АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ/AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕНАЖЕРОВ-ИМИТАТОРОВ НА ПРИМЕРЕ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

Научная статья

Валиуллин Р.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0000-1728-3965;
[1] ООО «РНГ - Инжиниринг», Уфа, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (valirus[at]gmail.com)

Аннотация

Статья посвящена разработке и применению тренажеров-имитаторов для обучения сотрудников на примере нефтеперекачивающей станции. Раскрываются теоретические предпосылки разработки тренажеров-имитаторов, уточняется их место, роль и показатели эффективности в современном обучении. Выделяется, что в современном научном сообществе задачи разработки и применения тренажеров-имитаторов остаются востребованными, поскольку большая часть разработок затрагивает деятельность в военной сфере, медицине, транспортных системах. В контексте обучения персонала для нефтеперекачивающей станции тема разработки и применения тренажеров-имитаторов остается неисследованной. Настоящим исследованием внесен особый вклад в разработку системы тренажера-имитатора с перспективой его массовой апробации и совершенствования. Уникальность исследования заключается в разделении и распределении функций моделирования между двумя направлениями: динамическое моделирование в Altair Embed и визуализация в SCADA. Данный подход к проектированию тренажеров недостаточно освещен в современной литературе, хотя и является перспективным, на что также указывают полученные результаты. Полученная по итогам разработки система является гибкой, поскольку параметры процесса тренажера-имитатора могут быть изменены как программой (по определенному алгоритму, при минимальном вмешательстве аттестующего персонала), так и экспертом (аттестующим персоналом).

Ключевые слова: тренажер-имитатор, обучение, нефтеперекачивающие станции, управление машиной, автоматизированная система управления технологическим процессом, SCADA.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SIMULATORS ON THE EXAMPLE OF AN OIL PUMPING STATION

Research article

Valiullin R.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0000-1728-3965;
[1] ROG-Engineering, Ufa, Russian Federation

* Corresponding author (valirus[at]gmail.com)

Abstract

The article is dedicated to the development and application of simulators for employee training on the example of oil pumping station. The theoretical prerequisites of simulators development are disclosed, their place, role and efficiency indicators in modern training are specified. It is highlighted that in the modern scientific community the tasks of development and application of simulators remain in demand, as most of the developments affect the activities in the military sphere, medicine, transport systems. In the context of personnel training for the oil pumping station, the topic of development and application of simulator trainers remains unexplored. The present study makes a special contribution to the development of a simulator-trainer system with the prospect of its mass testing and improvement. The uniqueness of the study lies in the division and distribution of simulation functions between two areas: dynamic simulation in Altair Embed and visualization in SCADA. This approach to simulator design is not sufficiently covered in the current literature, although it is promising, as also indicated by the results obtained. The resulting system is flexible, since the simulator process parameters can be changed both by the programme (according to a certain algorithm, with minimal intervention of the attesting personnel) and by the expert (attesting personnel).

Keywords: training simulator, training, oil pumping stations, machine control, automated process control system, SCADA.

Введение

В условиях комплексной цифровизации экономики, вопросы применения инструментов и технологий в деятельности нефтегазового сектора приобретают основополагающее значение, сопряженное с возможностями использования достижений науки и техники для собственных целей развития. Ограничительные воздействия на экономику России и сферу технологий определяют концептуальное значение становления и развития собственных проектов, направленных на решение прикладных задач бизнеса. Ключевой перспективой современного функционирования предприятий становится автоматизация на основе применения информационных систем и аппаратных устройств, позволяющих управлять отдельными значимыми в функционировании компании процессами. Дефицит квалифицированных кадров и необходимость обеспечения высокого качества образовательных процессов

обуславливают актуальность разработки и применения компьютерных тренажеров-имитаторов, что имеет прикладную ценность в деятельности нефтеперерабатывающего завода и нефтегазовой отрасли, в частности.

Актуальность темы исследования обуславливается и тем, что при переходе к современным автоматизированным системам управления технологическим процессом (далее – АСУП) возникают проблемы обучения и адаптации персонала, обусловленные сложностью и особенностями программно-технических средств. Сегодня требуется восполнять дефицит кадров в структуре предприятий, подготавливать специалистов, готовых работать с передовыми информационными системами и алгоритмами, реализовывать поставленные задачи предприятия. Проблемы обучения и адаптации персонала, основанные на трудностях в освоении программно-технических средств, могут быть в значительной степени разрешены при применении компьютерных тренажеров-имитаторов еще до ввода АСУТП в действие.

Тренажеры-имитаторы применяются и в учебном процессе для изучения особенностей технологии, управления процессом, ликвидации аварийных ситуаций, для профессиональной подготовки специалистов. Компьютерные тренажеры-имитаторы значительно гибче и дешевле «физических» тренажеров, что является причиной их широкого применения и все большего распространения в современных реалиях. Важно отметить, что тренажеры служат эффективным средством приобщения работников предприятий к современным средствам управления и вычислительной технике, преодолению психологического барьера. То есть выполняют роль компьютерных игр со специфической и весьма важной информационной и функциональной нагрузкой. Более того, применение подобных тренажеров позволяет отработать алгоритм действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, обогатить личностно-профессиональный опыт будущего сотрудника. Также отметим, что согласно правилам взрывобезопасности ПБ 09-170-97, п. 1.16 установки I и II класса взрывоопасности в нефтехимии и нефтепереработке должны быть оснащены полигонами и тренажерами. Все это определяет высокое значение аспектов применения тренажеров-имитаторов в обучении, что требует разработки и апробации соответствующих средств.

Цель исследования – осуществить разработку и применение тренажеров-имитаторов на примере нефтеперекачивающей станции.

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

1. Отразить теоретические основы, обуславливающие необходимость применения тренажеров-имитаторов на примере НПС.

