ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Материалы международной
научно-практической конференции

(23 сентября 2026)

УДК 004.02:004.5:004.9
ББК 73+65.9+60.5
Н74

Редакционная коллегия:

Абдулхаликова Н.Р., кандидат физико-математических наук, доцент
Арзикулов З.О., кандидат физико-математических наук (PhD)
Аминов Б.У., кандидат исторических наук, доцент
Ахмедов А., кандидат физико-математических наук
Маматов Ш.К., кандидат физико-математических наук
Саттаров А.У., кандидат географических наук, доцент
Сиддиков И.М., кандидат технических наук, доцент
Тожибоев Ш.И., доктор философии по техническим наукам (PhD)
Хакимов А.М., кандидат технических наук, доцент
Хомидов И.И., кандидат химических наук, доцент
Юсупов А.Р., кандидат технических наук

Н74 ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ: материалы международной научно-практической конференции (23 сентября 2026г., Саранск) Отв. ред. Смирнова Т.В. – Издательство ЦПМ «Академия Бизнеса», Саратов 2026. - 54с.

Сборник содержит научные статьи и тезисы ученых Российской Федерации и других стран. Излагается теория, методология и практика научных исследований в области информационных технологий, экономики, образования, социологии.

Для специалистов в сфере управления, научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов вузов и всех лиц, интересующихся рассматриваемыми проблемами.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Материалы сборника размещаются в научной электронной библиотеке с постатейной разметкой на основании договора № 1412-11/2013К от 14.11.2013.

ISBN 978-5-6030098-4-1

УДК 004.02:004.5:004.9
ББК 73+65.9+60.5

© Институт управления и социально-экономического развития, 2026
© Саратовский государственный технический университет, 2026
© Центр профессионального менеджмента «Академия бизнеса»", 2026

УДК 539.3:624.04:004.9

Абдикаримов Р.А., д-р физ.-мат. наук, профессор

Сафаров У.И., PhD, доцент

Вафаев Б.М., магистр

Абдуллаева Д.Х., магистрант

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

ИНФОРМАЦИОННО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ЧАСТОТНО-МОДАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ: АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ В ANSYS

Аннотация: Предложен информационно-инженерный подход к исследованию динамических характеристик пластинчатых конструкций, основанный на сочетании аналитических методов и численного моделирования методом конечных элементов. Рассмотрена задача определения собственных частот и форм свободных колебаний тонкой пластины при различных условиях закрепления. На основе классической теории Кирхгофа–Лява сформирована аналитическая модель и проведено ее сопоставление с результатами численного расчета в программном комплексе ANSYS. Полученные результаты демонстрируют высокую степень согласования аналитического и численного подходов, что подтверждает достоверность разработанной расчетной модели. Предложенный подход может быть использован для оценки динамического поведения конструктивных элементов, анализа модальных характеристик и проведения дальнейших параметрических исследований.

Ключевые слова: пластинчатые конструкции; свободные колебания;

собственные частоты; модальные формы; метод конечных элементов; ANSYS; информационное моделирование; системный анализ; резонанс.

Abdikarimov R.A., DSc, Professor
Safarov U.I., PhD, Assoc. Professor
Vafoev B.M., Master
Abdullaeva D.Kh., Master's Student
Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Republic of Uzbekistan, Tashkent

INFORMATION-ENGINEERING APPROACH TO FREQUENCY-MODAL ANALYSIS OF PLATE STRUCTURES: ANALYTICAL MODEL AND NUMERICAL VERIFICATION IN ANSYS

Abstract: An information-engineering approach is proposed for investigating the dynamic characteristics of plate structures based on a combination of analytical methods and finite element numerical modeling. The study considers the determination of natural frequencies and mode shapes of a thin plate under different boundary conditions. An analytical model is developed based on the classical Kirchhoff–Love plate theory and compared with numerical results obtained using the ANSYS software package. The results demonstrate a high level of agreement between the analytical and numerical approaches, confirming the reliability of the developed computational model. The proposed approach can be applied to the assessment of the dynamic behavior of structural elements, analysis of modal characteristics, and further parametric studies.

Keywords: plate structures; free vibrations; natural frequencies; mode shapes; finite element method; ANSYS; information modelling; system analysis; resonance.

1. Введение. Пластинчатые элементы широко применяются в строительных конструкциях и технических системах. Их динамическое поведение определяется собственными частотами и формами колебаний, а совпадение частоты внешнего воздействия с собственной может привести к резонансу и снижению эксплуатационной надежности. В современных условиях аналитические модели обеспечивают прозрачность и проверку расчетов, а численное моделирование позволяет учитывать сложную геометрию, условия закрепления и неоднородность параметров.

Фундаментальные результаты по теории свободных колебаний пластин представлены в работе [1], где приведены расчетные данные для различных геометрических конфигураций и граничных условий. В [2] на основе метода Ритца предложена уточненная расчетная схема для квадратных пластин. В работе [3] с использованием процедуры Грамма–Шмидта разработана система ортогональных функций, повышающая точность расчетов, особенно для низших форм колебаний.

Важным направлением является учет различных условий закрепления. В [4] рассмотрены пластины с произвольными упругими опорами и предложены универсальные функции для описания граничных условий. В [5] разработаны подходящие функции для повышения точности метода Релея–Ритца, а в [6] обосновано применение кусочно-заданных форм-функций для конструкций со сложными условиями закрепления.

Таким образом, существующие исследования подтверждают эффективность аналитических методов определения собственных частот и форм колебаний. Практический интерес представляет компактная расчетная схема, в которой аналитическая модель используется как эталон для проверки конечно-элементных расчетов.

Цель работы — построить верификационную расчетную схему для квадратной тонкой пластины с жестким защемлением по четырем сторонам,

сопоставить аналитические и конечно-элементные результаты, полученные в ANSYS, и показать возможности данного подхода для решения инженерных и информационно-аналитических задач.

2. Математическая модель. Рассмотрим тонкую однородную прямоугольную пластину размерами a×b и толщиной h. Материал предполагается изотропным и линейно упругим. В классической теории Кирхгофа–Лява уравнение свободных поперечных колебаний имеет вид

$$D\nabla^4 w(x,y,t) + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$$

где w – поперечное перемещение срединной поверхности, ρ – плотность, h – толщина, D – цилиндрическая жесткость:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

а бигармонический оператор определяется выражением

$$\nabla^4 w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\,\partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}$$

Искомое решение представим в виде w=W(x,y)sin(ωt). Тогда

$$\nabla^4 W - \lambda^4 W = 0, \quad \lambda^4 = \frac{\rho h \omega^2}{D}$$

Для полностью защемленной пластины (CCCC) на всех четырех границах задаются условия отсутствия прогиба и поворота:

$$W(0,y)=0, \quad W_x(0,y) = 0; \quad W(a,y)=0, \quad W_x(a,y) = 0,$$
$$W(x,0)=0, \quad W_\gamma(x,0) = 0; \quad W(x,b)=0, \quad W_\gamma(x,b) = 0.$$

После подстановки общего решения и применения граничных условий получается однородная система относительно коэффициентов модальной формы. Нетривиальное решение существует при

$$\det[K(\lambda)] = 0.$$

Корни этого частотного уравнения позволяют определить собственные частоты:

$$\omega_{mn} = \lambda_{mn}^2 \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \qquad f_{mn} = \frac{\omega_{mn}}{2\pi}$$

3. Численная модель в ansys. Численная модель построена методом конечных элементов. После дискретизации непрерывной пластины задача свободных колебаний записывается в матричной форме:

$$([K] - \omega^2[M])\{w\} = \{0\}$$

где [K] – матрица жесткости, [M] – матрица масс, {φ} – собственный вектор, определяющий модальную форму. В цифровой модели задаются геометрия, свойства материала, конечная сетка и граничные условия. По четырем кромкам устанавливается жесткое закрепление Fixed Support, после чего выполняется Modal Analysis.

Важным элементом информационной модели является контроль адекватности исходных данных. Единицы измерения, толщина, плотность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и условия закрепления должны соответствовать аналитической постановке. В противном случае даже при корректном численном решателе результат может быть физически неверным.

Дополнительным преимуществом ANSYS является визуализация собственных форм. Это позволяет не только получить численные частоты, но и проверить соответствие характера колебаний ожидаемой симметрии конструкции.

