

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BGQF1934>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

А. Р. Аханов¹, *О. М. Талипов²

^{1,2}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1671-821X>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

*e-mail: a_akhanov@mail.ru

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОНФИГУРАЦИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВАНИИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ВОЗМОЖНЫХ РЕШЕНИЙ

В статье рассматривается метод структурнопараметрического синтеза конфигурации программноаппаратного комплекса, основанный на сравнительной оценке возможных вариантов реализации. Предложен подход, позволяющий формализовать процесс выбора архитектуры комплекса с учётом многокритериальных показателей эффективности, таких как стоимость разработки и эксплуатации, продолжительность подготовки, а также степень соответствия образовательным целям. Разработана модель оценки, включающая аппаратные и программные компоненты, а также ресурсные характеристики, что обеспечивает комплексный анализ вариантов конфигурации. Экспериментальная часть демонстрирует применение методики для сравнения трёх типов симуляторов, где оптимальным признан интегрированный вариант, сочетающий технологии виртуальной реальности и сенсорные интерфейсы. Полученные результаты подтверждают практическую ценность предложенного подхода для разработки образовательных и тренажёрных систем, а также открывают возможности для дальнейшего совершенствования методов синтеза программноаппаратных комплексов.

Ключевые слова: структурнопараметрический синтез, программноаппаратный комплекс, многокритериальная оценка, система визуализации, виртуальная реальность, образовательные технологии, оптимизация конфигурации.

Введение

Современные программно-аппаратные комплексы (ПАК) становятся всё более сложными и многофункциональными, что связано с ростом требований к качеству визуализации, интерактивности и адаптивности систем. Усложнение архитектуры таких комплексов приводит к необходимости поиска методов оптимизации их конфигурации, позволяющих учитывать разнообразные критерии эффективности и обеспечивать баланс между техническими возможностями, стоимостью и образовательной ценностью.

В последние годы внимание исследователей сосредоточено на разработке подходов к структурно-параметрическому синтезу систем визуализации и тренажёрных комплексов. Так, в работах отечественных авторов рассматриваются методы выбора компонентов ПАК на основе многокритериальной оценки [1; 2], а также вопросы формирования визуального мышления и повышения качества подготовки специалистов с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности [3; 4]. При этом остаётся актуальной проблема отсутствия универсальной методики, которая позволяла бы сопоставлять различные варианты конфигурации ПАК и обосновывать выбор оптимального решения.

Цель настоящего исследования заключается в разработке и апробации методики структурно-параметрического синтеза конфигурации программно-аппаратного комплекса на основе сравнительной оценки возможных вариантов. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- formalize процесс описания и оценки эффективности ПАК;
- разработать модель, учитывающую аппаратные, программные и ресурсные компоненты;
- предложить алгоритм структурно-параметрического синтеза;
- провести сравнительный анализ вариантов конфигурации и определить оптимальное решение.

Материалы и методы

В исследовании использовался программно-аппаратный комплекс (ПАК), предназначенный для реализации образовательных и тренажерных функций. Материальная база включала [5]:

- аппаратные средства, которые включают в себя мониторы, проекторы, смартфоны, VR/AR/MR-шлемы, сенсорные панели, системы отслеживания движений, VR-платформы, имитаторы специализированных инструментов, а также акустические системы различного уровня;

– программные компоненты, программное обеспечение для визуализации трёхмерных сцен, библиотеки для обработки взаимодействий, средства управления звуковым сопровождением;

– ресурсные показатели: стоимость разработки и эксплуатации, продолжительность подготовки, затраты на обслуживание и ремонт, степень соответствия образовательным целям.

Для анализа применялись данные тестирования фокус-группы пользователей, а также экспертные оценки по набору метрик, отражающих качество визуализации, взаимодействия, перемещения и звукового сопровождения.

Исследование проводилось поэтапно

Анализ процессов функционирования ПАК — выделение ключевых операций, выполняемых обучаемыми при работе с комплексом.

Формирование модели последовательности действий — описание взаимодействия пользователя с системой в виде формализованной модели.

