

УДК 681.5

## РЕАЛИЗАЦИЯ ОБУЧАЮЩЕГО И ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО РЕЖИМОВ В ВИРТУАЛЬНОМ ТРЕНАЖЕРЕ НА ПРИМЕРЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ – РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТРУБЧАТОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Хафизов А.М., Малышева О.С., Юхин Е.Г., Кошелев Н.А.,  
Гилязетдинов И.Д., Жильников Д.В., Ладик Е.Ю.

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

Для повышения безопасности нефтегазовой отрасли за счет повышения профессионализма персонала, предлагается создание виртуального тренажера – имитатора аварийной ситуации снижения давления, расхода продукта в трубопроводе, утечки углеводородов в воздушное пространство трубчатых нагревательных печей. В среде объектно-ориентированного программирования Visual Basic реализованы обучающий и экзаменационный режимы. В обучающем режиме у оператора есть возможность выбрать аварийную ситуацию из перечня и запомнить алгоритм действий при возникновении этой нештатной ситуации. В экзаменационном режиме аварийная ситуация генерируется случайным образом, оператор уже должен обладать знаниями и навыками для устранения ее последствий, также в этом режиме нельзя допускать ни одной ошибки для успешного прохождения экзамена. Это связано с тем, что аварийные ситуации впоследствии могут привести к пожару, взрыву, человеческим жертвам, а неработоспособность трубчатой нагревательной печи даже в течение суток может привести к материальному ущербу, оцениваемому десятками миллионов рублей.

**Ключевые слова:** трубчатая нагревательная печь, виртуальный тренажер, снижение давления и расхода, трубопровод, разгерметизация

## IMPLEMENTATION OF THE TRAINING AND EXAMINATION MODES IN THE VIRTUAL SIMULATOR ON THE EXAMPLE EMERGENCY – DEPRESSURIZATION OF PIPELINES TUBULAR HEATING FURNACE

Khafizov A.M., Malysheva O.S., Yukhin E.G., Koshelev N.A.,  
Gilyazetdinov I.D., Zhilnikov D.V., Ladik E.Yu.

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

To enhance the security of the oil and gas industry by enhancing the professionalism of the staff, proposed the creation of a virtual simulator-simulator emergency pressure reduction, flow of product in the pipeline, leakage of hydrocarbons in the air space of the tubular heating furnaces. In the environment of object-oriented programming Visual Basic was implemented training and examination modes. In the learning mode the operator has the option to choose emergency from the list and remember the algorithm of actions in case of this emergency situation. In the examination mode of an emergency situation is randomly generated, the operator must already possess the knowledge and skills to eliminate its consequences, also in this mode it is impossible to allow any mistakes to pass the exam. This is due to the fact that an emergency could result in fire, explosion, casualties, and inefficiency of the tubular heating furnace even during the day can lead to material damage, estimated tens millions roubles. 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, the reduction of pressure and flow, pipeline, depressurization

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 воспроизвести различные режимы работы, события, не затрачивая при этом ресурсов действующего оборудования и не подвергая опасности сотрудников и печи [7].

Для повышения квалификации сотрудников предприятий эффективно использовать ин-

терактивные современные технологии обучения, в данном случае виртуальные тренажеры [5], более того, применение данных тренажеров обязательно для большинства промышленных предприятий нефтегазовой отрасли [1].

**Цель** данной работы – моделирование аварийной ситуации разгерметизации трубопроводов, ведущей к снижению давления и расхода продукта, появлению углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей. Также предлагается реализация обучающего и экзаменационного режимов в тренажере для повышения навыков и отработки действий персонала в нештатных и аварийных ситуациях. Для этого предлагаются решения следующих задач:

– разработка обучающего и экзаменационного режимов в тренажере;

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

– выявление причин возникновения нештатной ситуации – разгерметизации трубопровода, 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. 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 реализован режим проверки знаний операторов для повышения качества обучения. Произведен сбор необходимых данных для реализации виртуальной модели трубчатой нагревательной печи: техническая документация установки, характеристики объекта и оборудования, нормы технологического процесса.

