

УДК 66.04.454:681.5-027.45

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ

Матвеев Д.С.¹, Чикуров А.В.,

Хуснияров М.Х., Бахтизин Р.Н., Верёвкин А.П.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

¹e-mail: matveev_dmitriy_@mail.ru

Аннотация. *В работе представлена система оперативного диагностирования автоматизированного технологического комплекса трубчатой печи с применением системы продукционных правил, составленной на основе эвристических знаний экспертов о причинах разбалансов и нарушения допустимых границ изменения значений диагностических показателей, а также анализа режимов работы объекта. Система диагностирования реализована в программном имитаторе, который в режиме реального времени осуществляет сбор данных с объекта диагностирования и на основе системы продукционных правил принимает решения об отказе того или иного элемента.*

Ключевые слова: *продукционные правила, программный имитатор, диагностирование, трубчатая печь, прогар змеевика*

При разработке систем обеспечения безопасности (СОБ) на взрывопожароопасных и химически опасных производствах одним из параметров, в значительной мере определяющим показатели безопасности и риски возникновения аварийных ситуаций, является коэффициент готовности (КГ) оборудования. Существенный вклад в этот показатель вносит время восстановления отказавшего оборудования, которое в свою очередь зависит от того, насколько оперативно и качественно локализуют факт, место и причину отказа. Таким образом, одной из приоритетных задач СОБ производственных объектов является повышение КГ и минимизация времени восстановления аварийного оборудования [1, 2, 3]. В связи с тем, что существующие методы диагностирования ограничены в применении: позволяют обнаруживать, в основном, постепенные (функциональные) отказы только технологического оборудования и проводить мониторинг состояния на неработающем технологическом оборудовании лишь в моменты останова и ремонтных работ, не позволяют создать комплексную технологию, дающую максимально объективную и полную информацию об объекте, то подобного рода задачи возможно решить только при наличии систем оперативного диагностирования (СОД).

В нормативной документации в области промышленной безопасности устанавливается, что разработка СОД отказов и защиты от их последствий является одним из необходимых этапов при создании автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП) и СОБ [4, 5].

Анализ аварийных ситуаций на взрывопожароопасных производствах показал, что трубчатая печь является одним из наиболее опасных объектов, обладающим повышенными параметрами риска по сравнению с другими видами оборудования. На долю трубчатых печей приходится 11 % общего количества произошедших аварий на предприятиях нефтегазовой отрасли. Это обусловлено взрывопожароопасностью сырья и продуктов реакции, высокими температурами нагрева, использованием легковоспламеняющихся газов и жидкостей в качестве топлива. Трубчатые печи являются наиболее энергоемким оборудованием установок переработки нефти, на их долю приходится до 50 % общего энергопотребления предприятия. Большое количество аварий на трубчатых печах связано с разгерметизацией трубчатого змеевика и выброса технологической среды в объем печи. Своевременное обнаружение прогара змеевика позволяет существенно снизить количество вещества, участвующего в пожаре, и соответственно снизить возможный ущерб от аварии, который может достигать десятков миллионов рублей. Кроме этого трубчатые печи являются источником загорания и взрыва оборудования, расположенного в непосредственной близости от печи [6, 7].

Сценарии возможных аварийных ситуаций, связанных с трубчатыми печами, позволяют сделать вывод о том, что одним из эффективных способов снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций является использование средств автоматизации. Наличие, нормальная работа средств контроля, регулирования, сигнализации существенно снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций. В связи с этим необходимо оперативно отслеживать отказы, как технологического оборудования, так и самих средств автоматизации, т.е. проводить диагностирование автоматизированных технологических комплексов (АТК).

Поэтому разработка и внедрение СОД состояния АТК трубчатых печей является важным элементом обеспечения их безопасной эксплуатации и актуальной задачей, решению этих вопросов посвящено достаточно большое количество работ [8 - 11].

В данной работе предлагается СОД АТК трубчатой печи на основе производственных правил, задачей которой является своевременное обнаружение факта и места отказа. При установлении факта отказа необходимо обеспечить восстановление функций отказавшего элемента путем его замены или ремонта.

