

КПД и утилизация высокопотенциальной теплоты с целью снижения выбросов в атмосферу [Текст] / А. Г. Усеров, К. К. Шалбаев // Алмата, Вестн. НАН РК. – 2009. – № 2.

4. Козачанко, А. Н. Энергетика трубопроводного транспорта газов [Текст] / А. Н. Козачанко, В. И. Никишин, Б. П. Поршаков. – Гуп Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. Москва, 2001. – С. 327–355.

5. Коздоба, Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности [Текст] / Л. А. Коздоба. – М.: Наука, 1975. – 170 с.

6. Тихонов, А. Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 285 с.

7. Дьяченко, В. Ф. Основные понятия вычислительной математики [Текст] / В. Ф. Дьяченко. – М.: Наука, 1977. – 120 с.

8. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика теплообменника. Т. 1 [Текст] / Д. Андерсон, Д. Таннехел, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 384 с.

#### References

1. Jonsson, M., Yan, J. (2005). Humified gas turbines – a review of proposed and implemented cycles. Energy, 30 (7), 1013–1078. doi: 10.1016/j.energy.2004.08.005

2. Petriv, S. Y. (2012). Reasons and factors which contribute to changing the technical condition of heat exchangers compressor units. Science news, 2 (22).

3. Userov, A. G., Shalbaev, K. K. (2009). Used devices and development a new effective regenerators of compressor units for improve efficiency and utilization of high-grade heat in order to reduce emissions into the atmosphere. Almaty Herald. NAS RK, 2.

4. Kozachanko, A. N., Nikishin, V. I., Porshakov, B. P. (2001). Power engineering pipeline transport gas. PMU Publishing "Oil and Gas" Oil and gas RSU th. I. M. Gubkin. Moscow, 327–355.

5. Kozdoba, L. A. (1975). Methods for solving nonlinear heat conduction problems. Moscow: Science, 170.

6. Tikhonov, A. N., Arsenin, V. Y. (1979). Methods of solving incorrect problems. Moscow: Nauka, 285.

7. Diachenko, V. F. (1977). Basic concepts of computational mathematics. Moscow: Nauka, 120.

8. Anderson, D., Tannehel, D., Pletcher, R. (1990). Computational fluid dynamic of heat exchanger. Moscow: Mir, 1, 384.

9. Marchuk, G. I. (1989). Methods of computational mathematics. Moscow: Nauka, 608.

*Дата надходження рукопису 17.03.2015*

**Замиховский Леонид Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры, кафедра компьютерных технологий в системах управления и автоматике, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019  
E-mail: leozam@ukr.net

**Петрив Светлана Ярославовна**, аспирант, кафедра компьютерных технологий в системах управления и автоматике, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019  
E-mail: Svetlanapetriv@yandex.ru

УДК 004.896

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.41213

## ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ КОМПРИМИРОВАНИЯ ГАЗА

© Л. М. Замиховский, Р. М. Матвиенко

*Обоснована необходимость построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИС-ППР) при управлении технологическим процессом компримирования газа с включением в ее состав учебно-тренировочного модуля. Приведена структурная схема человеко-машинного взаимодействия в системе "Диспетчер – ИСППР – САУ ГПА – КЦ" и определены функции отдельных блоков интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении процессом компримирования газа*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, система поддержки принятия решений, диспетчер, оператор, процесс компримирования газа

*The necessity to construct the intelligent decision support systems (IDSS) in the control of the gas compression process with inclusion in structure of the training module is substantiated. A block diagram of human-computer interaction in the system "Dispatcher – IDSS – ASC GCU – CS" is shown, and the functions of the separate blocks of the intellectual decision support system in the control of the gas compression process are defined*

**Keywords:** intelligent system, decision support system, dispatcher, operator, gas compression process

### 1. Введение

Современная газотранспортная система имеет свои специфические особенности:

- большую территориальную протяженность;
- значительное число элементов, которые формируют систему, иерархическую структуру;

- централизованное управление технологическим процессом транспортировки целевого продукта;
- децентрализованное распределение целевого продукта;
- возможность создания оперативных и стратегических запасов энергетического сырья в хранилищах.