Данный сценарий имитирует разгерметизацию трубопроводов шихты в районе печи и теплообменника позиции Т-004. В данном случае авария будет выражена не так явно, поэтому от оператора требуется понимание процесса, знание регламента. Единственным

индикатором, сработавшим в этой нештатной ситуации, является индикатор о наличии углеводородов в воздухе в рабочей зоне трубчатых нагревательных печей. Кроме того, при разгерметизации снизится давление и расход шихты, что естественно, однако не всегда это приводит к значительному снижению значений вышеперечисленных технологических параметров до критических пределов. Поэтому оператор должен знать примерные стандартные значения расхода и давления шихты и замечать их отклонения. Значения технологических параметров до и после рассматриваемой аварии изображены на рис. 1.

Таким образом, после активации данной аварии выполняется код, отвечающий за снижение расхода, давления шихты, интерпретируя это как разгерметизацию. Также нужно упомянуть тот факт, что утечки в трубопроводе в тренажере смоделированы так, чтобы они происходили в двух разных местах: в районе теплообменника позиции Т-004 или в районе трубчатых нагревательных печей. При этом в случае прорыва (утечки) в районе теплообменника изменится расход в трубопроводах, пропускающих продукт в трубчатые печи, а в случае прорыва (утечки) в районе трубчатых нагревательных печей расход останется без изменений. Это реализовано с помощью переменной «truba», значение которой присваивается случайным образом от 1 до 2. В случае единичного значения прорыв происходит в районе трубчатых печей, в случае значения 2 – в районе теплообменника. На рис. 2 представлен код данной аварийной ситуации [9].