В СОД состояние объекта оценивают по диагностическим показателям (параметрам или характеристикам), определяющим состояние объекта. Каждому состоянию соответствует свое значение диагностических показателей. О возникновении дефекта судят по выходу диагностического показателя за допустимые границы. Для установления состояния объекта необходимо наличие программы и алгоритмов диагностирования. Алгоритм диагностирования представляет собой последовательность выполнения определенных действий в процессе диагностирования. Программа диагностирования состоит из множества алгоритмов, направленных

ных на оценку работоспособности элементов технического объекта. В процессе диагностирования в зависимости от условий его выполнения и особенностей технического объекта решают следующие задачи:

1. определяют, может ли технический объект по своему состоянию выполнять возложенные на него функции;
2. определяют характер дефекта, возникшего в объекте;
3. предсказывают момент времени, когда диагностические показатели достигнут определенного значения или когда объект потеряет работоспособность [8, 11].

На основе вектора параметров состояния $x_j (j=1,2, \dots)$ объекта диагностирования формируется множество диагностических показателей:

$$\Xi = \{\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n\}.$$

В качестве диагностических показателей выступают:

- физические (технологические) параметры;
- показатели, получаемые из измеренных параметров, характеристик оборудования в статике и динамике, расчетных характеристик и показателей (материальные и энергетические балансы, показатели эффективности, КПД).

Схема получения диагностического показателя ξ на основе модели объекта для одного параметра T – температуры продукта на выходе печи приведена на рис. 1.

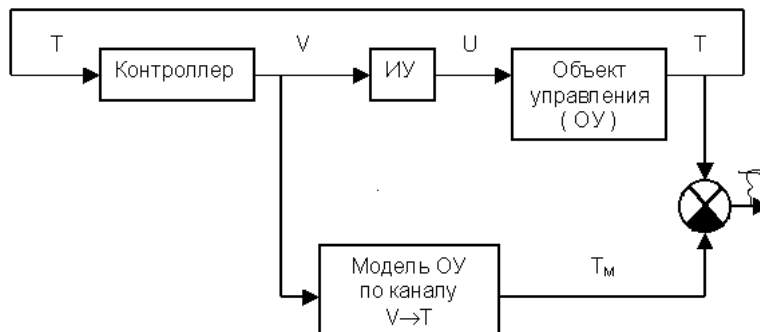


Рис. 1. Схема получения диагностических показателей на основе модели объекта для одного параметра T

Таким образом сформировали следующие диагностические показатели:

$$\xi_1 = |t_{вых} - t_{вых}^M| > g_1; \quad B_1 = t_{вых} - t_{вых}^M; \quad (1)$$

$$\xi_2 = |t_{пер} - t_{пер}^M| > g_2; \quad B_2 = t_{пер} - t_{пер}^M; \quad (2)$$

$$\xi_3 = |B_3| > g_3; \quad (3)$$

$$\xi_4 = |B_4| > g_4; \quad (4)$$

$$\xi_5 = |B_5| > g_5; \quad (5)$$

$$\xi_6 = |F_T - F_T^M| > g_6. \quad (6)$$

где g_i – допустимые границы отклонений ($i = 1, \dots, 6$) определяются экспертом при

проведении эксперимента;

$t_{вых}^M$ – значение температуры продукта на выходе из печи, рассчитанное по модели;

$t_{пер}^M$ – значение температуры на перевале печи, рассчитанное по модели;

F_m^M – значение расхода топлива на горелки печи, рассчитанное по модели;

B_i – величина разбаланса (в т.ч. теплового) ($I = 1, \dots, 5$).

Далее устанавливаются причинно-следственные связи между фактами нарушения ограничений и их возможными причинами. Заметим, что процедура диагностирования существенно упрощается, если отдельные элементы системы управления и системы противоаварийной защиты дублируются.

Определенные трудности вызывает диагностирование отказов исполнительных устройств (ИУ). В этом случае диагностирование может проводиться на основе сравнения реакций одного или нескольких технологических параметров T объекта управления на изменение управляющего сигнала V и реакции модели ОУ на те же сигналы.

Процедура принятия решения об отказе того или иного элемента АТК трубчатой печи определяется в виде системы продукционных правил (ПП), составленных на основе эвристических знаний эксперта о причинах разбалансов и нарушения допустимых границ изменения значений диагностических показателей. Поэтому формирование системы ПП является важным этапом реализации системы диагностирования.

