



СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАБОТНИКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

И. О. Темкин, С. А. Дерябин, Т. А. Корольков, А. А. Валова, Е. И. Кондратьев

Темкин Игорь Олегович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: asu@misis.ru;

Дерябин Сергей Андреевич, старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры автоматизированных систем управления, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: asu@misis.ru;

Корольков Тимофей Алексеевич, аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация;

Валова Анастасия Александровна, ассистент кафедры автоматизированных систем управления, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: asu@misis.ru;

Кондратьев Егор Игоревич, лаборант кафедры автоматизированных систем управления, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: asu@misis.ru

Статья посвящена описанию системы мониторинга производственной деятельности работников строительного комплекса. Дается обоснование необходимости разработки и применения комплекса носимых устройств для работников с целью обеспечения повышения безопасности и эффективности производственных процессов в строительстве. Приведен краткий обзор существующих решений в области мониторинга и управления ходом выполнения строительных работ, а также мониторинга деятельности работников. Предложена оригинальная структурно-функциональная схема разработанного программно-аппаратного комплекса «умная спецодежда», функциональные и технические возможности. Дается описание результатов апробации прототипа системы на одном из строительных объектов г. Москвы в рамках совместного проекта Национального исследовательского технологического университета МИСиС, Департамента градостроительной политики и Департамента информационных технологий г. Москвы.

Ключевые слова: *Vision Zero, умная спецодежда, мониторинг работников, носимые устройства, промышленный интернет вещей, Индустрия 4.0, правила безопасности и охраны труда.*

MONITORING SYSTEM OF INDUSTRIAL ACTIVITY OF EMPLOYEES OF THE CONSTRUCTION SITES

I. O. Temkin, S. A. Deryabin, T. A. Korolkov, A. A. Valova, Ye. I. Kondratyev

Temkin Igor Olegovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automated Control Systems, National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russian Federation, e-mail: asu@misis.ru;

Deryabin Sergey Andreyevich, Senior Lecturer, Head of the Laboratory of the Department of Automated Control Systems, National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russian Federation, e-mail: asu@misis.ru;

Korolkov Timofey Alekseyevich, post-graduate student, National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russian Federation;

Valova Anastasiya Aleksandrovna, assistant of the Department of Automated Control Systems, National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russian Federation, e-mail: asu@misis.ru;

Kondratyev Yegor Igorevich, laboratory assistant, Department of Automated Control Systems, National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russian Federation, e-mail: asu@misis.ru

The article is devoted to the description of the monitoring system of industrial activity of employees of the construction sites. The substantiation of the need to develop and use a set of wearable devices for workers in order to improve the safety and efficiency of production processes in construction is given. A brief overview of existing solutions in the field of monitoring and managing the progress of construction work, as well as monitoring the activities of employees is given. The original structural and functional scheme of the developed software and hardware complex "smart workwear", functional and technical capabilities are proposed. The article describes the results of testing a prototype of the system at one of the construction sites in Moscow as part of a joint project of the National Research Technological University MISIS, the Department of Urban Planning Policy and the Department of Information Technology of Moscow.

Keywords: *Vision Zero, smart workwear, employee monitoring, wearable devices, industrial Internet of Things, Industry 4.0, Safety and Labor Protection Rules.*

Введение

Строительство городских объектов – сложный и потенциально опасный технологический

процесс, в котором существенную роль играют уровень ответственности и профессионализм ра-

ботников. Ежегодные статистические данные показывают стабильное увеличение доли выявленных нарушений государственных нормативных требований Правил Безопасности и Охраны Труда (ПБиОТ) относительно числа работников, занятых в данной сфере деятельности [1, 2]. С одной стороны, это может быть объяснено повышением числа проверок в целях улучшения профилактики травматизма, предписываемой концепцией Vision Zero [3, 4], а с другой стороны ростом числа и масштабов объектов строительства, и следовательно, числа работников, занятых в основной производственной деятельности.

Так или иначе нарушения техники безопасности работниками при выполнении строительных работ представляют серьезную угрозу для здоровья и жизни и требуют принятия как плановых профилактических мер, так и оперативного реагирования в случаях выявления рисков нарушения ПБиОТ. Непрерывный контроль за безопасностью выполнения работ трудноосуществим, так как, в основном, обеспечивается административно-управляющим персоналом строительных объектов – прорабами, начальниками участков и т.д., которые, по очевидным причинам не могут наблюдать за всеми работниками на объекте одновременно.

Другой немаловажной проблемой в строительном секторе является серьезный дефицит квалифицированных кадров. Привлечение же работников низкой квалификации к выполнению строительных работ влечет повышение рисков отклонения от технологии строительства и, соответственно, увеличению количества брака, срыву производственных планов и материальным потерям [5–7]. Обеспечение же соблюдения всех технологических норм проведения строительных работ также является задачей инженерного и административно-управляющего персонала и обусловлено теми же проблемами при организации эффективного непрерывного контроля – невозможностью одновременного наблюдения за всеми работниками на объекте.

Таким образом, на сегодня актуальной и важной задачей является разработка надежных методов и инструментов для непрерывного мониторинга деятельности работников строительных объектов с целью повышения безопасности и эффективности производственных процессов.

Методы и инструменты мониторинга строительных работ

Сегодня в строительном секторе начинают активно внедряться различного рода цифровые технологии, обеспечивающие задачи мониторинга, прогнозирования, планирования и управления ходом производственных работ. Так, наиболее распространенным примером в отечественной и зарубежной практике является интеграция реше-

ний в области BIM-технологий (Building Information Model) для обеспечения задач верхнеуровневого управления [8–10]. Включение в процессы управления динамической цифровой модели строительного объекта во многом упрощает задачи контролирования сроков и этапов выполнения работ, что является важным фактором эффективной организации производства.

Однако обновление таких моделей, как правило, реализуется за счёт различного рода предсказательных методов, плохо обеспеченных оперативными низкоуровневыми данными, описывающими реальную ситуацию на объектах. Кроме того, процессы строительства подвержены трудно прогнозируемым стохастическим возмущениям (резкие изменения погодных условий, срывы поставок материалов и пр.), парализующим производственные процессы на неопределенные сроки. В совокупности, данные проблемы обуславливают низкую предсказательную способность и точность BIM-технологий при краткосрочном планировании работ и оперативном управлении строительством объектов.

Для решения же проблемы получения непрерывных низкоуровневых данных могут быть задействованы программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие мониторинг технологической ситуации на объектах в режиме реального времени. С этой целью сегодня предлагаются решения, основанные: на использовании стационарных видеокамер для получения данных о количественном и качественном составе кадровых и материальных ресурсов, присутствующих на строительной площадке [11]; на применении беспилотных летательных аппаратов, реализующих периодические фотограмметрические измерения строительных объектов [12, 13] и др. Однако, такие подходы обладают рядом недостатков, связанных с невозможностью надежного (полного и точного) получения динамической информации о технологической обстановке на объекте, в особенности, когда речь идет о деятельности работников, непосредственно реализующих производственные задачи внутри помещений.

Таким образом, наиболее эффективным и информативным методом получения данных о протекающих процессах на строительной площадке может быть использование носимых устройств, непрерывно собирающих информацию о деятельности работников и состоянии в режиме реального времени. Сегодня на рынке есть несколько решений для мониторинга работников – умные часы, трекинг-устройства и др. Но и такие устройства имеют ограниченные функциональные возможности, т.к. могут описать только общие виды деятельности работников – простой, движение, активные действия и т.п. [14,

15]. Для получения же детализированной информации о конкретной выполненной операции работником (подъем на строительные леса, укладка кирпича на кладку и т. п.) или о нарушении ПБиОТ и риске возникновения травмоопасной ситуации (снятие каски, отсутствие страховки и др.) необходимо комплексное отслеживание движения отдельных частей тела.

Наиболее близкими к такому типу устройств являются программно-аппаратный комплекс компании Amazon для мониторинга работников складов [16] и костюм для захвата движений Xsens. Опыт компании Amazon не может быть применен в строительном секторе, т.к. для работы подобных устройств требуется предварительное размещение по всему объекту приемников ультразвуковых сигналов, что очевидно трудноосуществимо и бессмысленно в динамически изменяющемся строительном объекте. Говоря же о костюме захвате движений Xsens и технологиях Motion Capture вообще, то высокая стоимость (от 4 тыс. евро) и сложность обеспе-

чения безопасной эксплуатации сегодня определяют их нацеленность на иное прикладное применение – киноиндустрию, разработку компьютерных игр, медицину и спорт. Тем не менее, общие для такого рода устройств технологические принципы могут обеспечить необходимые функциональные возможности и предоставить первичную информацию о деятельности работников в режиме реального времени.

Система мониторинга производственной деятельности работников

В рамках решения поставленной задачи по мониторингу безопасности и эффективности деятельности работников строительных объектов был разработан соответствующий программно-аппаратный комплекс (ПАК), которому дано рабочее название «умная спецодежда» (рис. 1). ПАК или система состоит из двух основных элементов: непосредственно самой «умной спецодежды» для работников и серверного программного обеспечения на базе технологий искусственного интеллекта с пользовательским веб-интерфейсом.

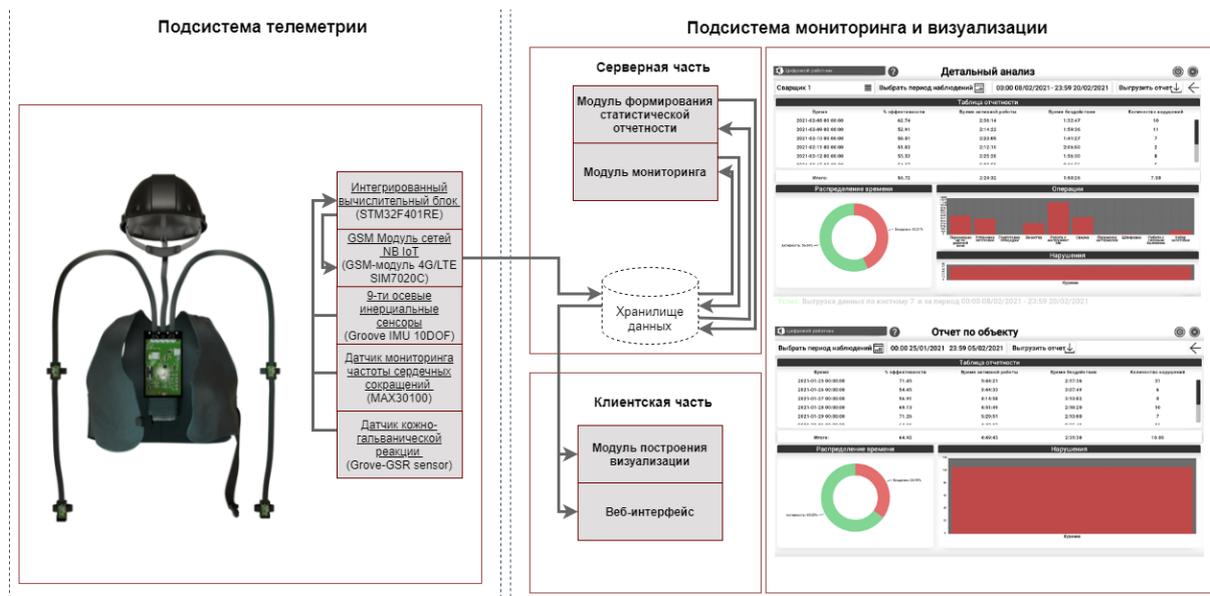


Рис. 1. Архитектурная схема взаимодействия элементов системы

Умная спецодежда – это набор связанных носимых устройств, встроенных в специальные костюмы для работников (рис. 2). В состав одного костюма входят:

- шесть девятиосевых инерциальных датчиков, регистрирующих характер и интенсивность действий работников;
- биометрические датчики, регистрирующие физиологическое состояние работника (температуру тела и пульс);
- устройства беспроводной передачи данных, обеспечивающие непрерывную отгрузку данных с датчиков на удаленный сервер системы.

Комплекс носимых устройств «умная спецодежда» имеет следующие технические характеристики:

- время автономной работы: более 24 ч;

- диапазон рабочих температур: от -15 до $+35$ °C;
- беспроводная система передачи данных NB-IoT;
- класс защиты: IP54.

Получаемые с костюмов данные непрерывно обрабатываются на сервере системы с использованием комплекса программных моделей на основе нейросетевых алгоритмов. Отдельная нейросетевая модель определяет по конкретному работнику выполненное им действие из перечня известных операций в соответствии с его должностными обязанностями. В число таких операций (классов действий) также входят бездействие (простой) работника и нарушения Правил безопасности и охраны труда.

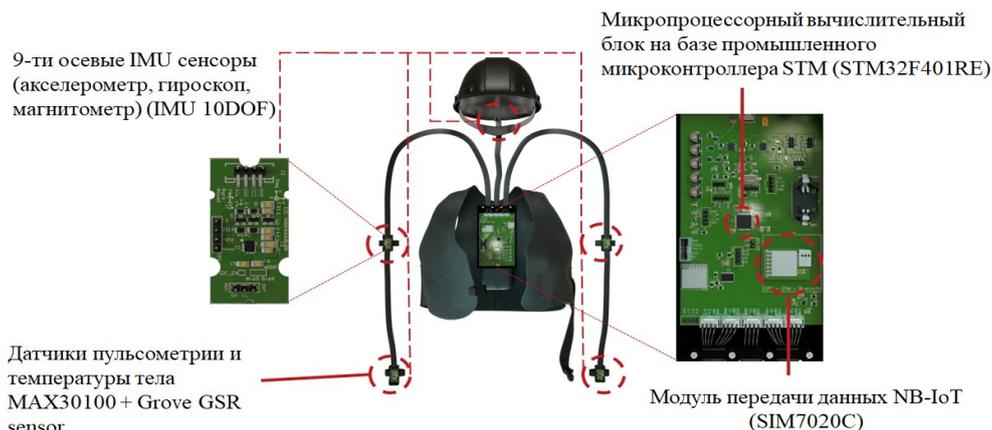


Рис. 2. Комплекс носимых устройств для работников «умная спецодежда»

На основе идентифицированных операций системой рассчитываются:

1. Временные показатели выполнения операций:

- процент эффективности выполнения работ (отношение времени активной работы к полному дню);
- количество часов активной работы;
- количество часов бездействия (простоя);
- время, потраченное на отдельные типовые операции.

2. Количество нарушений Правил безопасности и охраны труда.

Итоговые показатели производительности труда работников предоставляются административному персоналу строительной площадки посредством пользовательского интерфейса для возможности оперативного реагирования или принятия решений по оптимизации производственных процессов (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент пользовательского веб-интерфейса

Отдельно в функциях системы заложена возможность непрерывной визуализации действий работников с использованием трехмерных моделей, повторяющих движения строителей на основе получаемых данных с сенсоров, встроенных в костюмы, что позволяет в наглядном виде отслеживать деятельность персонала на объекте.

Разработанная система сформирована по принципу сервис-ориентированной архитектуры для возможности последующего расширения и модификации функциональных возможностей и обладает открытыми программными интерфейсами приложений (API) для интеграции со смежными информационными и автоматизированными системами (в том числе BIM).

О некоторых результатах опытного применения

В период с сентября 2020 по март 2021 г. Национальным исследовательским технологическим университетом МИСиС совместно с Департаментом Градостроительной Политики г. Москвы и Департаментом Информационных Технологий г. Москвы были проведены мероприятия по апробации системы на одном из строительных объектов. Апробация Системы проводилась для специальностей «Каменщик» и «Сварщик» в рамках строительства жилого комплекса по программе реновации в районе Метрогородок (Восточный АО г. Москвы).

Тестирование системы проводилось в несколько этапов: на первом этапе были осуществлены конструкторские работы по сборке двух прототипов «умной спецодежды» (Рисунок 4) и работы по формированию базовой логики программного обеспечения. На втором этапе были осуществлены полевые работы по сбору экспериментальных данных (с видеофиксацией действий работников для последующей разметки) для специальностей «Каменщик» и «Сварщик», на основании которых, в дальнейшем проводилось обучение нейросетевых алгоритмов. Обучение моделей осуществлялось на основе классификации поступающих телеметрических данных (многомерные временные ряды) с датчиков умной спецодежды по заранее формализованным схемам в соответствии со списком операций по рабочей специальности и возможными нарушениями ПБиОТ. На последующих этапах проводилась опытная эксплуатация системы в полевых условиях и оценка её эффективности.



