

## Разработка когнитивных мнемосхем для оптической SMART-технологии дистанционного обучения на основе искусственных иммунных систем

Г.А. Самигулина<sup>1,2</sup>, Т.И. Самигулин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,  
050010, Казахстан, г. Алматы, ул. Пушкина, д. 125,

<sup>2</sup> Казахстанско-Британский Технический Университет,  
050000, Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, д. 59

<sup>3</sup> Satbayev University, 050011, Казахстан, г. Алматы, ул. Сампаева, д.22,

### Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы, посвящённые разработке информационной оптической Smart-технологии дистанционного обучения распределённой системы управления Experion PKS фирмы Honeywell для нефтегазовой отрасли. Около 70% аварий на производстве вызваны человеческим фактором. Работа операторов заключается в наблюдении за высокотехнологичными процессами и управлении ими посредством мнемосхем и характеризуется повышенным напряжением зрительного аппарата, а также общей утомляемостью и потерей концентрации внимания. Инновационная персонализированная технология дистанционного обучения учитывает особенности зрения обучающихся с помощью корректировки цветоподачи учебного материала и динамического представления информации в зависимости от психотипа человека и основана на применении когнитивной, оптической и мультиагентной технологий, а также онтологическом и иммунносетевом подходах. Разработка когнитивных мнемосхем осуществляется с учётом этих особенностей, что позволяет снизить нагрузку на зрительный аппарат и повысить эффективность обучения практическим навыкам при работе с мнемосхемами. Подход искусственных иммунных систем используется для прогноза и оценки обучения, а также оперативной корректировки процесса получения знаний. Разработан модифицированный алгоритм функционирования дистанционной системы обучения на основе применения оптимизационных алгоритмов искусственного интеллекта и алгоритма иммунносетевого моделирования. Рассмотрены общие принципы создания мнемосхем и существующие мнемосхемы фирмы Honeywell. Приведён пример реализации предложенной дистанционной технологии, и представлены результаты моделирования когнитивных мнемосхем для различных категорий обучающихся с особенностями зрения.

**Ключевые слова:** оптическая Smart-технология, промышленный контроль, психология восприятия, дистанционное обучение людей с особенностями зрения и психотипа, когнитивные мнемосхемы, искусственная иммунная система.

**Цитирование:** Самигулина, Г.А. Разработка когнитивных мнемосхем для оптической SMART-технологии дистанционного обучения на основе искусственных иммунных систем / Г.А. Самигулина, Т.И. Самигулин // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, № 2. – С. 286-295. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-736.

**Citation:** Samigulina GA, Samigulin TI. Development of a cognitive mnemonic scheme for an optical Smart-technology of remote learning based of Artificial Immune Systems. Computer Optics 2021; 45(2): 286-295. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-736.

### Введение

На современных нефтегазовых предприятиях при управлении сложными технологическими процессами при наличии больших объёмов информации и необходимости обработки данных в режиме реального времени существенно повышаются риски принятия человеком ошибочных решений. Актуальной задачей является разработка когнитивных методов восприятия визуальной информации с экрана монитора для повышения эффективности работы [1], так как наблюдается повышенная нагрузка на зрение человека. Опубликовано много работ для различных прило-

жений, посвящённых этой проблеме [2]. Анализ статистических производственных данных показывает, что около 70% всех аварий вызваны человеческим фактором. Когнитивные методы активно используются при разработке сложных человеко-машинных интерфейсов, которые позволяют снижать процент аварийных ситуаций по вине оператора [3].

Мировой опыт [4] показывает интеграцию промышленности и инноваций при разработке стратегических планов развития и реализации программы «Индустрия 4.0». Поэтому особенно важно применение инновационных когнитивных оптических технологий и современных методов искусственного интел-

лекта при разработке графических мнемосхем, содержащих сигнальные изображения оборудования на дисплеях рабочих станций, операторских экранах и диспетчерских пультах.

Кроме того, удалённость объектов нефтегазовой отрасли и необходимость эффективного и качественного обучения технического персонала работе со современным сложным оборудованием является одной из важных задач, стоящих перед руководством высокотехнологичного промышленного производства. Мировые лидеры по производству оборудования, такие как Honeywell, Schneider Electric и др., уделяют большое внимание дистанционному обучению (ДО) технического персонала и практическим навыкам работы. Широко используется в нефтегазовой отрасли распределённая система управления (DCS, Distributed Control System) Experion PKS фирмы Honeywell, которая представляет собой комплекс инструментов для решения различных задач автоматизации начиная от сбора и обработки информации до оптимизации режимов работы технологических процессов [5].

При разработке информационной технологии дистанционного обучения для работы с оборудованием Experion PKS перспективным является использование подхода искусственных иммунных систем (Artificial Immune Systems, AIS). Данный подход активно используется для решения широкого круга задач при распознавании образов, оптимизации, прогнозировании, классификации, диагностике, кластеризации, при защите информации и в образовании. Например, в исследовании [6] рассматриваются вопросы, посвящённые проблеме распознавания зрительных образов в режиме реального времени с использованием Web-камеры на основе алгоритма искусственных иммунных систем. Показано преимущество применения AIS за счёт использования эффективного алгоритма обучения и параллельных вычислений.

Также широко используются модифицированные алгоритмы искусственных иммунных систем. Статья [7] посвящена диагностике неисправностей в беспроводных сенсорных сетях на основе алгоритма клонального отбора AIS и вероятностного подхода нейронной сети. Результаты моделирования показали перспективность использования данного метода. В работе [8] предлагается гибридный иммунный алгоритм (Hybrid-IA) для решения сложных задач комбинаторной оптимизации. Алгоритм разработан на принципах клонального отбора и процедуре локального поиска с применением детерминированного подхода для уточнения найденных решений. Результаты проведённого моделирования и сравнение с различными алгоритмами подтверждают эффективность и надёжность гибридного алгоритма с точки зрения наилучших найденных решений. В статье [9] описаны различные гибридные алгоритмы вычислительного интеллекта, сочетающие интеллектуальные и традиционные методы. Приводится сравнение эффектив-

ности выбранных биовдохновлённых методов оптимизации, таких как алгоритм роя частиц (PSO), эволюционный алгоритм (EA) и AIS для выбранных тестовых функций.

Предлагаемые в статье исследования являются продолжением большого цикла работ по дистанционному обучению инженерным специальностям. Например, в работе [10] разработана процедура сбора данных (OPC технология, OLE for Process Control) с реального промышленного объекта автоматизации для организации информационного обмена с интеллектуальной системой управления на основе искусственных иммунных систем. Данный подход позволяет обеспечить организацию дистанционного доступа к реальному оборудованию для обучающихся. Разработки [11] посвящены специализированной дистанционной технологии обучения людей с ограниченными возможностями зрения на основе подходов искусственного интеллекта и мультиагентного подхода. Исследования для людей с особенностями зрения, тестирование и эксперименты по определению цветовосприятия проводились на базе Алматинского филиала общественного объединения «Казахстанское общество слепых». Специфика дистанционного обучения операторов с различным психотипом и цветовосприятием рассмотрена в [12].