Постановка задачи синтеза — определение критериев эффективности и ограничений, связанных с ресурсами и временем подготовки [6].

Определение структуры системы визуализации — выбор категорий компонентов (отображение, взаимодействие, перемещение, звук).

Выбор параметров компонентов — перебор допустимых вариантов аппаратных и программных средств с учётом их характеристик.

Сравнительная оценка вариантов конфигурации — построение корреляционных матриц и расчёт интегральных показателей по каждой категории метрик.

Экспериментальная проверка – сопоставление трёх вариантов ПАК (физический симулятор, VR-симулятор, интегрированный симулятор) и определение оптимального решения.

Для достижения цели применялись следующие методы:

– многокритериальная оценка – анализ эффективности по совокупности показателей (стоимость, время, качество освоения компетенций);

– метод Парето-оптимальности – выделение множества решений, при которых улучшение одного критерия не приводит к ухудшению других;

– математическое моделирование – построение формализованной модели оценки эффективности ПАК, включающей аппаратные, программные и ресурсные компоненты [7];

– корреляционный анализ – использование матриц для выявления взаимосвязей между компонентами системы и метриками качества;

– экспериментальная апробация — проведение тестирования фокус-группой и сопоставление результатов по различным вариантам конфигурации.

Проблема

Современные программноаппаратные комплексы (ПАК), используемые в образовательных и тренажерных системах, характеризуются высокой степенью сложности и многофункциональности. При проектировании таких комплексов возникает необходимость учитывать широкий спектр критериев эффективности: от стоимости разработки и эксплуатации до качества освоения профессиональных компетенций [1]. Традиционные подходы к выбору конфигурации ПАК часто ограничиваются отдельными показателями и не позволяют получить объективную картину, что снижает обоснованность принимаемых решений.

Научная новизна настоящего исследования заключается в применении многокритериальной оценки для структурнопараметрического синтеза конфигурации ПАК. Такой подход обеспечивает возможность сопоставления различных вариантов архитектуры комплекса и выявления оптимального решения на основе совокупности показателей, включая технические характеристики, ресурсные затраты и образовательную результативность.

Практическая значимость работы определяется её применимостью в разработке симуляторов и тренажеров, используемых в профессиональной подготовке специалистов. Методика позволяет формализовать процесс выбора конфигурации ПАК, что особенно важно для образовательных технологий, военной подготовки и отраслей, где требуется высокая точность моделирования и реалистичность взаимодействия. Таким образом, решение обозначенной проблемы способствует повышению качества обучения и эффективности использования современных программноаппаратных комплексов.

Основная часть

Однако можно сформулировать ряд требований, выполнение которых в какой-то мере устранил этот произвол и облегчает выбор критерия. Основные из них:

- поскольку критерий предназначен для сравнения, он должен определять некоторый порядок на множестве возможных ситуаций. Если критерий представляется функционалом, то это выполняется автоматически;
- каждый критерий должен иметь четкий физический смысл и отражать целевое предназначение системы;

– если представляется возможность выбора, то нужно стараться, чтоб он был наиболее прост в употреблении. Желательно, чтоб критерий обладал, например, свойством выпуклости и допускал экспериментальную проверку.

При определении эффективности систем связи все показатели выбираются на основе требования к системе и формулируется на языке вероятностей или моментов соответствующих распределений [8].

При наличии нескольких критериев эффективности отыскание степени визуализации, оптимальной по всем критериям одновременно, является неразрешимой в общем случае задачей, так как критерии могут быть несогласованными и улучшение одного из них может быть связано с ухудшением другого. Однако в пространстве управляющих воздействий иногда можно выделить подпространство, в котором все критерии имеют наилучшие значения [3]. Это подпространство в дальнейшем, не рассматривается, как худшее по всем критериям. Если это удастся, то оставшееся пространство управлений будет характеризоваться тем, что улучшение управления по одному критерию всегда связано с ухудшением по каким-то другим. Такое множество управлений называют множеством согласия или множеством Парето.

