

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА – ИМИТАТОРА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ – ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОПОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ПРОГАРЕ ЗМЕЕВИКА В ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ

**Хафизов А.М., Малышева О.С., Сидоров Д.А., Гилязетдинов И.Д.,
Гайсаров А.Р., Жильников Д.В.**

*Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Салават, e-mail: alik_hafizov@mail.ru*

Для повышения безопасности нефтегазовых производств путем повышения профессионализма операторов, предлагается создание виртуального тренажера – имитатора аварийной ситуации повышения температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика в трубчатой печи. В среде объектно-ориентированного программирования Visual Basic смоделирована нештатная ситуация, возникающая при прогаре трубчатого змеевика и утечке углеводородной шихты в топочное пространство. В разделе подсказок представлена теоретическая информация о пожарах в печах, оценка материального ущерба. Для подготовки персонала на производстве наиболее эффективно использовать интерактивные современные технологии обучения, в частности виртуальные симуляторы, имитируя работу реальной печи. Тренажеры помогают обучать операторов правильно действовать в условиях повышенной стрессовой обстановки и опасности. Внедрение данного виртуального тренажера на предприятиях нефтегазовой отрасли позволит снизить риск нештатных ситуаций, уменьшит количество ошибок у операторов, происходящих из-за недостаточной практики.

Ключевые слова: трубчатая нагревательная печь, виртуальный тренажер, аварийное состояние, прогар трубчатого змеевика, пожар

THE DEVELOPMENT OF THE VIRTUAL SIMULATOR-IMITATOR OF AN EMERGENCY – THE TEMPERATURE RISE IN A FURNACE DURING BURNOUT OF THE COIL IN THE FURNACE

**Khafizov A.M., Malysheva O.S., Sidorov D.A., Gilyazetdinov I.D.,
Gaysarov A.R., Zhilnikov D.V.**

*Branch of SEI HE «Ufa State Petroleum Technological University», Salavat,
e-mail: alik_hafizov@mail.ru*

To enhance the security of oil and gas enterprises by enhancing the professionalism of the operators, we propose the creation of a virtual simulator-the simulator of emergency rise in temperature in a furnace during burnout of the coil in a tube furnace. In the environment of object-oriented programming Visual Basic was simulated emergency situation that occurs when the burnout of the tubular coil and leakage of hydrocarbon charge in the combustion space. In the section of the tips presented theoretical information about the fires in the furnaces, estimated material damage. For training of staff in production most effectively to use interactive modern teaching technologies, in particular virtual simulators, simulating the operation of the real furnace. Simulators help to educate operators to correctly operate in a high stress situation and danger. The introduction of this virtual simulator for the oil and gas industry will reduce the risk of emergency situations will reduce the number of errors of the operators that occur due to insufficient practice.

Keywords: tubular heating furnace, virtual simulator, emergency condition, burnout of the tubular coil, fire

Анализ аварийных ситуаций на производственных объектах нефтегазовой отрасли показал, что трубчатая нагревательная печь является одним из опасных объектов [3]. Данные Академии государственной противопожарной службы МЧС России за временной промежуток с 2007 по 2016 г. показывают, что 11,6% всех аварий на производственных объектах нефтегазовой отрасли приходится на трубчатые нагревательные печи [2].

Применение виртуальной модели трубчатой нагревательной печи позволяет многократно воспроизводить различные режимы работы, условия, не затрачивая при этом

ресурсов настоящего оборудования и не подвергая опасности персонал и печи [7].

Для подготовки персонала на производстве наиболее эффективно использовать интерактивные современные технологии обучения, в частности виртуальные симуляторы [5], более того, применение такого рода симуляторов обязательно для большинства промышленных предприятий [1].

