

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА – ИМИТАТОРА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ – ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА И УГЛЕРОДА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ В ТРУБЧАТОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

**Хафизов А.М., Чурагулов Д.Г., Малышева О.С., Гилязетдинова А.М.,
Давыдова К.Н., Ладик Е.Ю.**

*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 содержания оксидов азота и углерода в дымовых газах в трубчатой нагревательной печи. В среде объектно-ориентированного программирования Visual Basic смоделирована нештатная ситуация, возникающая при недостаточной подаче воздуха на горелки или же при превышении давления в камерах печи. В разделе подсказок представлена теоретическая информация о процессе горения топливного газа согласно регламенту. Симулятор позволяет приобрести навыки работы на технологических установках с трубчатой нагревательной печью, имитируя работу реальной печи, помогает обучать операторов правильно действовать в условиях повышенной нервозности и опасности. Внедрение данного виртуального тренажера на предприятиях нефтегазовой отрасли позволит существенно снизить риск аварий, уменьшит количество ошибок у операторов.

Ключевые слова: трубчатая нагревательная печь, виртуальный тренажер, аварийное состояние, погасание горелок, дымовые газы

THE DEVELOPMENT OF THE VIRTUAL SIMULATOR – IMITATOR OF AN EMERGENCY – THE INCREASE IN THE CONTENT OF OXIDES OF NITROGEN AND CARBON IN THE FLUE GAS IN A TUBULAR HEATING FURNACE

**Khafizov A.M., Churagulov D.G., Malysheva O.S., Gilyazetdinova A.M.,
Davydova K.N., Ladik E.Yu.**

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

To enhance the security of oil and gas industry by enhancing the professionalism of the operators, we propose the creation of a virtual simulator-imitator emergency increase in the content of oxides of nitrogen and carbon in the flue gas in a tubular heating furnace. In the environment of object-oriented programming Visual Basic simulated emergency situation arising in case of insufficient supply of air to the burners or by increasing the pressure inside the furnace. In the section of the tips presented theoretical information on the process of combustion of the fuel gas in accordance with the regulations. The simulator allows to acquire skills of working on process plants with tubular heating furnace, simulating the operation of the real furnace, helps to train operators to correctly operate in conditions of nervousness and danger. The introduction of this virtual simulator for the oil and gas industry will significantly reduce the risk of accidents, reduce the number of errors for operators.

Keywords: tubular heating furnace, virtual simulator, emergency condition, the extinction of the burners, flue gases

Анализ аварийных ситуаций на производственных объектах нефтегазовой отрасли показал, что трубчатая нагревательная печь является одним из опасных объектов [7]. 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 [6].

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 [3–5].

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

Цель данной работы – моделирование аварийной ситуации повышения содержания оксидов азота и углерода в дымовых газах 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;

– наглядное представление газоанализаторов оксидов углерода и азота в виртуальной среде;

– выявление причин возникновения нештатной ситуации – повышения содержания оксидов азота и углерода в дымовых газах;

– описание методов и способов устранения неполадок, аварийных ситуаций.

Для реализации виртуального тренажера за основу был взят реальный производственный объект – печь подогрева бензольной шихты производства этилбензола, стирола.

```
Private Sub Command5_Click()
    avsit2.Interval = 1000
    avsit2.Enabled = True
    avsit2v.Enabled = False
    qt040av = 22
    qt031av = 6
    vost2 = 0
    value_shiber = 50
    p2 = Int(Rnd * 2)
    If p2 = 0 Then
        prichina2 = shiber
        pgorelki = 100
    End If
    If p2 = 1 Then
        pgorelki = Fix(Rnd * 2)
        prichina2 = gorelki
    End If
    If p2 = 0 Then
        value_shiber = Int(Rnd * 25 + 1)
    End If
    g1 = Fix(Rnd * 2)
    g2 = Fix(Rnd * 2)
    g3 = Fix(Rnd * 2)
    If g1 = 1 And g2 = 1 And g3 = 1 Then
        g1 = 0 Or g2 = 0 Or g3 = 0
    End If
    If g1 = 0 And g2 = 0 And g3 = 0 Then
        g1 = 1 Or g2 = 1 Or g3 = 1
    End If
    Unload Gorelki011B
    Unload Gorelki011A
End Sub
```

Рис. 1. Код аварийной ситуации

Аварийная ситуация согласно технологическому регламенту возникает по двум основным причинам: недостаточная подача воздуха на горелки печи и превышение давления в камерах печи. Так как на мнемосхеме разработанного тренажера присутствуют две печи подогрева, то причина недостаточной подачи воздуха на горелки подразделяется на два фактора: неисправность горелок печи П-011А или П-011В. Что касается превышения давления в камерах печи, то ответственность за эту неисправность лежит на неотрегулированном положении шибера дымовых газов [2]. Выбор той или иной причины

возникновения аварийной ситуации основан на использовании функции Random. Листинг кода запуска аварийной ситуации «Повышение содержания оксида углерода или оксидов азота в дымовых газах печей» представлен на рис. 1.

При активации данной аварии запускается «аварийный» таймер, изменяющий показатели содержания оксида углерода или оксидов азота в дымовых газах до критических отметок. Также случайным образом генерируется значение переменной «p2» (0 или 1). Если данной переменной присваивается нулевое значение, то причиной возникшей аварийной ситуации является неотрегулированная дымовая заслонка, причем сразу же генерируется значение степени открытия заслонки в диапазоне от 1 до 25 % и записывается в переменную «value_shiber». Если переменная «p2» принимает единичное значение, причиной аварии является недостаточная подача воздуха на горелки печей. Для того чтобы определить, горелки какой именно печи испытывают нехватку воздуха, используется функция возвращения случайной величины в Visual Basic. Для этого после выполнения условия «p2 = 1» переменной «pgorelki», отвечающей за определение неисправности горелок конкретной печи, присваивается одно из двух значений: 0 или 1. Нулевое значение соответствует неисправности горелок печи П-011А, единичное значение – неисправности горелок печи П-011В.

После генерации программой конкретной причины неисправности значения соответствующих переменных «передаются» на рабочие окна устройств, являющихся потенциальными «виновниками» аварийной ситуации – горелки печи П-011А, горелки печи П-011В, шибера дымовых газов. Внешний вид рабочего окна горелок печи П-011В представлен на рис. 2.

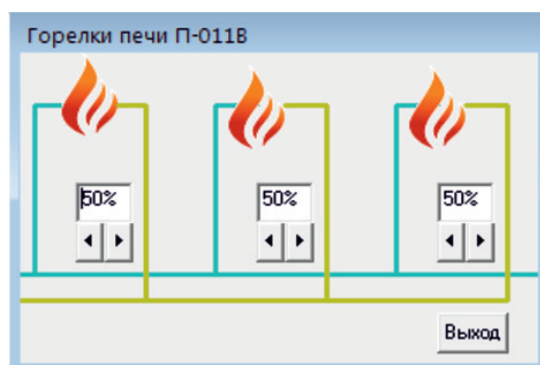


Рис. 2. Интерфейс рабочего окна горелок печи П-011В

```
Private Sub Form_Load()  
Timer1.Enabled = True  
Timer1.Interval = 100  
Timer2.Enabled = True  
Timer2.Interval = 100  
Timer3.Enabled = True  
Timer3.Interval = 100  
If p2 = 1 And pgorelki = 1 Then  
HScroll1.Value = 5 + 45 * g1  
HScroll2.Value = 5 + 45 * g2  
HScroll3.Value = 5 + 45 * g3  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Timer()  
  
Text1.Text = CStr(Format(HScroll1.Value)) + "%"  
Text2.Text = CStr(Format(HScroll2.Value)) + "%"  
Text3.Text = CStr(Format(HScroll3.Value)) + "%"  
  
End Sub
```

```
Private Sub Timer3_Timer()  
If p2 = 100 And pgorelki = 100 And (HScroll1.Value < 15 Or HScroll2.Value < 15 Or HScroll3.Value < 15) Then  
kk = 1  
Form1.avsit2.Enabled = True  
Form1.avsit2.Interval = 1000  
End If  
If HScroll1.Value > 15 And HScroll2.Value > 15 And HScroll3.Value > 15 And (pgorelki = 1 Or kk = 1) Then  
Form1.avsit2.Enabled = False  
Form1.avsit2v.Enabled = True  
Form1.avsit2v.Interval = 1000  
kk = 0  
End If  
End Sub
```

Рис. 3. Код рабочего окна горелок печи П-011В

Данный интерфейс представлен графической интерпретацией трех горелок печи П-011В и стрелками, изменяющими степень подачи воздуха на каждую горелку (по умолчанию в нормальном режиме это 50%). В случае, когда данные горелки являются причиной аварийной ситуации, степень подачи воздуха на некоторые горелки снижается до 5%. С каждым запуском аварийной ситуации это будут разные горелки. Такая случайность достигается с помощью присваивания случайных значений (0 или 1) трем глобальным переменным «g1», «g2», «g3» при нажатии на кнопку запуска аварии (рис. 1). Затем данные переменные при соблюдении необходимых условий используются в коде рабочего окна горелок в выражениях типа «5 + 45*g1». Если «g1 = 0», тогда значение степени подачи воздуха на первую горелку будет равно 5%. Эти процедуры реализованы для того, чтобы каждый раз при запуске аварийной ситуации, когда причиной является недостаточная подача воздуха, неисправные горелки были

разными. После восстановления оператором нормального процента подачи воздуха на горелки «аварийный» таймер отключается, и включается «восстановительный» таймер, приводящий значение содержания оксидов азота и углерода в дымовых газах к нормальным значениям. Код рабочего окна горелок печи П-011В представлен на рис. 3.

Если причиной аварии является дымовая заслонка печи П-011В, то в рабочем окне степень открытия заслонки будет в диапазоне от 1 до 25% (по умолчанию 50%). Следовательно, давление в камерах трубчатой печи будет повышаться. Также необходимо отметить, что возникновение аварийной ситуации возможно и без нажатия на соответствующую кнопку выбора аварийной ситуации из перечня. Оператору достаточно изменить какой-либо параметр (степень подачи воздуха на горелки, положение шиберы дымовых газов) до критического значения. После установления степени открытия дымовой заслонки в нормальном диапазоне,

«аварийный» таймер отключается и включается «восстановительный» таймер, приводящий значения содержания оксидов азота и углерода в дымовых газах, давления в камерах печи к регламентированным величинам. Код рабочего окна дымовой заслонки представлен на рис. 4 [8].

Аналогичным образом работает рабочее окно горелок печи П-011В. Единственное отличие в количестве горелок, у данной печи их 8.

Тренажер позволяет улучшить мастерство оператора, имитируя работу реальной трубчатой нагревательной печи. Оператор, пользующийся тренажером, должен научиться правильно действовать в условиях повышенной нервозности и опасности. Цель такого алгоритма заключается в том, чтобы развить бдительность у оператора, его рациональную оценку ситуации, правильные и своевременные мероприятия по устранению ошибки [9].

```
Private Sub Command1_Click()  
value_shiber = Val(Text1.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Form_Load()  
Timer1.Enabled = True  
Timer1.Interval = 100  
Timer2.Enabled = True  
Timer2.Interval = 100  
End Sub  
  
Private Sub Timer2_Timer()  
Label3.Caption = value_shiber  
If value_shiber < 25 Then  
Form1.avsit2.Enabled = True  
Form1.avsit2.Interval = 1000  
kk = 1  
End If  
If value_shiber > 25 And (p2 = 0 Or kk = 1) Then  
Form1.avsit2.Enabled = False  
Form1.avsit2v.Enabled = True  
Form1.avsit2v.Interval = 1000  
kk = 0  
End If  
End Sub
```

Рис. 4. Код рабочего окна дымовой заслонки

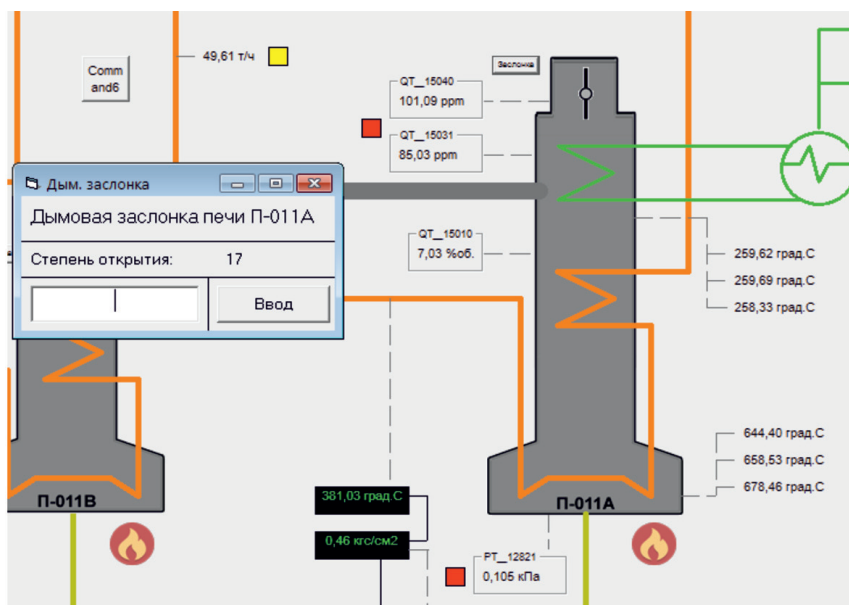


Рис. 5. Аварийная ситуация с неотрегулированной дымовой заслонкой

Пример аварийной ситуации с неотрегулированной дымовой заслонкой изображен на рис. 5.

Выводы

Тренажер аварийных ситуаций – это аттестационная проверка у сотрудника всех его знаний и навыков, полученных в ходе выполнения обучающих программ. Симулятор, в отличие от обучающих программ, имеет следующие особенности:

- отсутствие каких-либо подсказок на графическом интерфейсе;

- аварийная ситуация случайным образом генерируется при каждом запуске симулятора;

- нет права на ошибку.

Тренажер позволяет проверить и отточить мастерство оператора, имитируя работу реальной трубчатой нагревательной печи. Сотрудник, который пользуется тренажером, должен сам обнаружить и устранить причину неполадки. Каждый раз неисправности генерируются случайным образом и могут появиться спустя некоторое время после запуска симулятора. В случае ошибки со стороны оператора симулятор прерывается и выводится информация о текущей сессии. В ней указывается допущенная оператором ошибка, неисправность в запущенной сессии, комментарии по её устранению [8].

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 «Тинчуринские чтения» / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллагянова. В 3 т.; Т. 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 27–28.
2. 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 «Тинчуринские чтения». – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – С. 24–25.
3. Хафизов А.М. Разработка программного обеспечения для прогнозирования остаточного ресурса машинных агрегатов / А.М. Хафизов, М.Г. Баширов, Д.Г. Чурагулов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2014: материалы Международной научно-методической конференции / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – С. 258–260.
4. 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.
5. Хафизов А.М. Разработка системы «улучшенного управления» техническим состоянием оборудования и промышленной безопасностью предприятий нефтехимии и нефтепереработки / А.М. Хафизов, М.Г. Баширов // Наука. Технология. Производство-2014: тезисы докладов Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / редкол.: Евдокимова Н.Г. и др. – Уфа: изд-во УГНТУ, 2014. – С. 55–57.
6. Хафизов А.М. Разработка системы «усовершенствованное управление» для оценки ресурса трубчатой печи и повышения эффективности противоаварийной автоматической защиты [Текст] / А.М. Хафизов, М.Г. Баширов, Д.Г. Чурагулов, Р.Р. Аслаев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–3. – С. 536–539.
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 виртуального тренажера-имитатора работы трубчатой печи для повышения профессиональных навыков сотрудников предприятий нефтегазовой отрасли [Текст] / Е.Г. Юхин, Н.А. Кошелев, А.М. Хафизов, О.С. Малышева // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-5. – С. 970–974.
9. 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.