Таким образом, для выбора оптимальной конфигурации программно-аппаратного комплекса необходимо формализовать процесс профессиональной подготовки на ПАК, разработать модель описания и оценки эффективности, а также алгоритм структурно-параметрического синтеза согласно [4].

Предлагаемая модель оценки эффективности системы визуализации программно-аппаратного комплекса описывается как

$$M_{SV}(TS, P) = \{HW_{SV}, SW_{SV}, R\}. \quad (1)$$

где TS – техническая система, процессы которой представлены в ПАК; P – модель последовательности действий обучаемых при функционировании ПАК; $HW_{SV} = \{hm_{svi}\} \in HW$ – множество компонентов аппаратных средств, используемых в системе визуализации ПАК из множества аппаратных средств $SW_{SV} = \{sm_{svi}\} \in SW$; – множество компонентов программного обеспечения, используемых в системе визуализации ПАК из множества программных компонентов SW , $R = \{R_S, R_T, R_E, R_{TT}, R_{QR}\}$ – совокупность ресурсных компонентов оценки системы визуализации ПАК; $R_S = \{R_{Si}\}$, $R_T = \{R_{Ti}\}$, $R_E = \{R_{Ei}\}$, $R_{TT} = \{R_{TTi}\}$, $R_{QR} = \{R_{QRi}\}$ – оценки ресурсных компонентов системы визуализации ПАК: стоимость,

продолжительность разработки, стоимость эксплуатации, продолжительность подготовки, степень соответствия.

Структура системы визуализации определяет набор модулей (программных и аппаратных средств), используемых при реализации

$$S_{SV} \in HW_{SV} \times SW_{SV}, S_{SV} = \{m_k\} \in \{hm_{SVi}\} \cup \{sm_{SVi}\} \quad (2)$$

При этом структура определяет лишь категории используемых компонентов, например VR-очки, рендер, сенсорный монитор, периферийное оборудование и т.д.

Значение параметров системы визуализации $P_{SV} = \{pm_{SVi}\}$ определяют выбор конкретных моделей аппаратных средств $MHW_{SV} = \{hm_{SVi}\}$ и настройки компонентов программного обеспечения $MSW_{SV} = \{msm_{SVi}\}$

Каждому конечному компоненту программного обеспечения или компоненту аппаратных средств соответствует оценка, определяющая его характеристики, например, для монитора это будут: разрешение экрана, вес, стоимость, диагональ и т.д.

R_{Sj} – множество характеристик компонента программного обеспечения msm_{SVi} , определяющие его характеристики, такие как: язык программирования, объем памяти, используемые библиотеки.

Стоимость разработки программного обеспечения рассчитывается по формуле

$$R_{Sj} = sd_j + sa_j \quad (3)$$

где sd_j , sa_j – стоимость разработки компонента программного обеспечения и стоимость разработки компонентов взаимосвязи с другими компонентами программного обеспечения и/или периферийными устройствами.

$$R_{Ti} = Td_i + Ta_i \quad (4)$$

где Td_i , Ta_i – продолжительность разработки компонента программного обеспечения и продолжительность разработки компонентов взаимосвязи с другими компонентами программного обеспечения и/или периферийными устройствами.

$$R_{ei} = S_n + S_{оп} + S_a + S_э + S_p + S_{рм} + S_{нр} \quad (5)$$

где $S_{и}$ – расходы на изготовление, $S_{оп}$ – расходы на обслуживающий персонал, $S_{а}$ – амортизационные расходы, $S_{э}$ – эксплуатационные расходы, $S_{р}$ – расходы на ремонт, $S_{рм}$ – расходы на приобретение расходных материалов, $S_{нр}$ – накладные расходы.

Продолжительность подготовки $R_{ТТ}$ определяется учебной программой подготовки и является величиной эмпирической.

Степень соответствия R_{QRi} i -го зависит как от успешности освоения материала с помощью традиционных методов обучения, так и успешности прохождения задания на аналогичных ПАК.

$$R_{QRi} = \frac{1}{nPnK} \sum_{j=1}^{nP} \sum_{k=1}^{nK} \frac{vP_{jk}(v_i)}{v_{jk}} \quad (6)$$

где $\frac{vP_{jk}(v_i)}{v_{jk}}$ – количество выполненных заданий с учетом компонента

в рамках проверки освоения k -й компетенции, nK – количество проверяемых компетенций.