2. Разработать и охарактеризовать тренажер-имитатор, параметры процесса которого могут быть изменены:

2.1. Программой (по определенному алгоритму, при минимальном вмешательстве аттестующего персонала).

2.2. Экспертом (аттестующим персоналом).

Методология исследования

Теоретико-методологическим базисом настоящего исследования послужили научные статьи, а также отрытые данные, раскрывающие процессы разработки и применения тренажеров-имитаторов при обучении на сложных машинах или программно-технических комплексах, в целях отработки умений и обеспечения готовности к исполнению трудовых функций. Важнейшей задачей в этом вопросе становится разработка (проектирование) тренажера и его применение для образовательных задач. Уточним, что первые тренажеры создавались полностью «вручную» на языках высокого уровня (C, Pascal, VB и др.) и требовали больших затрат времени. В настоящее время наиболее целесообразным для построения тренажеров является применение SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), на которых реализована конкретная АСУТП. В вопросах проектирования тренажеров мы придерживаемся задач динамического моделирования в Altair Embed и визуализации посредством SCADA. В исследовании применялись методы: анализ, библиографическое описание, моделирование, проектирование.

Литературный обзор

Вопросы применения тренажеров-имитаторов в современных условиях цифровизации экономической и социальной сфер приобретают все больший отклик в научно-исследовательских кругах, а также в практике построения образовательных процессов. Об этом свидетельствует достаточно высокая динамика публикационной активности в вопросах применения тренажеров-имитаторов в различных сферах профессиональной деятельности.

Целесообразность разработки тренажера-имитатора первично раскрывается в структуре преимуществ, которые данное средство предоставляет в ходе применения в реальной практике обучения, повышения квалификации или внутрифирменной подготовки персонала. Согласимся с позицией Ю.И. Арепина, который указывает на высокое значение применения электронных тренажеров в процессе обучения операторов. Автор считает, что для их применения необходимо четко обосновывать эффективность влияния на результаты подготовки, что напрямую зависит от характеристик конкретной системы [1]. Для того чтобы тренажер-имитатор эффективно применялся в образовании, он должен обеспечивать гибкость изменения параметров процесса, что требуется учесть при дальнейшей разработке тренажера-имитатора на примере нефтеперерабатывающего завода.

По мнению А.В. Емельянова, В.Н. Гордеева, Д.А. Титова и И.П. Жабина, вопросы обучения на тренажерах первично стоит рассматривать в наиболее сложных профессиях, в которых от специалиста зависит исполнение огромной системы процессов. На примере подготовки летчиков к применению авиационного вооружения авторы показывают, как применение тренажеров-имитаторов позволяет не только обогатить опыт обучающихся, но и сократить расходы на организацию обучения [3]. Принимая во внимание факт подготовки специалистов к работе на сложном оборудовании, отметим, что применение тренажера-имитатора в деятельности специалиста нефтеперерабатывающего завода при работе с АСУТП позволяет раскрыть множество сценариев подготовки, в том числе требующих максимального проявления профессионализма и следования четкому регламенту.

Другие авторы также указывают на обширные возможности применения тренажеров-имитаторов в деятельности по образовательной подготовке; например, Л.Г. Одинцов раскрывает позитивные возможности применения при

обучении спасателей [8], А.А. Климов, Е.Ю. Заречкин и В.П. Куприяновский на примере подготовки специалистов для управления транспортом [4], а С.Т. Сикорский и А.А. Цуканов на примере сферы морской авиации [10]. Можно заключить, что применение тренажеров-имитаторов первично целесообразно в тех сферах, где обучение является либо дорогостоящим, либо сопряжено с огромными рисками. Для управления машинами и системами в подобных профессиях требуется наличие предварительного опыта работы с ними, с их интерфейсом и функциями, в целях обеспечения понимания и ориентации в представленных условиях, с перспективой реагирования на сложные задачи профессиональной деятельности.

Вышепредставленное свидетельствует о высокой актуальности и целесообразности разработки и применения тренажеров-имитаторов на примере работы специалиста нефтеперекачивающей станции. Однако, отметим также факт того, что сегодня вопросы разработки подобных тренажеров остаются практически неисследованными – меньшая часть работ научных исследователей раскрывает техническую сторону разработки тренажеров-имитаторов и подробно останавливается на структуре данных тренажеров-имитаторов.

Вопросы разработки тренажеров-имитаторов достаточно комплексно охарактеризованы в работе В.М. Попова и С.В. Здрачук. Авторы исследования фокусируются на задаче разработки учебного тренажера под кабину вертолета М8, с адаптацией тренажера в комплексе авиационного симулятора [9]. Более сложные разработки, нацеленные на создание учебно-тренировочных средств для военно-морского флота, раскрыты в работе А.Ф. Базлова, В.Б. Рисункова, С.Н. Соколова и А.М. Стручкова [2]. Опираясь на исследование авторов, удалось выстроить эффективную методику проектирования и моделирования тренажера-имитатора для задач обучения персонала нефтеперекачивающей станции.

Достаточно схожий спектр задач и предметную область исследовал В.В. Костылев, раскрывая особенности разработки интерфейса тренажера-имитатора для задач газоперекачивающего агрегата [6], а также возможности применения компьютерных тренажеров в вопросах обучения персонала в нефтегазовом комплексе [6]. Труды автора вносят значительный вклад в обоснование проблемы и особенностей разработки, тестовой апробации и внедрения тренажера-имитатора в деятельности предприятий нефтегазового комплекса. Исследования автора легли в основу определения актуальности и высокой целесообразности проектирования тренажера-имитатора для схожей прикладной задачи.

