 © Авторы статьи / Authors of the article

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

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ЦИФРОВОГО ОПЕРАТОРА ДЛЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ

Научная статья

Горюнов А.Г.[1], Суханов Е.А.[2, *], Сапцына А.Ю.[3]
[1] ORCID : 0000-0002-2685-2557;
[1, 2, 3] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eas70[at]tpu.ru)

Аннотация

В рамках работы рассматривается разработка модуля виртуальной среды обучения, позволяющего моделировать действия оператора пункта управления в различных ситуациях при выполнении им штатных рабочих процессов и процедур немедленного реагирования на чрезвычайные события. В основе данного модуля применяется математическая модель и метод Монте-Карло, взаимосвязь которых позволяет генерировать и описывать последовательности выдаваемых в систему сигналов. При этом важным моментом разработки является учет теоретических знаний оператора, выполняющего реагирование на происходящие события и вероятности срабатывания технического средства, передающего тревожный сигнал сотруднику. В результате проведенных тестирований модуля сформированы результаты, представляющие собой вероятности выполнения цифровым оператором всех совершенных действий.

Ключевые слова: модуль цифрового оператора, технологическая платформа обучения, виртуальная среда обучения, цифровой двойник оператора, система безопасности.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL OPERATOR MODULE FOR A TRAINING PLATFORM

Research article

Goryunov A.G.[1], Suhanov E.A.[2, *], Saptsina A.Y.[3]
[1] ORCID : 0000-0002-2685-2557;
[1, 2, 3] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

* Corresponding author (eas70[at]tpu.ru)

Abstract

Within the work, the development of a virtual training environment module is examined, allowing the simulation of control centre operator actions in various situations when performing routine work processes and procedures for immediate response to emergency events. This unit is based on a mathematical model and the Monte Carlo method, which work together to generate and describe the sequences of signals sent to the system. An important part of the development is taking into account the theoretical knowledge of the operator responding to events and the probability of the technical device that sends the alarm signal to the employee. As a result of testing the module, outcomes were generated representing the probabilities of a digital operator performing all actions.

Keywords: digital operator module, technological training platform, virtual training environment, digital operator twin, security system.

Введение

Ввиду актуальности вопросов обеспечения безопасности особо опасных производств, существует необходимость в создании инструментов, позволяющих проводить подготовку специалистов и оценивать их действия в обычных и особенно в чрезвычайных ситуациях [1], [2], [3], [4]. Подготовка специалистов вышеупомянутых объектов связана с потенциальным риском, поэтому предлагается использовать тренировочную платформу [3]. Преимуществом применения платформы является трансформация обучающего объекта, тем самым позволяя проводить подготовку персонала на различном оборудовании и ситуациях. Такой подход дает возможность обеспечить максимальную вариативность тренировочных ситуаций, однако усложняет структуру платформ в связи с тем, что появляется необходимость учитывать различия в действиях персонала на разных объектах. Решением проблемы является создание цифрового портрета оператора, позволяющего моделировать действия человека или же оценивать правильность путем соотнесения получаемого результата моделирования к тестируемому специалисту. Поэтому под цифровым портретом будем понимать набор индивидуальных характеристик оператора, полученных благодаря различным методам тестирования реакции и позволяющий сделать вывод о профессиональных навыках сотрудника. В платформе за это будет отвечать отдельный модуль, представим на рисунке 1 взаимодействия данного модуля с платформой.

 © Авторы статьи / Authors of the article

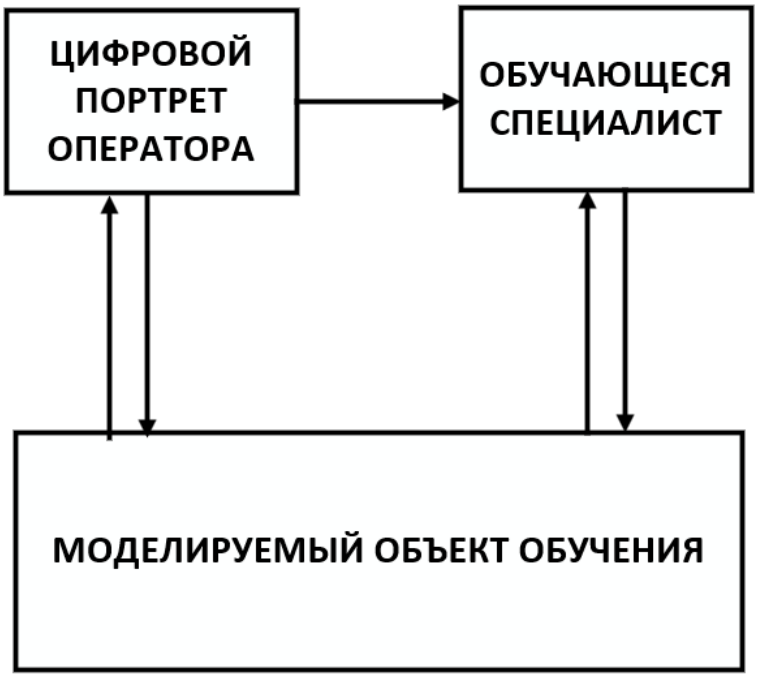

Рисунок 1 - Структура обучающей платформы
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29.1

Таким образом, целью работы является разработка модуля цифрового портрета оператора пункта управления системой безопасности, обеспечивающего необходимую вариативность тренировочных ситуаций при обучении персонала с имитацией данных, поступающих с технических средств защиты.

Основанная часть

Входными данными моделирования являются данные об объекте, к которым относятся данные о системе безопасности объекта, о нарушителе и информация, поступающая с технических средств защиты.

Данные о системе безопасности объекта включают в себя большой комплекс элементов, а именно:

- сведения о вооруженной охране;
- сведения об организационных мерах: установленный режим допуска и доступа, наличие охраны, организация пропускного и внутриобъектового режима и др.;
- сведения об инженерно-технических средствах защиты [5].

Данные о нарушителе представляют собой совокупность информации о численном составе группы, их физической подготовке, оснащенности (наличие вооружения, взрывчатых веществ, транспортных средств и другого специального оборудования), а также об их тактике действий.

Данными, поступающими с технических средств защиты, в виде сигналов, полученные оператором от:

- периметровых средств обнаружения;
- системы тревожно-вызывной сигнализации;
- системы оптико-электронного наблюдения;
- системы оперативной связи и оповещения.

Срабатывания вышеперечисленных компонентов в дальнейшем помогает сотруднику оценить сложившуюся обстановку с помощью видеонаблюдения, проанализировать ситуацию и ввести необходимые команды управления на пульте управления [6]. Представим упрощенную информационную схему модели модуля цифрового оператора пункта управления, представленного на рисунке 2. На ней изобразим входные и выходные параметры моделирования.

 © Авторы статьи / Authors of the article

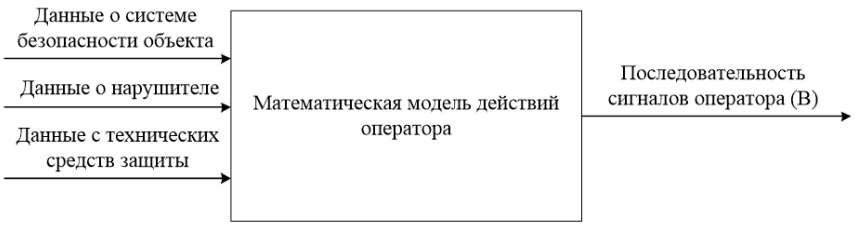

Рисунок 2 - Информационная схема математической модели цифрового портрета
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29.2

Выходными данными моделирования является последовательность сигналов оператора, то есть, вся очередность деятельности, которую выполнил сотрудник при решении вопросов безопасности при чрезвычайной ситуации.

Также стоить отметить, что на пункте управления в обязательном порядке присутствуют как минимум два оператора, осуществляющие управление в системе безопасности. В этом случае можно будет осуществить перераспределение сигналов тревоги между работниками в зависимости от смоделированных ситуаций:

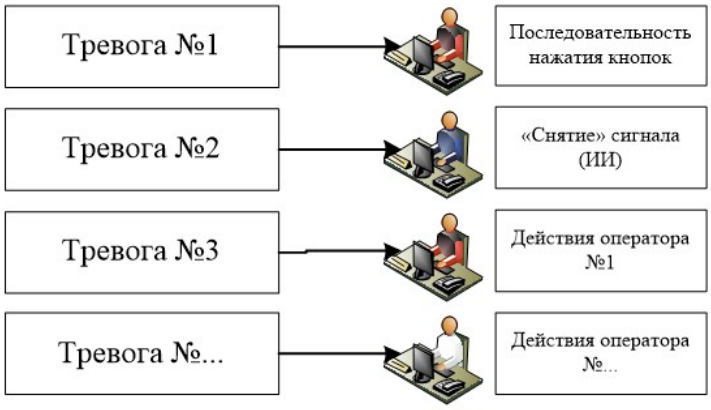

Рисунок 3 - Вид выходного сигнала
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29.3

На основании получаемой последовательности производится детальный анализ действий оператора и делается вывод об его профессиональной подготовке [7]. В случае выявления наиболее слабых сторон оцениваемого человека цифровая модель станет основой для формирования и выстраивания индивидуального плана обучения с различными вариантами корректировки теоретических знаний и практически умений до необходимого уровня.

Для данного цифрового портрета существует возможность использования двух сценариев оценивания работы оператора:

1. Совместная согласованная работа оператора №1 и оператора №2;
2. Воспрепятствование работе оператора №1 оператором №2.

В первом варианте оба оператора являются хорошо подготовленными специалистами с высоким показателем, которые последовательно и своевременно обрабатывают поступающие сигналы тревоги. То есть, реализуется адекватная работа сотрудников в решении вопросов безопасности в чрезвычайной ситуации. Во втором варианте существует множество разнообразий по воспрепятствованию вторым оператором адекватной работе всей системы, например:

- «игнорирование» сигнала тревоги вторым оператором;
- низкий показатель усвоенных теоретических сведений вторым оператором;
- умышленное искажение информации, полученной с сигнала тревоги вторым оператором.

Использование двух таких подходов при оценке действий сотрудника позволит получить наиболее достоверные результаты, поскольку они будут учитывать не только рассмотрение «стандартных» ситуаций, но и когда второй оператор может быть в сговоре с нарушителями или достаточно некомпетентен для принятия правильных действий.

Поскольку важной фигурой в обеспечении безопасного функционирования технологических процессов на объекте является специалист автоматизированной системы, то существует необходимость оценивания его последовательности действий.

Ранее в работе [8] предлагалось использовать математическую модель совместно с искусственным интеллектом для нахождения последовательности сигналов оператора. Но при ее реализации встала проблема в корректной связи входных параметров и получении цепочки последовательных сигналов. Поэтому сейчас предлагается решить данную

 © Авторы статьи / Authors of the article

проблему с помощью использования математической модели, включающей в себя нахождение вероятности безошибочных действий сотрудника и определение последовательности сигналов оператора с помощью метода Монте-Карло.

Тогда вероятность безошибочных действий находится как:

$$P_{\text{БД}} = P_T P_{\text{СД}} \quad (1)$$

где P_T — вероятность успешного освоения оператором теоретических сведений;

$P_{\text{СД}}$ — вероятность своевременных действий.

В модели вводятся допущения, что P_T уже выработана на необходимом уровне, соответствующему подготовленному специалисту и принимается константой в связи с тем, что изменение вероятности теоретических знаний слишком длительный процесс во времени по сравнению с действиями нарушителя. Значение постоянной величины в работе принято в диапазоне 0,75–0,9 отн. ед.

Рассмотрим P_{CB}, учитывающую скорость реакции оператора. Так, для успешного реагирования на нештатную ситуацию со стороны сотрудника пункта управления требуется затратить наименьшее возможное время на выполнение всеми необходимой последовательности действий. В результате чего наибольший вклад в скорость реакции вносят:

- время, затраченное на оценку возникшей ситуации;
- время, затраченное на принятие решения;
- время, затраченное на ввод команд управления [9].

Совокупность этих факторов будет вносить существенный вклад в нахождении вероятности своевременных действий.

При условии, что время выполняемых действий оператором будет являться случайной величиной с нормальной плотностью распределения времени ее выполнения, то вероятность своевременных действий $P_{\text{СД}}$ будет находиться с помощью табличной функции Лапласа и примет вид:

$$P_{\text{СД}} = \frac{1}{2} + \int_0^{t^{mp}} f(t)dt = \frac{1}{2} + \Phi_0\left(\frac{t_j^{mp} - t_{ij}}{\sigma_t}\right) \quad (2)$$

где t_j^{mp} — математическое ожидание времени выполнения операции *j*-типа;

t_{mp} — время, необходимое оператору для выполнения им функций при нештатной ситуации;

σ_t — среднеквадратичное отклонение случайной величины *t*.

Для нахождения последовательности сигналов, которые выполнил сотрудник при принятии решений на возникающие несанкционированные деяния злоумышленников помимо $P_{\text{СД}}$ необходимо знать и алгоритм его действий.