Цель данной работы – моделирование аварийной ситуации повышения температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика в трубчатой нагревательной печи для закрепления навыков и действий персонала в нештатных ситуациях. Для

этого предлагаются решения следующих задач:

- разработка графических элементов тренажера, визуальных подсказок [6];
- наглядное представление прогара змеевика и пожара в виртуальной среде;

– выявление причин возникновения нештатной ситуации – повышения температуры в топочном пространстве печи при прогаре змеевика;

– описание методов и способов устранения неполадок, аварийных ситуаций.

```
Private Sub Command7_Click()  
    progarA = 0  
    progarB = 0  
    ttc05 = 678.4 + Rnd(1) * 0.05  
    ttb05 = 658.4 + Rnd(1) * 0.05  
    tta05 = 648.4 + Rnd(1) * 0.05  
    ttc15 = 679.4 + Rnd(1) * 0.05  
    ttb15 = 657.4 + Rnd(1) * 0.05  
    tta15 = 630.4 + Rnd(1) * 0.05  
    progar = Int(Rnd * 2)  
    If progar = 0 Then 'прогар змеевиков в печи А  
        progarA = 1  
    End If  
    If progar = 1 Then 'прогар змеевиков в печи Б  
        progarB = 1  
    End If  
    avsit3.Enabled = True  
    avsit3.Interval = 200  
    avsit3v.Enabled = False  
End Sub
```

Рис. 1. Код аварийной ситуации прогара змеевика трубчатой печи

```
Private Sub avsit3_Timer()  
    If progarB = 1 Then  
        tta15 = (tta15 + 3) + Rnd() * 0.1  
        ttb15 = (ttb15 + 3) + Rnd() * 0.1  
        ttc15 = (ttc15 + 3) + Rnd() * 0.1  
    End If  
    If ttc15 > 835 Then  
        tta15 = 801 + Rnd() * 0.1  
        ttb15 = 805 + Rnd() * 0.1  
        ttc15 = 835 + Rnd() * 0.1  
        avsit2.Enabled = False  
    End If  
    If progarA = 1 Then  
        tta05 = (tta05 + 3) + Rnd() * 0.1  
        ttb05 = (ttb05 + 3) + Rnd() * 0.1  
        ttc05 = (ttc05 + 3) + Rnd() * 0.1  
    End If  
    If ttc05 > 835 Then  
        tta05 = 801 + Rnd() * 0.1  
        ttb05 = 810 + Rnd() * 0.1  
        ttc05 = 838 + Rnd() * 0.1  
        avsit2.Enabled = False  
    End If
```

Рис. 2. Код аварийной ситуации

Для реализации виртуального тренажера за основу был взят реальный производственный объект – печь подогрева бензольной шихты производства этилбензола, стирола. При разработке интерфейса тренажера использовались мнемосхемы реальных объектов (трубчатые печи производства углеводородной шихты) для большей наглядности при обучении операторов. Основу интерфейса составляет графический экран с набором элементов, составляющих мнемосхему (клапаны, печи, трубопроводы, показания с виртуальных датчиков) [4]. Также был произведен сбор необходимых данных: техническая документация установки, нормы технологического процесса, характеристики объекта и оборудования.

Повышение температуры в топочном пространстве трубчатой нагревательной печи выше 835 °С согласно технологическому регламенту реального объекта вызвано прогаром трубчатого змеевика и утечкой углеводородной шихты в топочное пространство. Это одна из опаснейших аварийных ситуаций, способная привести к возгоранию нагреваемого продукта и взрыву [8]. В коде аварийной ситуации фигурирует переменная «progar», принимающая значения 0 и 1 (рис. 1). Данная переменная определяет, в какой именно печи прогорела труба змеевика: если значение 0, то прогар в печи П-011А, если значение 1 – прогар в печи П-011В.

В случае возникновения данной аварийной ситуации запускается «аварийный» таймер, увеличивающий значения температуры в топках той печи, в которой произошел прогар (в зависимости от значений переменной «progar»). Код «аварийного» таймера представлен на рис. 2.