Продукционные системы (ПС) представляют собой структурированные наборы продукционных правил (ПП) вида [12]

$$PR = \langle S, N, F, A \Rightarrow C, W \rangle, \quad (7)$$

где S – сфера применения данного правила;

N – номер или имя правила,

F – предусловие применения (условие активизации), содержащее информацию об истинности и приоритетности данного правила,

$A \Rightarrow C$ – ядро ПП,

W – постусловие.

Наиболее часто в ПС используют детерминированные ПП вида «если A то C », где A и C – логические выражения, которые могут включать в себя другие выражения: A называется антецедентом, C – консеквентом.

ПП могут быть доопределены логическими выражениями, определяющими иницилируемые процедуры, которые имеют место в случае отсутствия ее активности, «если A то C_1 иначе C_2 ».

Продукционные правила, используемые в системах управления, диагностирования, учитывают накладываемые ограничения, а также показатели эффективности, по которым определяются управляющие воздействия и которые часто являются неизмеряемыми лингвистическими переменными.

Для принятия решения об отказе того или иного элемента АТК трубчатой печи на основе знаний экспертов, анализа режимов работы и причинно-следственных связей между элементами формируем следующую систему продукционных правил:

«ЕСЛИ» $\bar{\xi}_3 \{исправны F_c, F_T, t_{вых}\} \wedge \xi_2$, «ТО» {неисправность датчика температуры на перевале печи};

«ЕСЛИ» ξ_6 , «ТО» {неисправность (ИУ)};

«ЕСЛИ» $\xi_4 \wedge \xi_5$, «ТО» {неисправность датчика давления топливного газа};

«ЕСЛИ» $\xi_2 \wedge \xi_3$, «ТО» {неисправность датчика расхода сырья};

«ЕСЛИ» $\xi_1 \wedge \xi_2 \wedge \xi_3$, «ТО» {неисправность датчика температуры на выходе печи}.

ПП располагаются в порядке, который позволяет однозначно сделать заключения о причине неисправности, если таковая имеет место. Если одновременно сработало более чем одно ПП, то это говорит, либо о том, что имеет место прогар змеевика печи, либо о неадекватности модели.

С использованием системы ПП разработан алгоритм и программа диагностирования состояния элементов АТК трубчатой печи (табл. 1).

СОД реализована в программном имитаторе (ПИ), разработанном в среде Visual Basic for Application (Microsoft Office Excel 2007) с применением стандартных управляющих элементов оконных форм (рисунок 2).

ПИ осуществляет сбор информации с реального объекта о значениях следующих технологических параметров: температуры продукта на выходе из печи, температуры на перевале печи, расхода топлива на горелки и расхода сырья. В нашем случае информация о технологических параметрах в ПИ поступает из компьютерной модели трубчатой печи (рис. 3), для создания которой применяется программный продукт UniSim Design (USD) компании Honeywell [13]. Модель в UniSim Design позволяет проанализировать работу печи в режиме реального времени.

ПИ по моделям переменных состояния производит расчет значений величин разбаланса $B_1 - B_6$. Далее формируются диагностические показатели, и выполняется проверка граничных условий. Экспериментально, путем наблюдения за поведением технологических параметров объекта и значениями по модели в режиме безаварийной работы для диагностических показателей были определены допустимые границы отклонений $\xi_1 \leq 2$; $\xi_2 \leq 0,9$; $\xi_3 \leq 1,1$; $\xi_4 \leq 0,3$; $\xi_5 \leq 1,2$; $\xi_6 \leq 2,1$. В случае выхода показателей ξ_i в определенных комбинациях, регламентируемых ПП, за указанные границы и невозвращения их в нормальный режим с задержкой по времени, равной 5 с, выдается диагностическое сообщение о неисправности того или иного элемента (в нормальном режиме цвет поля – зеленый, в аварийном – красный).

При появлении какого-либо диагностического сообщения оператор должен отреагировать и провести технический осмотр (ТО), а при необходимости ремонт или замену отказавшего элемента. При обнаружении прогара змеевика необходимо предпринять меры по аварийному останову печи в соответствии с нормативно-технической документацией и технологическим регламентом установки. В том случае, если ТО показал исправность элемента, можно сделать вывод о неадекватности модели и необходимости проведения процедуры ее адаптации (по умолчанию адаптация проводится ПИ автоматически с периодом, равным 20 минутам).