Учитывая эти особенности, а также то, что процессы, протекающие в газотранспортных системах, в основном, – нестационарные, такие системы можно отнести к сложным техническим системам.

Организация системы автоматического управления (САУ) компрессорной станцией (КС) в составе компрессорных цехов (КЦ) имеющих газоперекачивающие агрегаты (ГПА) в каждом из КЦ, с учётом современных тенденций развития отечественной и зарубежной технической базы автоматизации и широких функциональных возможностей современных аппаратно-программных комплексов, является одной из актуальнейших задач интенсификации процесса эксплуатации газотранспортных систем. Ее решение позволит реализовать следующие целевые установки:

- снизить роль “человеческого фактора”, зачастую приводящего к опасным ситуациям при управлении сложными КС;

- сократить количества оперативного персонала;

- повысить безопасность эксплуатации за счет более качественного управления;

- повысить экономическую эффективность за счет сочетания новых производственных и информационных технологий, позволяющих сократить потери и производственные затраты и, тем самым, повысить производительность КС.

КС является чрезвычайно сложным объектом управления, что обусловлено: наличием одного или нескольких КЦ с определённым количеством ГПА, оснащенных своими САУ, зачастую разных типов; нелинейной динамикой работы КЦ; работой в рамках жестких временных ограничений; подверженностью постоянному изменению внешних условий; соответствию требованиям высокого уровня управляемости и надежности [1, 2].

## 2. Постановка проблемы

Наличие на КС современных систем управления и диагностирования не предотвращает возникновения нештатных ситуаций, которые, как показывает практика, могут привести не только к значительным материальным затратам, но и человеческим жертвам. При этом значительная доля в возникновении нештатных ситуаций приходится на человеческий фактор – неверные действия диспетчера по управлению процессом компримирования газа с использованием систем управления [3].

С целью предупреждения нештатных ситуаций и своевременного реагирования на них, в настоящее время все больше внимания уделяется разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) при управлении технологическими процессами компримирования газа, которые позволяют диспетчерам получать дополнительную информацию о технологической ситуации на конкретном ГПА, и КС в целом помогая, тем самым, принимать правильные и адекватные решения в конкретный момент времени.

В то же время наличие ИСППР предполагает профессионализм диспетчера и его опыт работы. Работа диспетчеров КС представляет чередование монотонной и активной деятельности и связана с вы-

полнением множества действий, от которых напрямую зависит надежность работы оборудования КЦ. Условия работы диспетчера в период активной деятельности характеризуются высокой информационной нагрузкой, повышенным уровнем ответственности, требованиями быстрой реакции на нештатные ситуации, необходимостью анализировать ситуации и оперативно принимать решения в режиме реального времени [2, 4].

Поэтому от адекватной и оптимальной деятельности диспетчера, его умения своевременно найти и принять в сложной ситуации единственно правильное решение зависит эффективность выполнения задач по управлению КС. Исходя из этого, можно сделать вывод, что предупреждение аварийных ситуаций на КС зависит не только от степени совершенства и эффективности ИСППР, но и от профессиональной подготовки, тренированности и опыта диспетчеров КС [5, 6], что предполагает наличие в структуре ИСППР возможностей подготовки/переподготовки диспетчера.

В связи с этим, создание ИСППР для управления технологическим процессом компримирования природного газа с наличием в ее структуре учебно-тренировочного блока, позволяющего проводить обучение и тренинг диспетчеров КС, является актуальной задачей.

## 3. Анализ публикаций и исследований

В работе [3] основное внимание уделено технической реализации тренажера диспетчера КС на базе SCADA-системы WinCC без его привязки к интеллектуальным системам поддержки принятия решений.

В [5] разрабатывается компьютерный тренажер без поддержки интеллектуальных функций, в который закладываются различные математические модели, в зависимости от технологического режима: для пуска и остановки используются сети Петри, для аварийных ситуаций – ситуационная модель и для нормального режима – имитационная модель, построенная по блочно-модульному принципу.