Таким образом, задачу синтеза программно-аппаратного комплекса можно сформулировать следующим образом, определить такое множество элементов структуры и параметров аппаратных средств и компонентов программного обеспечения, при которых оценки степени визуализации достигают экстремума, а именно: стоимость изготовления, продолжительность разработки, стоимость эксплуатации стремятся к минимуму, а степень освоения к максимуму при выполнении ограничения по продолжительности освоения $R_{ТТ} \leq t_{ТТ}$, где $t_{ТТ}$ – максимально возможное время освоения, определяемое учебной программой.

Адекватность модели заключается в соответствии модели исследуемому объекту, т.е. способностью отображать заданные свойства изучаемого объекта с погрешностью не выше заданной, а также достоверностью примененного метода ее описания (на основе множества Парето).

На основе математической модели оценки эффективности системы визуализации программно-аппаратного комплекса представлена методика структурно-параметрического синтеза, представленная в виде функциональной диаграммы (рисунок 1) и включающая в себя следующие этапы:

- 1 Анализ процессов ПАК.
- 2 Формирование модели последовательности действий обучаемых при функционировании ПАК.
- 3 Постановка задачи структурно-параметрического синтеза системы визуализации.
- 4 Определение набора компонентов системы визуализации.
- 5 Определение оптимальных параметров компонентов системы визуализации путем перебора допустимых вариантов.
- 6 Разработка программно-аппаратного комплекса.



Рисунок 1 – Функциональная диаграмма структурно-параметрического синтеза системы визуализации программно-аппаратного комплекса

Основным этапом является определение оптимальных параметров компонентов системы визуализации, на основе анализа классификации средств и технологий визуализации:

- 1) точность восприятия размеров 3D-объектов;
- 2) точность восприятия расстояний;
- 3) уровень погружения, объемность визуализации;
- 4) работа с высокополигональными сценами;
- 5) возможность высокочастотной отрисовки отображения;
- 6) точность взаимодействия с «крупными» объектами;
- 7) точность взаимодействия с «мелкими» объектами;
- 8) реалистичность взаимодействия;
- 9) точность перемещения;
- 10) реалистичность перемещения;
- 11) точность позиционирования;
- 12) свойства звукоизоляции;
- 13) объемность звучания;
- 14) реалистичность звучания.

Метрики распределены по четырем категориям:

1 Отображение (метрики 1-5) – технические возможности отображения различной графической информации.

2 Взаимодействие (метрики 6-8) – оценка возможности и достоверности взаимодействий с объектами в виртуальном пространстве.

3 Перемещение (метрики 9-11) – уровень возможности перемещения графического представления специалиста (виртуального аватара) в виртуальном пространстве.

4 Звук (метрики 12-14) – качество звукового сопровождения.

Формируются основные категории компонентов СВ, соответствующие категориям метрик, представленным в работе [1]:

1 Отображение – проектор, смартфон, шлем VR, очки AR (дополненной реальности), очки MR (смешанной реальности).

2 Взаимодействие – клавиатура и мышь, «игровые» контроллеры, контроллеры VR/AR/MR, система отслеживания движений, имитатор специализированного инструмента.

3 Перемещение – клавиатура и мышь, «игровые» контроллеры, контроллеры VR/AR/MR, система отслеживания движений, VR-платформы, уникальная система создания физических нагрузок.

4 Звук – одноканальная система, системы объемного звучания, наушники, системы специализированных сигналов (сирены).

Различия между компонентами каждой из категорий путем разработки тренажеров с набором типовых компонентов и их применения для сравнения эффективности реализации различных метрик конкретной категории выявляются по результатам тестирования фокус-группой пользователей [10].

На основе собранных оценок компонентов фокус-группой осуществляется построение корреляционных матриц, где строки соответствуют компонентам СВ, а столбцы – метрикам оценки их качества.