Учитывая результаты проведенного литературного обзора, уточним, что тема применения тренажеров-имитаторов в современной научной литературе остается востребованной и при этом исследованной. Наиболее изученными являются аспекты, сопряженные с оценкой преимуществ и возможностей применения тренажеров-имитаторов, эффектов от их использования и обоснованием целесообразности внедрения в образование. По итогам обзора можно также отметить, что сегодня в научно-исследовательском поле задачи разработки и применения тренажеров-имитаторов остаются менее изученными; большая часть разработок затрагивает деятельность в военной сфере, медицине, а также при работе с машинами. В контексте обучения персонала для нефтеперекачивающей станции тема разработки и применения тренажеров-имитаторов остается неисследованной.

Результаты и их обсуждение

Проектирование тренажера становится первичной задачей для его последующего моделирования и применения. Уточним, что построение тренажеров-имитаторов основано на применении SCADA, на которых реализована конкретная АСУТП. Поскольку весь необходимый сервис для представления данных имеется в SCADA, то реализация существенно упрощается. Однако из-за большого количества сложных формул в математической модели, целесообразно функции моделирования системы и функции управления распределить соответственно между направлениями:

- динамическое моделирование в Altair Embed;
- визуализация в SCADA.

Такой подход к проектированию тренажеров недостаточно освещен в литературе, хотя и является перспективным. Разделение функций позволяет моделировать объект практически как непрерывную систему за счет уменьшения периода дискретизации по отношению к SCADA-системе.

Основной частью тренажера является функциональная схема (мнемосхема) вместе с запорной и регулирующей арматурой, приборами автоматики, изображенная на экране монитора. Основные параметры процесса (температура, давление, уровень и пр.) выводятся на экран, имитируя показания приборов. С помощью клавиатуры или мыши обучаемый должен иметь возможность в режиме имитации управлять процессом, осуществлять пуск, останов установки, переходить с ручного управления на автоматическое и т. д. Для оператора целесообразно иметь тренажер по внешним характеристикам идентичный реальной системе управления.

При разработке тренажеров возникают следующие основные задачи:

- разработка моделей статики и динамики;
- разработка графического интерфейса и АРМ оператора в целом.

К моделям динамики тренажеров предъявляются следующие требования:

- модель должна качественно верно описывать динамику процесса, при этом допускаются некоторые количественные отклонения;
- модель должна быть простой в вычислительном отношении.

Последнее требование особенно важно при разработке тренажеров сложных установок с большим числом аппаратов. Будем называть такие модели быстрыми. В процессе создания тренажеров были разработаны «быстрые» модели задвижек, трубопроводов, емкостей, агрегатов.

Моделирование систем управления можно проводить двумя способами:

- использование экспериментальных данных по динамическим характеристикам объекта со следующим анализом и синтезом системы управления;

- использование системного (структурного) анализа сложных АСР со следующим итеративным подбором параметров передаточных функций объектов управления.

Особенностью последнего способа, который будет использован в данной работе, является малый исходный объём информации и относительно меньшая трудоемкость. Структурный анализ используют на ранних стадиях создания системы управления для выявления свойств системы, которые определяются её структурными особенностями.

Моделирование систем с использованием системного анализа проводят по следующему плану:

- концептуальный этап моделирования. Разрабатывается структурная схема объекта управления (выделяются границы подсистем технологических объектов, определяют входы/выходы и задачи, решаемые подсистемой);
- строится граф входных и выходных параметров отдельных подсистем - разрабатывается топологический уровень подсистемы, бинарные отношения параметров;
- определение операторных связей – определяют безынерционные связи (статика), динамические, логические и функциональные связи;
- определение параметров передаточных функций (параметрический уровень);
- разработка имитационной модели и уточнение структуры соединения звеньев;
- связывание подсистем или элементов в систему;
- разработка имитационной модели и её отладка;
- разработка системы управления с целью оптимизации процессов и её исследование.

Интуитивно понятно, что давление на приеме станции линейно связано с давлением на выкиде агрегатов и соответственно выходе станции. Структура такой взаимосвязи в первом приближении можно представить следующим образом (см. рисунок 1).