4. Расчетные данные и результаты. В исследовании принята квадратная стальная пластина с параметрами, указанными в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	**Обозначение**	**Значение**
Длина	a	1000 мм
Ширина	b	1000 мм
Толщина	h	10 мм
Модуль Юнга	E	$2{,}10 \cdot 10^{11}$ Па
Плотность	ρ	7850 кг/м³
Коэффициент Пуассона	ν	0,30
Закрепление	CCCC	по четырем сторонам

Результаты модального анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

№	Модальная форма	ANSYS, Гц	Аналитически, Гц	δ, %
1	(1,1)	89,55	89,70	0,17
2	(2,1)	182,57	182,80	0,13
3	(1,2)	182,57	182,80	0,13
4	(2,2)	268,81	269,70	0,33
5	(3,1)	326,77	328,00	0,38
6	(1,3)	328,34	328,00	0,10

Относительное расхождение определялось по формуле

$$\delta = \frac{|f_{FE} - f_{an}|}{f_{an}} \times 100\%$$

Для первой, второй и четвертой мод получены соответственно 0,17%, 0,13% и 0,33%. Таким образом, цифровая модель воспроизводит эталонную аналитическую задачу с высокой точностью.

Для квадратной пластины частоты форм (2,1) и (1,2) совпадают. Это объясняется геометрической симметрией: взаимная замена координат x и y не изменяет механическую систему. Близость пятой и шестой частот также подтверждает правильное воспроизведение симметрии. Незначительные расхождения связаны с конечно-элементной дискретизацией и численным представлением идеального защемления.

5. Информационно-системная интерпретация. Предлагаемая схема может рассматриваться как четырехуровневая информационно-инженерная система: математическая постановка – цифровое представление – численный расчет – инженерная интерпретация. На первом уровне формируются уравнения и физические предпосылки; на втором создается цифровая модель; на третьем решается обобщенная задача на собственные значения; на четвертом результаты переводятся в инженерные показатели.

Такой подход соответствует направлению системного анализа, поскольку свойства конструкции определяются совокупностью взаимосвязанных параметров. Изменение толщины, жесткости материала, плотности, размеров

или закрепления изменяет матрицы [K] и [M] и, следовательно, весь спектр собственных частот.

Для тонкой однородной пластины из основной зависимости жесткости следует качественная оценка чувствительности к толщине:

$$f \propto h\sqrt{[E/(\rho(1-\nu^2))]}.$$

Следовательно, цифровая модель может использоваться не только для расчета одного варианта, но и для параметрического анализа. Изменяя h, E, ρ, геометрические размеры или условия закрепления, можно исследовать направление изменения частот и выбирать конструктивные решения с меньшей вероятностью резонанса.

С инженерной точки зрения особенно важна возможность сопоставления собственного спектра конструкции со спектром внешнего воздействия. Если рабочая частота оборудования или другого источника близка к одной из собственных частот, необходимо изменить параметры системы либо предусмотреть дополнительные меры динамической защиты.

6. Обсуждение и практическая значимость. Полученное согласование подтверждает, что рассмотренная конечно-элементная модель может быть использована как верифицированная база для дальнейшего усложнения расчетов. К таким задачам относятся пластины переменной толщины, анизотропные и композиционные материалы, сложные закрепления, сосредоточенные массы, контактные взаимодействия и нелинейные эффекты.

При переходе к сложным моделям необходимо сохранять процедуру независимой проверки. В частности, рекомендуется выполнять исследование сходимости по сетке: при последовательном сгущении конечных элементов первые собственные частоты должны стабилизироваться. Это позволяет отделить погрешность численной дискретизации от ограничений физической модели.

Таким образом, сочетание аналитического и численного методов

повышает надежность инженерного решения. Аналитическая модель служит контрольным эталоном, а ANSYS обеспечивает масштабируемость, визуализацию и возможность многовариантного цифрового исследования.

7. Заключение. 1. Разработана информационно-инженерная схема частотно-модального анализа пластин, объединяющая классическую аналитическую модель и метод конечных элементов. 2. Для пластины с закреплением CCCC сформулирована математическая задача свободных колебаний и получены зависимости для определения собственных частот. 3. Для пластины 1000×1000×10 мм при $E=2{,}10\cdot10^{11}$ Па, $\rho=7850$ кг/м³ и $\nu=0{,}30$ первые шесть частот ANSYS составили 89,55; 182,57; 182,57; 268,81; 326,77 и 328,34 Гц. 4. Расхождение с аналитическими значениями для рассмотренных низших мод не превышает 0,38%, что подтверждает адекватность цифровой модели. 5. Совместное применение аналитического и численного подходов может служить надежной основой для системного анализа динамической устойчивости и оценки резонансных рисков инженерных конструкций.

Использованные источники

1. Leissa, A. W. (1973). The free vibration of rectangular plates. *Journal of Sound and Vibration*, 31(3), 257–293. https://doi.org/10.1016/S0022-460X(73)80371-2.

2. Young, D. (1950). Vibration of Rectangular Plates by the Ritz Method. *Journal of Applied Mechanics*, 17(4), 448–453. https://doi.org/10.1115/1.4010175.

3. Bhat, R. B. (1985). Natural frequencies of rectangular plates using characteristic orthogonal polynomials in Rayleigh-Ritz method. *Journal of Sound and Vibration*, 102(4), 493–499. https://doi.org/10.1016/S0022-460X(85)80109-7.

4. Li, W. L. (2004). Vibration analysis of rectangular plates with general elastic boundary supports. *Journal of Sound and Vibration*, 273(3), 619–635. https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00562-5.

5. Monterrubio, L. E., & Ilanko, S. (2012). Sets of Admissible Functions for the Rayleigh-Ritz Method. In *Proceedings of the 11th International Conference on Computational Structures Technology*. Civil-Comp Press, 1511–1526.

6. Adamou, A. (2024). Free vibration analysis of thin rectangular plates using piecewise shape functions in Ritz procedure. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 43(4), 646–654. https://doi.org/10.4314/njt.v43i4.5.

УДК 004.63

Калинкин Н.А.
студент
Саратовский государственный университет

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация: в статье изучены особенности применения документации сопровождения программного обеспечения. Рассмотрена необходимость выделения разделов при изучение студентами курсов, связанных с программным обеспечением. Выявлены проблемы при изучении стандартов.

Ключевые слова: программное обеспечение, техническая документация, техническое задание, сопровождение программного обеспечения, авторское право

Kalinkin N. A.
student
Saratov State University

THE RELEVANCE OF STUDYING SOFTWARE MAINTENANCE DOCUMENTATIO

Abstract: The article examines the specifics of using software maintenance documentation. The necessity of highlighting certain sections in courses related to software for students is considered. Problems encountered in studying the standards are identified.

Keywords: software, technical documentation, terms of reference, software maintenance, copyright

Изучение документации сопровождения программного обеспечения (ПО) — это ключевой этап, который позволяет понять структуру кода, особенности архитектуры и известные проблемы продукта. В современном мире практически любая деятельность сопровождается документооборотом, который может быть бумажным или цифровым. Навыки работы с документами актуальны для самых разных областей деятельности.

Техническая документация программного обеспечения — это набор документов, которые описывают разработку, функционирование и поддержку ПО. Она помогает разработчикам, тестировщикам, пользователям и администраторам понять, как работает программа, как её настраивать и использовать. В России ключевую роль играет **Единая система программной документации (ЕСПД)**, которая устанавливает правила разработки, оформления и обращения с программной документацией.

Студенты направления «Информационные системы и технологии» изучают дисциплину «Научно-исследовательский семинар: Программные средства информационных систем для научной деятельности». В этой дисциплине внимание акцентировано на изучение документации сопровождения программного обеспечения. Составление и оформление таких профессиональных документов требует оперативности, тщательного следования стандартам, точных и корректных формулировок, а также опыта. А неточности в оформлении таких документов могут повлечь за собой значительные проблемы в выполнении основной части работы.

Понятие «программное обеспечение» согласно ГОСТу 19781-90 [1] означает «совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ». В курсе необходимо выделить несколько разделов.

Первый раздел должен быть посвящен изучению единой системы программной документации (ЕСПД), которая представляет собой комплекс

государственных стандартов Российской Федерации, регламентирующих документальную поддержку программ на всех этапах их жизненного цикла. В настоящее время применение ЕСПД носит рекомендательный характер. Стандарты ЕСПД выпущены более 30 лет назад и, на первый взгляд студентов, не имеют никакой ценности. Действительно, часть стандартов морально устарела, однако, есть очень полезные документы. Самый важный из них – это, конечно, техническое задание [2], которое позволяет заказчику получить именно тот продукт, который ему нужен, а разработчику избежать внесения многократных исправлений в созданную программу.

Второй раздел необходимо связать с обсуждением более молодых стандартов, связанных с информационными технологиями, например, семейством **ISO/IEC**. К моменту перехода к этому разделу у студентов уже есть навыки поиска стандартов, поэтому им легко открываются и другие полезные современные стандарты. Особый интерес обычно вызывают стандарты, связанные с терминами и определениями, например, в работах [3, 4]. Примечательно, что на этом этапе курса студенты часто открывают для себя наличие стандартов, связанных темой их магистерской диссертации.