Рис. 4. Фотография работника в «умной спецодежде»

Во время пилотного проекта с использованием средств системы было зафиксировано:

- 128,4 нарушения ПБиОТ в среднем в месяц на одного работника (более 90 % – курение на рабочем месте);

- 67,37 % средней эффективности производительности труда;

- 44 844,50 руб. потенциальной средней экономии средств по одному работнику (включая возможные выплаты по штрафам за нарушения ПБиОТ и перерасчет заработной платы при оптимизации трудозатрат времени).

Ввиду конструктивных особенностей экспериментальных вариантов умной спецодежды (наличие проводного соединения между устройствами), такие нарушения ПБиОТ, как «снятие каски», не рассматривались при обучении моделей, т. к. для их идентификации не удалось сформировать репрезентативный набор обучающих примеров.

Заключение

Результатом проведенных исследований и разработок стала работоспособная версия системы мониторинга производственной деятельности работников, отвечающая современным вызовам в части обеспечения эффективности и безопасности процессов строительства.

В ходе исследований были проанализированы различные подходы к решению задачи оперативного мониторинга работников и определена оптимальная, на наш взгляд, схема решения этой задачи.

Разработана и протестирована в условиях реального строительного объекта структура аппаратно-программного комплекса системы, основными элементами которой являются «умная спецодежда» и программный блок интеллектуального анализа сенсорных данных.

Полученные в итоге на основе производственных экспериментов интегральные данные подтверждают высокую степень совпадения теоретических оценок и практических результатов работы программно-аппаратного комплекса.

Мероприятия по апробации системы на реальном объекте показали ее функциональную и техническую пригодность. в части возможности сокращения потенциальных рисков в области нарушений Правил безопасности и охраны труда, сокращения производственных издержек и времени для принятия оперативных решений по управлению ходом строительных работ. Вследствие полученных результатов определена возможность дальнейшего масштабирования и промышленной эксплуатации системы на строительных объектах г. Москвы.

В дальнейшем планируется продолжение работ по доработке системы и, в первую очередь, разработки версии умной спецодежды с беспроводным соединением между устройствами для повышения эргономики решения и упрощения эксплуатации системы в целом.

Список литературы

1. Результаты общероссийского мониторинга условий и охраны труда за 2020 год. // Минтруд России. Единая общероссийская справочно-информационная система по охране труда. - URL: <https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda> (дата обращения: 15.10.2021).

