УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА-ИМИТАТОРА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ – СНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРОДУКТА В ЗМЕЕВИКЕ, НАЛИЧИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ

Хафизов А.М., Хуснутдинова И.Г., Фомичев С.С., Гайсаров А.Р., Давыдова К.Н., Гилязетдинова А.М.

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

Для повышения безопасности нефтяных и газовых производств за счет повышения профессионализма сотрудников предлагается создание виртуального тренажера-имитатора аварийной ситуации снижения давления продукта в змеевике, наличия углеводородов в воздушном пространстве около трубчатых нагревательных печей. В среде объектно ориентированного программирования Visual Basic смоделированы нештатные ситуации, возникающие при прогаре трубчатого змеевика из-за снижения давления основного продукта, при утечке углеводородов и попадании их в рабочую зону трубчатых нагревательных печей. Данные аварийные ситуации впоследствии могут привести к пожару, человеческим жертвам, а неработоспособность трубчатой нагревательной печи даже в течение суток может привести к материальному ущербу, оцениваемому десятками миллионов рублей. Для обучения сотрудников на производстве очень эффективно использовать интерактивные современные технологии, например виртуальные симуляторы, имитирующие работу реальной трубчатой нагревательной печи. Внедрение данного тренажера на предприятиях позволит сократить количество нештатных ситуаций, происходящих по вине операторов.

Ключевые слова: трубчатая нагревательная печь, виртуальный тренажер, снижение давления, трубчатый змеевик, взрыв

THE DEVELOPMENT OF THE VIRTUAL SIMULATOR-IMITATOR OF AN EMERGENCY – REDUCING THE PRESSURE OF THE PRODUCT IN THE COIL, THE PRESENCE OF HYDROCARBONS IN THE AIR OF WORKING ZONE TUBE FURNACES

Khafizov A.M., Khusnutdinova I.G., Fomichev S.S., Gaysarov A.R., Davydova K.N., Gilyazetdinova A.M.

Branch of Ufa State Petroleum Technological University, Salavat, e-mail: alik_hafizov@mail.ru

To enhance the security of oil and gas enterprises through the increase of professionalism of employees, we propose the creation of a virtual simulator-simulator emergency reduction in pressure in tubular coil, the presence of hydrocarbons in the air space near tubular heating furnaces. In the environment of object-oriented programming Visual Basic was simulated emergency situations that occur when the tubular coil burnout due to pressure reduction of the main product, leakage of hydrocarbons and enters them into the working zone of the tubular furnaces. This emergency can cause a fire, human casualties, and failure of the tubular heating furnace, inefficiency even during the day can lead to material damage, estimated tens millions roubles. Staff training on the production of very effective use of interactive modern technology, such as virtual simulators, simulating the work of real tubular heating furnace. The introduction of the simulator at the enterprises will allow to reduce the number of emergencies caused by operators.

Keywords: tubular heating furnace, virtual simulator, pressure drop, the tubular coil, detonation

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 гг. 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 обучения персонала на предприятиях наиболее эффективно использовать интерактивные современные технологии преподавания, к примеру, виртуальные тренажеры [5], более того, применение данных тренажеров обязательно для большинства промышленных предприятий нефтегазовой отрасли [1].

Цель данной работы – моделирование аварийной ситуации снижения давления продукта в змеевике, появления углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей для повышения навыков и отработки действий персонала в нештатных и аварийных ситуациях. Для этого предлагаются решения следующих задач:

– разработка графических элементов тренажера, визуальных подсказок;

– наглядное представление снижения давления в змеевике печи в виртуальной среде, реализации динамического изображения паров углеводородов в воздушном пространстве около трубчатых нагревательных печей;

– выявление причин возникновения нештатной ситуации – снижение давления продукта в змеевике, появления углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей;

– описание методов и способов устранения неполадок, аварийных ситуаций [6].

При разработке виртуального симулятора трубчатой печи 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 обеспечения достоверности при обучении сотрудников. Интерфейс представляет собой графический экран с набором стандартных элементов, они и являются основными динамическими объектами мнемосхемы обучающего тренажера (клапаны, печи, трубопроводы, показания с виртуальных датчиков) [4]. Также был произведен сбор необходимых данных для реализации виртуальной модели трубчатой нагревательной печи: техническая документация установки, характеристики объекта и оборудования, нормы технологического процесса.

Данная нештатная ситуация похожа на ситуацию с повышением температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика, однако сигнализации срабатывают по-другому. Одновременное снижение давления шихты-1 на входе в печи позиций П-011А, В и срабатывание сигнализаторов наличия углеводородов в воздухе рабочей зоны печей может быть вызвано разгерметизацией печей и прогаром змеевиков. В коде данного сценария участвует переменная «progar», определяющая, в какой именно печи произошла неисправность. Также при инициации данной аварийной ситуации вводится переменная «razg», использующаяся другими рабочими окнами программы для инициализации

```
Private Sub Command1_Click()
psh2 = 21.3 + Rnd(1) * 0.01
psh1 = 20.3 + Rnd(1) * 0.01
razg = 1
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 запуска аварийной ситуации

типа предложенной аварии и выполнения в таком случае своих определенных функций. На рис. 1 изображен код запуска аварийной ситуации «Разгерметизация печи», ведущей к снижению давления продукта в змеевике, наличию углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей.