Третий раздел необходимо посвятить обсуждению авторского права на программы для электронных вычислительных машин или базы данных, а также процедуре их государственной регистрации в федеральной службе по интеллектуальной собственности [5].

Большая проблема в изучении стандартов состоит в том, что их чтение, так же, как и рассказ о них могут быть довольно утомительными. В связи с этим при изучении дисциплины очень важно уделять внимание разработке практических и лабораторных занятий, в которых студенты могут разрабатывать свои документы, сопровождающие программные средства; искать ошибки в чужих и так далее.

Одно из первых практических заданий курса выполняется в момент,

когда стандарт [2] о техническом задании предъявлен, сказано о его важности, но примеры больших и грамотных технических заданий еще не разобраны. Студенческая работа состоит в том, что каждый из студентов пишет техническое задание по ГОСТу 19.201-78 на очень простую программу. Это может быть программа вычисления суммы каких-либо элементов матрицы, программа перевода суммы в рублях в сумму в другой валюте и т.д. Затем подготовленное техническое задание передается другому студенту, который знакомится с заданием, при необходимости уточняет его и создает программу, согласно техническому заданию. После этого разработчик технического задания старается отыскать несоответствие между техническим заданием и выполненной программой и отказать разработчику в приемке работы. Такое простое задание показывает студентам важность корректных формулировок при разработке технического задания, показывает, какими важными могут быть его разделы, которые, на первый взгляд, не имеют особенной значимости.

В ходе анализа актуальности изучения документации сопровождения ПО в рамках подготовки студентов направления «Информационные системы и технологии» получены следующие результаты:

1)Подтверждена практическая значимость технической документации как инструмента обеспечения качества разработки и сопровождения программных продуктов. Документация позволяет зафиксировать архитектуру, логику работы, известные проблемы и способы их решения, что критично при передаче проекта между командами и на этапах эксплуатации.

2)Установлена двойственная роль ЕСПД в современном образовательном процессе: с одной стороны, ряд стандартов морально устарел и носит рекомендательный характер; с другой — базовые документы (в частности, регламентирующие составление технического задания) сохраняют ценность для формирования у студентов навыков чёткой

постановки требований и структурирования проектной информации.

3)Разработана и апробирована трёхкомпонентная структура учебной дисциплины, объединяющая: освоение базовых стандартов ЕСПД; изучение современных международных стандартов (семейство ISO/IEC) и терминологических документов;

рассмотрение правовых аспектов — авторского права и процедуры государственной регистрации ПО и баз данных. Такая структура обеспечивает преемственность между отечественными традициями документирования и актуальными международными практиками.

4)Доказана эффективность практико-ориентированного подхода к изучению стандартов. Включение в курс заданий по самостоятельному составлению документов, взаимному рецензированию и проверке соответствия реализации исходным требованиям позволяет студентам осознать влияние неточностей формулировок на конечный результат.

5)Апробирован формат парного практического задания (составление ТЗ по ГОСТ 19.201-78 → реализация программы → проверка соответствия), который наглядно демонстрирует студентам значимость каждого раздела технического задания и развивает навыки критического анализа, согласования требований и выявления расхождений между спецификацией и реализацией.

На основании полученных результатов можно сформулировать следующие выводы, пригодные для включения в заключительную часть научной статьи:

1)Техническая документация — не вспомогательный, а системообразующий элемент жизненного цикла ПО, и её изучение должно быть обязательной составляющей профессиональной подготовки ИТ-специалистов. Владение навыками работы с документацией напрямую влияет на эффективность командной работы, скорость адаптации новых

сотрудников и качество сопровождения продукта.

2)ЕСПД, несмотря на рекомендательный статус и частичную устарелость, остаётся ценным образовательным ресурсом, поскольку формирует у студентов понимание базовых принципов структурирования и оформления технической документации. Особое значение имеет работа с техническим заданием как с основным инструментом согласования ожиданий заказчика и возможностей разработчика.

3)Интеграция ЕСПД с современными стандартами (ISO/IEC и др.) позволяет создать сбалансированную учебную программу, которая сочетает фундаментальные подходы с актуальными отраслевыми практиками. Такой подход расширяет профессиональные горизонты студентов и повышает их конкурентоспособность на рынке труда.

4)Правовые аспекты разработки ПО (авторское право, регистрация программ) должны рассматриваться в рамках дисциплины, поскольку они формируют у будущих специалистов комплексное понимание жизненного цикла программного продукта, включая вопросы интеллектуальной собственности и юридической ответственности.

5)Практические задания, имитирующие реальные процессы разработки и приёмки, являются наиболее эффективным способом усвоения требований к документации. Они позволяют студентам на простых примерах увидеть последствия неточностей, двусмысленностей и неполноты формулировок, а также развить навыки коммуникации и аргументированной защиты своей позиции.

6)Предложенный формат парного задания доказал свою педагогическую эффективность: он не только закрепляет знание стандартов, но и формирует метапредметные компетенции — умение анализировать требования, выявлять несоответствия, вести конструктивный диалог и принимать решения на основе объективных критериев.

7)Перспективными направлениями развития курса являются: расширение набора практических кейсов за счёт реальных проектов или учебных аналогов промышленных задач; внедрение инструментов автоматизированного документирования (например, генераторов документации из кода); разработка системы критериев оценки качества технических документов, приближённых к индустриальным стандартам.

Использованные источники:

1. ГОСТ 19781-90. Обеспечение систем обработки информации программное. Термины и определения. Дата введения 01.01.92.

2. ГОСТ 19.201-78. Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. Дата введения 01.01.80.

3. ГОСТ 33707-2016 (ISO/IEC 2382:2015) «Информационные технологии. Словарь». Дата введения 01.09.2017.

4. ГОСТ 19.101-2024 «Единая система программной документации. Виды программ и программных документов». Дата введения 30.01.2025.

5. Федеральная служба по интеллектуальной собственности РОСПАТЕНТ URL: https://rospatent.gov.ru (дата доступа 27.08.2026)

УДК: 621.7

Лазарев М.С.

аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Россия, г. Иркутск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПАРТИОННОСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: В статье исследуется влияние производственной партионности и геометрических характеристик изделий на эффективность проектируемого автоматизированного сборочного процесса. В качестве объекта исследования выступает проектируемый автоматизированный участок сборки промышленных рукавов, для которого разработан цифровой двойник, позволяющий моделировать функционирование системы в различных условиях. Проведена оценка теоретической и эффективной производительности участка с учетом переналадок оборудования. Установлены закономерности влияния времени переналадок на удельную производительность участка в условиях мелкосерийной автоматизированной сборки изделий с высокой сменностью характеристик изготавливаемых изделий. Показано, что применение цифрового двойника позволяет выявлять узкие места производственного процесса и проводить более эффективный анализ рациональных условий эксплуатации автоматизированного сборочного участка на стадии проектирования.

Ключевые слова: Автоматизация производства, сборочная единица, цифровой двойник, переналадка, технологический цикл, анализ

чувствительности.

Lazarev M.S.

Postgraduate student

Federal state budgetary educational institution of higher education «Irkutsk national research technical university»

Russia, Irkutsk

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PRODUCTION BATCH SIZE AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS ON THE EFFICIENCY OF ASSEMBLY PROCESS AUTOMATION

Abstract: This article investigates the impact of production batch sizes and product geometric characteristics on the efficiency of an automated assembly process under design. The object of study is a planned automated assembly line for industrial hoses, for which a digital twin has been developed to simulate system performance under various conditions. An assessment of the theoretical and effective productivity of the assembly section was conducted, accounting for equipment changeovers. Patterns governing the impact of changeover times on the specific productivity of an assembly section have been established for the context of small-batch automated assembly involving frequent changes in product specifications. It has been demonstrated that the use of a digital twin enables to identify weak points in the production process and conduct a more effective analysis of optimal operating conditions for an automated assembly section at the design stage.

Keywords: Production automation, assembly unit, digital twin, retooling, manufacturing cycle, sensitivity analysis.

Тенденции развития современных производственных систем показывают стремление производства к одновременному увеличению номенклатуры выпускаемой продукции и повышению уровня автоматизации [1]. При крупносерийном и массовом производстве в большинстве случаев автоматизация позволяет обеспечить заметное увеличение производительности и быструю окупаемость внедрения. Однако, в условиях многономенклатурного производства, которое чаще всего является мелкосерийным способом производства, высокая частота перехода между изделиями различных типов приводит к снижению фактической производительности оборудования по причине частых переналадок.

Данная проблема особенно характерна для сборочных процессов, когда параметры технологического оборудования связаны с геометрическими характеристиками изготавливаемых изделий и изменение одного параметра способно заметно влиять на продолжительность общего цикла функционирования системы. Как результат, потенциальная производительность автоматизированного комплекса может существенно отличаться от фактических показателей при реализации определенных производственных программ.