Таким образом, СОД позволяет проводить постоянный мониторинг состояния элементов АТК трубчатой печи в режиме реального времени, своевременно обнаруживать как технологический отказ – прогар змеевика, так и неисправности технических средств штатной системы управления и системы противоаварийной защиты – неисправность датчиков температуры на перевале печи, давления топливного газа, расхода сырья, температуры на выходе печи, исполнительных устройств. Это, в свою очередь, позволяет предотвращать развитие аварийных ситуаций таких, как пожары, взрывы, разрушение технологического оборудования, снизить периоды его простоя, а также экономический ущерб от подобных инцидентов, и в целом повысить уровень безопасности производства. В дальнейшем СОД может быть интегрирована в АСУТП.

Таблица 1. Программа Diagnosis

Блок-схема подпрограммы	Листинг подпрограммы
<pre> graph TD Start([diagnosis Начало]) --> Progar0[Progar=0] Progar0 --> D1{не ξ₃>g₃ и ξ₂>g₂} D1 -- да --> T1[time₁=time₁+1] D1 -- нет --> T1_0[time₁=0] T1 --> D2{time₁>=timeMax} D2 -- да --> D1 D2 -- нет --> O1[/Вывод ДС №1/] O1 --> P1[Progar=Progar+1] T1_0 --> D3{ξ₆>g₆} D3 -- да --> T2[time₂=time₂+1] D3 -- нет --> T2_0[time₂=0] T2 --> D4{time₂>=timeMax} D4 -- да --> D3 D4 -- нет --> O2[/Вывод ДС №2/] O2 --> P2[Progar=Progar+1] T2_0 --> D5{ξ₄>g₄ и ξ₅>g₅} D5 -- да --> T3[time₃=time₃+1] D5 -- нет --> T3_0[time₃=0] T3 --> D6{time₃>=timeMax} D6 -- да --> D5 D6 -- нет --> O3[/Вывод ДС №3/] O3 --> P3[Progar=Progar+1] P3 --> End((1)) </pre>	<pre> Private Sub Diagnosis () ` установить счетчик прогара равным 0 Progar = 0 ` проверка первого продукционного правила If (Not ksi(3) > g(3)) And (ksi(2) > g(2)) Then Time(1) = time(1) + 1 ` вывод диагностического сообщения If time (1) >= maxTime Then TextBoxDiagnosis1.BackColor = vbRed progar = progar + 1 Else: TextBoxDiagnosis1.BackColor=vbGreen End If Else Time(1) = 0 End If ` проверка второго продукционного правила If (ksi(6) > g(6)) Then Time(2) = time(2) + 1 ` вывод диагностического сообщения If time(2) >= maxTime Then TextBoxDiagnosis2.BackColor = vbRed progar = progar + 1 Else: TextBoxDiagnosis2.BackColor=vbGreen End If Else Time(2) = 0 End If ` проверка третьего продукционного правила If (ksi(4) > g(4)) And (ksi(5) > g(5)) Then Time(3) = time(3) + 1 ` вывод диагностического сообщения If time(3) >= maxTime Then TextBoxDiagnosis3.BackColor = vbRed progar = progar + 1 Else: TextBoxDiagnosis3.BackColor = vbGreen End If Else Time(3) = 0 End If </pre>

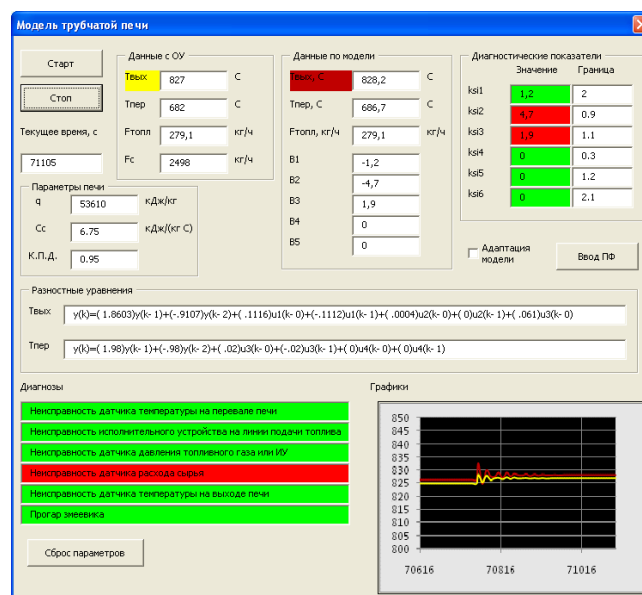
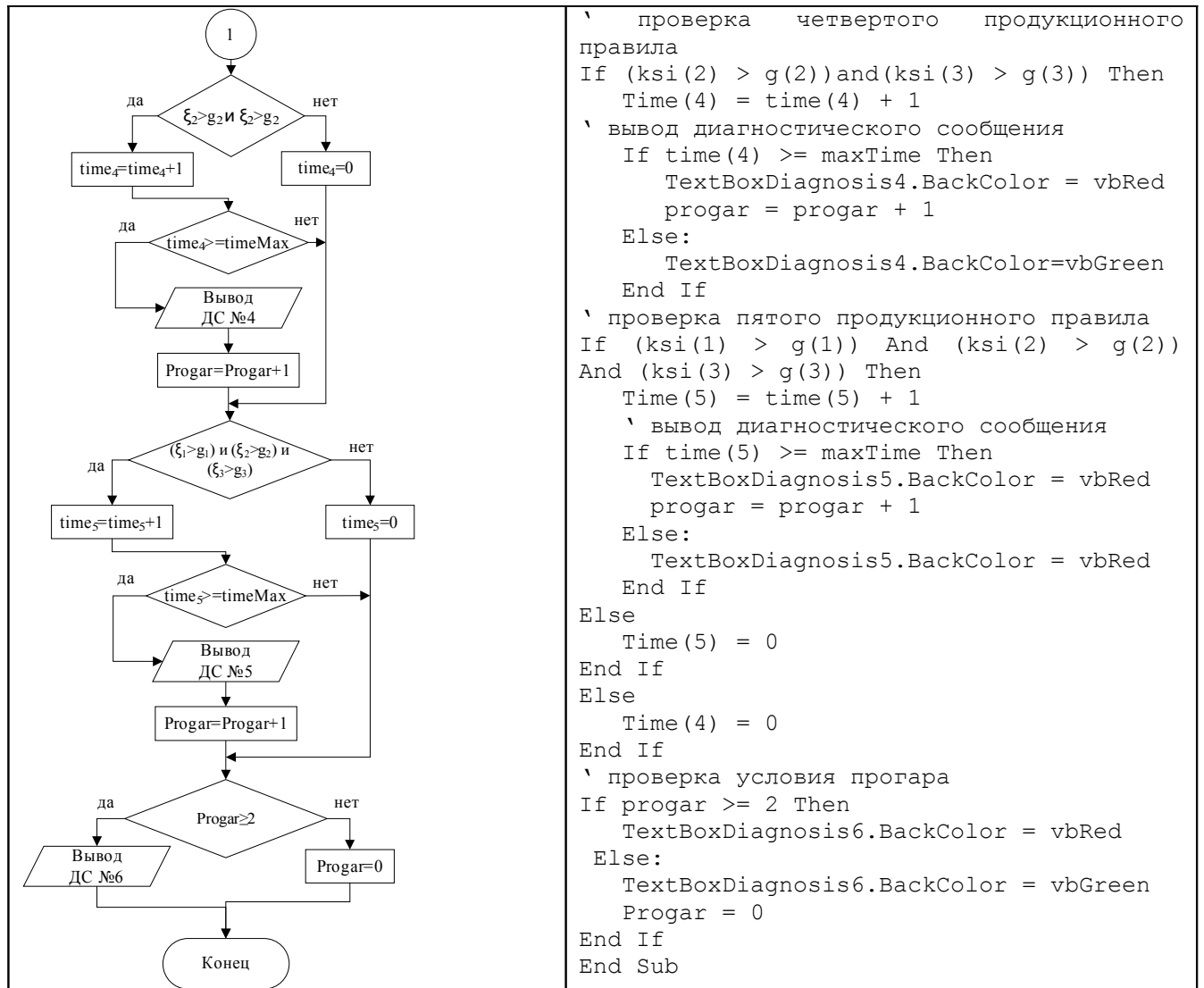


Рис. 2. Основное окно программного имитатора

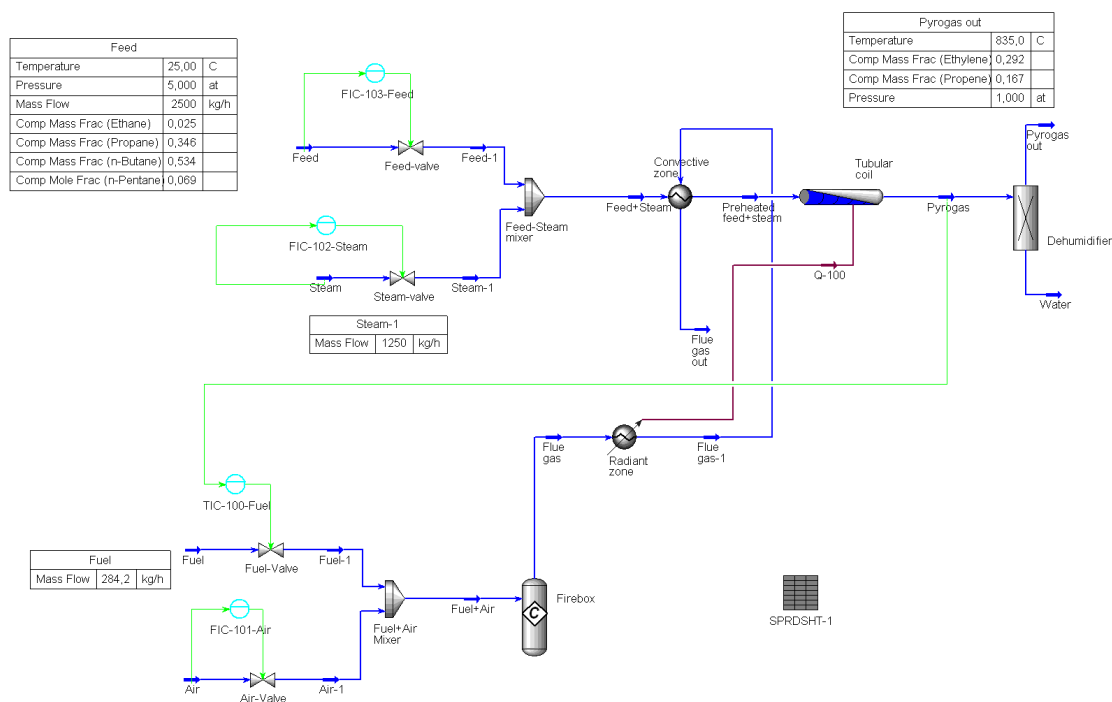


Рис. 3. Общий вид модели печи в UniSim Design

Литература

1. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств. В 2-х томах. М.: СИНТЕГ, 2006. Т.1 720 с., Т.2 632 с.
2. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. Утв. ГТН 01.10.2001 г. НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. 15 с.
3. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Грун Г., Нойманн В. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, 1987. 272 с.
4. ПБ 09-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 05.05.2003 №29, зарегистрировано в Минюсте РФ 15.03.2003, рег. № 4537. М.: ПИО ОБТ, 2003.
5. ПБ 09-563-03. Правила промышленной безопасности для нефтеперерабатывающих производств. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 29.05.2003 №44, зарегистрировано в Минюсте РФ 09.06.2003, рег. № 4660. М.: ПИО ОБТ, 2003.
6. Ягудин М.Н. Тепловой и аэродинамический расчёт трубчатых печей. Уфа.: изд-во ГУП ИНХП РБ, 2008. 210 с.

7. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов. М.: Недра, 2000. 680 с.
8. Мозгалеvский, А.В., Койда А.Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
9. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Вереvкин А.П. и др. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа: учеб. пособие. М.: Химия, 2005. 736 с.
10. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах: пер. с англ. Л.: Химия, 1983. 352 с.
11. Хуснияров М.Х., Сунагатов М.Ф., Матвеев Д.С.. Основы надежности и диагностики технических систем: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2011. 128 с.
12. Вереvкин А.П., Кирюшин О.В. Теория систем: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 100 с.
13. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: СИНТЕГ, 2009. 372 с.

THE ON-LINE DIAGNOSTICS SYSTEM OF AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEX OF A TUBULAR FURNACE BASED ON A SYSTEM OF PRODUCTION RULES

D.S. Matveev¹, A.V. Chikurov,
M.Kh. Husniyarov, R.N. Bahtizin, A.P. Veryovkin
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
¹*e-mail: matveev_dmitriy_@mail.ru*

Abstract. *In this work a system of on-line diagnostics of automated technological complex of a tubular furnace based on a system of production rules, derived from the heuristic knowledge of experts on the causes of unbalance and disturbance of acceptable limits of change of values of diagnostic indicators, and analysis of operating modes of the object. Diagnostic system is implemented in a software simulator, which continuously collects data from a real object and decides on the refusal of an item based on production rules, which allows for constant monitoring of the elements of the automated technological complex of the tubular furnace in real time.*

Keywords: *production rules, software simulator, diagnostics, tubular furnace, coil burnout*

References

1. Fedorov Yu.N. Osnovy postroeniya ASUTP vzryvoopasnykh proizvodstv. V 2 tomakh (Basis of construction control systems for hazardous production plants. In 2 volumes). Moscow: SINTEG, 2006. Vol. 1 720 p., Vol. 2 632 p.
2. RD 03-418-01. Methodical instruction for risk analysis of hazardous production plants. NTTs "Promyshlennaya bezopasnost'", 2001. 15 p.
3. Kafarov V.V., Meshalkin V.P., Grun G., Noimann V. Obespechenie i metody optimizatsii nadezhnosti khimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv. M.: Khimiya (Reliability provision and reliability optimization methods for chemical and oil refineries). Moscow: Khimiya, 1987. 272 p.
4. PB 09-540-03. General codes on explosion protection for explosive and fire hazardous chemical, petrochemical plants and oil refineries. Moscow: PIO OBT, 2003.
5. PB 09-563-03. Industrial safety regulations for refinery plants. Moscow: PIO OBT, 2003.
6. Yagudin M.N. Teplovoi i aerodinamicheskii raschet trubchatykh pechei (Thermal and aerodynamic calculations of tube furnaces). Ufa: GUP INKhP RB, 2008. 210 p.
7. Skoblo A.I. Protsessy i apparaty neftegazopererabotki i neftekhimii: uchebnik dlya vuzov (Processes and apparatus at refinery and petrochemical industries: a textbook for high schools). Moscow: Nedra, 2000. 680 p.
8. Mozgalevskii, A.V., Koida A.N. Voprosy proektirovaniya sistem diagnostirovaniya (Diagnosing systems design issues). Leningrad: Energoatomizdat, 1985. 112 p.

9. Akhmetov S.A., Ishmiyarov M.Kh., Verevkin A.P. et al. Tekhnologiya, ekonomika i avtomatizatsiya protsessov pererabotki nefti i gaza: ucheb. posobie (Technology, economics and process automation in oil and gas processing. Textbook). Moscow: Khimiya, 2005. 736 p.

10. Himmelblau D.M. Obnaruzhenie i diagnostika nepoladok v khimicheskikh i neftekhimicheskikh protsessakh: per. s angl. (Transl. from eng. Fault Detection and Diagnosis in Chemical and Petrochemical Processes. Elsevier Science Ltd, 1979, 424 p.). Leningrad: Khimiya, 1983. 352 p.

11. Khusniyarov M.Kh., Sunagatov M.F., Matveev D.S., Osnovy nadezhnosti i diagnostiki tekhnicheskikh sistem: ucheb. posobie (Fundamentals of reliability and diagnostics of technical systems. Textbook). Ufa: UGNTU, 2011. 128 p.

12. Verevkin A.P., Kiryushin O.V. Teoriya sistem: ucheb. posobie (Systems theory. Textbook) . Ufa: UGNTU, 2003. 100 p.

13. Dozortsev V.M. Komp'yuternye trenazhery dlya obucheniya operatorov tekhnologicheskikh protsessov (Computer simulators for training operator of technological processes). Moscow: SINTEG, 2009. 372 p.