```
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
psh2 = (psh2 - 0.05) + Rnd() * 0.01
End If
If ttc15 > 835 Then
tta15 = 801 + Rnd() * 0.1
ttb15 = 805 + Rnd() * 0.1
ttc15 = 835 + Rnd() * 0.1
avsit3.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
psh1 = (psh1 - 0.05) + Rnd() * 0.01
End If
If ttc05 > 835 Then
tta05 = 801 + Rnd() * 0.1
ttb05 = 810 + Rnd() * 0.1
ttc05 = 838 + Rnd() * 0.1
avsit3.Enabled = False
End If

'разгерметизация
If progarB = 1 And razg = 1 Then
tta15 = (tta15 + 3) + Rnd() * 0.1
ttb15 = (ttb15 + 3) + Rnd() * 0.1
ttc15 = (ttc15 + 3) + Rnd() * 0.1
psh2 = (psh2 - 0.3) + Rnd() * 0.01
End If


If progarA = 1 And razg = 1 Then
tta05 = (tta05 + 3) + Rnd() * 0.1
ttb05 = (ttb05 + 3) + Rnd() * 0.1
ttc05 = (ttc05 + 3) + Rnd() * 0.1
psh1 = (psh1 - 0.2) + Rnd() * 0.01
End If
```

Рис. 2. Код аварийной ситуации

Данный код при запуске присваивает определенным переменным стандартные значения температуры в топках печи («ttc15»,« ttc05» и т.д.), давления шихты на выходе из печей («psh1», «psh2» и т.д.), а также запускает таймер текущей аварийной ситуации, внутренний код которой постепенно изменяет значения некоторых технологических параметров до критических значений, в частности, к этим параметрам относится температура в топке печи, давление нагретой шихты [8]. На рис. 2 представлен код аварийного таймера. Данный таймер практически идентичен таймеру аварийной ситуации повышения температуры в топочном пространстве при прогаре змеевика, однако есть и дополнения.

Отличие кода состоит в том, что в него добавлено условие «razg=1», означающее, что запущена аварийная ситуация по разгерметизации печей. В случае соблюдения данного условия выполняется команда по увеличению значений температуры в топочном пространстве неисправной печи и уменьшению давления шихты из трубчатых печей [9, 10].

Также на панели сигнализаций при текущей аварии срабатывает 3 индикатора: о наличии углеводородов в воздухе, о повышении температуры перевала печи и о понижении давления шихты из печей. Данное срабатывание основано на использовании условий достижения критических значений. Выполнение данных условий с помощью таймеров проверяется каждые 100–200 мс. Код индикации на панели сигнализаций и сами индикаторы изображены на рис. 3.

Суть индикаций заключается в том, что при выполнении определенных условий достижения критических значений изменяется цвет текста и самого индикатора с серого на желтый и красный соответственно. То же самое происходит и в обратном порядке, когда причины аварии устранены и все технологические параметры соответствуют нормам.

Ликвидация аварии происходит путем отключения и изоляции блока печей. Необходимо перекрыть подачу шихты, алкилата, топливного газа, активировать отсечные клапаны, подать пар в топочное пространство той печи, в которой произошла утечка продукта. Рабочее окно подачи пара представлено на рис. 4.

Выводы

Разработанный тренажер способствует обучению работников предприятий нефтегазовой отрасли регламентированному

и безопасному обслуживанию трубчатых нагревательных печей. Реализовано несколько сценариев, приводящих к различным нештатным событиям, применимых для производственных ситуаций: запуск печи, остановка печи, поддержание рабочего режима трубчатой печи, обнаружение и устранение неисправностей в работе трубчатой печи согласно регламентированному порядку действий в аналогичных ситуациях.

Внедрение тренажера аварийных ситуаций на установках с трубчатыми нагревательными печами позволит проводить аттестационную проверку у сотрудников на предмет их знаний и навыков,

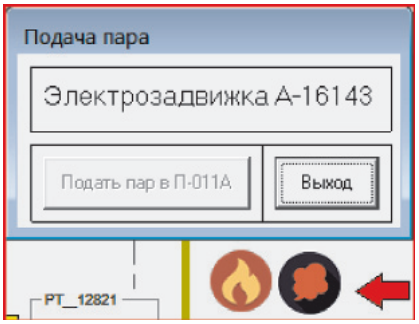
```
If ttc05 > 830 Then
Shape6.BackColor = vbRed
Shape12.BackColor = vbRed
Label32.ForeColor = vbYellow
End If
If ttc05 < 830 Then
Shape6.BackColor = vbYellow
End If
If ttc05 < 830 And ttc15 < 830 Then
Shape14.BackColor = &H808080
Label32.ForeColor = &H808080
Shape12.BackColor = &H808080
End If
If psh2 < 15 Then
Shape9.BackColor = vbRed
Shape19.BackColor = vbRed
Label35.ForeColor = vbYellow