Оценивание подобных систем целесообразно определять на стадии проектирования при помощи имитационного моделирования и технологии цифровых двойников [2, 3]. В отличие от оценки отдельных технологических операций, цифровая модель производственного участка позволяет проводить анализ процесса с точки зрения взаимосвязей технологического цикла, размера партии, времени переналадок, загрузки оборудования и структур производственных программ. Поэтому, объектом исследования в настоящей работе является проектируемый автоматизированный участок сборки промышленных рукавов, который выделяется значительной вариативностью характеристик изделий и наличием производственных партий различных

размеров. Основной целью работы является исследование влияния размера производственной партии и геометрических характеристик изделий на эффективность проектируемого автоматизированного участка сборки с использованием цифрового двойника. Достижению поставленной цели способствует определение теоретической производительности участка для различных геометрических параметров, оценки влияния времени переналадки на фактическую производительность при различных размерах партии и установление взаимосвязи между данными показателями.

Для выбранного объекта исследования – проектируемого автоматизированного участка сборки промышленных рукавов (см. рис. 1) разработан цифровой двойник, выполняющий задачу моделирования технологического процесса и оценки характеристик производственной системы [4]. Модель позволяет учитывать последовательность выполнения технологических операций, взаимодействие технологического оборудования и изменение параметров процесса при переходе между изделиями различной номенклатуры. Основным показателем эффективности является производительность участка.

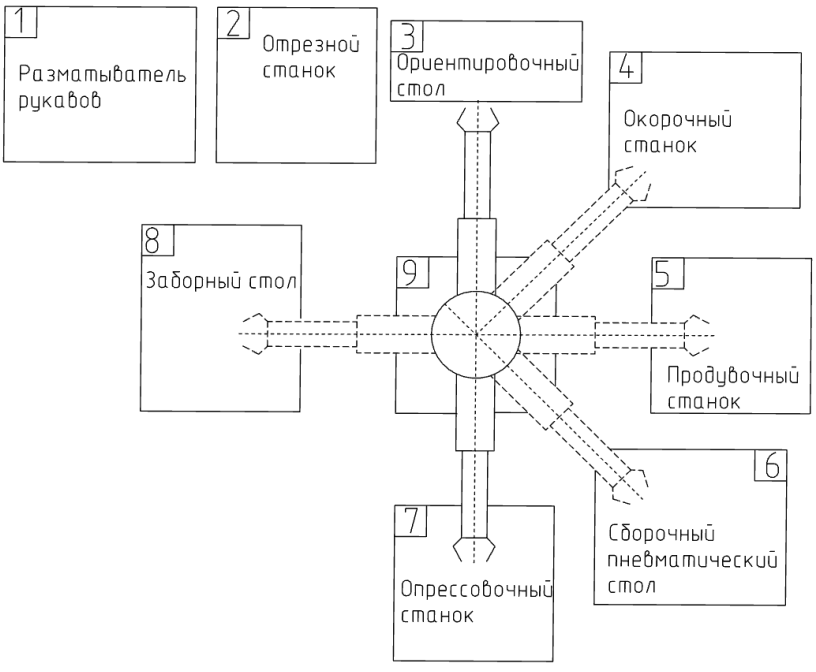


Рисунок 1. Структура проектируемого автоматизированного участка

Данный участок спроектирован для заданной номенклатуры рукавов, разделяемой на 11 типоразмеров, что приводит к разбиению результатов моделирования на несколько групп от 1 до 11. Результаты моделирования показаны в таблице 1. Имитационное моделирование, осуществленное по данному принципу, позволяет усреднить показатели по каждому типоразмеру, упрощая дальнейший анализ и выявить что в конкретном случае, разброс показателей от минимального до максимального типоразмера может приводить к разбросу показателей более чем вдвое. Моделирование проведено в системе имитационного моделирования AnyLogic согласно агентной концепции. При моделировании большинства непрерывных систем такой подход позволяет работать с одним типом переменных, динамически изменяя их в процессе работы системы. В данном случае, такое предсказание эффективности функционирования системы становится затруднительным в силу неопределенности планирования производственных мощностей в долгосрочной перспективе.

Таблица 1. Граничные данные моделирования

Прогон	**$\bar{T}$, с**	**σ, с**	**T_{min}, с**	**T_{max}, с**	**Минимум циклов, с**	**Максимум циклов, с**
1	92,43	12,68	81,75	103,11	84,69	99,07
2	95,40	11,92	85,05	105,75	88,51	101,09
3	98,11	12,21	87,64	108,58	90,79	104,44
4	101,37	13,04	90,54	112,20	94,04	107,97
5	105,80	14,26	94,46	117,14	98,19	112,92
6	113,70	15,18	102,00	125,40	103,97	120,28
7	119,63	16,42	107,48	131,78	111,74	129,58
8	132,75	17,85	120,09	145,41	123,49	144,99
9	155,24	19,61	142,01	168,47	143,09	170,24

10	183,7	44,76	163,22	204,18	169,92	200,25
11	244,5	59,29	221,40	267,60	228,55	264,89

Теоретическая производительность участка при условии непрерывной работы оборудования (без учета переналадок) определяется выражением (1).

$$Q = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где Q— производительность участка, изд./ч;

$T_{\text{ц}}$— среднее время производственного цикла одного изделия, с.

Результаты моделирования логично рассматривать как диапазон граничных условий от 92,43 с. до 244,5 с, из которого следует производительность от 38 изд./ч. до 14 изд./ч. Данные показатели являются первоначальными и не учитывают последующую оптимизацию и перепроектирование участка с целью избавления или минимизации эффекта узких мест в спроектированном участке, однако, в данной работе это не является необходимым [5].

Широкий разброс полученных при моделировании данных и использование показателя теоретической производительности недостаточны для оценки мелкосерийного автоматизированного участка. В массовом производстве сменность таких номенклатур практически не происходит, что приводит к целесообразности проектирования конвейерных линий и способов подачи материалов и полуфабрикатов непрерывным способом, тем самым достигая минимизации необходимости работ по переналадке. При переходе между партиями в мелкосерийном сборочном производстве, оборудование требует замены оснастки под иные типоразмеры. Продолжительность таких работ не зависит непосредственно от количества изделий в партии. Для выбранного процесса целесообразно принять $T_{\text{пер}}$=45 мин. на основе принятых оценок в отрасли. С учетом данного времени эффективная производительность определяется выражением (2).

$$Q_{\text{эфф}} = \frac{3600 N_{\text{изд}}}{T_{\text{ц}} N_{\text{изд}} + T_{\text{пер}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{изд}}$— размер производственной партии, изделий.

Такая зависимость позволяет оценить влияние производственной партионности на фактическую производительность автоматизированного участка. Время переналадки при увеличении размера партии распределяется между большим количеством изделий, что снижает ее влияние на единичную производительность. Для дополнительной оценки введен коэффициент использования времени партии (3), характеризующий долю времени работы участка, непосредственно связанную с изготовлением продукции.

$$K_{\text{парт}} = \frac{T_{\text{ц}} N_{\text{изд}}}{T_{\text{ц}} N_{\text{изд}} + T_{\text{пер}}}. \quad (3)$$

Следует отметить, что в партионном производстве данного типа, количество одновременно изготавливаемых изделий ограничено возможностями оборудования, к примеру, разматывателя рукавов, который способен вместить на стойке строго определенное количество материала, которым является 147 шт. и 5 шт. соответственно для наименее и наиболее трудоемких процессов. Тогда, эффективная производительность участка будет равна 33 изд./ч. и 4 изд/ч, а коэффициенты использования будут равны 0,83 и 0,31. Стоит отметить, что оптимизированный процесс для наиболее трудоемких типоразмеров обладает коэффициентом использования примерно в 1,5 раза выше в зависимости от сценария работы, однако не устраняет проблему производственных потерь, если структура производственной программы характеризуется высокой частотой переходов между различными изделиями.

Еще одним фактором, рассмотренным в цифровой модели, являются геометрические характеристики изготавливаемых изделий, так как они

приводят к изменению условий выполнения технологических операций, прежде всего на время выполнения технологического цикла. При переходе между различными типоразмерами может потребоваться изменение настроек оборудования и технологической оснастки, что в условиях мелкосерийного производства приводит к взаимному усилению двух этих факторов (переналадка, типоразмерная линейка).

Следовательно, эффективность автоматизированного участка логично рассматривать как комплексную величину в виде функции размера производственной партии и характеристик изделия (4).

$$Q_{эфф} = f\left(T_{ц}, (G), N_{изд}, T_{пер}\right), \quad (4)$$

где G— совокупность геометрических характеристик изделия.

Это позволяет осуществить переход от независимой оценки производительности к системе, в которой характеристики производственной системы взаимосвязаны между собой с целью повышения предсказуемости системы еще на стадии проектирования.