Предлагается следующая структура статьи: в первом параграфе приводится постановка задачи; второй параграф посвящён описанию применяемых методов, технологий и требований к разработке мнемосхем; в третьем параграфе представлен алгоритм функционирования дистанционной системы обучения на основе подхода AIS и сравнительный анализ с другими алгоритмами искусственных иммунных систем; четвёртый параграф посвящён разработке когнитивных мнемосхем и результатам экспериментов; в конце приводится заключение и список литературы.

### *1. Постановка задачи*

Целью исследований является разработка информационной оптической Smart-технологии для дистанционного персонализированного обучения распределённой системе управления Experion PKS фирмы Honeywell с учётом особенностей зрения и психотипа обучающихся с помощью корректировки цветоподачи учебного материала, динамического представления информации с использованием когнитивно-визуальных схем и разработки соответствующих когнитивных мнемосхем для мониторинга и управления оборудованием. Прогнозирование результатов обучения выполняется на основе модифицированных алгоритмов искусственных иммунных систем, по результатам которого осуществляется оперативная корректировка процесса обучения.

Введём определение Smart-технологии: это технология, представляющая собой интерактивную, коллективную, скоординированную высокоэффективную

деятельность и состоящая из большого количества независимых элементов, способных общаться друг с другом и окружающей средой [13].

## 2. Методы исследования и алгоритмы

Применение последних достижений в области искусственного интеллекта, психологии цветоподачи учебного материала с учётом особенностей зрения, когнитивных методик на основе психофизического восприятия [14] учебной информации и современных IT-технологий позволяет существенно повысить уровень профессиональной подготовки и интенсивность обучения операторов работе с высокотехнологичным оборудованием. Мнемосхемы предназначены для отображения функционально-технологической схемы объекта управления, контроля состояния объекта и сигнализации всех неисправностей. Так как мнемосхемы отражают текущее состояние систем, и в особенности аварийных режимов технологических процессов, то работа операторов связана с длительным наблюдением за ними, что приводит к значительным нагрузкам на зрительный аппарат. Желательно как можно меньше использовать красный и фиолетовый цвет при создании мнемосхем.

Предъявляются высокие эргономические требования [15] при разработке мнемосхем. Мнемосхема не должна содержать избыточной информации, а особенно важные для контроля за объектом элементы должны выделяться (цветом, яркостью, размером и т.д.). Например, контраст яркости между знаками и фоном желательно делать более 65%. Особое значение имеют сигналы, которые применяются при изменении состояния объекта, например «открыт–закрыт». Эти состояния должны также чётко выделяться цветом, формой и т.д. Повышенные требования предъявляются к специальным сигналам об аварийной ситуации. Интенсивность сигнала должна быть на 30–40% выше, чем при нормальной работе, также возможно применение прерывистого сигнала, что очень эффективно для привлечения внимания, так как человеческий глаз активно реагирует на движение.

### 2.1. Мнемосхемы фирмы Honeywell

Функции оператора пульта станции Honeywell заключаются в наблюдении за процессом и управлении им посредством мнемосхем [16]; оповещении и управлении сигналами технологического процесса; запросе отчётов по сигналам, графических трендах и анализе данных; выводе (на экран и на печать) исторических данных процесса и трендов; наблюдении за состоянием оборудования системы и т.д.

Мнемосхемы фирмы Honeywell делаются под определённый проект, также существуют системные мнемосхемы, которые представляют информацию по всей системе. Обычно используется 4 типа мнемосхем: Уровень 1 (мнемосхема общего уровня завода), Уровень 2 (мнемосхема общего обзора технологиче-

ской установки: теплообменники, насосы и т.д.), Уровень 3 (рабочие дисплеи, содержат все регуляторы и индикаторы для выполнения рутинных операций, а также реагирования на аварийные сбои), Уровень 4 (детальные интерактивные мнемосхемы сложного оборудования и дисплеи программ-последовательностей).

Все элементы оборудования, которые применяются на мнемосхемах Honeywell, являются стандартными (например, С-регулятор, G-насос). Цвета также определяют статус оборудования, что позволяет оператору сразу диагностировать необычные ситуации. Например, цвет иконок мнемосхем: зелёный цвет – нормально, работает, открыто; красный – аварийный сигнал, закрыто или отключено, жёлтый – недоступен, синий – точка выбрана и отображается на лицевой панели. Для состояния статуса регулятора используются цвета: красный – аварийный сигнал; мигающий красный – неподтверждённая сигнализация; сиреневый – сбой/обрыв связи; синий – точка выбрана.

### 2.2. Оптическая когнитивная Smart-технология ДО

На рис. 1 представлена структурная схема оптической когнитивной Smart-технологии дистанционного обучения операторов Experions PKS. В верхнем ряду выделены все технологии, которые используются при разработке дистанционного обучения. В нижнем ряду выделены подходы, которые применяются.

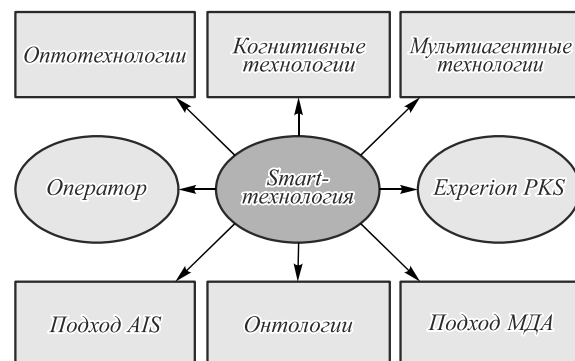


Рис. 1. Smart-технология дистанционного обучения операторов Experions PKS

Применение оптической технологии, основанной на психофизиологии восприятия информации на экране дисплея, в том числе цветовосприятия и особенностей зрения, позволяет повысить эффективность обучения работе со сложным технологическим оборудованием Experions PKS с использованием специально разработанных для обучения когнитивных мнемосхем и соответствующей подачи учебного материала.

Использование результатов психологических исследований по выявлению закономерностей восприятия информации и когнитивных технологий является актуальной проблемой при создании инновационной технологии ДО.

Зрительное восприятие информации с экрана монитора компьютера или специализированного дис-

плек характеризуется [17] определёнными предпочтительными стратегиями перемещения глаз в зависимости от предпочтительной начальной точки и траектории движения. Экспериментальные исследования показали, что для эффективного выделения сигнальных структур на панели информации рациональнее выбирать центр экрана либо располагать информацию слева направо в центральной части экрана.

Также доказана зависимость: чем больше величина объекта, тем меньше необходимо времени для его опознания.

Большую роль играет цветовосприятие человека в процессе обучения сложному промышленному оборудованию. Цвет [18] характеризуется следующими основными качествами: цветовым фоном (длиной волны), насыщенностью (доля основного фона плюс примеси других цветов), яркостью или светлотой (степенью близости к белому цвету). Также все цвета делятся на ахроматические (бесцветные: серые цвета различной светлоты) и хроматические (цветные: синий, зелёный, красный, жёлтый).

При создании когнитивных мнемосхем необходимо учитывать особенности восприятия цвета, которые зависят от возраста, пола, остроты зрения, физического и эмоционального состояния человека. Для определения объективных индивидуальных характеристик оператора, его психологического и физиологического состояния применяются различные тесты, например, на основе разработанной швейцарским психологом Максом Люшером методики цветных выборов [19]. Для различных психотипов предпочтителен определённый цвет [12]: для холерика – синий (длина цветовой волны 440–485 нм); для сангвиника – зелёный (550–565 нм); для меланхолика – жёлтый (565–590 нм); для флегматика – красный (565–590 нм).

Достаточно большой процент людей имеет проблемы со зрением в той или иной степени, начиная от различных стадий миопии (близорукости), гиперметропии (дальнозоркости) до проблем с цветовосприятием (дальтонизмом): протаноии, дейтераноии и тританоии.

Различными видами дальтонизма обычно страдают мужчины (10%) и очень мало женщин (1%). С помощью специальных фоторецепторов сетчатки в виде колбочек происходит распознавание оттенков трёх основных цветов: красного, синего и зелёного [20]. Протанопия характеризуется ослабленным восприятием красного цвета из-за отсутствия в колбочках сетчатки глаза пигмента эритролаба. Люди (протанопы) с данными особенностями зрения не отличают зелёные оттенки от красных. При дейтераноии обычно происходит невосприятие зелёного цвета (отсутствует пигмент хлоролаб), поэтому светло-зелёный цвет кажется тёмно-красным, фиолетовый – голубым, пурпурный – серым. Диагностика дейтеранопов осуществляется с помощью полихроматических таблиц Рабкина, когда на фоне, состоящем из

кружков различного цвета, изображены цифры или предметы. Людей с нарушением цветовосприятия оттенков синего цвета называют тританомалами (тританопами). Патология зрения обусловлена отсутствием фоторецепторов, отвечающих за восприятие синего цвета или соответствующего пигмента цианолаба в колбочках. Таблицы Рабкина, на которых изображены картины с цифрами определённого цвета, в то время как фон имеет другой цвет, помогают определять данную категорию людей. Тританомалы все оттенки синего и фиолетового цвета видят оттенками красного или зелёного.

Тестирование и определение различных видов дальтонизма у оператора особенно важно учитывать при работе с аварийными панелями.

Острота зрения также влияет на цветовое восприятие человека. Например, при миопии (близорукости) [11] у человека картинка проецируется перед сетчаткой и вследствие этого зрение хорошее вблизи и плохое вдали. Почти у каждого третьего наблюдаются разные стадии миопии. Для этой категории лиц рекомендуется использовать спокойные тона бледно-жёлтого или бледно-зелёного цвета (длина цветовой волны 640–590 нм). При гиперметропии (дальнозоркости) картинка проецируется после сетчатки, что даёт хорошее видение вдали и плохое вблизи. Эта особенность зрения широко распространена у людей пожилого возраста. При гиперметропии рекомендуются более насыщенные ярко-жёлтый или ярко-оранжевый цвета (длина цветовой волны 580–550 нм).

При миопии оператор лучше воспринимает важную информацию в верхнем левом углу, а при гиперметропии – в нижнем правом углу.

Рассматриваемая информационная технология ДО реализуется в классе мультиагентных систем с использованием мультиагентной платформы JADE [21]. Применение данного программного обеспечения определяется следующими преимуществами: возможностью оптимального использования вычислительных ресурсов, самоорганизацией, надёжностью, масштабируемостью, способностью к автономной работе агентов, расширению новыми модулями, а также эффективным взаимодействием между агентами.

Разработка базы знаний осуществляется на основе онтологического подхода. Онтологии используются для систематизации предметной области, входных и выходных параметров для создания более эффективного взаимодействия между агентами. Применяется подход MDA (Model Driven Architecture), при котором сначала создаются платформо-независимые онтологические модели, а затем эти модели преобразуются в платформо-зависимые [21].

### **3. Алгоритм искусственных иммунных систем**

Одной из характерных особенностей рассматриваемых систем ДО является обработка больших масси-

вов данных в режиме реального времени. Необходимо осуществить комплексную оценку знаний обучающихся на основе подхода искусственных иммунных систем с целью оперативного управления процессом дистанционного обучения и получения качественного индивидуального образования в среде Internet. Входными характеристиками AIS являются временные ряды, составленные из индивидуальных признаков обучающегося, которые определяются с помощью разработанной методики тестирования, составленной психологами, специалистами по данной дисциплине, офтальмологами и т.д. На выходе AIS получаем комплексную оценку знаний, группировку обучающихся по классам и прогноз качества полученного образования. Классы определяются экспертами и соответствуют определённым знаниям, навыкам практической работы, творческим способностям, логическому мышлению, психофизическому состоянию и особенностям зрения. Определяется интеллектуальный потенциал обучающегося в зависимости от класса, к которому он принадлежит, и оперативно предоставляется индивидуальная программа обучения с учетом особенностей личности [22].

Алгоритм функционирования информационной оптической когнитивной Smart-технологии ДО на основе AIS, применяемый для решения задачи распознавания образов и прогнозирования результатов обучения, приведен ниже.

*Алгоритм:*

**Шаг 1.** Создание базы знаний и базы данных (БД) индивидуальных дескрипторов, обучающихся на основе различных методик, анкетирования и тестирования по особенностям зрения (миопия или гиперметропия), и определение психотипа (холерик, сангвиник, меланхолик, флегматик) или сочетания нескольких психотипов. Также определяется уровень профессиональной подготовки, наличие практических навыков работы с оборудованием, логическое мышление, пол, возраст, особенности цветовосприятия и т.д.

**Шаг 2.** Обработка многомерных данных модифицированным иммунносетевым алгоритмом AIS:

2.1. Осуществляется предобработка дескрипторов на основе нормирования, центрирования, заполнение пропущенной информации в БД.

2.2. Построение оптимальной иммунной сети на основе решения задачи выделения информативных дескрипторов с использованием оптимизационных алгоритмов (например, Random Forest [23]).

2.3. С использованием экспертов осуществляется классификация обучающихся по уровням знаний, особенностям зрения, психофизиологического состояния и т.д.

2.4. Создаются формальные пептиды-эталон (антигены), соответствующие временному ряду, состоящему из дескрипторов, характеризующих обучающихся с определённым набором характеристик, по которым осуществляется обучение ин-

формационной системы. Временные ряды сворачиваются в квадратные матрицы-эталон [24].

2.5. Формируются пептиды – образы (антитела), которые для улучшения специфичности узнавания тоже сворачиваются в квадратные матрицы.

2.6. Сингулярное разложение этих матриц и определение левых и правых сингулярных векторов.

2.7. Решение задачи распознавания образов на основе определения минимальной энергии связи между формальными пептидами (антигенами и антителами).

2.8. Оценка энергетических погрешностей AIS на основе гомологичных белков [25].

2.9. Расчёт коэффициентов риска прогнозирования.

**Шаг 3.** Дистанционное обучение на основе сформированных индивидуальных траекторий обучения с использованием когнитивно-визуальных схем и динамической подачи учебной информации с учетом особенностей зрения и психотипа обучающихся.

**Шаг 4.** Разработка и обучение операторов практической работе с когнитивными мнемосхемами с использованием особенностей цветовосприятия в зависимости от состояния зрительного аппарата обучающегося и его психофизиологических особенностей.

**Шаг 5.** Комплексная оценка знаний, прогноз качества получаемого индивидуального дистанционного образования и оперативное управление процессами обучения.

Ниже в таблице приведен сравнительный анализ результатов моделирования на основе предлагаемого иммунносетевого алгоритма AIS и других алгоритмов искусственных иммунных систем: AIRS1, AIRS2, CLONALG.

Результаты моделирования для алгоритмов AIRS1, AIRS2, CLONALG получены с помощью программного продукта WEKA (пакет WEKA classifications), а для иммунносетевого алгоритма AIS в среде MATLAB [26].

Табл. 1. Сравнительный анализ алгоритмов

Эффективность	AIRS1	AIRS2	CLON-ALG	AIS
Accuracy	89 %	77 %	78 %	93,7 %
Classification Error	11 %	23 %	22 %	7 %
Precision	0,894	0,766	0,822	0,933
Recall	0,890	0,770	0,78	0,930
f-measure	0,891	0,767	0,786	0,928
Total Time	0,07 s	0,11 s	0,06 s	0,06 s

Из табл. 1 видно, что лучший результат показал иммунносетевой алгоритм AIS. Процедура оценки по гомологичным белкам позволяет улучшить распознавание пептидов на границах классов с почти одинаковой структурой, но относящихся к различным классам.

Предложенная Smart-технология на основе иммунносетевого алгоритма AIS может применяться для различных приложений, в том числе для распознавания зрительных образов.

#### 4. Результаты экспериментов

В качестве примера для разработки когнитивных мнемосхем рассмотрим технологический процесс очистки газа в агрегате дистилляционной колонны (ДК), который получил широкое распространение в нефтегазовой отрасли. Дистилляционные колонны имеют многосекционную конструкцию [27], состоящую из вертикального агрегата, внутри которого расположены тарелки, основной задачей которых является сепарация компонентов путем контакта газовых и жидких фаз; парового котла для нагрева жидкости (ребойлера); конденсатора для понижения температуры пара в верхней части колонны с целью получения конденсата и сбора в ёмкость для орошения.

На рис. 2 представлен технологический процесс очистки газа в ДК:

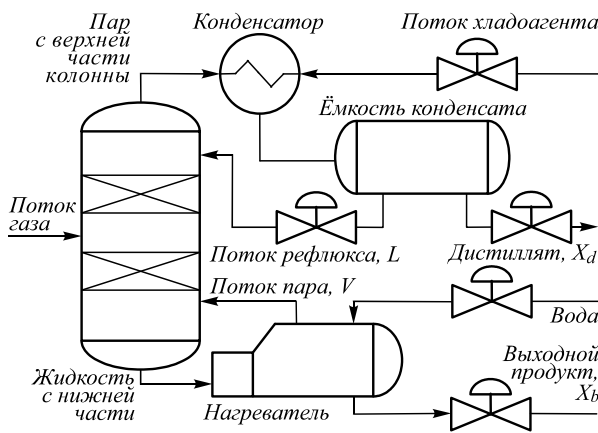


Рис. 2. Технологическая схема процесса очистки газа в дистилляционной колонне

Математический аппарат основывается на структуре  $L-V$ , где  $L$  – это скорость потока рефлюкса обратно в дистилляционную колонну, а  $V$  – скорость потока пара из нагревателя в нижнюю часть колонны. Входными параметрами объекта управления является скорость потока рефлюкса  $L$  и пара  $V$ . Выходными параметрами процесса являются желаемые концентрации дистиллята  $X_d$  и  $X_b$ . В зависимости от конфигурации колонны количество тарелок может варьироваться [28].

Согласно технологической схеме процесса очистки газа на рис. 3 приведена простая мнемосхема для мониторинга и управления оператором процесса очистки газа в ДК.

Следует отметить серую нейтральную цветовую гамму, которая обычно используется на мнемосхемах фирмы Honeywell.

Проведены исследования по визуальному восприятию информации с мнемосхем для студентов и преподавателей АО «Казахстанско-Британского Технического Университета». В опросе участвовало 162 человека из них 44,4% женщин и 55,6% мужчин в возрасте от 18 до 31 года. Результаты эксперимента позволили выявить закономерности в области фокусировки

человеческого зрения на операторском экране. Разработана дистанционная методика анкетирования и тест, состоящий из вопросов на тему «Когнитивное восприятие информации». При разработке когнитивных мнемосхем впервые учитываются особенности восприятия информации у дальтоников, а также людей, владеющих правой или левой рукой в качестве основной.

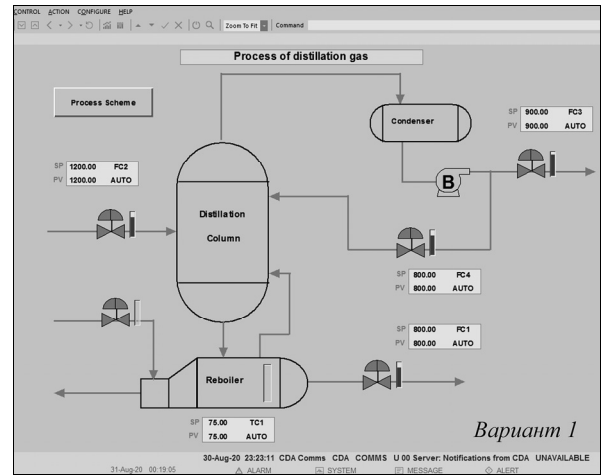


Рис. 3. Простая мнемосхема

В результате эксперимента определено, что проблемы со зрением существуют у 67,3% опрошенных, из них 34,6% человек со слабой миопией, 27,8% с сильной миопией и 3% с гиперметропией. Помимо этого, 1,9% опрошенных имеют цветовую слепоту (дальтонизм).

Перед испытуемыми (вне зависимости от состояния зрения) были представлены НМИ-дисплеи с операторскими экранами, и предложено указать, какой графический объект определен в первую очередь. На рис. 4 предложен вариант мнемосхемы (параграфеной условно на семь областей) для определения фокусировки внимания обучающихся.

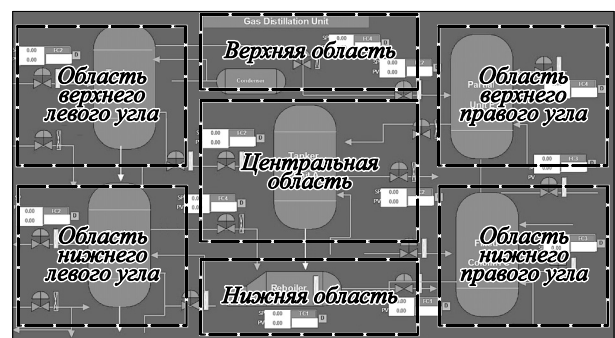


Рис. 4. Вариант мнемосхемы для определения фокусировки внимания по семи областям

Большинство людей с нормальной остротой зрения [29, 30] воспринимают информацию следующим образом: лучше всего усваивается информация, расположенная на дисплее в правом верхнем углу (33% внимания), левый верхний угол учебного поля (28%), правый нижний (23%) и левый нижний угол (16%).

На рис. 5 представлены результаты опроса, которые в процентном соотношении показывают, какие из семи областей привлекают внимание в первую очередь. Наибольшее внимание притягивает центр мнемосхемы (68,5%), затем верхний левый угол (10,9%), область вверху посередине экрана (7,3%) и т.д. Меньше всего внимания привлекает нижний левый угол (1,2%).

**Какой объект на мнемосхеме был прочтён в первую очередь? (162 ответа)**

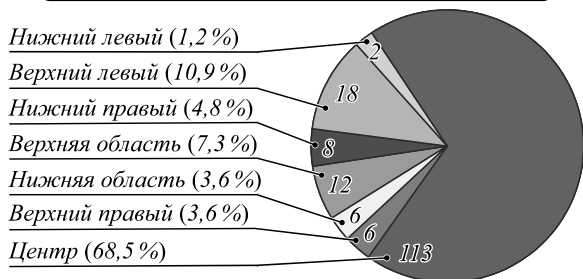


Рис. 5. Процентное соотношение фокусировки внимания для семи областей мнемосхемы

Далее на рис. 6 предлагается вариант мнемосхемы (разделённой условно на четыре области) для определения фокусировки внимания.

На рис. 7 в процентном соотношении показано распределение фокусировки внимания. Видно, что ярко выражено внимание к верхнему левому углу операторского экрана (45,5%) и верхнему правому углу (42,4%).

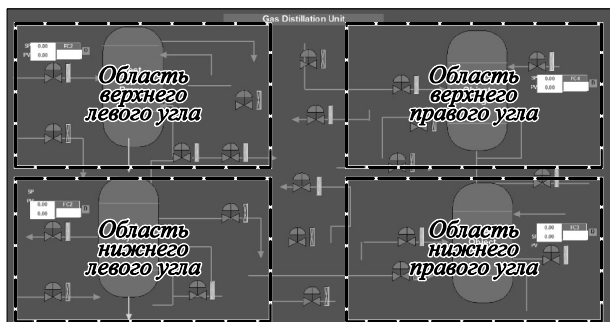


Рис. 6. Вариант мнемосхемы для определения фокусировки внимания по четырём областям

**Какой объект на мнемосхеме был прочтён в первую очередь? (162 ответа)**

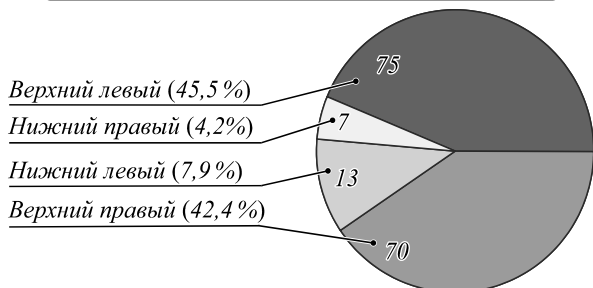


Рис. 7. Процентное соотношение фокусировки внимания для четырёх областей мнемосхемы

Таким образом, нижняя область экрана неинформативна и не предназначена для расположения критически важной информации.

Рассмотрим статистику для людей, имеющих проблемы со зрением. На рис. 8 представлены статистические данные для людей с миопией.

**Фокусировка внимания людей, больных миопией, для мнемосхемы с четырьмя объектами**

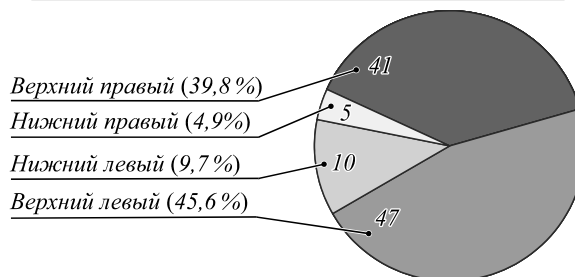


Рис. 8. Фокусировка внимания на мнемосхеме у людей с миопией

Как видно из круговой диаграммы, у людей с близорукостью внимание акцентируется на верхнюю левую область НМИ-дисплея (45,6% опрошенных) и чуть менее на верхнюю правую область (39,8%). По результатам анализа опроса можно заключить, что для людей с миопией наиболее важную информацию на мнемосхеме предпочтительно располагать в верхнем левом углу монитора.

Также получены результаты по восприятию графической информации у людей сенестралов (леворуких) и декстралов (праворуких).

Из 162 респондентов оказалось 4,9% сенестралов, 92% декстралов и 3,1% владеющих двумя руками. В зависимости от того, является ли человек сенестралом или декстралом (для мнемосхемы с четырьмя объектами) статистика выглядит следующим образом: люди, владеющие левой рукой, заострили внимание на верхнем правом углу в 87,5% случаев. В то же время у респондентов-декстралов наоборот, преобладает левый верхний угол в 47,3% случаев.

На рис. 9 и 10 в процентном соотношении приведена статистика восприятия информации у сенестралов и декстралов.

**Восприятие объектов у сенестралов на мнемосхеме с четырьмя объектами**

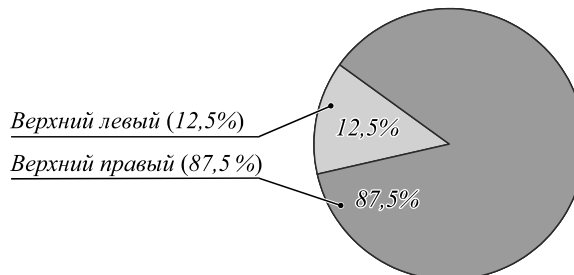


Рис. 9. Восприятие объектов на мнемосхеме у сенестралов

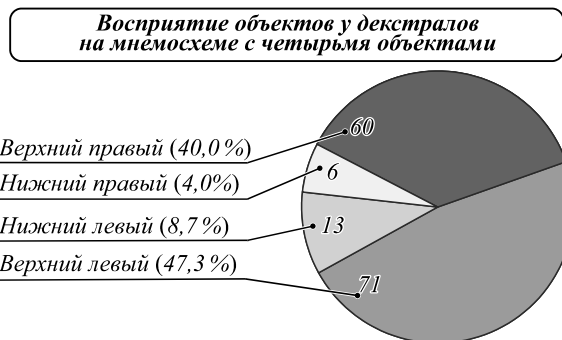


Рис. 10. Восприятие объектов на мнемосхеме у декстралов

Для поиска наиболее подходящей световой гаммы респондентам представили два варианта оформления мнемосхемы: стандартный серый (вариант 1, рис. 3) и цветной (вариант 2, рис. 11). Обучающимся предложили определить, какой вариант наиболее приемлем для длительного визуального контакта.

По результатам опроса выявлено, что 81,8% опрошенных предпочли цветной вариант мнемосхемы, оформленный синими тонами, несущий меньшую нагрузку на зрительный аппарат, что подтверждает ранее проведённые исследования [11, 12].

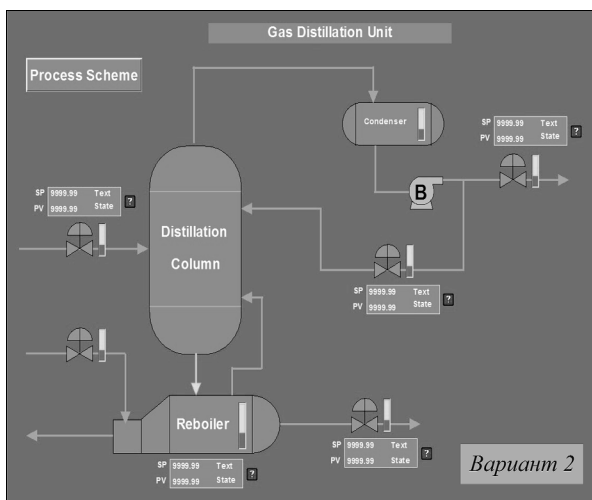


Рис. 11. Когнитивная мнемосхема для определения лучшей цветовой гаммы

Так как больше половины обучающихся имеют различную степень миопии, то актуальна разработка когнитивных мнемосхем с учётом этих особенностей зрения. На рис. 12 приведён пример разработанной когнитивной мнемосхемы для операторов с миопией.

Наиболее важная информация при миопии согласно проведенным экспериментам располагается в верхнем левом углу. Однако если обучающийся является сенестралом, то лучше важную информацию сместить в правый верхний угол. Таким образом, разработка когнитивных мнемосхем, основанных на особенностях обработки визуальной информации человеком, позволит существенно снизить риски аварийных ситуаций при длительном наблюдении за несколькими консолями.

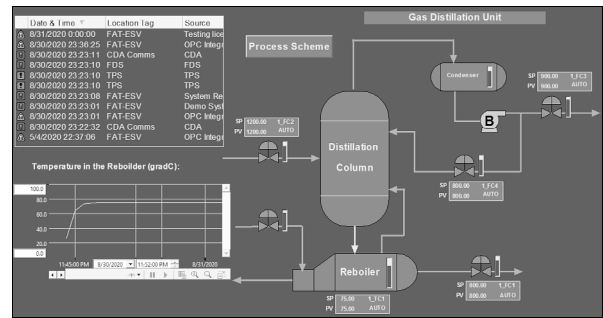


Рис. 12. Когнитивная мнемосхема для людей с миопией

## Заключение

Разработанный подход ДО с применением современных когнитивных визуальных методик обучения, с использованием специализированных когнитивных мнемосхем позволяет интенсифицировать процесс обучения обслуживающего персонала и обеспечить высокое качество подготовки технических специалистов нефтегазовой отрасли в самые короткие сроки. Предлагаемая методика эргономического проектирования когнитивных мнемосхем может быть использована при создании сложных промышленных мнемосхем, что позволит снизить нагрузку на зрение и улучшить психологический комфорт оператора.

## Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке КН МОН РК в рамках научного проекта № AP09258508 на тему: «Разработка интеллектуальной технологии управления сложными объектами на основе унифицированной искусственной иммунной системы для промышленной автоматизации с использованием современной микропроцессорной техники» (2021 – 2023 гг.).

## Литература

1. **Kothe, C.A.** BCILAB: A platform for brain-computer interface development / C.A. Kothe, S. Makeig // *Journal of Neural Engineering*. – 2013. – Vol. 10, Issue 5. – 056014. – DOI: 10.1088/1741-2560/10/5/056014.
2. **Major, T.** A survey of brain computer interfaces and their applications / T. Major, J. Conrad // *IEEE SOUTH-EASTCON 2014*. – 2014. – P. 1-9. – DOI: 10.1109/SECON.2014.6950751.
3. **Filippis, L.** Cognitive based design of a human machine interface for telenavigation of a space rover / L. Filippis, E. Gaia, G. Guglieri, M. Re, C. Ricco // *Journal of Aerospace Technology and Management*. – 2014. – Vol. 6, Issue 4. – P. 415-430.
4. **de Candia, G.** Industry 4.0 and its aberrations [Electronical Resource] / G. de Candia. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/337949690\\_Industry\\_40\\_and\\_its\\_aberrations\\_\(request\\_date\\_14.01.2020\)](https://www.researchgate.net/publication/337949690_Industry_40_and_its_aberrations_(request_date_14.01.2020)). – DOI: 10.13140/RG.2.2.36086.96323.
5. **Парьев, Г.В.** Централизованная система управления технологическими объектами на базе Единой операторной ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» / Г.В. Парьев // *Автоматизация в промышленности*. – 2015. – № 7. – С. 41-47.



6. **Михерский, Р.М.** Применение искусственной иммунной системы для распознавания зрительных образов / Р.М. Михерский // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 1. – С.113-117. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-113-117.
7. **Mohapatra, S.** Fault diagnosis in wireless sensor network using clonal selection principle and probabilistic neural network approach / S. Mohapatra, P.M. Khilar, R.R. Swain // International Journal of Communication Systems. – 2019. Vol. 32, Issue 12. – e4138. – DOI: 10.1002/dac.4138.
8. **Cutello, V.** A hybrid immunological search for the weighted feedback vertex set problem / V. Cutello, M. Oliva, M. Pavone, R.A. Scillo. – In: Learning and Intelligent Optimization / ed. by N.F. Matsatsinis, Y. Marinakis, P. Pardalos. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2020. – P. 1-16. – DOI: 10.1007/978-3-030-38629-0\_1.
9. **Burczynski, T.** Intelligent computing techniques / T. Burczynski, W. Kuś, W. Beluch, M. Szczepanik. In: Intelligent computing in optimal design / T. Burczynski, W. Kuś, W. Beluch, A. Długosz, A. Poteralski, M. Szczepanik. – 2020. – P. 17-76. – DOI: 10.1007/978-3-030-34161-9\_3.
10. **Samigulina, G.A.** Intelligent system of distance education of engineers, based on modern innovative technologies / G.A. Samigulina, Z.I. Samigulina // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2016. – Vol. 228. – P. 229-236. – DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.07.034.
11. **Samigulina, G.A.** Innovative intelligent technology of distance learning for visually impaired people / G.A. Samigulina, A.S. Shayakhmetova, A.T. Nyusupov // Open Engineering. – 2017. – Vol. 7, Issue 1. – P. 444-452.
12. **Самигулина, Г.А.** Когнитивная Smart-технология дистанционного обучения современному оборудованию промышленной автоматизации / Г.А. Самигулина, Ж.С. Лукманова // Вестник НТУ «ХПИ». – 2018. – № 42(1318). – С. 160-170.
13. **Krishnamurthy, E.V.** On engineering smart systems / E.V. Krishnamurthy, M.V. Kris // Proceedings KES of the 9<sup>th</sup> International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. – 2005. – Vol. 3. – P. 505-512.
14. **Белоскова, К.В.** Экспериментальное исследование порядка восприятия текстовой информации на экране дисплея / К.В. Белоскова, С.Л. Артеменков. – В кн.: Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы / под ред. В.А. Барабанщикова. – Москва: Издательство "Институт психологии РАН", 2010. – С. 230-234.
15. **ГОСТ Р МЭК 60073-2000.** Интерфейс человеко-машинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 24 с.
16. **Rieger, C.** Industrial Control Systems Security and Resiliency / C. Rieger, I. Ray, Q. Zhu, M. Haney. – Springer, 2019. – 276 p. DOI: 10.1007/978-3-030-18214-4.
17. **Александров, Ю.И.** Психофизиология : Учебник для вузов / Ю.И. Александров. – 4-е изд. – СПб: Питер, 2018. – 464 с.
18. **Luo, R.** Encyclopedia of color science and technology / R. Luo. – New York: Springer Science+Business Media, 2016.
19. **Спасенников, В.В.** Феномен цветовосприятия в эргономических исследованиях и цветоконсультировании / В.В. Спасенников // Эргодизайн. – 2019. – № 2. – С. 51-59.
20. Патология тританопии – не различаю синий цвет [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://ofthalm.ru/tritanopija-tritanomalija.html/> (дата обращения 15.01.2020).
21. **Samigulina, G.A.** Cognitive Smart technology of distance learning of experion PKS distributed control system for oil and gas industry using ontological approach / G.A. Samigulina, Z.I. Samigulina, Zh.S. Lukmanova // News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2020. – No. 1(439). – P. 23-31.
22. **Самигулина, Г.А.** Разработка интеллектуальной системы управления дистанционным образованием на основе иммуносетевого моделирования (программа для ЭВМ) / Г.А. Самигулина, З.И. Самигулина // Свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности в Комитете по правам интеллектуальной собственности МЮ РК. – Астана, 27 декабря 2010. – № 1882.
23. **Samigulina, G.A.** Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control / G.A. Samigulina, Z.I. Samigulina // Artificial Intelligence Review. – 2019. – Vol. 52, Issue 4. – P. 2457-2473.
24. **Tarakanov, A.** Foundations of immunocomputing / A. Tarakanov, G. Nicosia // Proceedings of the 1<sup>st</sup> IEEE Symposium of Computational Intelligence. – 2007. – P. 503-508.
25. **Samigulina, G.A.** Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems / G.A. Samigulina // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73, Issue 2. – P. 397-403.
26. **Самигулина, Г.А.** «Data Analyzer» (программа для ЭВМ) / Г.А. Самигулина, З.И. Самигулина // Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. – Астана, 4 декабря 2013. – № 1601.
27. **Minh, V.T.** Modeling and control of distillation column in a petroleum process / V.T. Minh, A.A. Rani // Mathematical Problems in Engineering. – 2009. – Vol. 2009. – 404702.
28. **Liu, Ch.** Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization / Ch. Liu // Cluster Computing. – 2018. – Vol. 22. – P. 3479-3486.
29. **Гаряев, А.В.** Психолого-физиологические особенности визуального восприятия информации и их учет при создании учебных презентаций / А.В. Горяев, Т.П. Горяева // Вестник ПГПУ. – 2008. – № 4. – С. 106-113.
30. **Klingberg, T.** Training and plasticity of working memory / T. Klingberg // Trends in Cognitive Sciences. – 2010. – Vol. 14, Issue 7. – P. 317-324.

#### Сведения об авторах

**Самигулина Галина Ахметовна**, доктор технических наук, 1965 года рождения, в 1982 году окончила Казахский политехнический институт по специальности «Автоматика и телемеханика», работает заведующей лабораторией интеллектуальных систем управления и прогнозирования Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК. Область научных интересов: искусственный интеллект, прогнозирование, искусственные иммунные системы, распознавание образов, управление сложными объектами, дистанционное

обучение людей с особенностями зрения, когнитивные мнемосхемы для систем промышленной автоматизации, когнитивные оптотехнологии психофизического цветовосприятия, оптоинформатика.

E-mail: [kz.galinasamigulina@gmail.com](mailto:kz.galinasamigulina@gmail.com).

**Самигулин Тимур Ильдусович**, докторант, 1994 года рождения, окончил Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева по специальности «Автоматизация и управление», работает заведующим лабораторией «Honeywell» в Казахстанско-Британском Техническом Университете. Область научных интересов: искусственный интеллект, когнитивная компьютерная оптика, распределённые системы управления, обработка изображений, когнитивные мнемосхемы. E-mail: [timur.samigulin@yandex.kz](mailto:timur.samigulin@yandex.kz).

ГРНТИ: 28.23.24

Поступила в редакцию 15 апреля 2020 г. Окончательный вариант – 23 сентября 2020 г.

---

# Development of a cognitive mnemonic scheme for an optical Smart-technology of remote learning based of Artificial Immune Systems

G.A. Samigulina<sup>1,2</sup>, T. I. Samigulin<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Information and Computing Technologies  
of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan,  
050010, Kazakhstan, Almaty, st. Pushkin 125,*

<sup>2</sup>*Kazakhstan-British Technical University,  
050000, Kazakhstan, Almaty, st. Tole bi 59*

<sup>3</sup>*Satbayev University, 050011, Kazakhstan, Almaty, st. Satpaev 22,*

## Abstract

The article discusses current issues related to the development of an information optical Smart technology for distance learning of Honeywell's distributed Experion PKS control system for the oil and gas industry. About 70 % of industrial accidents are caused by the human factor through the fault of operators. The work of operators consists in monitoring and managing high-tech processes through mnemonic scheme circuits and is characterized by increased tension in the visual apparatus, as well as general fatigue and loss of concentration. The innovative personalized technology of distance learning takes into account the peculiarities of students' vision by adjusting the color supply of educational material and the dynamic presentation of information depending on the person's psychotype and is based on the use of cognitive, optical, multi-agent technologies, as well as ontological and immuno-network approaches. The development of cognitive mnemonic schemes is carried out taking into account these features, which allows one to reduce the load on the visual apparatus and increase the effectiveness of teaching practical skills when working with mnemonic schemes. An artificial immune systems approach is used to predict and evaluate the learning process and promptly adjust the knowledge obtaining process. A modified algorithm for the functioning of a distance learning system based on the use of optimization algorithms for artificial intelligence and an algorithm for immuno-network modeling has been developed. General principles of creating mimic diagrams and existing Honeywell mnemonic schemes are considered. An example of the implementation of the proposed remote technology is presented and results of the simulation of cognitive mnemonic scheme for various categories of students with special needs are discussed.

**Keywords:** optical Smart-technology, industrial control, color, psychology of perception, distance learning for people with vision and psycho type, cognitive mimic, artificial immune system.

**Citation:** Samigulina GA, Samigulin TI. Development of a cognitive mnemonic scheme for an optical Smart-technology of remote learning based of Artificial Immune Systems. *Computer Optics* 2021; 45(2): 286-295. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-736.

**Acknowledgements:** This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic Kazakhstan (Grant No. AP09258508).

## References

- [1] Kothe CA, Makeig S. BCILAB: A platform for brain-computer interface development. *J Neural Eng* 2013; 10(5): 056014. DOI: 10.1088/1741-2560/10/5/056014.
  - [2] Major T, Conrad J. A survey of brain computer interfaces and their applications. *IEEE SOUTHEASTCON 2014*: 1-9. DOI: 10.1109/SECON.2014.6950751.
  - [3] Filippis L, Gaia E, Guglieri G, ReM, Ricco C. Cognitive based design of a human machine interface for telenavigation of a space rover. *J Aerosp Technol Manag* 2014; 6(4): 415-430.
  - [4] de Candia G. Industry 4.0 and its aberrations. Source: ([https://www.researchgate.net/publication/337949690\\_Industry\\_4\\_0\\_and\\_its\\_aberrations](https://www.researchgate.net/publication/337949690_Industry_4_0_and_its_aberrations)). DOI: 10.13140/RG.2.2.36086.96323.
  - [5] Paryev GV. Centralized control system for technological facilities based on the Unified Operator LLC «LUKOIL-Volgogradneftepererabotka» [In Russian]. *Automation in Industry* 2015; 7: 41-47.
  - [6] Mikherskii RM. The use of artificial immune systems for the recognition of visual images. *Computer Optics* 2018; 42(1): 113-117. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-1-113-117.
  - [7] Mohapatra S, Khilar PM, Swain RR. Fault diagnosis in wireless sensor network using clonal selection principle and probabilistic neural network approach. *Int J Commun Syst* 2019; 32(12): e4138. DOI: 10.1002/dac.4138.
  - [8] Cutello V, Oliva M, Pavone M, Scollo RA. A hybrid immunological search for the weighted feedback vertex set problem. In Book: Matsatsinis N, Marinakis Y, Pardalos P, eds. *Learning and Intelligent Optimization*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2020: 1-16. DOI: 10.1007/978-3-030-38629-0\_1.
-

- 
- [9] Burczynski T, Kuś W, Beluch W, Szczepanik M. Intelligent computing techniques. In Book: Burczynski T, Kuś W, Beluch W, Długosz, A, Poteralski A, Szczepanik M. Intelligent computing in optimal design. Switzerland AG: Springer International Publishing; 2020: 17-76. DOI: 10.1007/978-3-030-34161-9\_3.
- [10] Samigulina GA, Samigulina ZI. Intelligent system of distance education of engineers, based on modern innovative technologies. *Procedia Soc Behav Sci* 2016; 228: 229-236. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.07.034.
- [11] Samigulina GA, Shayakhmetova AS, Nyusupov AT. Innovative intelligent technology of distance learning for visually impaired people. *Open Eng* 2017; 7(1): 444-452.
- [12] Samigulina GA, Lukmanova ZhS. Cognitive Smart-technology of distance learning for modern industrial automation equipment [In Russian]. *Bulletin of NTU "KhPI"* 2018; 42(1318): 160-170.
- [13] Krishnamurthy EV, Kris MV. On engineering smart systems. *Proceedings KES of the 9<sup>th</sup> International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems 2005*; 3: 505-512.
- [14] Beloskova K.V., Artemenkov S.L. An experimental study of the order of perception of textual information on a display screen [In Russian]. In Book: Barabanschikov VA, ed. *Experimental Psychology in Russia: Traditions and Prospects*. Moscow: "Institute of Psychology RAS" Publisher; 2010: 230-234.
- [15] GOST R IEC 60073-2000. The interface is human-machine. Marking and designation of governing bodies and control devices [In Russian]. Moscow: "IPK Izdatel'stvo Standartov" Publisher; 2000.
- [16] Rieger C, Ray I, Zhu Q, Haney M. *Industrial Control Systems Security and Resiliency*. Springer, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-18214-4.
- [17] Alexandrov Yul. *Psychophysiology. Textbook for high schools* [In Russian]. 4th ed.. Saint-Petersburg: "Piter" Publisher; 2018.
- [18] Luo R. *Encyclopedia of color science and technology*. New York: Springer Science+Business Media; 2016.
- [19] Spasennikov VV. The phenomenon of color perception in ergonomic studies and color consulting [In Russian]. *J Ergodesign* 2019; 2: 51-59.
- [20] The pathology of tritanopia – I do not distinguish blue color [In Russian]. Source: (<https://ofthalm.ru/tritanopija-tritanomalija.html/>).
- [21] Samigulina GA, Samigulina ZI, Lukmanova ZhS. Cognitive Smart technology of distance learning of Experion PKS distributed control system for oil and gas industry using ontological approach. *News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences* 2020; 1(439): 23-31.
- [22] Samigulina GA, Samigulina ZI. Development of the intelligent distance education control system based on immunonetwork modeling (computer program) [In Russian]. Certificate of state registration of an intellectual property in the Committee on Intellectual Property Rights of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan. Astana, December 27, 2010, No. 1882.
- [23] Samigulina GA, Samigulina ZI. Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control. *Artif Intell Rev* 2019; 52(4): 2457-2473.
- [24] Tarakanov A, Nicosia G. Foundations of immunocomputing. *Proceedings of the 1<sup>st</sup> IEEE Symposium of Computational Intelligence 2007*: 503-508.
- [25] Samigulina GA. Development of the decision support systems on the basis of the intellectual technology of the artificial immune systems. *Autom Remote Control* 2012; 73(2): 397-403.
- [26] Samigulina GA, Samigulina ZI. Data\_Analyzer (computer program) [In Russian]. Certificate of state registration of rights to the copyright object. Astana, December 4, 2013, No. 1601.
- [27] Minh VT, Rani AA. Modeling and control of distillation column in a petroleum process. *Math Probl Eng* 2009; 2009: 404702.
- [28] Liu Ch. Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization. *Cluster Comput* 2018; 22: 3479-3486.
- [29] Garyaev AV, Garyaeva TP. Psychological and physiological features of the visual perception of information and their accounting when creating educational presentations [In Russian]. *Bulletin of PSPU* 2008; 4: 106-113.
- [30] Klingberg T. Training and plasticity of working memory. *Trends Cogn Sci* 2010; 14(7): 317-324.
- 

#### *Authors' information*

**Galina Akhmetovna Samigulina** (b.1965), Doctor of Engineering, graduated from Kazakh Polytechnic Institute in 1982 with a degree in 0511 Automation and Telemechanics, works as the head of the laboratory of Intelligent Control and Forecasting Systems at the Institute of Information and Computing Technologies of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Research interests: artificial intelligence, forecasting, artificial immune systems, pattern recognition, management of complex objects, distance learning for people with visual impairments, cognitive mnemonic schemes for industrial automation systems, cognitive opto-technologies of psychophysical color perception, opto-informatics. Email: [kz.galinasamigulina@gmail.com](mailto:kz.galinasamigulina@gmail.com).

**Timur Ildusovich Samigulin** (b.1994), PhD student, in 2019 graduated from the Kazakh National Technical University named after K.I. Satpaeva, specialty 0646 "Automation and Control", works as the head of the «Honeywell» laboratory at the Kazakh-British Technical University. Research interests: artificial intelligence, cognitive computer optics, distributed control systems, image processing, cognitive mnemonic schemes. E-mail: [timur.samigulin@yandex.kz](mailto:timur.samigulin@yandex.kz).

---

*Received April 15, 2020. The final version – September 23, 2020.*

---