

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ ПРИ ПРОЦЕССЕ ПЕРЕНАСТРОЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ**

А.В. ШАХОВСКОЙ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, В.Н. ВЛАСОВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
Е.Г. РОТАНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Московский государственный университет технологий и управления  
имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)  
109004, Москва, ул. Земляной Вал, 73; e-mail: a.shakhovskoy@mgutm.ru

<sup>2</sup> Поволжский казачий институт управления и пищевых технологий  
(филиал Московского государственного университета технологий  
и управления имени К.Г. Разумовского)  
Ульяновская обл., 433515, Димитровград, ул. Гвардейская, 30;  
e-mail: vlasova-va75@mail.ru

© Шаховской А.В., Власова В.Н.,  
Ротанов Е.Г., 2023

В статье показано, что проведение методической оценки способов и методов автоматизации производственных линий возможно методами диагностики оборудования, используемого для фиксации производственных показателей. Применение методик переконфигурации технологического оборудования возможно только при перестройке структуры программного обеспечения, которая достигается путем установления новых параметров. Определено, что возможности использования конфигураций оборудования формируются исходя из ранее обозначенных параметров. В качестве объекта управления при переконфигурации оборудования использована SCADA-система.

*Ключевые слова:* автоматизация, производство, конфигурация, развитие, система, канал, передача данных.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2023-2-72-78**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Вследствие технического прогресса умственный и физический труд человека все больше заменяется на автоматизированные и мехатронные системы, что позволяет повысить качественные показатели товаров и услуг. Автоматизация технологических процессов имеет многоуровневую структуру, начиная с управления конкретными технологическими процессами и заканчивая управлением производствами или целыми отраслями. Такая сложная структура требует больших капиталовложений. Обновление производственных систем управления с учетом современных средств автоматизации будет эффективно в том случае, если будет разработана объемная программа выпуска товаров. Компании, следящие за современными тенденциями развития производств, все чаще используют системный подход. Это позволяет своевременно реагировать на изменения конъюнктуры рынка, а также в реальном времени следить за результатами работы своего предприятия. В настоящее время на рынке существует достаточно большой выбор программных и аппаратных средств для автоматизации практически

любого производства, что дает возможность подобрать наиболее подходящий способ реализации с учетом имеющихся потребностей.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим в общем виде пример некоторого фрагмента структуры SCADA-системы (рис. 1) для диагностики отказов в процессе прохождения потоков данных по структурным элементам и уровням иерархии SCADA-системы. На момент времени  $t$  набор технических оценок контроля (ТОК) [1]

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_{n(x)}(t)\}$$

измеряется с помощью первичных преобразователей ПП<sub>*i*</sub> и регистрируется в специализированных контроллерах – узлах сбора данных ВЗД<sub>*j*</sub>. Считывание  $x_i(t)$  с ПП<sub>*i*</sub>, который связан с ВЗД<sub>*j*</sub> с помощью канала передачи данных (КПД)  $Ch_m$  через порт П<sub>*m*</sub>, обеспечивает программный процесс  $A_j$ , который работает на ВЗД<sub>*j*</sub>. Сервер  $S_1$  соединен с глобальной вычислительной сетью (ГОМ) с помощью каналов передачи данных через соответствующие порты П<sub>*s1,j*</sub> и П<sub>*j,s1*</sub>. За передачу данных между ВЗД<sub>*j*</sub> и сервером  $S_1$  по  $Ch_{1,j}$  с использованием протокола передачи данных ППД<sub>*j*</sub> отвечают программные процессы  $B_j$  и  $C$ . На сервере  $S_1$  ведутся две базы данных: база данных реального времени – БД<sub>1</sub> и архивная база данных – БД<sub>2</sub>. Запись данных в БД<sub>1</sub> и БД<sub>2</sub> осуществляется с помощью программных процессов  $D$  и  $E$ . С сервером  $S_1$  работает эксплуатационный персонал SCADA через интерфейс ряда специализированных рабочих мест (АРМ). Сервер  $S_1$  соединен с АРМ в ГОМ с помощью каналов передачи данных  $Ch_{1,A}$ . На АРМ отображается оперативная и архивная информация в виде мнемосхем, отчетов, графиков и т. п.