Проведенной моделирование показывает, что даже автоматизированный участок с высокой потенциальной производительностью может иметь низкий фактический выпуск вследствие факторов, не относящихся к непосредственному технологическому циклу, и имеет принципиальное значение для проектирования автоматизированного производства сборочного типа, ориентированное на партионное производство нескольких номенклатур типовых технологических процессов.

Полученный на основе цифрового моделирования результат заставляет учитывать не только максимальную производительность выбранного оборудования в рамках технологической системы, но и предполагаемую структуру производственной программы. В таком случае, целесообразным направлением повышения эффективности является группирование изделий по

близким характеристикам с целью сокращения внецикловых потерь времени, а также рассмотрение повышения возможностей промежуточного хранения и подачи заготовок различных типоразмеров для снижения зависимости автоматизированного участка от других производственных процессов. При этом, моделирование дает возможность сравнить различные варианты организации производственной структуры автоматизированного участка без дополнительных затрат на этапе его физической реализации и повышает обоснованность принятых решений, позволяя перейти от оценки отдельных единиц оборудования к анализу производственной системы в целом.

Вывод: Проведенное исследование показывает, что эффективность автоматизации мелкосерийного сборочного производства нельзя оценить только по продолжительности выполнения технологической операции, поскольку существенную роль начинают играть косвенные признаки, к примеру, продолжительность переналадочных работ. Одинаковое технологическое оборудование при различных производственных программах может характеризоваться принципиально различной эффективностью.

Полученные результаты позволяют сформулировать характерные режимы работы автоматизированного участка подобного типа:

- крупные производственные партии, когда влияние переналадки относительно невелико, а эффективность преимущественно определяется продолжительностью технологического цикла;

- средние партии, когда необходимо учитывать одновременно и организацию последовательности выпуска изделий, и производительность оборудования;

- малые партии, когда основным ограничивающим фактором становятся непрямые затраты времени на изготовление продукции.

Таким образом, при проектировании автоматизированного участка необходимо производить оптимизацию технологической структуры процесса

наравне с организацией производственного процесса. Применение цифрового двойника помимо получения первоначальных данных о функционировании процесса и его оптимизации позволяет исследовать неявные взаимосвязи различных производственных сценариев, выявлять узкие места и определять рациональное сочетание размеров производственной партии, последовательностей запуска изделий и параметров технологического оборудования, в частности, для мелкосерийных автоматизированных сборочных производств.

Использованные источники

1. С.Н. Коришонков. Особенности разработки технологических процессов сборки // Вестник науки и образования. 2019. №4-2 (58).

2. Д. Хитрых. Цифровые двойники в промышленности: истоки концепции, современный уровень развития и примеры внедрения // Современная электроника. 2022. №1 с.62-67.

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Цифровые двойники изделий. Общие положения // Москва; Российский институт стандартизации, 2021.

4. В.И. Абрамов, Д.С. Бобоев, Т.Д. Гильманов, К.Ю. Семенков. Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании // Вопросы инновационной экономики. 2022. №2.

5. Лазарев М.С. Анализ чувствительности цифрового двойника как инструмент выбора проектных решений при автоматизации производственного участка // Сборник научных трудов по результатам VI международной научно-практической конференции «Научный подход: Конференция», 15 августа 2026 – Изд. Научно-издательский центр «Научный подход», Екатеринбург, 2026. – с.41-45.

УДК 681.5

Наумов Ф. А.
студент бакалавриата
Бородин И. Е.
студент бакалавриата
Федоров В. А.
студент бакалавриата
Казин К. В.
студент бакалавриата
Харченко А. Г.
студент бакалавриата
Сибирский Федеральный Университет
Россия, г. Красноярск

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: *в статье рассмотрено понятие цифрового двойника и его место в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Приведена классификация цифровых моделей по степени интеграции с физическим объектом, описаны задачи, решаемые двойником на этапах жизненного цикла системы автоматизации, и ограничения технологии.*

Ключевые слова: *автоматизация, цифровой двойник, АСУ ТП, моделирование, Индустрия 4.0.*

Naumov F. A.
Bachelor's student
Borodin I. E.
Bachelor's student
Fedorov V. A.
Bachelor's student
Kazin K. V.
Bachelor's student
Kharchenko A. G.
Bachelor's student
Siberian Federal University
Russia, Krasnoyarsk

APPLICATION OF DIGITAL TWINS IN INDUSTRIAL PROCESS AUTOMATION

Abstract: *the article examines the concept of a digital twin and its role in industrial process control systems. A classification of digital models by the degree of integration with the physical object is given, the tasks solved by the twin at the stages of the automation system life cycle and the limitations of the technology are described.*

Keywords: *automation, digital twin, process control system, modeling, Industry 4.0.*

Автоматизированная система, согласно ГОСТ 34.003-90, – это система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций [1]. Классическая АСУ ТП собирает данные с датчиков, реализует алгоритмы регулирования и представляет информацию оператору. В рамках

концепции «Индустрия 4.0» [2] к этим функциям добавляется требование предсказывать поведение объекта, а не только реагировать на его текущее состояние. Одним из основных инструментов для этого стал цифровой двойник.

Концепция цифрового двойника была предложена М. Гривсом как связка физического объекта, его виртуальной модели и канала обмена данными между ними [3]. В отечественной нормативной базе понятие закреплено в ГОСТ Р 57700.37-2021, где двойник определяется как система из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием [4]. Важно разграничивать двойник и обычную модель: W. Kritzinger и соавторы предложили классификацию по способу обмена данными между физическим и цифровым объектом [5] (таблица 1).

Таблица 1

Классификация цифровых моделей по степени интеграции [5]

Тип модели	**Обмен данными**	**Применение в автоматизации**
Цифровая модель	Ручной в обе стороны	Проектирование и расчёт регуляторов
Цифровая тень	Автоматический: объект → модель	Мониторинг, диагностика, прогноз износа
Цифровой двойник	Автоматический в обе стороны	Оптимизация режимов, управление в реальном времени

На этапе проектирования системы автоматизации цифровая модель объекта позволяет синтезировать и настроить регуляторы до монтажа оборудования. Для этого используются среды динамического моделирования, например отечественная SimInTech, в которой модель объекта и алгоритм управления описываются структурными схемами, а затем проверяются совместно [6]. Это сокращает время пусконаладки и снижает риск аварийных режимов при первом пуске.

На этапе эксплуатации модель, получающая данные с реального объекта, становится цифровой тенью. Сравнение фактических и расчётных параметров позволяет выявлять отклонения, указывающие на износ или неисправность, до того как они приведут к останову. Так реализуется переход от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию [7].

Полноценный двойник замыкает контур: результаты расчётов на модели автоматически передаются в систему управления. Это позволяет подбирать оптимальные режимы, проверять управляющие воздействия на модели до их применения и обучать операторов на тренажёре, повторяющем поведение реальной установки [8].

Внедрение цифровых двойников ограничено рядом факторов. Во-первых, точность модели требует постоянной идентификации параметров: объект со временем меняется, и модель без подстройки теряет адекватность. Во-вторых, двусторонняя связь с системой управления повышает требования к информационной безопасности. В-третьих, создание детальной модели сложного объекта трудоёмко и оправдано прежде всего для дорогостоящего и ответственного оборудования. При этом двойник не заменяет классическую теорию управления [9]: устойчивость и качество регулирования по-прежнему обеспечиваются правильным синтезом регуляторов.

Таким образом, цифровой двойник расширяет функции АСУ ТП от управления текущим состоянием к прогнозированию и оптимизации. Наиболее доступным путём внедрения является поэтапный переход: от цифровой модели на стадии проектирования к цифровой тени для мониторинга и далее к полноценному двойнику там, где это экономически оправдано.

Использованные источники:

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009.

2. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G. et al. Industry 4.0 // Business & Information Systems Engineering. – 2014. – Vol. 6, No. 4. – P. 239–242.

3. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – Springer, 2017. – P. 85–113.

4. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2021.

5. Kritzinger W., Karner M., Traar G. et al. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51, No. 11. – P. 1016–1022.

6. Карташов Б.А., Шабаев Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: практикум по моделированию систем автоматического регулирования. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.

7. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2019. – Vol. 15, No. 4. – P. 2405–2415.

8. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 11. – P. 939–948.

9. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – 5-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.