Структура промышленного тренажера, принципы построения моделей сложных технических объектов, структура компьютеризированной системы обучения и тренажа, а также структурная схема ее программных средств рассмотрены в [6]. Цель данной разработки – повысить уровень готовности инженеров компрессорных станций при выполнении своих профессиональных обязанностей. В работе [7] разрабатываются методы и алгоритмы информационной поддержки диспетчера при штатных и нештатных ситуациях, а также решается задача практической реализации СППР диспетчера линейного производственного управления магистральных газопроводов (ЛПУ МГ) на примере моделирования реальной аварийной ситуации с частичным разрывом газопровода.

Среди других работ, посвященных моделированию функциональных элементов КС с использованием средств искусственного интеллекта можно выделить работы [8–10].

В [8] разработано интеллектуальную компьютерную программу диагностики производительности

газовой турбины с использованием искусственной нейронной сети и разработана методология, на основе которой можно оценивать техническое состояние не только отдельных узлов ГПА, но и его техническое состояние в целом. При этом вопрос диагностирования уровня знаний и навыков диспетчеров КС в работе не рассматривается. В работе [9] на базе нейросетевых технологий сформированы диагностические признаки работы центробежных нагнетателей природного газа, разработан метод распознавания технического состояния нагнетателей с использованием методов распознавания образов и имитационного моделирования. Методика построения отказоустойчивой САУ ГТД с использованием нейронных сетей на основе метода FDI рассматривается в [10]. Для обучения нейросети используются данные, полученные с помощью известных математических моделей ГТД и исполнительных механизмов, с последующей адаптацией полученных нейросетевых моделей к конкретным объектам идентификации.

Следует отметить, что в работах [9–10] не уделяется внимание диагностированию уровня готовности диспетчеров КС.

**4. Выделение нерешенных проблем**

Для обеспечения оперативного управления технологическим процессом компримирования газа в настоящее время помимо модернизации уже имеющихся систем управления, разрабатываются и находятся на стадии внедрения ИСППР, которые решают разные задачи.

Как показал приведенный выше анализ, одни ИСППР предназначены для оперативного получения информации о техническом состоянии, как отдельных объектов – ГПА, так и информации о ходе протекания процесса компримирования газа на уровне КЦ и КС в целом с выдачей рекомендаций диспетчеру по ее обработке.

ИСППР другого типа, такие как тренажеры диспетчера или компьютеризированные системы

обучения предназначены для обучения и тренинга диспетчеров. При этом публикации по разработке учебно-тренировочных систем, как функциональной и неотъемлемой части ИСППР управления процессом компримирования газа, практически отсутствуют.

**5. Цель статьи**

Целью статьи является разработка концепции построения ИСППР по управлению процессом компримирования газа на уровне КС, позволяющей оказывать не только поддержку принятия решений при управлении процессом компримирования газа, но и обеспечить обучение и тренинг диспетчеров КС с целью повышения их готовности к выполнению своих профессиональных обязанностей.

**6. Разработка концепции интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении процессом компримирования газа**

Концепцию построения ИСППР рассмотрим на примере КС Долинского ЛПУМГ УМГ “Прикарпаттрансгаз”, являющейся узловой КС, которая соединяет несколько газопроводов и подает газ на экспорт за границу, а также поставляет газ местным потребителям Ивано-Франковской и Закарпатской областей Украины.

Учитывая сложность управления ГПА в составе КЦ и множества нештатных ситуаций, которые возникают в процессе компримирования газа, целесообразно при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами активно использовать математические модели элементов газотранспортных систем для построения ИСППР в аварийных и нештатных ситуациях.

Учитывая, что аналогичная ситуация имеет место и на других КС ПАО “Укртрансгаз”, предлагается следующая концепция построения ИСППР и вытекающая из нее структура человеко-машинного взаимодействия в системе “Диспетчер – ИСППР – САУ ГПА – КЦ” (рис. 1).

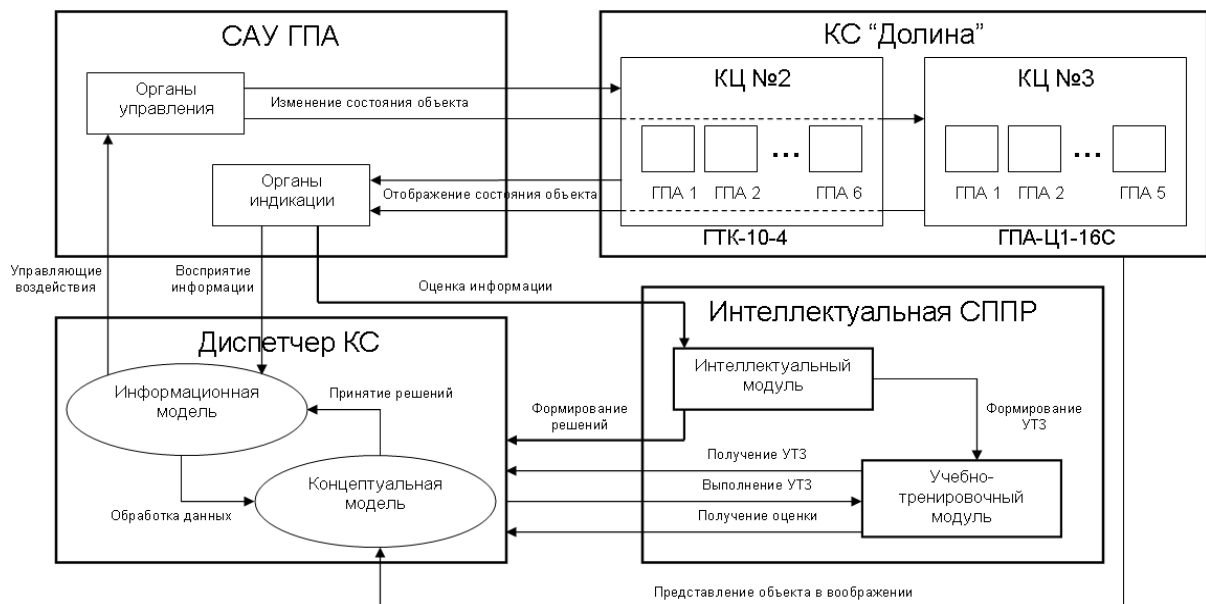


Рис. 1. Структура человеко-машинного взаимодействия в системе “Диспетчер – ИСППР – САУ ГПА – КЦ”

Система представляет собой четыре взаимосвязанные блоки: КС “Долина”, САУ ГПА, ИСППР и, собственно, человек-оператор – диспетчер.

В отличие от классических структурных схем человеко-машинного взаимодействия [11, 12], на рис. 1 ИСППР выделена в отдельный блок.

Как видно с рис. 1, ИСППР при управлении процессом компримирования газа состоит из двух основных модулей – интеллектуального модуля и учебно-тренировочного модуля. Интеллектуальный модуль относится к категории систем искусственного интеллекта и включает в себя базу данных, базу знаний, а также механизм принятия/вывода решения и интеллектуальный интерфейс.

Как было отмечено выше, ИСППР для управления процессом компримирования газа должна иметь в своей структуре учебно-тренировочный модуль, позволяющий имитировать технологический процесс и работу технического оборудования КС, и способствующий повышению уровня знаний, умений и навыков диспетчеров КС.

При этом эффективность использования таких учебно-тренировочных модулей зависит от следующих факторов:

- визуальное сходство информационных элементов и органов управления учебно-тренировочного модуля с человеко-машинным интерфейсом системы управления;

- наличие логико-динамической модели учебно-тренировочного модуля для создания иллюзии работы с реальной системой управления;

- имитация различных возмущений и отказов оборудования для их многократной отработки с помощью учебно-тренировочного модуля;

- использование аппаратно-программных средств контроля выполнения диспетчерами КС учебно-тренировочных задач, их оценка с последующими рекомендациями по улучшению результатов тренировки.

Также учебно-тренировочные модули должны быть гибкими, вариативными и пригодными к масштабированию [5].

Остальные три блока – КС “Долина”, САУ ГПА и диспетчер КС – классические составляющие человеко-машинных систем.