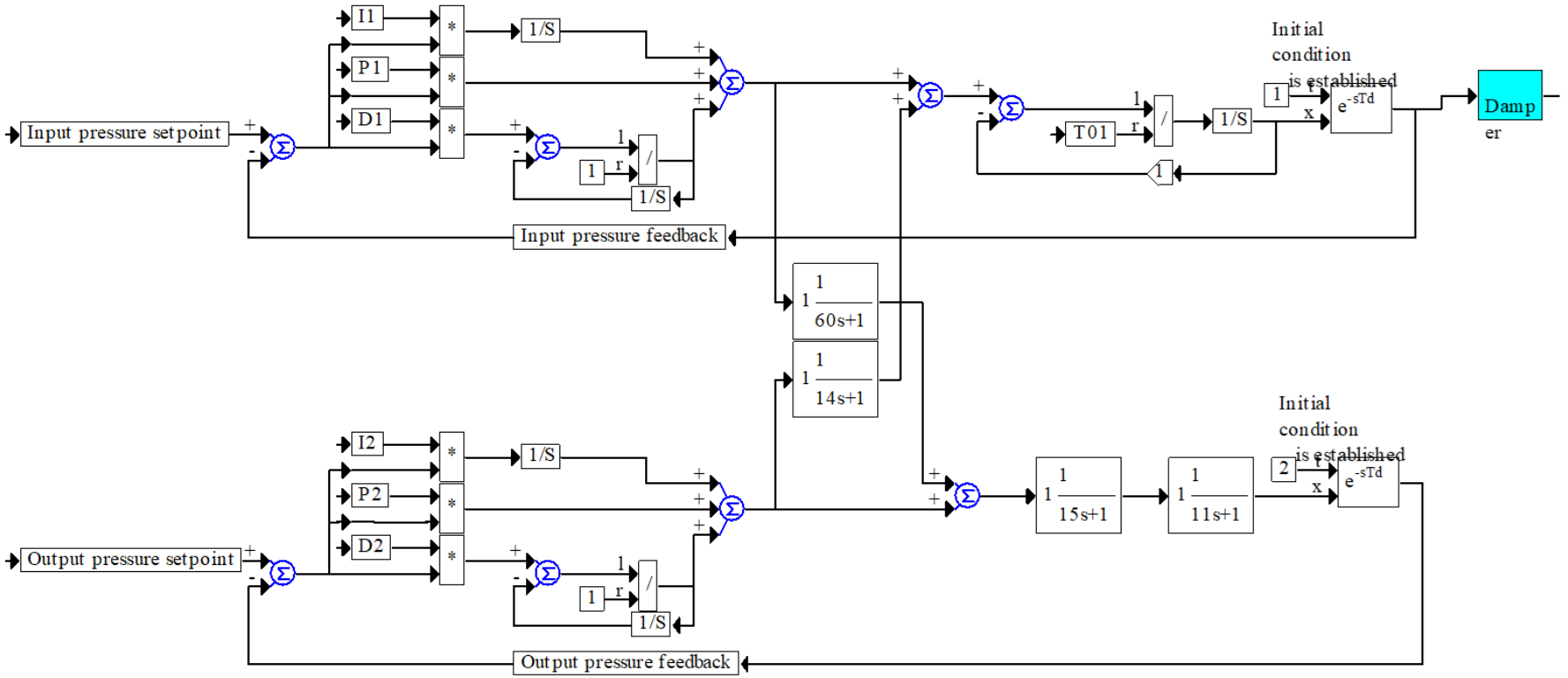

Рисунок 1 - Блок-схема модуля поддержания давления

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.1

В качестве модели, адекватной, в некотором смысле, объекту, обладающему свойствами линейного и устойчивого, выберем систему последовательно соединённых инерционных звеньев и звена запаздывания (формула 1):

$$W_M = K_M \frac{1}{TS+1} e^{-\tau \cdot S} \quad (1)$$

где W_M – передаточная функция модели;
K_M – коэффициент усиления модели;
T – постоянная времени инерционного звена;
τ – «чистое» запаздывание модели;
S – оператор дифференцирования.

Обоснованием выбора модели такой структуры может служить:

- во-первых, факт широкого использования моделей такой структуры в инженерной практике, при обработке экспериментально полученных кривых разгона объектов управления, с решением последующей задачи – синтеза системы управления;

- во-вторых, модель этого вида является достаточно универсальной в том смысле, что одинаково хорошо аппроксимирует объект управления, как при наличии запаздывания (τ > 0), так и без него (τ = 0).

Остается решить вопрос с выбором коэффициентов объектов управления. Для этого на первом этапе итеративного приближения достаточно наблюдений за характеристиками трендов при переходных процессах работы станции.

Для расчета коэффициентов реального ПИД-регулятора, автором была написана программа (см. рисунок 2):

$$w := 0 , 0.01 \ .. \ 1$$

$$m := 0.336 \qquad a := 0.15 \qquad Tr := 1$$

$$s(w) := -m \cdot w + w \cdot j$$

$$Wob(w) := 1 \cdot \frac{1}{6 \cdot s(w) + 1} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3 \cdot s(w) + 1} \cdot e^{-1 s(w)}$$

$$V1(w) := Re(Wob(w))$$

$$V2(w) := Im(Wob(w))$$

$$X1(w) := \left[\frac{-m \cdot V1(w) + V2(w)}{w \cdot (m^2 + 1)} \right]$$

$$X2(w) := -\left[\frac{V1(w) + m \cdot V2(w)}{w \cdot (m^2 + 1)} \right]$$

$$Y1(w) := \left[\frac{Tr \cdot V1(w) \cdot w^2 \cdot (m^2 + 1) - w \cdot (m \cdot V1(w) + V2(w))}{(Tr \cdot w)^2 \cdot (m^2 + 1) - 2 \cdot Tr \cdot m \cdot w + 1} \right]$$

$$Y2(w) := \left[\frac{Tr \cdot V2(w) \cdot w^2 \cdot (m^2 + 1) + w \cdot (V1(w) - m \cdot V2(w))}{(Tr \cdot w)^2 \cdot (m^2 + 1) - 2 \cdot Tr \cdot m \cdot w + 1} \right]$$

$$T(w) := \left(\frac{-V2(w) - \sqrt{V2(w)^2 - 4 \cdot a \cdot X2(w) \cdot Y2(w)}}{2 \cdot a \cdot Y2(w)} \right)$$

$$k0(w) := \left(\frac{-1}{a \cdot Y1(w) \cdot T(w)^2 + V1(w) \cdot T(w) + X1(w)} \right)$$

$$k1(w) := k0(w) \cdot T(w)$$

Рисунок 2 - Расчет настроек одноконтурной АСР

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.2

При создании тренажера, имитирующего работу нефтеперекачивающей станции, были использованы следующие программные продукты:

- пакет динамического моделирования Altair Embed;
- SCADA.

Инструменты Altair Embed позволяют решать задачи моделирования довольно сложных систем. Этот продукт используют такие небезызвестные фирмы, как «General Motors», «Dupont», «Universal Instruments», «Air Force», «Honeywell», «Carrier».

Пакет динамического моделирования Altair Embed является ядром тренажера. Он поддерживает механизм динамического обмена данными DDE, что позволяет следить и изменять ход процесса, не только из самого приложения-имитатора, но и через другие программные продукты и компьютеры сети (см. рисунок 3).

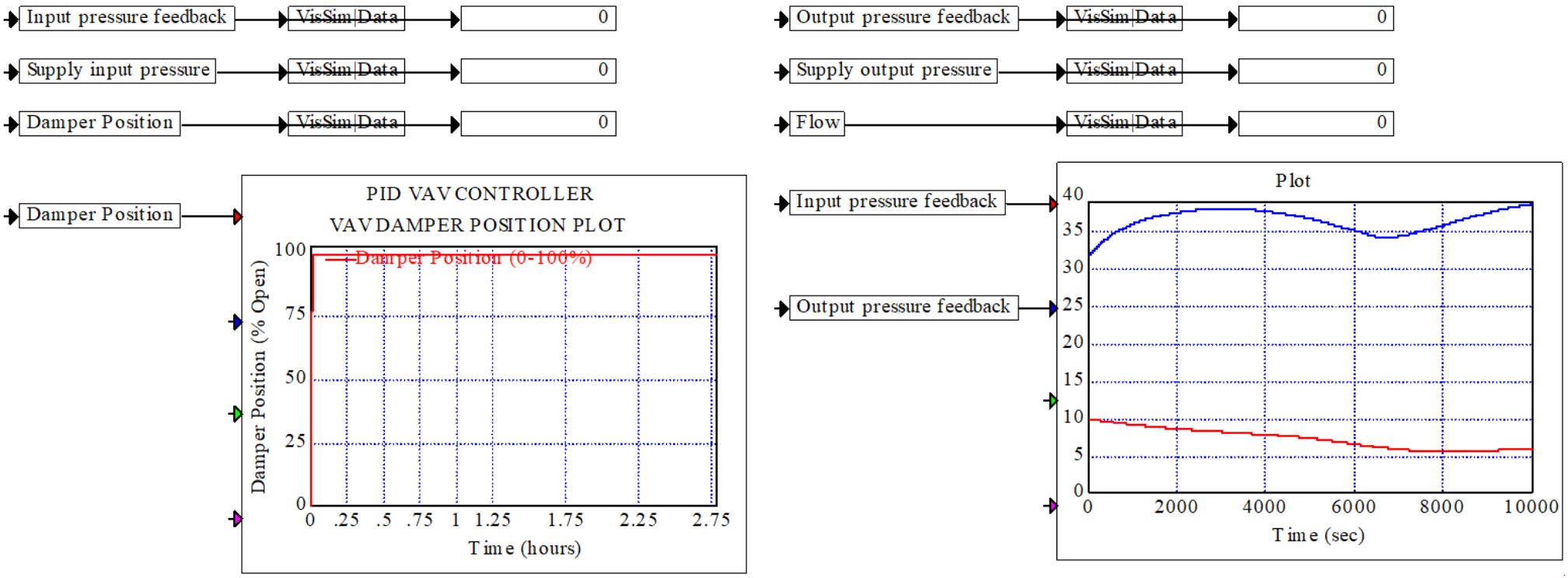

Рисунок 3 - Передача параметров в приложение GenieDAQ, через блоки DDEsend

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.3

В среде Altair Embed были созданы следующие модели двухсвязной системы автоматического регулирования (см. рисунок 4):

- ПИД-регулятора;
- исполнительного органа (заслонки);
- трубопровода до станции;
- станции;
- датчиков;
- задвижек.

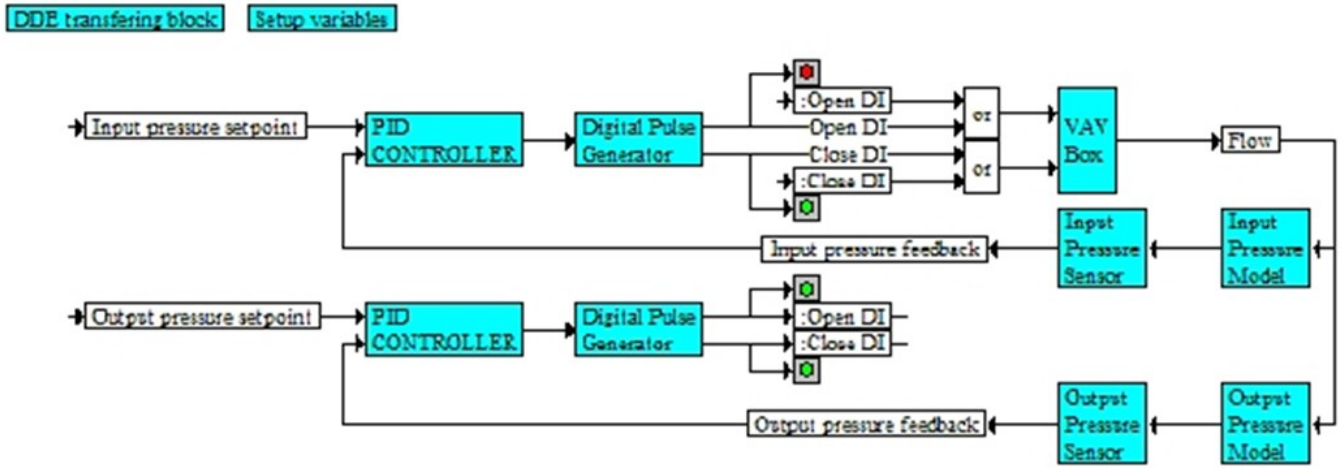

Рисунок 4 - Двухсвязная система автоматического регулирования

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.4

GenieDAQ используется в качестве контейнера (см. рисунок 5, 6). Для передачи данных технологического процесса из среды Altair Embed в пакет SCADA при помощи механизма OPC.