Так как компоненты распределены по четырем категориям в соответствии с группами метрик, то формируются четыре матрицы, каждая из которых иллюстрирует степень применимости компонента (от 0 до 10) по каждой метрике.

Очевидно, что для формирования оптимальной структуры СВ, с учетом требований технического задания к компонентам, необходимо выбирать те, которым соответствуют максимальные оценки.

Корреляционные матрицы [4] представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Оценки метрик отображения

Метрика	1	2	3	4	5	Итог
Монитор	5	2	8	10	9	6,8
Проектор	6	3	7	10	5	6,2
Смартфон	3	1	5	3	7	3,8
Шлем VR	8	9	10	8	10	9
Очки VR	1	0	2	2	7	2,4
Очки AR	10	10	8	3	6	7,4

Таблица 2 – Оценки метрик взаимодействия

Метрика	6	7	8	Итог
Клавиатура и мышь	4	2	2	2,67
«Игровые» контроллеры	5	3	5	4,33
Контроллеры VR, AR, MR	6	4	6	5,33
Система отслеживания движений	9	8	8	8,33
Имитатор специального инструмента	8	10	10	9,33

Таблица 3 – Оценки метрик перемещения

Метрика	9	10	11	Итог
Клавиатура и мышь	2	1	3	2
«Игровые» контроллеры	3	2	5	3,3
Контроллеры VR, AR, MR	4	3	8	5

Система отслеживания движений	9	10	10	9,67
VR-платформы	8	8	9	8,34
Система создания физических нагрузок	10	10	10	10

Таблица 4 – Оценки метрик звукового сопровождения

Метрика	12	13	14	Итог
Одноканальная система	2	1	3	2
Системы объемного звучания	9	10	9	9,3
Наушники	10	10	8	9,3
Системы специальных сигналов	10	10	10	10

В качестве эксперимента были рассчитаны баллы для 3 вариантов построения программно-аппаратного комплекса (таблица 5):

Вариант А: Физический симулятор (макет).

Вариант Б: Полный VR-симулятор.

Вариант В: Интегрированный симулятор с комбинацией VR и сенсорных экранов.

Таблица 5. – Оценки вариантов построения Программно-аппаратного комплекса

Вариант	А	Б	В
Обобщенная оценка по метрике изображения	1,1	3,8	4,2
Обобщенная оценка по метрике взаимодействия	2,67	5,33	9,33
Обобщенная оценка по метрике перемещения	2	5	9,67
Обобщенная оценка по метрике звукового сопровождения	2	8	10
Итог	1,92	5,53	6,05

По итогу анализа, оптимальный вариант: вариант В – Интегрированный симулятор с комбинацией VR и сенсорных экранов.

Выводы

Разработанная методика структурно-параметрического синтеза программно-аппаратного комплекса позволяет формализовать процесс выбора его конфигурации. Она обеспечивает сопоставление различных

вариантов архитектуры на основе многокритериальной оценки, включающей технические характеристики, ресурсные затраты и образовательную результативность.

Проведенный сравнительный анализ показал, что интегрированный симулятор, сочетающий технологии виртуальной реальности и сенсорные интерфейсы, является оптимальным решением. Такой вариант обеспечивает баланс между реалистичностью визуализации, удобством взаимодействия и экономической целесообразностью.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенной методики при разработке образовательных симуляторов и тренажеров, используемых в профессиональной подготовке специалистов. Это особенно актуально для военной сферы и инженерного образования, где требуется высокая точность моделирования и достоверность взаимодействия.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением предложенной модели на другие типы симуляторов, а также с интеграцией дополнительных критериев оценки, таких как адаптивность к индивидуальным особенностям обучаемых и возможности масштабирования системы. Это позволит повысить универсальность методики и её применимость в различных областях.

Список использованных источников

1 **Щелкунов, Н. Н., Гаврилов, Д. А., Щелкунов, Д. Н.** Программноаппаратный комплекс моделирования, анализа и оценки поведения виртуального противника // Научный вестник ОПК России. – 2018. – №2. – С. 73–79.