Рис. 3. Рабочие окна регулятора расхода

Для устранения аварийной ситуации и ее последствий необходимо провести ряд мероприятий: прекратить подачу шихты, алкилата, природного газа на горелки печей, подать в топочное пространство печей водяной пар через электроздвижки. Для того, чтобы прекратить подачу продукта, топлива необходимо открыть рабочее окно соответствующих регуляторов и обнулить значение расхода в задании, после чего значение расхода уменьшится до нуля и подача среды прекратится. На рис. 3 представлено рабочее окно подобного регулятора (до и после прекращения подачи шихты).

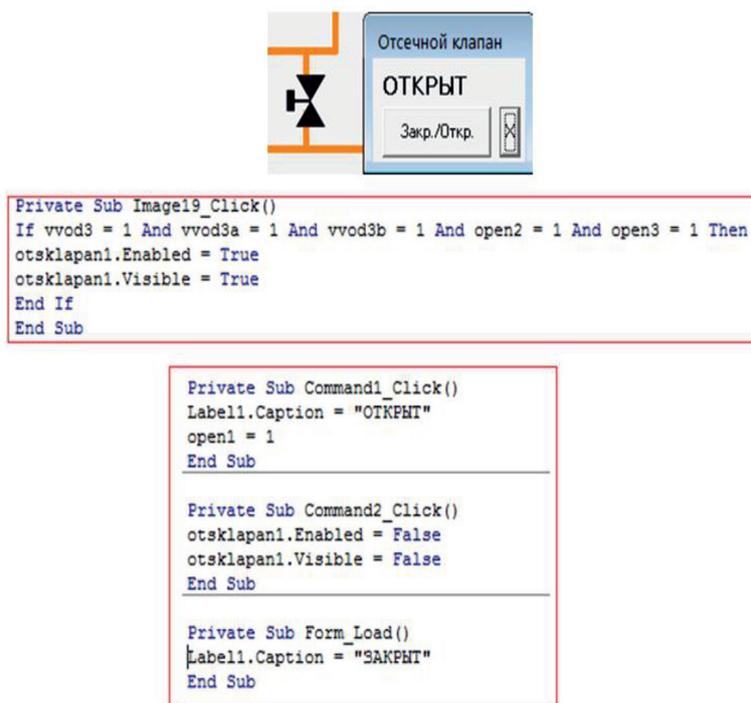


Рис. 4. Рабочее окно отсечного клапана и код его реализации в программе

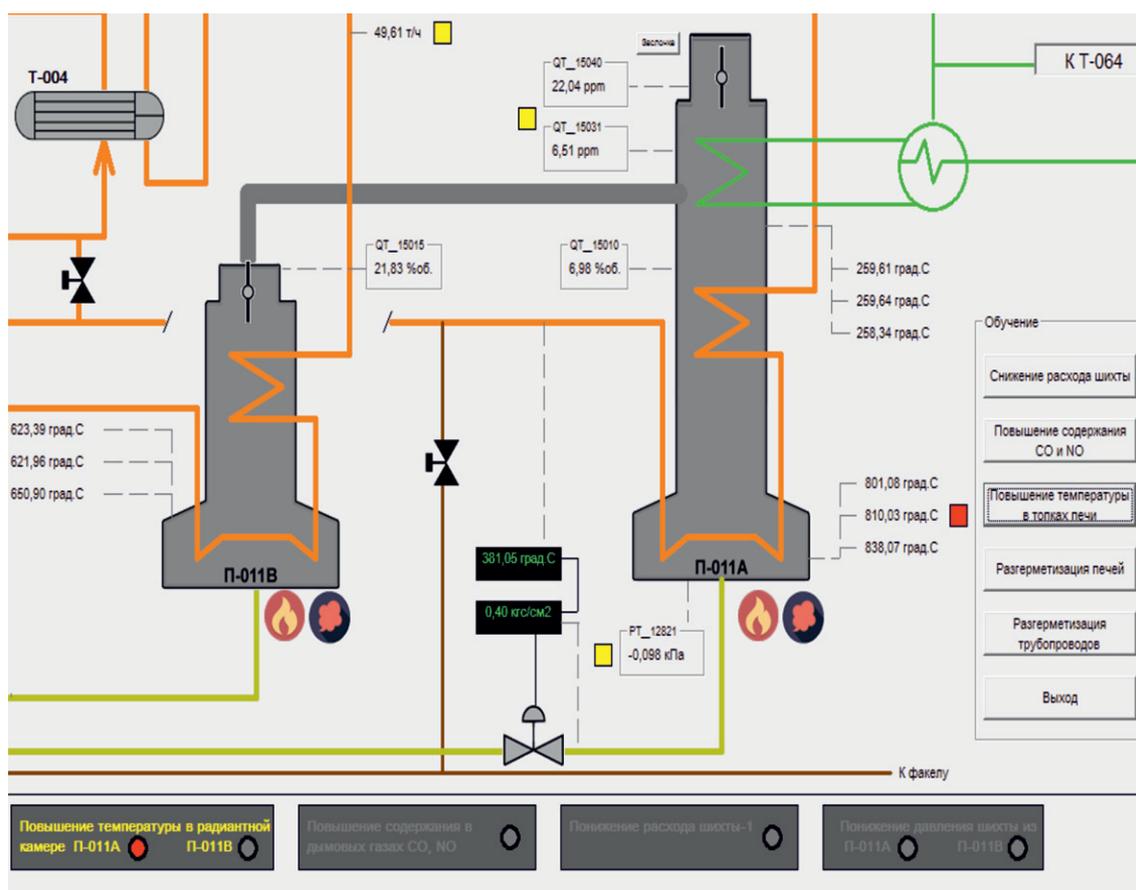


Рис. 5. Аварийная ситуация повышения температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика в трубчатой печи

Затем необходимо выполнить те же самые действия в отношении других регуляторов расхода и отсечных клапанов. Отсежные клапаны становятся активными для оператора после того, как будет прекращена подача шихты и топливного газа. После этого отсекаются трубопроводы, несущие холодную и горячую шихту в реактор, затем открываются клапаны на трубопроводы с алкилатом, горячей и холодной шихтой, уводящие остатки продукта в блоке печей на факел. Вид отсежных клапанов и их код представлен на рис. 4.

На рис. 4 представлен код запуска рабочего окна отсежного клапана, через который в случае аварии алкилат уходит на факел. В коде используется условие, проверяющее, перекрыта ли подача шихты и топлива, закрыты ли отсежные клапаны на горячую и холодную шихту. Если условие выполняется, то открывается рабочее окно отсежного клапана, в котором становится доступной кнопка, нажатие на которую открывает данную арматуру, присваивая переменной «open1» значение, равное 1. Подобные пе-

ременные («open1», «open2», «open3» и т.д.) затем используются в условиях в коде других отсежных клапанов, которые становятся доступными для оператора только после открытия (закрытия) предыдущих.

После перекрытия подачи опасных сред в печи необходимо нажать на соответствующий значок электродвигжки и подать пар в топочное пространство, после чего при условии правильного порядка действий появится сообщение об успешном устранении неполадок.

После написания кода программы проводится тестирование и отладка, в результате чего найденные ошибки в коде исправляются. Также на данном этапе проверяются всевозможные сценарии взаимодействия пользователя с виртуальным тренажером, чтобы исключить ситуации, когда программа не может найти решения из-за некорректного использования [9, 10].

Пример аварийной ситуации повышения температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика в трубчатой печи изображен на рис. 5.