КС “Долина” как объект управления состоит из двух действующих компрессорных цехов – КЦ-2 и КЦ-3. В КЦ № 2 установлено 6 ГПА типа ГТК-10-4, а в КЦ № 3 – пять более современных и мощных агрегатов типа ГПА-Ц-16С.

Технологическая схема Долинского ЛПУМГ выполнена в классической схеме с использованием полно-напорных нагнетателей при их параллельно-последовательной работе.

На КС “Долина” установлен программно-аппаратный комплекс автоматизации технологического процесса компримирования газа. Комплекс предназначен для автоматического (или с помощью оператора) управления режимом холодной прокрутки, процессами пуска, остановки, изменения и поддержки режима работы ГПА, автоматической защиты, сигнализации, индикации, сбора, обработки, анализа и отображения информации [13].

Диспетчер КС взаимодействует не с техническими объектами, а непосредственно с САУ ГПА (рис. 1). От органов индикации САУ ГПА диспетчер получает информацию, и соответственно, с помощью органов управления САУ выполняет управляющие действия, то есть взаимодействует с информационной моделью объекта. Информационная модель имеет материальный характер: ее образуют технические средства отображения информации – сигнальные индикаторы, счетчики, мнемосхемы, экраны, панели приборов.

Учитывая большое количество типов ГПА, диспетчеру в своей работе приходится сталкиваться с разными информационными моделями объектов, что в моменты возникновения нештатных ситуаций может вызвать у него неточное или неадекватное восприятие текущего состояния ГПА на КС.

В то же время, в процессе своей работы в сознании диспетчера КС на основе накопленных знаний и опыта формируется внутренняя концептуальная модель – совокупность представлений и субъективное отражение в сознании информации о состоянии ГПА, КЦ и КС в целом и внешней производственной среде. Именно концептуальная модель определяет характер решений и управляющих воздействий диспетчера КС. Информационная модель является источником и основой для формирования концептуальной модели [11].

## 7. Выводы

1. Обоснована необходимость построения ИСППР для управления технологическим процессом компримирования газа с включением в ее структуру блока обучения диспетчера.

2. Разработана концепция построения ИСППР для управления технологическим процессом компримирования газа и описана структура человеко-машинного взаимодействия в системе “Диспетчер – ИСППР – САУ ГПА - КЦ”.

3. Рассмотрено функциональное назначение интеллектуального и учебно-тренировочного модулей в структуре ИСППР.

## Литература

1. Система автоматического управления газоперекачивающими агрегатами: Общие технические требования [Текст] / ОАО “ГАЗПРОМ”, ОАО “Оргэнергогаз”. – М., 2006.

2. Слободчиков, К. Ю. Алгоритмы управления режимом компрессорного цеха в распределенной структуре программного регулятора [Текст] / К. Ю. Слободчиков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Т. 3, № 3(39). – С. 80–87.

3. Замиховский, Л. М. Использование SCADA системы WinCC для создания тренажера диспетчера компрессорной станции [Текст] / Л. М. Замиховский, Р. Б. Скрипюк // Молодой ученый. – 2014. – № 9. – С. 154–158.

4. Слободчиков, К. Ю. Проблемы эргономического исследования процесса разработки интерфейса систем “Человек-компьютер-АСУ ТП” [Текст] / К. Ю. Слободчиков // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного технического университета и Северо-Восточного Научного Центра Транспортной Академии Украины. – 2002. – № 17. – С. 100–102.

5. Тимофеев, В. А. Система оценки деятельности оператора при дистанционном обучении на компьютерном тренажере [Текст] / В. А. Тимофеев, В. В. Тулупов // Сборник трудов 8-й Международной конференции “Образование и виртуальность-2004”. – Харьков-Ялта: УАДО, 2004. – С. 157–162.

6. Замиховский, Л. М. Компьютерный тренажерный комплекс для обучения операторов ГПА [Текст] / Л. М. Замиховский, Р. М. Матвиенко // Материалы IV Международной научно-технической конференции “Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами” – DISCOM-2009. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – С. 422–430.

7. Бухвалов, И. Р. Методы и алгоритмы информационной поддержки управления газотранспортной системой [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: / И. Р. Бухвалов. – Владимир, 2007. – 133 с.

8. Горбійчук М. І. Метод інтегральної оцінки технічного стану газоперекачувальних агрегатів [Текст] / М. І. Горбійчук, І. В. Щупак, В. Л. Кімак // Нафтогаз. енергетика. – 2010. – № 2. – С. 38–43.

9. Скріпка, О. А. Контроль технічного стану відцентрових нагнітачів газоперекачувальних агрегатів на принципах нейронних мереж [Текст]: дис. канд. техн. наук / О. А. Скріпка. – Івано-Франківськ, 2007. – 222 с.

10. Идрисов, И. И. Алгоритмы адаптации и обеспечения отказоустойчивости систем управления газотурбинными двигателями на основе нейросетевых технологий [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: / И. И. Идрисов. – Уфа, 2009. – 19 с.

11. Душков, Б. А. Хрестоматия по инженерной психологии [Текст] / Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, Б. А. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с.

12. Стрелков, Ю. К. Инженерная и профессиональная психология [Текст] / Ю. К. Стрелков. – М.: Академия, 2001.

13. Матвиенко, Р. М. Сравнительная характеристика объектно-ориентированных сред WinCC и LabVIEW для создания компьютерных тренажерных комплексов [Текст] / Р. М. Матвиенко // Наукові вісті ІМЕ “Галицька академія” (технічні науки). – 2010. – № 17 (1). – С. 120–126.

#### References

1. Automatic control system of gas-pumping aggregates: General requirements. (2006). Moscow: “Gazprom”, “Orgenergogaz”.

2. Slobodchikov, K. Yu. (2009). Algorithms of mode control of compressor workshop in distributed structure of software controller. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/3(39), 80–87.

3. Zamykhovskiy, L. M., Skrypiuk, R. B. (2014). Using WinCC SCADA-system for creation simulator of dispatcher of compressor station. Young scientist, 9, 154–158.

4. Slobodchikov, K. Yu. (2002). Problems of ergonomic research of development process of interface of systems “Man-computer-ACS TP”. Bulletin of the Kharkov Automobile and Road Technical University and North-Eastern Scientific Center of Transport Academy of Ukraine, 17, 100–102.

5. Timofeiev, V. A., Tulupov, V. V. (2004). Rating system of operator activity in distance learning on simulator. Proceedings of 8th International Conference “Education and Virtuality – 2004”, 157–162.

6. Zamykhovskiy, L. M., Matviienko, R. M. (2009). Computer complex for training operators of gas-pumping aggregates. Proceedings of IV International Scientific and Technical Conference “Computer technology of decision support in dispatcher control of gas transport and production systems” - DISCOM-2009, 422–430.

7. Bukhvalov, R. I. (2007). Methods and algorithms for information support of control of gas transport system. Vladimir, 133.

8. Horbiichuk, M. I., Shchupak, I. V., Kimak, V. L. (2010). Method of integrated assessment of the technical state of gas pumping aggregates. Oil and gas energy, 2, 38–43.

9. Skripka, O. A. (2007). Control of technical condition of centrifugal pumps of gas-pumping aggregates on principles of neural networks. Ivano-Frankivsk, 222.

10. Idrisov, I. I. (2009). Algorithms of adaptation and fault tolerance of turbine engines control systems based on neural network technology. Ufa, 19.

11. Dushkov, B. A., Lomov, B. F., Smirnov, B. A. (1991). Reader on engineering psychology. Moscow: Higher School, 287.

12. Strelkov, Yu. K. (2001). Engineering and professional psychology. Moscow: Academy.

13. Matviienko, R. M. (2010). Comparative characteristics of object-oriented environments WinCC and LabVIEW to create computer training complexes. Scientific news of IME “Halytska Akademiya” (engineering sciences), 17 (1), 120–126.

*Дата надходження рукопису 19.03.2015*

**Замиховский Леонид Михайлович**, доктор технических наук, профессор, кафедра компьютерных технологий в системах управления и автоматике, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019  
E-mail: leozam@ukr.net

**Матвиенко Роман Михайлович**, ассистент, кафедра компьютерных технологий в системах управления и автоматике, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019  
E-mail: romanktsu@gmail.com