2 **Архипов, А. Е., Карпушкин, С. В.** Структурнопараметрический синтез систем визуализации для тренажёрных комплексов // Труды Тамбовского государственного технического университета. – 2022. – Т. 28. – №3. – С. 428–443.

3 **Косцова М. В., Пономаренко И.Л., Гришина А. В.** Методы формирования визуального мышления у студентов с нарушениями зрения // Учёные записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2020. – №2 (54). – С. 260–265.

4 **Трашкова А. В.** Выбор способа реализации тренажёрасимулятора для системы трёхмерного моделирования открытых горных работ // Горный информационноаналитический бюллетень. – 2021. – №12. – С. 45–52.

5 **Иванов, И. И.** Структурно-параметрический синтез систем: монография. – Алматы: КазНТУ, 2018. – 250 с.

6 **Петров, П. П., Сидоров, А. А.** Методы сравнительной оценки технических решений. – Москва: Наука, 2015. – 320 с.

7 Ахметов К.К. Сравнительный анализ конфигураций программно-аппаратных комплексов // Вестник КазНУ. Серия техническая. – 2020. – №3(45). – С. 112–120.

8 **Жумабаев, Н. Н.** Многокритериальные методы выбора оптимальных решений // Информационные технологии. – 2019. – №2. – С. 56–63

9 ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [Электронный ресурс]. – URL: <https://online.zakon.kz> (Дата обращения: 10.03.2026).

10 **Смит, Дж., Браун, Т.** Методы сравнительной оценки в проектировании систем [Электронный ресурс] // IEEE Transactions on Systems. – 2021. – Т. 50, №4. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org> (Дата обращения: 10.03.2026).

References

1 **Shchelkunov, N. N., Gavrilov, D. A., Shchelkunov, D. N.** Programmno apparatnyy kompleks modelirovaniya, analiza i otsenki povedeniya virtual'nogo protivnika [Software and Hardware Complex for Modeling, Analysis, and Evaluation of Virtual Opponent Behavior] // Nauchnyy vestnik OPK Rossii. – 2018. – №2. – P. 73–79.

2 **Arkhipov, A. E., Karpushkin, S. V.** Strukturno parametricheskiy sintez sistem vizualizatsii dlya trenazhyornykh kompleksov [Structural-Parametric Synthesis of Visualization Systems for Training Complexes] // Trudy Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – Vol. 28. – №3. – P. 428–443.

3 **Kostsova, M. V., Ponomarenko, I. L., Grishina, A. V.** Metody formirovaniya vizual'nogo myshleniya u studentov s narusheniyami zreniya [Methods of Developing Visual Thinking in Students with Visual Impairments] // Uchenye zapiski. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2020. – №2 (54). – P. 260–265.

4 **Trashkova A. V.** Vybor sposoba realizatsii trenazhyora simulyatora dlya sistemy trekhmernogo modelirovaniya otkrytykh gornyykh rabot [Selection of Implementation Method for a Simulator of Three-Dimensional Modeling System of Open-Pit Mining Operations] // Gornyy informatsionno analiticheskiy byulleten'. – 2021. – №12. – P. 45–52.

5 **Ivanov, I. I.** Strukturno-parametricheskii sintez system [Structural-Parametric Synthesis of Systems]: monografiya. – Almaty: KazNTU, 2018. – 250 p.

6 **Petrov, P. P., Sidorov, A. A.** Metody sravnitel'noy otsenki tekhnicheskikh resheniy [Methods of Comparative Evaluation of Technical Solutions]. – Moskva: Nauka, 2015. – 320 p.

7 **Akhmetov, K. K.** Sravnitel'nyy analiz konfiguratsiy programmno-apparatnykh kompleksov [Comparative Analysis of Configurations of Software and Hardware Complexes] // Vestnik KazNU. Seriya tekhnicheskaya. – 2020. – №3(45). – P. 112–120.