Выводы

Данный тренажер позволяет обучать сотрудников предприятий нефтегазовой отрасли правильному и безопасному обслуживанию трубчатых нагревательных печей. Имеется множество сценариев, приводящих к тем или иным нештатным событиям, применимых для производственных ситуаций: запуск печи, остановка печи, поддержание рабочего режима печи, обнаружение и устранение неисправности в работе печи. Тренажеры помогают обучать операторов правильно действовать в условиях повышенной стрессовой обстановки и опасности. Внедрение данного виртуального тренажера на предприятиях нефтегазовой отрасли позволит снизить риск нештатных ситуаций.

Список литературы

1. Кошелев Н.А. Разработка имитатора-тренажера для мониторинга технологических процессов и электрооборудования предприятий нефтегазовой отрасли / Н.А. Кошелев, Е.Г. Юхин, А.М. Хафизов // *Материалы докладов XI Международной молодежной научной конференции «Тинчуиринские чтения»* / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 27–28.
2. Миронова И.С. Использование интегральных критериев в задачах обеспечения промышленной безопасности [Электронный ресурс] / И.С. Миронова, И.И. Мирсаитов, А.М. Хафизов // *Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых № заказа 7880/отв. ред. О.А. Краев*. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2012.
3. Хафизов А.М. Разработка автоматизированной системы мониторинга технологических процессов и электрооборудования предприятий нефтегазовой отрасли / А.М. Хафизов, М.Г. Баширов, С.С. Фомичев, Р.Р. Аслаев // *Материалы докладов X Международной молодежной научной конференции «Тинчуиринские чтения»* – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – С. 24–25.
4. Хафизов А.М. Разработка имитатора работы трубчатой печи для повышения безопасности технологического процесса и экономии энергоресурсов / А.М. Хафизов, Е.Г. Юхин, Р.Р. Аслаев // *Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: IV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистров, аспирантов (Тольятти, 12–14 апреля 2016 года): сборник трудов / отв. за вып. В.В. Вахнина*. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – С. 343–346.
5. Хафизов А.М. Разработка системы «улучшенное управление» для оценки технического состояния электрооборудования с применением виртуальных анализаторов для предприятий нефтегазовой отрасли / А.М. Хафизов, Т.Н. Кильсинбаев, Т.И. Хакимов // *Материалы докладов X Международной молодежной научной конференции «Тинчуиринские чтения»* – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – С. 11–12.
6. Юртаев Д.В. Использование имитатора-тренажера для нештатных ситуаций на установках с трубчатыми печами / Д.В. Юртаев, А.М. Хафизов // *Научный альманах*. – 2015. – №7 (9). – С. 850–854.
7. Юртаев Д.В. Перспективы применения имитаторов-тренажеров для нештатных ситуаций на установках с трубчатыми печами / Д.В. Юртаев, А.М. Хафизов // *Наука. Технология. Производство-2015: тезисы докладов Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / редкол.: Евдокимова Н.Г. и др.* – Уфа: изд-во УГНТУ, 2015. – С. 67–69.
8. Юхин Е.Г. Разработка приложения для диагностики электрооборудования трубчатой печи предприятий нефтегазовой отрасли / Е.Г. Юхин, Н.А. Кошелев, А.М. Хафизов // *Материалы докладов XI Международной молодежной научной конференции «Тинчуиринские чтения»* / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 49–50.
9. Юхин Е.Г. Разработка промышленного тренажера по аварийным ситуациям трубчатой печи / Е.Г. Юхин, А.М. Хафизов // *Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2016: материалы Международной научно-методической конференции, посвященной 60-летию филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др.* – Уфа: изд-во УГНТУ, 2016. – С. 140–142.
10. Юхин Е.Г. Разработка тренажера-имитатора аварийных ситуаций трубчатой печи / Е.Г. Юхин, А.М. Хафизов // *Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа. Сборник трудов IV Всероссийской заочной научно-практической интернет-конференции / редкол.: А.П. Веревкин и др.* – Уфа: изд-во УГНТУ, 2016. – С. 166–168.