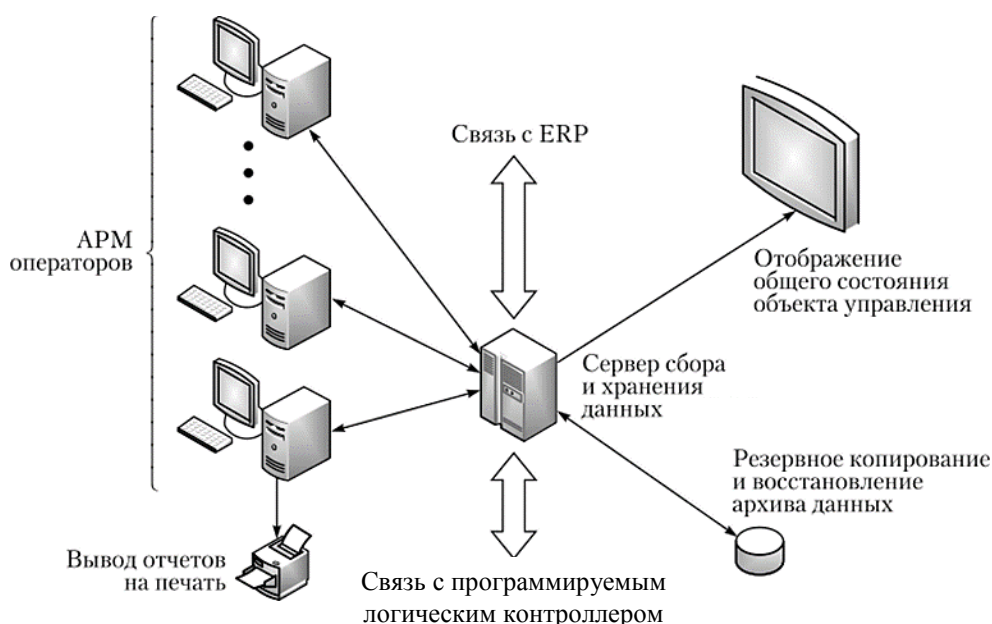


Рис. 1. Пример структурной схемы SCADA-системы [2]

Задачами подсистемы диагностики SCADA-системы в рамках предложенного метода, разработанного на основе структурно-логической модели диагностики отказов (SLM DV), являются автоматическая самодиагностика в режиме реального времени функционирования SCADA-системы в процессе прохождения потоков данных по структурным элементам и уровням иерархии SCADA-системы с целью обнаружения и

локализации отказов; определение видов отказов с помощью состояния контрольной панели (КП) ТОК  $X(t)$  в системе [3].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим приведенный на рис. 1 пример типовой структуры SCADA-системы [4]. Пусть  $L$  – уровни иерархии системы, соответствующие уровням возможной локализации неисправности;  $L_1$  – уровни иерархии системы, соответствующие системообразующим узлам;  $L_2$  – уровни иерархии системы, соответствующие каналам передачи данных:

$$L = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\};$$

$$L_1 \subset L, L_1 = \{2, 4, 6, 8\};$$

$$L_2 \subset L, L_2 = \{3, 5, 7\}.$$

На уровне ТОК ( $l = 1$ ) на момент времени  $t$  для набора  $X(t)$  параметр  $x_i(t)$  может находиться в одном из следующих состояний [5]:

- 1) значение КП находится в диапазоне технологических рамок (Г);
- 2) значение КП находится вне пределов технологических рамок (Т);
- 3) значение КП находится в аварийном диапазоне (А).

На уровнях SCADA-системы параметр  $x_i(t)$  может находиться в одном из состояний:

1) значение параметра достоверно (Д), т. е. корректно передано/зарегистрировано в системе;

2) значение параметра недостоверно (Н), например [6]:

зарегистрированное в системе значение параметра невозможно по физическому содержанию (находится вне диапазона допустимых значений / шкалы измерения датчика);

комбинация значений параметров невозможна по физическому содержанию, для заданного режима работы ТОК или в связи со спецификой контролируемого технологического процесса;

произошел невозможно большой скачок значения контролируемого параметра за невозможно малый для этого промежуток времени;

в протоколе передачи данных были зафиксированы ошибки передачи.

3) параметр отсутствует в системе (В), значение параметра не определено.

На уровнях SCADA-системы  $l \in L_2$  определим возможные виды завершения процесса приема-передачи набора  $X(t)$  по КПД  $Ch_\mu$ :

прием-передача параметра  $x_i(t)$  завершены корректно и считаются достоверными (Д);

прием-передача параметра  $x_i(t)$  завершены, но обнаружены ошибки ППД или некорректные настройки среды передачи данных и т. д. Передача параметра считается недостоверной (Н);

прием-передача параметра  $x_i(t)$  отсутствовали или не были завершены в течение тайм-аута, настраиваемого для ожидания завершения приема-передачи (В).

Критерием обнаружения неисправности является:

для уровня ТОК – выход значения параметра за технологические границы / границы пребывания в аварийном диапазоне [7];

на уровне системы (для  $l \in L_1$ ) – недостоверное значение / отсутствие параметра;

изменение достоверного состояния параметра (рис. 2) при переходе на более высокий уровень иерархии ( $l \in L_1$ );

ложность/отсутствие приема-передачи параметра ( $l \in L_2$ ).

Изменение состояния контролируемого параметра при переходе с объектового уровня ( $l = 1$ ) на системный уровень ( $l = 2$ ) приведено на рис. 3.

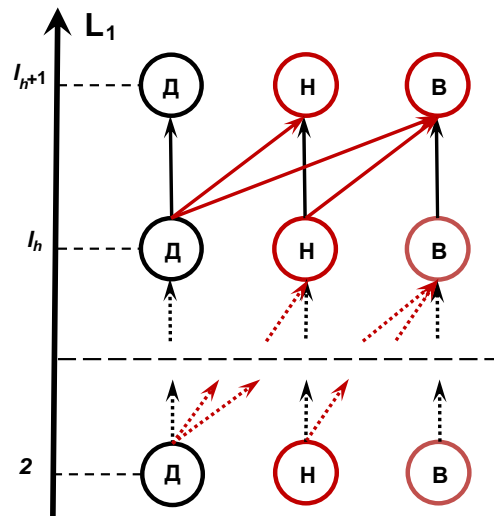


Рис. 2. Диаграмма допустимых изменений состояния КП ТОК при продвижении вверх по региональной информации (РИ) системы

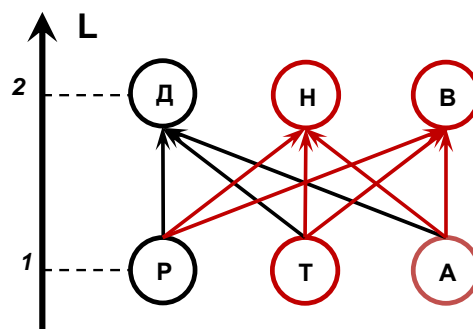


Рис. 3. Диаграмма изменения состояния КП ТОК при переходе с РИ ТОК на РИ системы

При переходе с уровня  $l_h$  на уровень  $l_{h+1}$  (для  $l \in L_1$ ) состояние параметра может измениться в результате возникновения неисправности, как показано на рис. 3. Недопустимые изменения состояния параметра при переходе с уровня  $l_h$  на уровень  $l_{h+1}$  (для  $l \in L_1$ ) приведены на рис. 4.

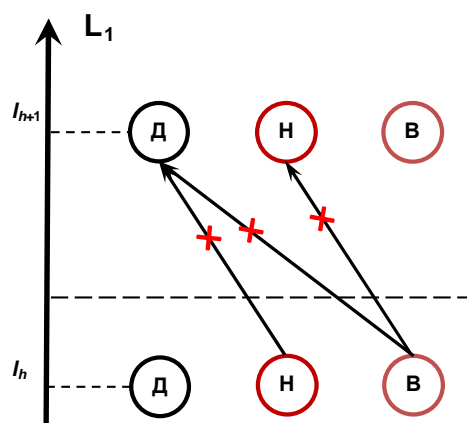


Рис. 4. Диаграмма недопустимых изменений состояния ТОК при продвижении вверх по РИ системы

На приведенных выше диаграммах (см. рис. 2–4) события, соответствующие критериям обнаружения неисправности, выделены красным цветом.

Определим множество состояний для набора  $X(t)$  по РИ SCADA-системы в виде матрицы  $M(t)$ :

$$\begin{cases} M(t) = [m_{iL,ic}(t)], \\ m_{iL,ic}(t) \in \begin{cases} \{P, T, A\}, & l = 1, \\ \{D, H, B\}, & l > 1, \end{cases} \\ iL = l(S_1) + 1 + l, 1 \leq l \leq l(S_1), \\ 1 \leq iC \leq n(X), \end{cases}$$

где  $iL$  – индекс строки матрицы  $M(t)$ , соответствующий уровням иерархии SCADA-системы  $l$ , расположенным в порядке убывания;  $iC$  – индекс столбца матрицы  $M(t)$ , соответствующий индексу контролируемого параметра  $x_{iC}(t)$ ;  $l(S_1)$  – уровень иерархии сервера SCADA-системы;  $n(X)$  – количество ТОК.

К матрице состояний КП ТОК поставим в соответствие диагностическую матрицу (ДМ)  $D(t)$  вероятности КП для  $1 \leq l \leq l(S_1)$  уровней иерархии системы. При формировании и анализе матрицы будем использовать трехзначную логику  $E$ . Определим элементы матрицы  $d_{iL,ic}$  на трехзначном множестве  $E_3 = \{0, 1, 2\}$ , что соответствует состояниям  $\{B, H, D\}$  параметра при  $l \in L_1$  или  $\{B, H, D\}$  видам завершения процесса приема-передачи параметра при  $l \in L_2$ :

$$\begin{cases} D(t) = [d_{iL,ic}(t)], \\ d_{iL,ic}(t) \in E_3, \\ iL = l(S_1) + 1 - l, 1 \leq l \leq l(S_1), \\ 1 \leq iC \leq n(X). \end{cases}$$

На основе анализа матрицы  $D(t)$  выведем аналитические зависимости для определения допустимого изменения состояния КП ТОК в процессе его прохождения по структурным элементам и РИ SCADA-системы.

Представим в табличном виде функцию  $f_1(x, y)$  изменения состояния контролируемого параметра при переходе на следующую РИ SCADA-системы (см. рис. 3, 4), где  $x$  – состояние параметра на предыдущей РИ  $l_h \in L_1$ ;  $y$  – состояние параметра на следующей РИ  $l_{h+1} \in L_1$ ;  $f_1(x, y) = 1$  – допустимое изменение состояния параметра по РИ  $L_1$  системы;  $f_1(x, y) = 0$  – недопустимое изменение состояния параметра по РИ  $L_1$  системы [8]:

$x$	0	0	0	1	1	1	2	2	2
$y$	0	1	2	0	1	2	0	1	2
$f_1(x, y)$	1	0	0	1	1	0	1	1	1

Данному табличному заданию функции  $f_1(x, y)$  соответствует полином

$$f_1(x, y) = (1 + xy - y^2 - xy^2 + 2x^2y) \pmod{3}.$$

Таким образом, корректность формирования матрицы  $D(t)$  в соответствии с допустимыми изменениями состояния контролируемого параметра  $x_{iC}(t)$  по РИ SCADA-системы  $l \in L_1$  проверяется следующим образом:

$$f_1(d_{iL+2,ic}, d_{iL,ic}) = 1, iL = l(S_1) + 1 - l, l \in L_1.$$

Диагностическим признаком (К) выявления неисправности в работе SCADA-системы является вычисление значения функции  $f_1(d_{iL+2,ic}, d_{iL,ic}) = 0$ . При этом критерий выявления неисправности – недопустимое изменение состояния контролируемого параметра  $x_{iC}(t)$  путем его продвижения между РИ  $l \in [l(S_1) - iL; l(S_1) - iL + 1]$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной проявления признаков неисправностей в большинстве случаев является нарушение логики функционирования программного обеспечения SCADA-системы, что с наибольшей вероятностью связано с ошибками проекта или ошибками реализации проектных решений и должно быть устранено как максимум на стадии тестовых испытаний. Проявление неисправностей на этапе опытной эксплуатации говорит о том, что не все ошибки реализации проектных решений были устранены или необходима модернизация оборудования, поскольку задействованные ресурсы программного обеспечения SCADA-системы не в состоянии обеспечить необходимую функциональность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование измерительно-управляющей системы на базе гибкого производственного участка / Д.Ф. Мамедов [и др.] // *Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2018)*. Уфа. 2018. С. 27–30.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022613374 РФ. *Программная платформа для создания компьютерного тренажерного комплекса АСУТП* / Лебедев И.С., Безуглов Д.В., Тюрин О.Г. Заявл. 28.02.2022. Оpubл. 14.03.2022. Бюл. № 3.
3. Васильченко А.П., Кореновский А.М. Телеметрия пунктов водоучета мелиоративной системы // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2021. № 1 (81). С. 12–16.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022613142 РФ. *Отраслевые решения SCADA Infinity в составе: ACSConfigurator, EstTasks, DataCollector, WebPortal, Отслеживание цикла жизни оборудования, Комплекс технологических расчетов, Комплекс отчетов «Банкир», Карта технологических уставок, Многофункциональная система безопасности, Планировщик работы декоративного освещения* / Чириков С.В. Заявл. 01.02.2022. Оpubл. 01.03.2022. Бюл. № 3.
5. Овчаренко Д.М., Раздобреев Е.И. Автоматизация технологии индукционного нагрева вязкой нефти при трубопроводном транспорте // *Трубопроводный транспорт углеводородов: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*. Омск: ОмГТУ. 2020. С. 26–30.
6. Беляков А.И. Эргономический анализ пользовательских интерфейсов в информационных и управляющих системах // *Научный лидер*. 2021. № 14 (16). С. 12–15.
7. Топольский Д.В., Топольская И.Г. Автоматизация диагностики состояния интеллектуального привода // *Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 72-й научной конференции*. Челябинск: ЮУрГУ. 2020. С. 300–307.
8. Федорова Э.Р., Трифонова М.Е. Анализ измеряемых параметров секции измельчения руд горнообогатительного комбината // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2019. № 2. С. 3–10.

**Для цитирования:** Шаховской А.В., Власова В.Н., Ротанов Е.Г. Автоматизация производственных линий при процессе перенастройки оборудования // *Вестник*

## **AUTOMATION OF PRODUCTION LINES DURING THE PROCESS OF EQUIPMENT RECONFIGURATION**

A.V. SHAKHOVSKOY<sup>1</sup>, Cand. Sc., V.N. VLASOVA<sup>2</sup> Cand. Sc.  
E.G. ROTANOV<sup>1</sup>, Cand. Sc.

<sup>1</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management  
73, Zemlyanoy Val str., Moscow, 109004, Russian Federation;  
e-mail: shahand291072@gmail.com

<sup>2</sup> Volga Cossack Institute of Management and Food Technologies  
30, st. Gvardeyskaya, Dimitrovgrad, 433515, Ulyanovsk region, Russian Federation;  
e-mail: vlasova-va75@mail.ru

The article shows that carrying out methodical evaluation of methods and methods of automation of production lines is possible by methods of diagnostics of equipment used for fixing of production indicators. The application of methods of reconfiguration of technological equipment is possible only when reconfiguring the software structure, which is achieved by establishing new parameters. It is determined that the possibilities of using equipment configurations are formed on the basis of previously indicated parameters. SCADA-system is used as a control object during equipment reconfiguration.

*Keywords:* automation, production, configuration, development, system, channel, data transmission.

Поступила в редакцию/received: 01.12.2022; после рецензирования/revised: 20.12.2022;  
принята/accepted: 26.12.2022

УДК 681.516

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ СУСПЕНЗИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ КАНАЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

А.Ф. ЕГОРОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, А.Г. ЛОПАТИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
Б.А. БРЫКОВ<sup>2</sup>, ст. препод.

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
125047, Москва, Миусская площадь, 9; e-mail: egorov.a.f@muctr.ru

<sup>2</sup> Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева  
Тульская обл., 301665, Новомосковск, ул. Дружбы, 8; e-mail: lopatin.a.g@muctr.ru

© Егоров А.Ф., Лопатин А.Г.,  
Брыков Б.А., 2023

Рассмотрен вопрос управления химическими реакторами периодического действия на примере процессов суспензионной полимеризации. Актуальность работы обусловлена характером процессов суспензионной полимеризации, протекающих в реакторе и не позволяющих обеспечить управление на основе классических