В. Чернобровов. М. : Сов.радио, 1975. 558 с.

ОБ АВТОРАХ



Горюхин Вячеслав Владимирович, асп. каф. АСУ. Дипл. инж.-системотехн. (УГАТУ, 2002). Иссл. в обл. автоматиз. контроля оператора в АСУ.



Дубинин Николай Михайлович, доц. каф. АСУ. Дипл. инж. по электротехнике (ТИРЭТ, 1967). Канд. техн. наук по элем. выч. техн. (УАИ, 1980). Иссл. в обл. автоматиз. контроля оператора в АСУ.