End If
If psh2 > 15 And psh1 > 15 Then
Shape9.BackColor = vbYellow
Shape19.BackColor = &H808080
Shape20.BackColor = &H808080
Label35.ForeColor = &H808080

End If
If psh1 < 15 Then
Shape8.BackColor = vbRed
Shape20.BackColor = vbRed
Label35.ForeColor = vbYellow

End If
If psh1 > 15 Then
Shape8.BackColor = vbYellow
End If
```

Рис. 3. Код индикаций и индикаторы сигнализаций




```
Private Sub Command1_Click()
Form1.avsit3v.Enabled = True
Form1.avsit3v.Interval = 500
parA_get = 1
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
If fvavsit3 = 0 And pv13 = 0 And pv23 = 0 And progarA = 1 Then
Command1.Enabled = True
Else
Command1.Enabled = False
End If
End Sub
```

Рис. 4. Рабочее окно подачи пара и код рабочего окна

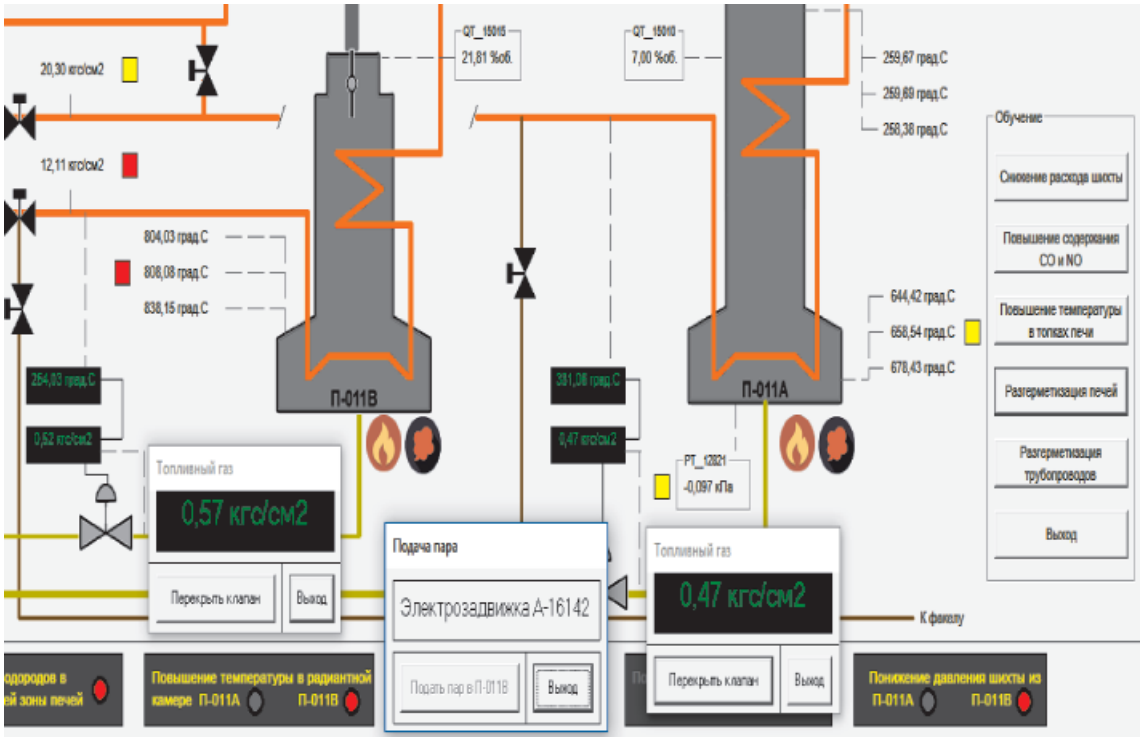


Рис. 5. Аварийная ситуация снижения давления продукта в змеевике, наличия углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей

полученных в ходе выполнения обучающих программ. Симулятор во время проведения контроля имеет следующие особенности:

– отсутствие каких-либо подсказок на графическом интерфейсе;

– аварийная ситуация случайным образом генерируется при каждом запуске симулятора;

– у обучающегося нет права на ошибку.

Список литературы

1. Кошелев Н.А. Разработка иммитатора-тренажера для мониторинга технологических процессов и электрооборудования предприятий нефтегазовой отрасли / Н.А. Кошелев, Е.Г. Юхин, А.М. Хафизов // Тинчуринские чтения: материалы докладов XI Международной молодежной научной конференции / 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 // Тинчуринские чтения: материалы докладов X Международной молодежной научной конференции. – 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: 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 «Тинчуринские 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.: Н.Г. Евдокимова 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 // Тинчуринские чтения: материалы докладов XI Международной молодежной научной конференции / 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.