УДК 004.41

Наумов Ф. А.
студент бакалавриата
Бородин И. Е.
студент бакалавриата
Федоров В. А.
студент бакалавриата
Казин К. В.
студент бакалавриата
Харченко А. Г.
студент бакалавриата
Сибирский Федеральный Университет
Россия, г. Красноярск

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация: *в статье рассмотрено применение больших языковых моделей (LLM) на этапах жизненного цикла программного обеспечения. Проанализированы данные о влиянии ИИ-ассистентов на производительность разработчиков и качество кода, выделены основные риски, предложена оценка применимости моделей по этапам и рекомендации по их внедрению.*

Ключевые слова: *программная инженерия, жизненный цикл ПО, большие языковые модели, генерация кода, тестирование.*

Naumov F. A.
Bachelor's student
Borodin I. E.
Bachelor's student
Fedorov V. A.
Bachelor's student
Kazin K. V.
Bachelor's student
Kharchenko A. G.
Bachelor's student
Siberian Federal University
Russia, Krasnoyarsk

APPLICATION OF LARGE LANGUAGE MODELS IN SOFTWARE LIFE CYCLE PROCESSES

Abstract: *the article examines the use of large language models (LLMs) at the stages of the software life cycle. Data on the impact of AI assistants on developer productivity and code quality are analyzed, the main risks are identified, the applicability of models by stage is assessed and recommendations for their adoption are given.*

Keywords: *software engineering, software life cycle, large language models, code generation, testing.*

Программная инженерия с момента своего появления решает одну задачу – снижение трудоёмкости и повышение предсказуемости разработки при сохранении качества продукта [1, 2]. В 2021–2025 годах на эту область существенно повлияли большие языковые модели (Large Language Models,

LLM), способные генерировать работоспособный код по описанию на естественном языке [4]. По данным опроса Stack Overflow 2024 года, 76 % разработчиков используют или планируют использовать ИИ-инструменты в работе [7]. Цель статьи – оценить возможности и ограничения LLM на этапах жизненного цикла ПО и сформулировать рекомендации по их внедрению.

Модель Codex в 2021 году решала 28,8 % задач набора HumanEval с первой попытки [4]. Более реалистичный набор SWE-bench, составленный из реальных ошибок в открытых проектах, на момент публикации решался лучшими моделями менее чем в 2 % случаев [5], однако агентные системы, получившие доступ к файлам и командной строке, заметно улучшили этот результат. Следовательно, эффективность LLM определяется не только самой моделью, но и тем, как она встроена в среду разработки: в виде автодополнения, диалогового ассистента или агента, самостоятельно выполняющего задачу.

Применимость LLM на этапах жизненного цикла по ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 [3] неодинакова; большинство исследований посвящено генерации кода и тестированию [6]. Сводная оценка приведена в таблице 1.

Таблица 1

Применимость LLM на этапах жизненного цикла ПО

Этап	Задачи для LLM	Применимость
Анализ требований	Структурирование требований, поиск противоречий	Средняя
Проектирование	Варианты архитектуры, описание интерфейсов	Низкая – средняя
Кодирование	Генерация кода, рефакторинг	Высокая
Тестирование	Модульные тесты, граничные случаи	Высокая
Сопровождение	Объяснение кода, исправление ошибок, документация	Высокая – средняя

Наибольший эффект LLM дают при кодировании: в эксперименте с 95 разработчиками группа с GitHub Copilot выполнила задачу на 55,8 % быстрее контрольной [8], хотя на сложной унаследованной кодовой базе выигрыш меньше. В тестировании результат генерации легко проверить автоматически, но важно следить, чтобы тесты проверяли требуемое поведение, а не фиксировали ошибочную реализацию. На этапах анализа требований и проектирования модель не знает реального контекста заказчика, поэтому её результат – лишь черновик для обсуждения.

Основные риски применения LLM: уязвимости в генерируемом коде (около 40 % программ в исследовании H. Pearce и соавторов содержали уязвимости [9]); «галлюцинации» – использование несуществующих функций и устаревших интерфейсов; недетерминированность результатов; снижение квалификации начинающих разработчиков. Как отмечал Ф. Брукс, главная сложность разработки – концептуальное построение системы, а не запись кода [2], и эту часть работы модели пока не снимают с человека.

Для внедрения LLM рекомендуется: сохранять обязательную проверку кода человеком; встраивать в конвейер непрерывной интеграции статический анализ, поиск уязвимостей и тесты; начинать с задач, результат которых легко проверить (тесты, документация, рефакторинг); передавать модели контекст проекта – соглашения о стиле и описание архитектуры; определить, какой код допустимо передавать внешним сервисам.

Таким образом, LLM стали полноценным инструментом программной инженерии, наиболее эффективным на этапах кодирования, тестирования и сопровождения. Их применение не отменяет базовых принципов дисциплины, а повышает значимость проверки кода, тестирования и чётких требований; роль разработчика смещается к постановке задач и контролю качества.

Использованные источники:

1. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. 6-е изд. – М.:

Вильямс, 2002. – 624 с.

2. Брукс Ф. Мифический человеко-месяц, или Как создаются программные системы. – СПб.: Символ-Плюс, 2000. – 304 с.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – М.: Стандартинформ, 2011.

4. Chen M. et al. Evaluating Large Language Models Trained on Code // arXiv:2107.03374. – 2021.

5. Jimenez C.E. et al. SWE-bench: Can Language Models Resolve Real-World GitHub Issues? // ICLR. – 2024.

6. Hou X. et al. Large Language Models for Software Engineering: A Systematic Literature Review // ACM TOSEM. – 2024.

7. Stack Overflow Developer Survey 2024: AI // Stack Overflow. – URL: https://survey.stackoverflow.co/2024/ai

8. Peng S. et al. The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot // arXiv:2302.06590. – 2023.

9. Pearce H. et al. Asleep at the Keyboard? Assessing the Security of GitHub Copilot's Code Contributions // IEEE Symposium on Security and Privacy. – 2022. – P. 754–768.

УДК 621.8.002

Перетятко С.Б., к.т.н.
доцент кафедры инжиниринга
технологического оборудования
Дешевых Д.В.
аспирант
Куковинец В.А.
аспирант
Калининградский государственный технический университет
Россия, г. Калининград

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК МОСТОВЫХ КРАНОВ

Аннотация:

Поиск был проведен по терминологическим вариантам для тележки, рамы, колесных узлов и технологических операций. Итог отбора оказался узким: большинство найденных результатов относились либо к общему краностроению, либо к конструктивному проектированию и динамике, либо к практическим материалам без подтвержденного научного статуса, либо к тележкам других кранов, прежде всего контейнерных. Особое внимание уделяется требованиям к применяемым материалам, заготовительным, сварочным и механическим операциям, сборке, контролю качества и обеспечению эксплуатационной надёжности грузовых тележек. Выявлены четыре группы нормативных документов.

Ключевые слова: технологические методы, тележки мостовых кранов, нормативная документация.

Peretyatko S.B., candidate Sc. of Engineering
associate professor at the department
of "Engineering of Technological Equipment
Dmitrii V.D.
Postgraduate Student,
Vladislav A.K.
Postgraduate Student
Kaliningrad State Technical University
Russia, Kaliningrad

ANALYSIS OF REGULATORY DOCUMENTATION ON MANUFACTURING METHODS FOR BRIDGE CRANE TROLLEYS

Abstract.

A search was conducted using terminology variants for the trolley, frame, wheel assemblies, and technological operations. The selection yielded limited results: most of the findings related to general crane engineering, structural design and dynamics, practical materials lacking verified scientific status, or trolleys for other types of cranes—primarily container cranes. Particular attention is paid to the requirements for the materials used, blank preparation, welding and machining operations, assembly, quality control, and ensuring the operational reliability of the freight bogies. Four groups of documents have been identified.

Keywords: technological methods, bridge crane trolleys, regulatory documentation.

Введение.

Мостовые краны относятся к числу наиболее распространённых грузоподъёмных машин, применяемых в промышленности, строительстве, на

складских и производственных объектах. Одним из ключевых элементов конструкции мостового крана является грузовая тележка, обеспечивающая перемещение грузозахватного устройства и передачу возникающих нагрузок на металлоконструкцию крана. Надёжность, долговечность и безопасность эксплуатации крана во многом определяются конструктивными особенностями тележки и качеством её изготовления.

Современные условия эксплуатации грузоподъёмного оборудования предъявляют повышенные требования к технологичности изготовления грузовых тележек, точности выполнения соединений, качеству сварных швов, механической обработке деталей и обеспечению требуемых показателей прочности и надёжности. При этом выбор технологических методов изготовления отдельных элементов тележки должен осуществляться с учётом действующих нормативных требований, конструктивного исполнения оборудования, характера воспринимаемых нагрузок и условий последующей эксплуатации.

Развитие технологий производства и появление современных методов обработки металлов обусловливают необходимость систематизации и анализа положений нормативной документации применительно к изготовлению грузовых тележек мостовых кранов.

В связи с этим целью настоящей работы является анализ нормативной и технической литературы, регламентирующей технологические методы изготовления грузовых тележек мостовых кранов. Проведённый анализ позволяет сформировать нормативно-техническую основу для выбора рациональных технологических решений при их производстве.