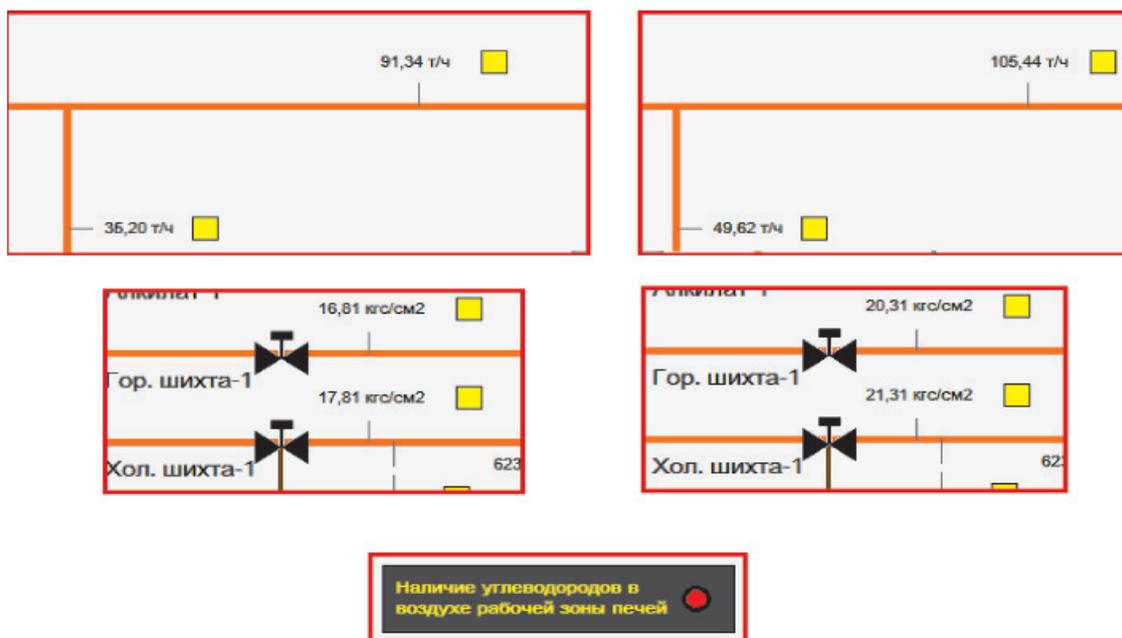


Рис. 1. Значения технологических параметров до (справа) и после (слева) аварии

```

Private Sub Command4_Click()
razgt = 1
truba = Int(Rnd * 2) + 1
fvbavsit1 = 49.6
fvaavsit1 = 105
End Sub

If razgt = 1 And truba = 1 And (psh1 > 17 And psh2 > 17) Then
psh1 = psh1 - 0.2
psh2 = psh2 - 0.2
End If
If razgt = 1 And truba = 2 And psh1 > 17 And psh2 > 17 And fvaavsit1 > 90 And fvbavsit1 > 35 Then
psh1 = psh1 - 0.5
psh2 = psh2 - 0.5
fvaavsit1 = fvaavsit1 - 2 + Rnd(1) * 0.1
fvbavsit1 = fvbavsit1 - 2.1 + Rnd(1) * 0.1
fvavsit1 = 155 + Rnd(1) * 0.5
End If

If fvavsit3 = 0 And psh1 > 0 And psh2 > 0 Then
psh1 = 0
psh2 = 0
End If
End Sub
    
```

Рис. 2. Код аварийной ситуации

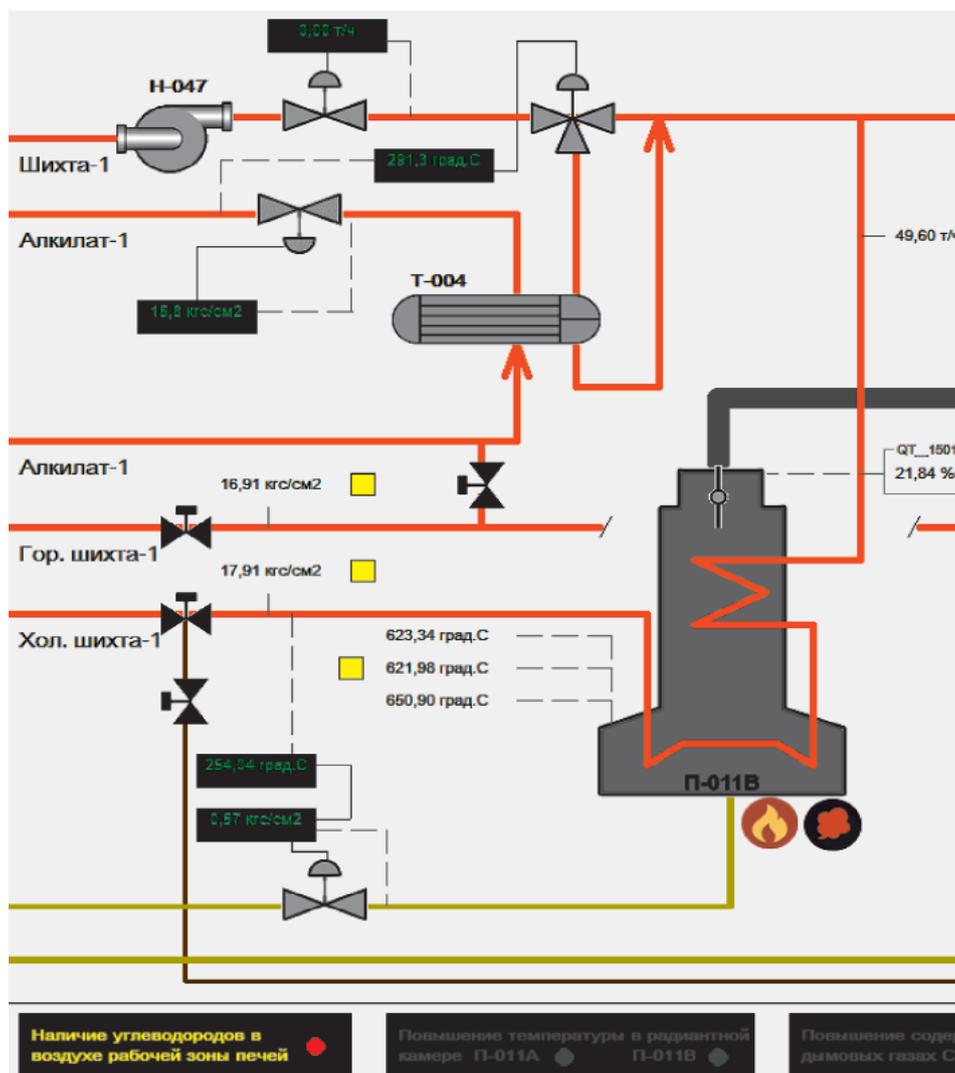


Рис. 3. Аварийная ситуация снижения давления и расхода продукта в трубопроводах, наличия углеводородов в воздухе рабочей зоны трубчатых нагревательных печей

На рис. 2 сверху изображен внутренний код кнопки, отвечающей за запуск описываемой нештатной ситуации. При нажатии переменной «gazgt» присваивается значение 1, тем самым давая понять другим функциональным блокам (снизу на рис. 2) с помощью проверки условий, что запущена именно эта авария и в этом случае необходимо выполнять заданные команды [8].

После прохождения режима обучения оператор переходит в экзаменационный режим, предварительно введя свои данные (рис. 4).

Интерфейс в данном режиме практически такой же, как и в обучающем, однако модуль аварийных ситуаций отличается, так как в этом случае авария выбирается программой случайным образом и у оператора нет никаких подсказок о том, что произойдет после нажатия кнопки «Начать» (рис. 4).

После ввода персональных данных при запуске экзаменационного режима тренажер записывает в текстовый документ «Экзамен.txt», находящийся в корневой папке программы, дату входа в режим экзамена и фамилию оператора. Затем после успешного прохождения нескольких аварийных ситуаций в документе под фамилией оператора делаются соответствующие записи. Таким образом, проверяющий может контролировать результаты прохождения экзамена. На рис. 4 представлено пример-

ное содержание текстового документа, хранящего записи о прохождении экзаменационного режима.

В экзаменационном режиме проводится проверка результатов обучения операторов на тренажере. Поэтому и было принято решение создать систему отчетности о прохождении обучения по аварийным ситуациям с функцией записи результатов в текстовый файл. Запись в файл происходит в 2 случаях: при вводе данных оператора и при успешном завершении аварийной ситуации [10]. В первом случае при выборе режима экзамена необходимо ввести свои личные данные и нажать кнопку запуска. После этого код данного блока открывает канал записи в файл и добавит необходимую информацию (ФИО, дату прохождения). Код записи в текстовый документ изображен на рис. 5.

### Выводы

Разработанный тренажер способствует обучению сотрудников предприятий нефтегазовой отрасли регламентированному и безопасному обслуживанию трубчатых нагревательных печей. Смоделировано множество сценариев, которые ведут к различным нештатным (аварийным) ситуациям, применимым для реальных производственных печей: остановка/запуск печи, поддержание технологического режима