2. Строительная экспертиза: кто и когда определяет качество строительных работ // Информационно-правовой портал «Гарант.РУ», 2020. URL: <https://www.garant.ru/article/1417361/> (дата обращения: 15.10.2021).
3. Медведников В.Б. Концепция Vision Zero в формировании культуры безопасности. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении. Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. Томск, 2021. С. 152-156.
4. Parshina V., Marushchak T., Kuznetsova E., Davydov A. Motivational elements of the human factor for the implementation of the «Vision Zero» concept in railway transport В сборнике: Transportation Research Procedia. Сер. «International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia 2020» 2021. С. 191-199.
5. Рытова Е.В. Показатели эффективности работы в системе мониторинга рисков малого производственного предприятия. - Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2008. № 1 (53). С. 104-110.
6. Емельянов И.В. Роль охраны труда на производстве. Молодежь и наука. 2018. № 1. С. 52.
7. Бальтшикова А.П., Шестаков В.И. Экономические методы управления охраной труда на промышленном предприятии. Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2018. № 1 (1). С. 9-13.
8. DA SILVA T.F.L., ARROTEIA A.V., MELHADO S.B., DE CARVALHO M.M., VIEIRA D.R. EXPLORING THE INFLUENCE OF RISKS IN BIM IMPLEMENTATION: A REVIEW EXPLORING BIM CRITICAL SUCCESS FACTORS AND BIM IMPLEMENTATION PHASES Journal of modern project management. 2021. т. 8. № 3. с. 125-135.
9. Manzoor B., Othman I., Gardezi S.S.S., Altan H., Abdalla S.B. Bim-based research framework for sustainable building projects: a strategy for mitigating bim implementation barriers applied sciences (switzerland). 2021. т. 11. № 12.
10. Zhang L., Geng L. APPLICATION OF BIM TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION SAFETY MANAGEMENT Conference Proceedings of the 7th International Symposium on Project Management, ISPM 2019. 7. 2019. С. 558-562.
11. Самарская Н.А., Ильин С.М. С17 Исследование условий труда и разработка предложений по регламентации требований безопасности при проведении работ в метрополитене: монография / Самарская Н.А., Ильин С.М. – М.: ПЕРВОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО, 2020. – 288 с. ISBN 978-5-91292-298-5.
12. Zaychenko I., Smirnova A., Borremans A. DIGITAL TRANSFORMATION: THE CASE OF THE APPLICATION OF DRONES IN CONSTRUCTION В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 05066.
13. Umar T. APPLICATIONS OF DRONES FOR SAFETY INSPECTION IN THE GULF COOPERATION COUNCIL CONSTRUCTION Engineering Construction & Architectural Management. 2020.
14. Петровский Д.В., Барашков А.В. Перспективы применения систем мониторинга логистических показателей функционирования производственных предприятий. 2018. № 6 (89). С. 129-136.
15. Sean T. McAndrew, Chimay J. Anumba, Tarek M. Hassan, Alistair K. Duke POTENTIAL USE OF REAL-TIME DATA CAPTURE AND JOB-TRACKING TECHNOLOGY IN THE FIELD Facilities. 2005. Т. 23. № 1-2. С. 31-46.
16. Патент от 28.09.2017 №US 2017/0278051 A1 «Ultrasonic bracelet and receiver for detecting position in 2D plane» (Ультразвуковой браслет и передатчик для детектирования позиции в двумерном пространстве) URL: <https://patents.google.com/patent/US20170278051A1/en> (дата обращения: 15.10.2021).

© И. О. Темкин, С. А. Дерябин, Т. А. Корольков, А. А. Валова, Е. И. Кондратьев

Ссылка для цитирования:

Темкин И. О., Дерябин С. А., Корольков Т. А., Валова А. А., Кондратьев Е. И. Система мониторинга производственной деятельности работников строительного комплекса // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 140-145.

УДК 519.65
DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-145-151

ПОДАВЛЕНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МНОГОЧЛЕНА ЛАГРАНЖА

К. Д. Якубаев

Якубаев Камилъ Джекишович, кандидат физико-математических наук, доцент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, e-mail: yak-kamil@yandex.ru

В работе приведен метод подавления осцилляции интерполяционного многочлена Лагранжа. Явление осцилляции присутствует почти всем интерполяционным кривым и многочисленным типам сплайнов. Под осцилляцией понимают резкое возрастание колебаний интерполяционной кривой, многократно превышающее размах колебаний исходных экспериментальных данных. Явление осцилляции относится к нежелательному явлению, ограничивающему область применения того или иного метода интерполяции. И необходимо принимать меры для подавления опасного явления осцилляции. Для многочлена Лагранжа явление осцилляции существует даже при равномерной сетке разбиения. Явление осцилляции многочлена Лагранжа на равномерной сетке разбиения проявляется уже для многочленов тринадцатой степени. Проведены численные испытания предложенного метода. Этот метод подавления осцилляции интерполяционного многочлена Лагранжа существенно расширяет сферу применимости многочлена Лагранжа. И он может быть перенесен на сплайны и другие интерполяционные кривые. В работе выяснено, что существует нижний предел подавления осцилляции многочлена Лагранжа. И ниже этого предела уменьшить размах колебаний интерполяционного многочлена Лагранжа невозможно. Подавление осцилляции на краях отрезка интерполяции превышающий оптимальный уровень приводит к рождению новой осцилляции, но уже в центральной части интерполяционного отрезка. Это интересное явление показано в настоящей работе графически. В статье рассмотрены интерполяционные многочлены Лагранжа с чебышевскими узлами первого рода. Показано, что такие многочлены не осциллируют.

Ключевые слова: интерполяция, многочлен Лагранжа, осцилляция, сплайны, Mathcad, многочлены Чебышева.