Методы.

В работе применены методы анализа и систематизации нормативно-технической литературы, сравнительного анализа.

Поиск производился по материалам прямо относящимся к изготовлению грузовых тележек мостовых кранов, их рам, металлоконструкциям, колесных блоков, ходовой части, узлов передвижения, а также к операциям базирования, механообработки, сборки, контроля, используемой оснастки и технологической подготовке производства. Сварка, как самостоятельный предмет, общие описания мостовых кранов, эксплуатация и ремонт, а также материалы по смежным тележкам других кранов без прямой связи с мостовыми кранами были исключены из поиска.

Тематическая карта строилась по подтвержденным прямым источникам, по открытым практическим технологическим описаниям этой же предметной области и по нормативной лексике. Это позволило не смешивать объект исследования с более широкими темами вроде «производство мостовых кранов» или «технология сварных металлоконструкций» и т.д. В таблице 1 приведены термины, по которым проводился поиск.

Таблица 1.

№ п/п	Русский термин	Английский эквивалент	Синонимы и альтернативы
1	грузовая тележка мостового крана	bridge crane load trolley / overhead crane trolley	крановая тележка, тележка крана мостового типа, crab
2	рама тележки	trolley frame / crab frame	несущая рама, металлоконструкция тележки
3	разъемная букса	split axle box	угловая букса, corner axle box
4	ходовое колесо	crane travel wheel	колесная установка, wheel block
5	механизм передвижения тележки	trolley travel drive	traverse drive, travelling mechanism
6	опорные платики	mounting pads / bearing pads	опорные площадки, посадочные поверхности
7	фальшвал	dummy shaft	ложный вал
8	горячий монтаж	hot assembly / fit-up mounting	монтаж «по месту»
9	накладной кондуктор	overlay jig / drill jig	кондуктор, шаблон-кондуктор

№ п/п	Русский термин	Английский эквивалент	Синонимы и альтернативы
10	поточная линия изготовления рам тележек	flow-line production of trolley frames	mechanized line, flow assembly line
11	горизонтально-расточной станок	horizontal boring machine	boring machine
12	радиально-сверлильный станок	radial drilling machine	radial drill

В основной поиск не были включены журнальные статьи и диссертации, если хотя бы одно из условий не подтверждалось полностью: либо объект оказывался не тележкой мостового крана, а мостовым краном в целом; либо статья описывала только конструктивный расчет/динамику; либо материал был технологически смежным, но не прямым.

Результаты исследования.

Первые нормативные документы в заданной области это ГОСТ 7131-54 и ГОСТ 7131-64, которые на данный момент уже не действуют, но они важны, не как литература о новых методах, а как исторически прямые документы, показывающие, что рамы тележек кранов рассматривались, как самостоятельный нормативный объект по материалам, допускам и техническим условиям изготовления [5, 6].

Современную привязку к проблеме технологической точности дает ГОСТ 32579.5-2013. Он прямо связывает расчет рам тележек с неточностями изготовления металлической конструкции и рельсового пути. Это нормативное подтверждение того, что точность изготовления рамы тележки влияет на расчетную и эксплуатационную картину, а значит, технологическая точность механообработки и базирования является важным вопросом [4].

Основные нормативные документы приведены в таблице 2.

Таблица 2.

№ п/п	Наименование и номер документа	Что регулирует документ	Значение для грузовой тележки крана
1	ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»	Общие обязательные требования безопасности машин и оборудования	Кран как машины и его составные части
2	ТР ТС 004/2011 — «О безопасности низковольтного оборудования» [8]	Устанавливает единые обязательные требования к электрическому оборудованию/	Основополагающий документ для крана как электромашины и его составных частей
3	ТР ТС 020/2011 — Технический регламент «Электромагнитная совместимость технических средств» [9].	Устанавливает единые требования к техническим средствам не создавать недопустимых помех друг другу и при этом самим стабильно работать в разной электромагнитной обстановке	Основополагающий документ для крана как электромашины и его составных частей
4	ФНП № 461 от 26.11.2020 «Правила безопасности ОПО, на которых используются подъемные сооружения» [10].	Требования промышленной безопасности при проектировании, изготовлении, монтаже, эксплуатации и контроле ПС	Важен для требований безопасности крана и его элементов; документ действует с последующими изменениями, в том числе внесёнными приказом Ростехнадзора № 16 от 22.01.2024
5	ГОСТ 34589-2019 «Краны грузоподъемные. Краны мостовые и козловые. Общие технические	Общие требования к конструкции и механизмам мостовых и козловых кранов на	Стадиb проектирования и изготовления мостовых и козловых кранов; полезен для современного нормативного

№ п/п	Наименование и номер документа	Что регулирует документ	Значение для грузовой тележки крана
	требования»	стадиях проектирования и изготовления	контекста [3].
6	ГОСТ 33166.5-2020 «Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 5. Краны мостовые и козловые»	Требования к механизмам мостовых и козловых кранов при проектировании и изготовлении.	Важен для механизмов передвижения грузовой тележки
7	ГОСТ 32579.1-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения.	Устанавливает общие принципы определения расчётных нагрузок и их комбинаций.	Проектирование отдельных механизмов крана
8	ГОСТ 32579.5-2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 5. Краны мостового типа»	Формирование расчётных нагрузок и их сочетаний.	Нужен для обоснования нагрузок, действующих на раму и механизмы тележки. Не является технологическим документом по изготовлению в узком смысле, но прямо фиксирует, что в расчетах рам тележек должны учитываться нагрузки, возникающие из-за неточности изготовления металлической конструкции и рельсового пути. Полезен для обоснования технологической точности изготовления рамы тележки.
9	ГОСТ 33169-2022 «Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей	Расчёт и подтверждение работоспособности металлических конструкций кранов.	Важен для рамы грузовой тележки: прочность, устойчивость, усталостная прочность, сварные и болтовые соединения.

№ п/п	Наименование и номер документа	Что регулирует документ	Значение для грузовой тележки крана
	способности»		
10	ГОСТ 33714.5-2024 «Краны грузоподъемные. Технический контроль. Часть 5. Краны мостовые и козловые» [11].	Контроль технического состояния мостовых и козловых кранов.	Fнализ методов контроля изготовленной тележки и её элементов.
11	ГОСТ Р 59931-2021 «Краны грузоподъемные. Требования к электрооборудованию»	Требования безопасности электрического и электронного оборудования грузоподъёмных кранов.	Если грузовая тележка имеет собственный электропривод, данный стандарт необходимо учитывать.
12	ГОСТ 33710-2015 Краны грузоподъемные. Выбор канатов, барабанов и блоков.	устанавливает критерии для выбора канатов, барабанов и блоков.	Выбор элементов для грузоподъёмных механизмов.
13	ГОСТ 34587-2019 «Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Требования к изготовлению» [12].	Минимальные правила, которым нужно следовать при производстве стальных металлоконструкций для грузоподъёмных кранов.	Производство элементов металлоконструкции тележки крана.
14	ГОСТ 34020-2016 «Краны грузоподъемные. Допуски для колес, рельсовых путей кранов и их грузовых тележек».	Устанавливает допустимые отклонения от номинальных размеров	Проектирование колес тележек кранов.
15	ГОСТ 32576.1-2015 «Краны грузоподъемные. Средства доступа, ограждения и защиты.	Устанавливает общие требования к средствам доступа, ограждениям и другим	Используется при проектировании и организации доступа к узлам крана.

№ п/п	Наименование и номер документа	Что регулирует документ	Значение для грузовой тележки крана
	Часть 1. Общие положения».	защитным решениям.	
16	ГОСТ 32576.5-2021 «Краны грузоподъемные. Средства доступа, ограждения и защиты. Часть 5. Краны мостовые и козловые».	Специальные требования к средствам доступа.	Используется при проектировании и организации доступа к узлам крана.
17	ГОСТ 34680-2020 «Краны грузоподъемные. Крюки кованые и штампованные. Технические требования».	Устанавливает требования к крюкам.	Не влияет непосредственно на грузовую тележку, но используется при проектировании элементов конструкции грузоподъемного механизма.
18	ГОСТ 6619-75 «Крюки пластинчатые однорогие и двурогие. Технические условия».	Устанавливает требования к крюкам.	Не влияет непосредственно на грузовую тележку, но используется при проектировании элементов конструкции грузоподъемного механизма.
19	РТМ 24.090.21-76 «Краны грузоподъёмные. Барабаны канатные. Метод расчёта» [13].	Устанавливает правила и методики расчёта основных параметров канатных барабанов для грузоподъёмных кранов, лебёдок и других подобных подъёмных устройств.	Расчёт размеров цилиндрической стенки барабана. Расчёт размеров торцевой стенки. Расчёт сварных швов, соединяющих эти стенки.
20	РТМ24.090.29-77 «Краны грузоподъемные. Механизмы подъема груза. Методы расчета» [14].	Устанавливает методы расчёта механизмов подъёма груза с канатами.	**Блоки и барабаны. Подшипники качения. Нагрузки для расчёта валов. Динамические нагрузки от поступательно движущихся масс и т.д. [14].**

Некоторые документы ссылаются на другую нормативную документацию, например, документ РТМ24.090.29-77 ссылается на РТМ 24.090.32-77 «Краны грузоподъёмные. Стальные конструкции. Метод расчёта» [15], РТМ 24.090.27-77 «Краны грузоподъёмные. Расчётные нагрузки» [16], РТМ 24.090.14-76 «Краны грузоподъёмные мостовые. Эквивалентные нагрузки. Метод расчёта» [17].