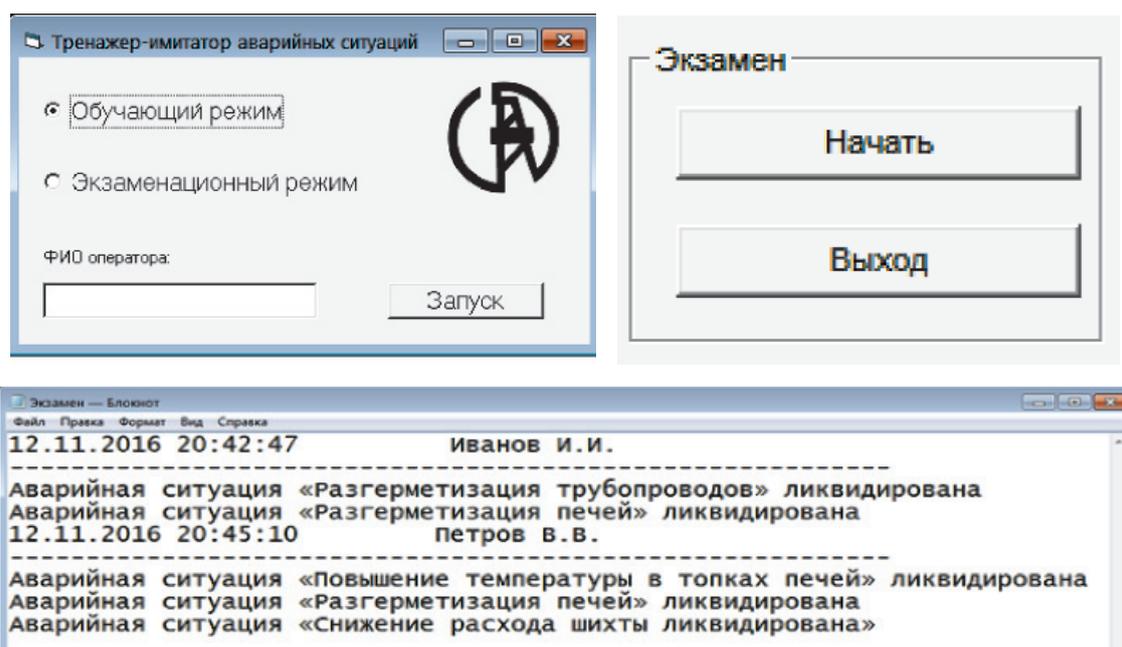


Рис. 4. Выбор режима (слева), модуль аварийных ситуаций в режиме экзамена (справа), документ о результатах экзамена (снизу)

```
Private Sub Command1_Click()
If Text1.DataChanged = True And Option2.Value = True Then
Shell App.Path & "\test.exe"
F = FreeFile
Open App.Path & "\Экзамен.txt" For Append As #F
Print #F, CStr(DateTime.Now), Text1.Text
Print #F, "-----"
Close #F
End If
If Option1.Value = True Then
Shell App.Path & "\avsit.exe"
End If
End Sub
```

```
F = FreeFile
'открываем файл для добавления
Open App.Path & "\Экзамен.txt" For Append As #F
If sit = 1 Then
Print #F, "Аварийная ситуация «Снижение расхода шихты ликвидирована»"
Close #F
End If
If sit = 2 Then
Print #F, "Аварийная ситуация «Повышение содержания CO и NO в дымовых газах» ликвидирована"
Close #F
End If
If sit = 3 Then
Print #F, "Аварийная ситуация «Повышение температуры в топках печей» ликвидирована"
Close #F
End If
If sit = 4 Then
Print #F, "Аварийная ситуация «Разгерметизация печей» ликвидирована"
Close #F
End If
If sit = 5 Then
Print #F, "Аварийная ситуация «Разгерметизация трубопроводов» ликвидирована"
Close #F
End If
Shell App.Path & "\test.exe"
End Sub
```

*Рис. 5. Код записи личных данных в отчет (сверху), код записи результатов экзамена в отчет (снизу)*

трубчатой нагревательной печи, идентификация и ликвидация неисправностей в работе трубчатой печи согласно безопасному порядку действий в данных ситуациях.

В экзаменационном режиме предусмотрена процедура записи всех последовательных действий операторов с целью выявления их ошибочных действий на каждом этапе ликвидации аварийных и нестандартных ситуаций. В результате изучения данных отчетов сотрудник очень быстро может определить свои слабые стороны и предпринять меры по устранению пробелов в знаниях.

Внедрение данного тренажера на установках с трубчатыми нагревательными печами позволит проводить аттестационную проверку у персонала на предмет их знаний

и навыков, полученных в ходе прохождения обучающих программ с различными аварийными ситуациями. Они генерируются случайным образом при каждом запуске симулятора. У обучающегося нет права на ошибку, даже одна ошибка не позволяет сдать экзамен: т.к. трубчатые печи являются опасными производственными объектами, то ошибки персонала при их эксплуатации могут привести к человеческим жертвам.

#### 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. Абдуллаязнова. 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 // Тинчурунские 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 // Тинчурунские чтения: материалы докладов X Международной молодежной научной конференции. – 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 // Тинчурунские 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. Вережкин и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 166–168.