На первых этапах алгоритма оператору всегда необходимо незамедлительно отреагировать на сигнал, поступивший на пульт управления. Затем с помощью системы видеонаблюдения осуществить визуальную оценку обстановки на участке тревоги с целью подтверждения несанкционированного действия нарушителя, поскольку существует вероятность ложного срабатывания средств охранной сигнализации.

При подтверждении произвести анализ ситуации в соответствии с выявленной численностью нарушителей, их физической подготовки и оснащенности для определения потенциальной цели вторжения. На основании собственного анализа передать полученную информацию коменданту для своевременной отправки группы реагирования на место происшествия, сообщить начальнику службы безопасности о предпринятых мерах и продолжить наблюдение за охраняемым объектом.

В случае повторного срабатывания тревожного сигнала оператору необходимо повторить все изложенные действия с самого начала.

Для реализации цифрового портрета рассмотрим структурную схему математической модели, представленной на рисунке 4. Стоит отметить, что главное ее отличие от предыдущей состоит в том, что она содержит также зависимости, с помощью которых можно произвести последовательное нахождение всех переменных необходимых для моделирования.

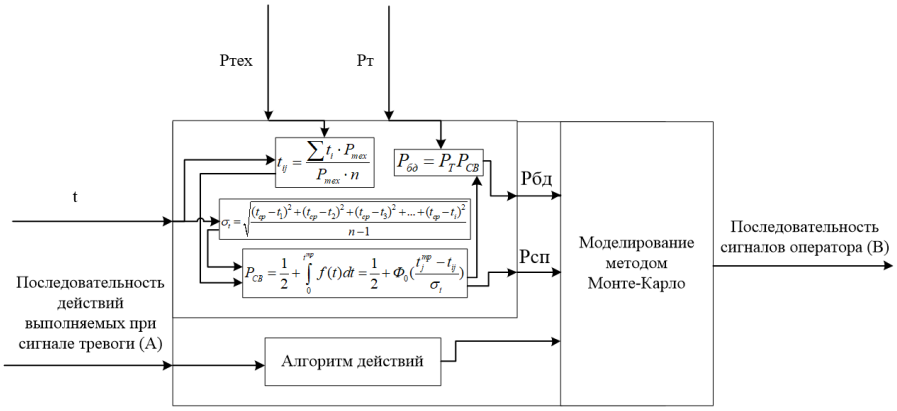

Рисунок 4 - Структурная схема математической модели
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29.4

На ней изображены входные и выходные данные моделирования, а также некоторые константы.

Вертикальными стрелками показаны переменные-константы, изменяющиеся во времени и используемые для нахождения $P_{\text{СД}}$ и $P_{\text{БД}}$. Ими являются теоретические знания оператора, накопленные в результате его постоянного обучения, переобучения и пережитых в работе чрезвычайных ситуаций. А также идеального времени реагирования на нештатную ситуацию, значение которой считается выработанной для каждого возможного случая.

Входными данными для нахождения последовательности сигналов являются действия оператора при возникновении сигнала тревоги, которые он должен выполнять согласно существующему алгоритму и рассчитанное значение $P_{\text{БД}}$ для конкретного совершаемого несанкционированного действия.

Моделирование сигналов будет происходить за счет реализации метода Монте-Карло. Его выбор обусловлен возможностью имитации событий с заданной вероятностью и получении выходных данных в виде цепочки результатов true-false. Принцип расчета будет базироваться на моделировании каждого действия в блок-схеме алгоритма согласно рассчитанной вероятности безошибочных действий. Для понимания смоделируем ситуации, где злоумышленник при преодолении территории объекта инициирует 3 последовательных сигнала тревоги. С помощью вышеупомянутой математической модели находим, $P_{\text{БД1}}$ и $P_{\text{БД2}}$, которые характеризуют вероятность безошибочных действий между 1–2 сигналом тревоги и 2–3. Зная алгоритм действий, который всегда остается постоянным и меняется только от время его реализации и рассчитанные вероятности определим последовательность сигналов.

Весь блок действий для 1–2 сигнала будет выполняться с максимальной вероятностью $P_{\text{БД1}}$, то есть полученное значение, по сути, при моделировании будет перераспределяться между всеми этапами в блок-схеме и получится последовательность в виде цепочки результатов true-false, например true-true-false-true-false-true. Также и для $P_{\text{БД2}}$. В результате чего получим полную последовательность, включающую в себя все сигналы тревоги и реакции на них. В качестве исходных данных для моделирования возьмем следующие:

– вероятность срабатывания технических средств в 0,9;

– вероятность успешного освоения оператором теоретических сведений в 0,8;

– промежутки времени: 50 секунд, 250 секунд, 500 секунд и 720 секунд.

Так как результатом работы модуля является последовательность сигналов для обучающей платформы и обучаемого специалиста, то определять правильность работы модуля будем вероятность выполнения правильно всех действий цифровым оператором, которую обозначим буквой P. Результаты моделирования представим на графике.

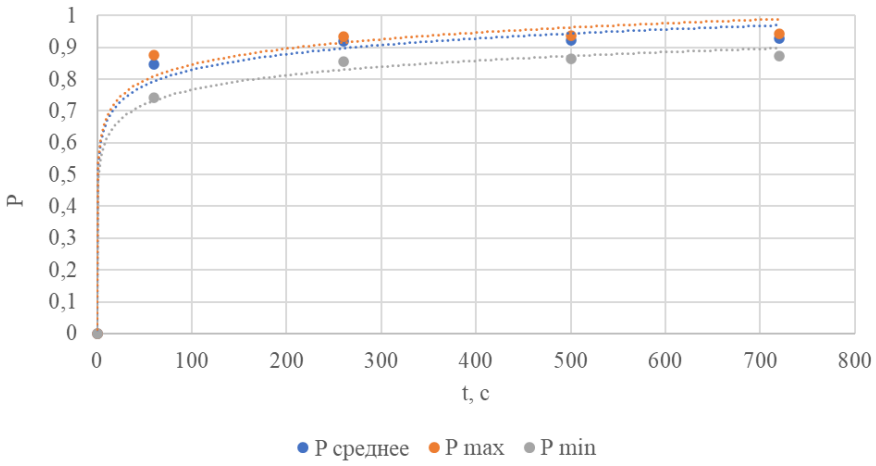

Рисунок 5 - Результаты моделирования
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.29.5

В качестве аппроксимации данных будем использовать логарифмическую функцию. Как видим из графика при увеличении длительности сигнала, вероятность выполнениях всех действий правильно возрастает, что соотноситься с реальными данными, тем самым подтверждая адекватность реализуемой модели цифрового оператора.

Заключение

Разработана концепция модели цифрового портрета, представляющая собой набор индивидуальных характеристик сотрудника и позволяющая определить слабые стороны оцениваемого человека благодаря анализу предпринятых действий. Для ее создания предложена математическая модель, учитывающая данные о системе безопасности объекта, данные о нарушителе и данные поступающие с технических средств защиты. Также в качестве дальнейшего возможного развития цифрового портрета предложена возможность внедрения искусственного интеллекта [10], который позволит моделировать различные нештатные ситуации с распределением сигналов тревоги между сотрудниками.

Для нахождения последовательности сигналов оператора рассмотрена математическая модель с использованием метода Монте-Карло, позволяющая получить выходные данные в виде цепочки результатов true-false. Такое представление результатов позволяет произвести детальный анализ действий оператора и сделать вывод об его профессиональной подготовке. Анализ полученных результатов показывает, что оптимальным значением вероятности выполнения всех полных действий является среднее распределение между максимальной и минимальной вероятностью выполнения и именно его в дальнейшем планируется использовать в модуле. В результате моделирования выявлено, что вероятность выполнения правильности всех действий цифровым оператором варьируется от 0,7 до 0,87.

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. Бондарев П.В. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов / П.В. Бондарев, А.В. Измайлов, А.И. Толстой. — Москва: МИФИ, 2008. — 584 с.
2. Майструк А.В. Системный анализ и моделирование потенциально опасных технологических процессов / А.В. Майструк, В.С. Боркин. // Рискология; — Москва: Московский государственный индустриальный университет, 2013. — С. 3–8.
3. Горюнов А.Г. Формирование способов управления при организации систем безопасности / А.Г. Горюнов, Б.П. Степанов, Е.А. Суханов // Научно-технический вестник Поволжья. — 2022. — 2. — С. 75–78.
4. Беренов Д.А. Концептуальные аспекты внедрения индустрии 4.0 / Д.А. Беренов, Д.Н. Гайнанов. // BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей V Международной научно-практической конференции; под ред. В. А. Богуш. — Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019. — С. 90–99.
5. Правила физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов : утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 июля 2007 г. № 456. — Москва, 2007. — 47 с.

 © Авторы статьи / Authors of the article

6. Сергеев С.Ф. Применение перспективных информационных технологий в тренажеростроении / С.Ф. Сергеев // Биотехносфера. — 2015. — №1(37). — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-perspektivnyh-informatsionnyh-tehnologiy-v-trenazherostroenii (дата обращения: 01.10.23).

7. Северцев Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: учебное пособие / Н.А. Северцев, В.К. Дедков. — Москва: Высшая школа, 2006. — 462 с.

8. Горюнов А.Г. Формирование цифрового портрета оператора АСУ ТП / А.Г. Горюнов, Е.А. Суханов, А.Ю. Сапцына // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — 10. — С. 191–194.

9. Болденков А.С. Виртуальные приборы для применения в web-тренажёре / А.С. Болденков, Т.В. Ганджа // E-Scio. — 2022. — 9. — С. 21-29.

10. Суханов Е.А. Применение нейросетевых технологий в вопросах моделирования работы систем безопасности объекта / Е.А. Суханов, А.Г. Горюнов. // XI международная молодежная научная конференция «Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2024»; — Екатеринбург: УрФУ, 2024. — С. 640–641.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bondarev P.V. Fizicheskaya zashhita yaderny'x ob"ektov: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Physical protection of nuclear facilities: A textbook for universities] / P.V. Bondarev, A.V. Izmajlov, A.I. Tolstoj. — Moscow: MIFI, 2008. — 584 p. [in Russian]

2. Majstruk A.V. Sistemny'j analiz i modelirovanie potencial'no opasny'x texnologicheskix processov [System analysis and modeling of potentially dangerous technological processes] / A.V. Majstruk, V.S. Borkin. // Riskology; — Moscow: Moskovskij gosudarstvenny'j industrial'ny'j universitet, 2013. — P. 3–8. [in Russian]

3. Goryunov A.G. Formirovanie sposobov upravleniya pri organizacii sistem bezopasnosti [Formation of management methods in the organization of security systems] / A.G. Goryunov, B.P. Stepanov, E.A. Suxanov // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. — 2022. — 2. — P. 75–78. [in Russian]

4. Berenov D.A. Konceptual'ny'e aspekty' vnedreniya industrii 4.0 [Conceptual aspects of the introduction of Industry 4.0] / D.A. Berenov, D.N. Gajnanov. // BIG DATA and Advanced Analytics : collection of scientific articles of the V International Scientific and Practical Conference; edited by V. A. Bogush. — Minsk: Belorusskij gosudarstvenny'j universitet informatiki i radioe'lektroniki, 2019. — P. 90–99. [in Russian]

5. Pravila fizicheskoj zashchity yadernyh materialov, yadernyh ustanovok i punktov hraneniya yadernyh materialov [Rules for the physical protection of nuclear materials, nuclear installations and nuclear material storage facilities] : approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated July 19 2007. № 456. — Moscow, 2007. — 47 p. [in Russian]

6. Sergeev S.F. Primenenie perspektivny'x informacionny'x texnologij v trenazherostroenii [The use of advanced information technologies in simulator construction] / S.F. Sergeev // Biotechnosphere. — 2015. — №1(37). — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-perspektivnyh-informatsionnyh-tehnologiy-v-trenazherostroenii (accessed: 01.10.23). [in Russian]

7. Severcev N.A. Sistemny'j analiz i modelirovanie bezopasnosti: uchebnoe posobie [System analysis and security modeling: a textbook] / N.A. Severcev, V.K. Dedkov. — Moscow: Vy'sshaya shkola, 2006. — 462 p. [in Russian]

8. Goryunov A.G. Formirovanie cifrovogo portreta operatora ASU TP [Creating a digital portrait of an automated process control system operator] / A.G. Goryunov, E.A. Suxanov, A.Yu. Sapcy'na // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. — 2023. — 10. — P. 191–194. [in Russian]

9. Boldenkov A.S. Virtual'ny'e pribory' dlya primeneniya v web-trenazhyore [Virtual devices for use in the web simulator] / A.S. Boldenkov, T.V. Gandzha // E-Scio. — 2022. — 9. — P. 21-29. [in Russian]

10. Suxanov E.A. Primenenie nejrosetevy'x texnologij v voprosax modelirovaniya raboty' sistem bezopasnosti ob"ekta [The use of neural network technologies in modeling the operation of facility security systems] / E.A. Suxanov, A.G. Goryunov. // XI International Youth Scientific Conference "Physics. Technologies. Innovation. FTI-2024"; — Ekaterinburg: UrFU, 2024. — P. 640–641. [in Russian]