Кроме того, имеются нормативные документы, которые действуют не на прямую. Например, ИСО 22986:2007 «Краны. Жесткость. Мостовые и козловые краны» (ISO 22986:2007 Cranes - Stiffness - Bridge and gantry cranes) [18]. Данный документ не принят в качестве национального стандарта РФ, т.е. ГОСТ Р ИСО 22986 не существует. Тем не менее этот стандарт включён в российские базы стандартизации (Стандартинформ, standards.ru, cntd.ru) со статусом «Действует» как международный документ, и его положения применяются в России. Это означает, что он доступен для прямого применения — согласно правилам, изложенным в Р 50.1.035-2001, международные стандарты могут применяться в РФ напрямую, без обязательного принятия в виде ГОСТ Р. Требования ISO 22986:2007 по жёсткости мостовых и козловых кранов фактически встроены в действующие национальные стандарты: ГОСТ 32579.5-2013 (краны мостового типа, принципы расчётных нагрузок) — прямо ссылается на ISO 22986:2007 как на нормативную ссылку в тексте стандарта. ГОСТ 34589-2019 (краны мостовые и козловые, общие технические требования) — содержит приложение Б с параметрами статической и динамической жёсткости металлоконструкции, которые, по сути, повторяют подходы ISO 22986. На международном уровне ISO 22986:2007 был подтверждён в 2022 году, то есть он остаётся действующим.

Кроме нормативных документов, имеющих непосредственное отношение к грузовой тележке мостового крана, есть ряд документов,

которые регламентируют требования к металлопрокату, сварке, контрольным операциям и т.д. такие как ГОСТ 27772-2021, ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 8713-79, ГОСТ 3242-79, ГОСТ 7512-82, ГОСТ Р 55724-2013, ГОСТ 6996-66.

Были также проверены литературные источники. Был найден единственный надежно подтвержденный полнотекстовый прямой источник – это учебное пособие Семёнова Ю.Е. [1]. Оно выделяет именно производство рам тележек мостового крана как самостоятельный раздел и раскладывает технологию по операциям: изготовление отдельных сборочных единиц, сборка и базирование рамы, механообработка опорных платиков под буксы и т.д., поточное изготовление рам с разъемными буксами [1].

Для практического использования можно также указать, что в открытом доступе существуют неиндексированные, но подробные технологические описания: они фиксируют трехэтапную схему изготовления рамы, применение фальшвала для соосности, варианты полной механообработки против «горячего монтажа», использование горизонтально-расточного и радиально-сверлильного оборудования, а также количественные допуски и режимы обкатки при сборке тележек. Эти материалы показывают, какие вопросы в принципе технологически значимы [2, 7].

Заключение.

Прямых, полнотекстовых и надежно верифицированных источников крайне мало. Это означает дефицит именно тех источников, которые одновременно прямые, узкотематические, открытые и подтвержденные согласно заданной темы исследования.

Ограниченно имеется информация по механообработке и контроля узлов ходовой части именно грузовой тележки мостового крана. Слабо представлены следующие направления: автоматизация и роботизация

механообработки тележек мостовых кранов; цифровое проектирование именно технологических процессов изготовления тележек; экономические сравнения вариантов процесса по трудоемкости, циклу и себестоимости; полнотекстовые диссертации и статьи по технологической оснастке для механообработки рам тележек и т.д.

Возможные направления последующего расширения темы исследования: тележки контейнерных и козловых кранов как технологические аналоги; исследования по изготовлению колесных блоков и угловых букс без явного слова «тележка» в названии; общая технология производства металлоконструкций мостовых кранов с последующей ручной фильтрацией только по тележкам.

При анализе нормативной документации на заданную тему можно выделить четыре группы документов.

Группа 1 — безопасность и общие требования:

ТР ТС 010/2011, ТР ТС 20/2011, ТР ТС 04/2011, ФНП № 461, ГОСТ 34589-2019, ГОСТ Р 59931-2021.

Группа 2 — конструкция и расчёт:

РТМ 24.090.21-76, РТМ24.090.29-77, ГОСТ 33169-2022, ГОСТ 32579.5-2013, ГОСТ 33166.5-2020, ГОСТ 32579.1-2013, ГОСТ 33710-2015, ГОСТ 34020-2016, ГОСТ 32576.1-2015, ГОСТ 32576.5-2021, ГОСТ 34680-2020, ГОСТ 6619-75.

Группа 3 — изготовление:

ГОСТ 34587-2019, ГОСТ 27772-2021, ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 8713-79.

Группа 4 — контроль:

ГОСТ 3242-79, ГОСТ 7512-82, ГОСТ Р 55724-2013, ГОСТ 6996-66, ГОСТ 33714.5-2024.

Использованные источники:

1. Технология производства металлоконструкций подъемно-транспортных машин: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190205 / Ю. Е. Семёнов; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тульский гос. ун-т". - Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. - 152 с.: ил., табл.; 20 см.; ISBN 5-7679-0829-X

2. Технология производства рам тележек мостового крана. Назначение и конструктивные разновидности. [Электронный ресурс] URLhttps://www.kranmash.su/Entsiklopediya-proizvodstva-podemnich-kranov/Technologiya-proizvodstva-ram-telezhek-mostovogo-krana.html (дата обращения: 22.09.2026).

3. ГОСТ 34589-2019 Краны грузоподъемные. Краны мостовые и козловые. Общие технические требования

4. ГОСТ 32579.5-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 5. Краны мостового типа.

5. ГОСТ 7131-54 «Краны мостовые. Технические условия»

6. ГОСТ 7131-64 «Краны мостовые. Технические требования»

7. Технология производства рам тележек мостового крана. Изготовление рамы тележки мостового крана. [Электронный ресурс] URL https://www.kranmash.su/Entsiklopediya-proizvodstva-podemnich-kranov/Izgotovlenie-rami-telezhki-mostovogo-krana.html (дата обращения: 22.09.2026).

8. ТР ТС 004/2011 — Технический регламент «О безопасности низковольтного оборудования».

9. ТР ТС 020/2011 —Технический регламент «Электромагнитная совместимость технических средств».

10. ФНП № 461 от 26.11.2020 «Правила безопасности ОПО, на которых

используются подъемные сооружения».

11. ГОСТ 33714.5-2024 «Краны грузоподъемные. Технический контроль. Часть 5. Краны мостовые и козловые».

12. ГОСТ 34587-2019 «Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Требования к изготовлению».

13. РТМ 24.090.21-76 «Краны грузоподъёмные. Барабаны канатные. Метод расчёта».

14. РТМ24.090.29-77 «Краны грузоподъемные. Механизмы подъема груза. Методы расчета».

15. РТМ 24.090.32-77 «Краны грузоподъёмные. Стальные конструкции. Метод расчёта».

16. РТМ 24.090.27-77 «Краны грузоподъёмные. Расчётные нагрузки».

17. РТМ 24.090.14-76 «Краны грузоподъёмные мостовые. Эквивалентные нагрузки. Метод расчёта».

18. ИСО 22986:2007 «Краны. Жесткость. Мостовые и козловые краны».

Оглавление

Абдикаримов Р.А., ИНФОРМАЦИОННО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ЧАСТОТНО-МОДАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ: АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ В ANSYS 3

Калинкин Н.А., АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ДОКУМЕНТАЦИИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ……12

Лазарев М.С., ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПАРТИОННОСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ.....19

Наумов Ф. А., Бородин И. Е., Федоров В. А., Казин К. В., Харченко А. Г., ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....29

Наумов Ф. А., Бородин И. Е., Федоров В. А., Казин К. В., Харченко А. Г., ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....34

Перетятко С.Б., Дешевых Д.В., Куковинец В.А., АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК МОСТОВЫХ КРАНОВ.....39

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Материалы международной научно-практической конференции
23 сентября 2026

Статьи публикуются в авторской редакции
Ответственный редактор Смирнова Т.В.
Компьютерная верстка Чернышова О.А.