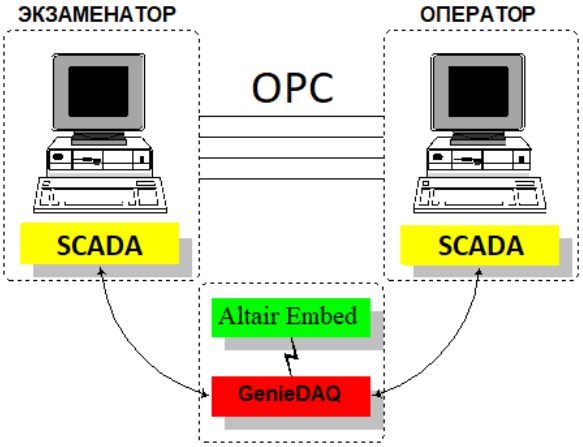

Рисунок 5 - Структура взаимодействия приложений
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.5

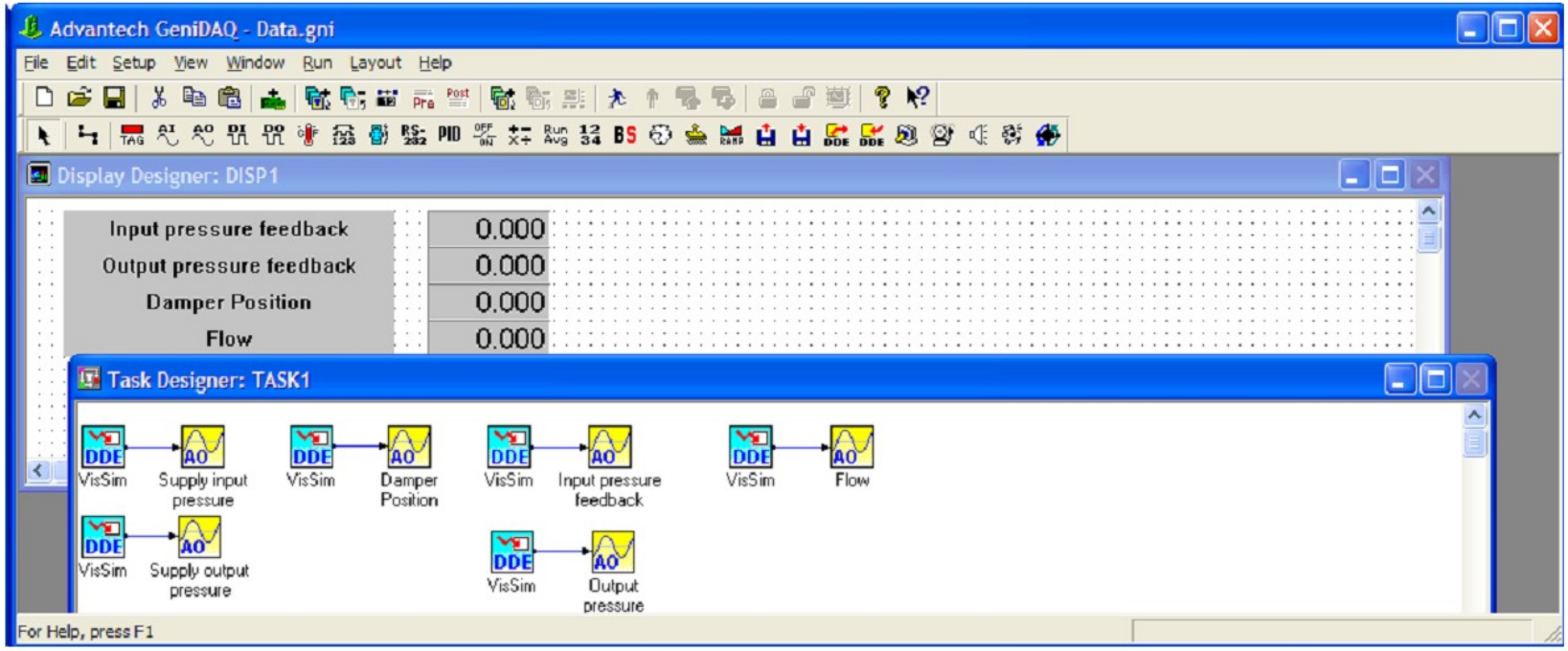

Рисунок 6 - GenieDAQ в роли контейнера данных

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.6

В SCADA-системе было реализовано рабочее место оператора. Разработанное АРМ оператора (см. рисунок 7) создавалось по возможности близким к реально существующей мнемосхемы технологического процесса (прототипы мнемосхем можно найти в руководстве оператора).

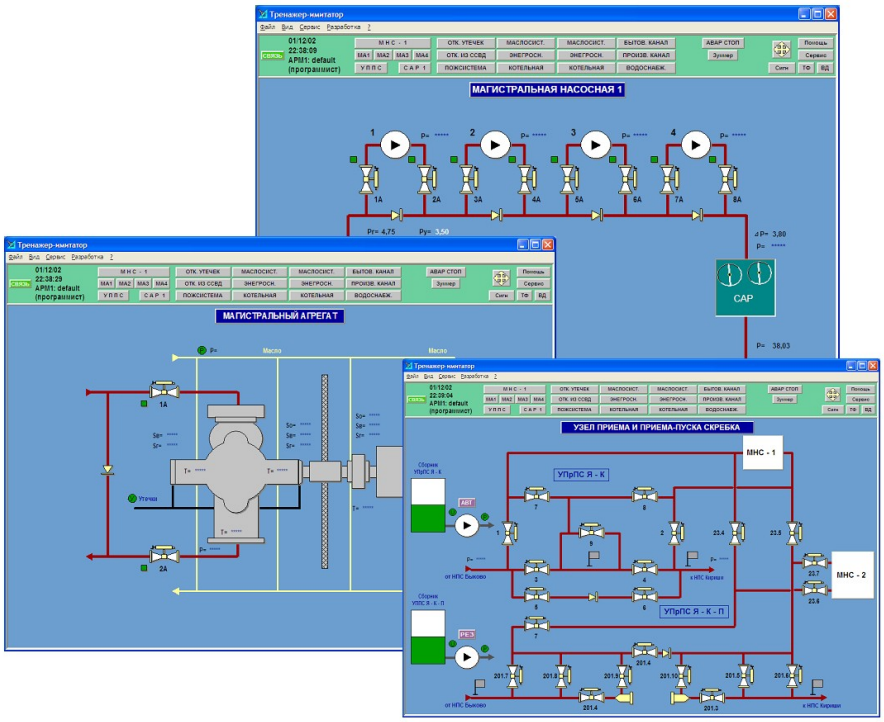

Рисунок 7 - Рабочее место оператора имеет привычный вид SCADA-система Genesis
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.7

Для работы с тренажером-имитатором, необходимо поочередно запустить следующие приложения:
- запустить SCADA;
- перевести приложение в режим Runtime.
- запустить GenieDAQ;
- открыть файл DDE OPC контейнера Data.gni (меню File\Open…);
- перевести приложение в режим Runtime.
- запустить Altair Embed;
- открыть файл тренажера имитатора Simulator.vsm (меню File\Open…);
- перевести приложение в режим Runtime.

После этого приложения начнут обмет «технологическими параметрами».

Рисунок 8, представленный ниже, показывает, что принципиальных отличий тренажер не имеет, это так же относится и к правилам управления процессом (алгоритмы запуска и останова агрегата, открытия и закрытия задвижек и т. д.), что является несомненным удобством и не требует затрат времени на изучение нового «руководства оператора».

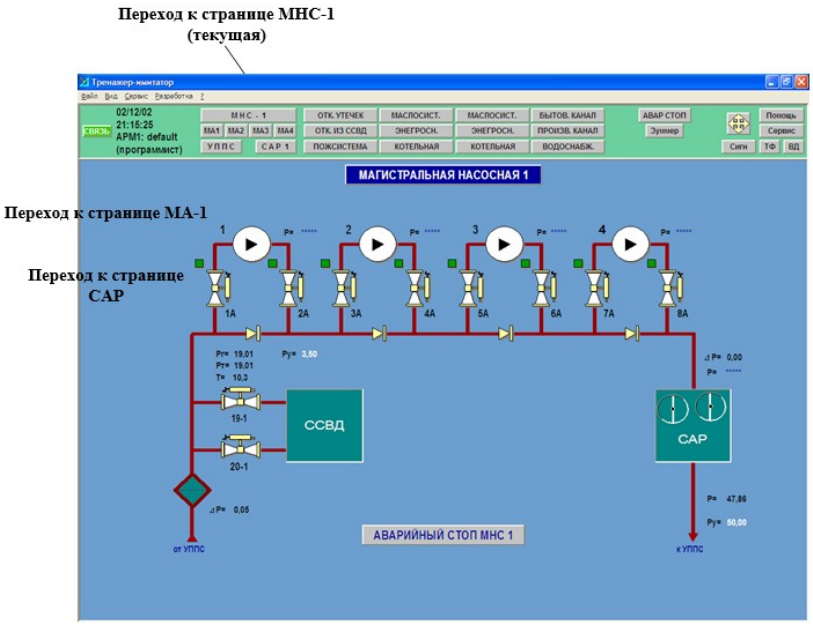

Рисунок 8 - Мнемосхема процесса
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.186.8

Регистрация технологических параметров, ведется по всей сымитированной станции. Управление по алгоритмам на данном этапе разработки реализовано только на странице САР (на стадии завершения находится анимация работы агрегатов и задвижек.).

Вновь отметим, наиболее завершенной является страница площадки регулирования давления (рассматривался в первую очередь, как наиболее сложный и непрерывный процесс управления). Здесь аттестующий персонал или оператор могут:

- перейти от автоматического управления к ручному и наоборот (переключатель Авт./Руч.);
- изменить параметры ПИД регуляторов (PID1 и PID2);
- перейти к другим мнемосхемам процесса;
- наблюдать за ходом процесса.

Все это указывает на реальные перспективы применения разработанного тренажера-имитатора для задач обучения работы на нефтеперекачивающей станции.

Заключение

На основе полученных результатов исследования можно определить обширные перспективы и реальные возможности применения тренажеров-имитаторов в деятельности по обучению для работы на нефтеперекачивающей станции. Настоящим исследованием внесен особый вклад в разработку подобной системы с перспективой его массовой апробации и совершенствования. Более того, проведенное исследование является уникальным, поскольку основано на разделении и распределении функций моделирования между направлениями: динамическое моделирование в Altair Embed и визуализация в SCADA. Данный подход к проектированию тренажеров недостаточно освещен в современной литературе, хотя и является перспективным, на что также указывают полученные результаты. Можно заключить, что разделение функций позволяет моделировать объект практически как непрерывную систему за счет уменьшения периода дискретизации по отношению к SCADA-системе. Полученная по итогам разработки система является гибкой, поскольку параметры процесса тренажера-имитатора могут быть изменены как программой (по определенному алгоритму, при минимальном вмешательстве аттестующего персонала), так и экспертом (аттестующим персоналом). Это раскрывает дополнительные прикладные возможности применения полученного тренажера на практике и обуславливает высокую значимость настоящего исследования. Полученные результаты исследования могут послужить как началом для разработок многих других авторов, так и совершенствоваться в перспективе.

Дальнейшие перспективы разработки связаны с апробацией и совершенствованием, сбором информации о результатах обучения с выявлением достоверных эффектов от применения разработки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Арепин Ю.И. Обоснование применения электронных тренажеров для обучения операторов / Ю.И. Арепин // Программные продукты и системы. — 2012. — № 1. — С. 154-155.

2. Базлов А.Ф. Опыт разработки учебно-тренировочных средств для военно-морского флота / А.Ф. Базлов, В.Б. Рисунков, С.Н. Соколов [и др.] // Программные продукты и системы. — 2016. — №1 (113). — С. 27-31.

3. Емельянов А.В. К вопросу тренажерного обучения работе со съемным авиационным вооружением / А.В. Емельянов, В.Н. Гордеев, Д.А. Титов [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2020. — №11. — С. 510-515.

4. Климов А.А. Об особенностях использования тренажеров при реализации образовательных программ (на примере подготовки специалистов для транспорта) / А.А. Климов, Е.Ю. Заречкин, В.П. Куприяновский // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2019. — №2. — С. 477-487.

5. Коломиец А.С. Актуальность применения автоматных моделей в проектировании имитационных тренажеров для обучения операторов АСУ ТП / А.С. Коломиец // Наука и современность. — 2010. — №3-2. — С. 152-157.

6. Костылев В.В. Компьютерные тренажеры в обучении персонала на нефтегазовом производстве / В.В. Костылев // Вестник науки. — 2020. — №5 (26). — С. 234-236.

7. Костылев В.В. Разработка интерфейса тренажера-имитатора газоперекачивающего агрегата / В.В. Костылев // Вестник науки. — 2020. — №6 (27). — С. 186-188.

8. Одинцов Л.Г. Разработка тренажеров для подготовки спасателей / Л.Г. Одинцов // Технологии гражданской безопасности. — 2011. — №4. — С. 16-21.

9. Попов В.М. Учебный тренажер кабины вертолета МИ-8Т на базе авиационного симулятора / В.М. Попов, С.В. Здрачук // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. — 2018. — №4. — С. 42-66.

10. Сикорский С.Т. Тактические тренажеры авиационных противолодочных комплексов морской авиации / С.Т. Сикорский, А.А. Цуканов // Программные продукты и системы. — 2016. — №1 (113). — С. 37-40.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Arepin Ju.I. Obosnovanie primenenija jelektronnyh trenazherov dlja obuchenija operatorov [Substantiation of Electronic Simulators' Application for Operators Training] / Ju.I. Arepin // Programmnye produkty i sistemy [Software Products and Systems]. — 2012. — № 1. — P. 154-155. [in Russian]

2. Bazlov A.F. Opyt razrabotki uchebno-trenirovochnyh sredstv dlja voenno-morskogo flota [Experience of Developing Training Tools for the Navy] / A.F. Bazlov, V.B. Risunkov, S.N. Sokolov [et al.] // Programmnye produkty i sistemy [Software Products and Systems]. — 2016. — №1 (113). — P. 27-31. [in Russian]

3. Emel'janov A.V. K voprosu trenazhernogo obuchenija rabote so s'emnym aviacionnym vooruzheniem [On the Issue of Simulator Training for Work with Detachable Aircraft Armament] / A.V. Emel'janov, V.N. Gordeev, D.A. Titov [et al.] // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki [Proceedings of TulSU. Technical Sciences]. — 2020. — №11. — P. 510-515. [in Russian]

4. Klimov A.A. Ob osobennostjah ispol'zovanija trenazherov pri realizacii obrazovatel'nyh programm (na primere podgotovki specialistov dlja transporta) [On the Features of Using Simulators in the Implementation of Educational Programmes (by the Example of Training Specialists for Transport)] / A.A. Klimov, E.Ju. Zarechkin, V.P. Kuprijanovskij // Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie [Modern Information Technologies and IT-Education]. — 2019. — №2. — P. 477-487. [in Russian]

5. Kolomiec A.S. Aktual'nost' primenenija avtomatnyh modelej v proektirovanii imitacionnyh trenazherov dlja obuchenija operatorov ASU TP [Relevance of Automatic Models Application in Designing Simulation Simulators for Training of ACS Operators] / A.S. Kolomiec // Nauka i sovremennost' [Science and Modernity]. — 2010. — №3-2. — P. 152-157. [in Russian]

6. Kostylev V.V. Komp'juternye trenazhery v obuchenii personala na neftegazovom proizvodstve [Computer Simulators in Personnel Training at Oil and Gas Production] / V.V. Kostylev // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. — 2020. — №5 (26). — P. 234-236. [in Russian]

7. Kostylev V.V. Razrabotka interfejsa trenazhera-imitatora gazoperekachivajushhego agregata [Development of the Interface of the Simulator Interface of the Gas Pumping Unit Simulator] / V.V. Kostylev // Vestnik nauki [Bulletin of Science]. — 2020. — №6 (27). — P. 186-188. [in Russian]

8. Odincov L.G. Razrabotka trenazherov dlja podgotovki spasatelej [Development of Simulators for Rescuers Training] / L.G. Odincov // Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti [Civil Security Technologies]. — 2011. — №4. — P. 16-21. [in Russian]

9. Popov V.M. Uchebnyj trenazher kabiny vertoleta MI-8T na baze aviacionnogo simuljatora [Training Simulator of MI-8T Helicopter Cabin on the Basis of Aviation Simulator] / V.M. Popov, S.V. Zdrachuk // Crede Experto: transport, obshhestvo, obrazovanie, jazyk [Crede Experto: Transport, Society, Education, Language]. — 2018. — №4. — P. 42-66. [in Russian]

10. Sikorskij S.T. Takticheskie trenazhery aviacionnyh protivolodochnyh kompleksov morskoj aviacii [Tactical Simulators of Aviation Antisubmarine Complexes of Naval Aviation] / S.T. Sikorskij, A.A. Cukanov // Programmnye produkty i sistemy [Software Products and Systems]. — 2016. — №1 (113). — P. 37-40. [in Russian]