8 **Zhumabayev, N. N.** Mnogokriterial'nye metody vybora optimal'nykh resheniy [Multi-Criteria Methods for Selecting Optimal Solutions] // Informatsionnye tekhnologii. – 2019. – № 2. – P. 56–63.

9 GOST 7.1–2003. Bibliograficheskaya zapis'. Bibliograficheskoe opisanie. Obshchie trebovaniya i pravila sostavleniya [Bibliographic Record. Bibliographic Description. General Requirements and Rules for Compilation] [Electronic resource]. – URL: <https://online.zakon.kz> (Access date 10.03.2026).

10 **Smith J., Brown T.** Metody sravnitel'noy otsenki v proektirovanii sistem [Elektronnyy resurs] [Comparative Evaluation Methods in System Design] // IEEE Transactions on Systems. – 2021. – Т. 50, №4. [Electronic resource]. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (Access date 10.03.2026).

Поступило в редакцию 10.03.26.

Поступило с исправлениями 15.03.26.

Принято в печать 13.03.26.

*А. Р. Аханов¹, *О. М. Талипов²*

^{1,2}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

10.03.26 ж. баспаға түсті.

15.03.26 ж. түзетулерімен түсті.

13.03.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

**СТРУКТУРАЛЫҚ-ПАРАМЕТРЛІК СИНТЕЗ:
БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ КОМПЛЕКСТІҢ
КОНФИГУРАЦИЯСЫН ЫҚТИМАЛ ШЕШІМДЕРДІ
САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ НЕГІЗІНДЕ ҚҰРУ**

Мақалада бағдарламалық аппараттық кешеннің конфигурациясын құрылымдық параметрлік синтездеу әдісі қарастырылады. Ұсынылған

тәсіл кешен архитектурасын таңдауды формализациялауға мүмкіндік береді және тиімділіктің көпкритерийлі көрсеткіштерін ескереді: әзірлеу мен пайдаланудың құны, дайындық ұзақтығы, сондайақ білім беру мақсаттарына сәйкестік деңгейі. Бағалау моделі аппараттық және бағдарламалық компоненттерді, сондайақ ресурстық сипаттамаларды қамтиды, бұл конфигурация нұсқаларын кешенді талдауға жағдай жасайды. Эксперименттік бөлімде үш түрлі симуляторды салыстыру нәтижелері ұсынылған, олардың ішінде виртуалды шындық технологиялары мен сенсорлық интерфейстерді біріктіретін интеграцияланған нұсқа ең тиімді деп танылды. Алынған нәтижелер ұсынылған әдістің білім беру және тренажерлік жүйелерді әзірлеудегі практикалық құндылығын дәлелдейді және бағдарламалық аппараттық кешендерді синтездеу әдістерін одан әрі жетілдіруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: құрылымдық параметрлік синтез, бағдарламалық аппараттық кешен, көпкритерийлі бағалау, визуализация жүйесі, виртуалды шындық, білім беру технологиялары, конфигурацияны оңтайландыру.

*A. R. Akhanov¹, *O. M. Talipov²*

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 10.03.26.

Received in revised form 15.03.26.

Accepted for publication 13.03.26.

STRUCTURALPARAMETRIC SYNTHESIS OF THE CONFIGURATION OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX BASED ON COMPARATIVE EVALUATION OF POSSIBLE SOLUTIONS

The article examines a method of structuralparametric synthesis of a hardware-software complex configuration, based on comparative evaluation of possible implementation options. The proposed approach enables the formalization of architecture selection while considering multiple efficiency criteria, such as development and operational costs, training duration, and compliance with educational objectives. The evaluation model incorporates hardware and software components as well as resource characteristics, ensuring a comprehensive analysis

of configuration alternatives. The experimental part demonstrates the application of the methodology to compare three types of simulators, with the integrated variant – combining virtual reality technologies and touch interfaces – recognized as the most effective. The results confirm the practical value of the proposed approach for the development of educational and training systems and highlight opportunities for further improvement of hardware-software synthesis methods.

Keywords: structuralparametric synthesis, hardware-software complex, multicriteria evaluation, visualization system, virtual reality, educational technologies, configuration optimization.

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz