

**Развитие систем автоматизированного управления на этапе строительства
(на примере линейных объектов)****П.Д. Севастьянов^{1✉}, А.В. Казаков²,
М.В. Матвеева³, А.В. Пешков⁴**^{1,2}ООО «Иркутская нефтяная компания», г. Иркутск, Россия^{3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Цель – совершенствование производственных процессов на основе технологий информационного моделирования и исследование 3D-системы *Trimble Grade Control* при строительстве линейных объектов; определение экономической эффективности данной системы, скорости и качества выполнения работ, а также создание на базе технологий 3D-нивелирования и 3D-проектирования системы автоматизированного управления дорожным строительством, построение имитационной модели. Исследована система автоматизированного управления. Рассчитан экономический эффект применения проекта 3D-нивелирования при реконструкции участка федеральной автодороги «Вилуй» с подготовкой основания под укладку асфальта. Установлено, что экономическая эффективность повысилась благодаря увеличению скорости и повышению качества выполняемых работ. Показана работа системы автоматизированного управления при строительстве линейных объектов. Изучены технологии информационного моделирования. Проведена характеристика системы процессов строительства линейных объектов. Выявлены эффекты и преимущества при использовании технологии 3D-нивелирования в производстве дорожно-строительного управления: 3-кратное повышение скорости и качество финишных планировочных работ; исключение переделок объекта (только в случае изменения проекта); отказ от разбивочных геодезических работ; интерактивный подсчет объемов земляных работ; повышение эффективности работы производителя. Внедрение технологий информационного моделирования позволяет усовершенствовать модель организации производственных процессов. Теоретические и экспериментальные исследования, разработка новых технических решений, проектов новых конструкций машин и рабочих органов – актуальные направления в совершенствовании машин для строительства линейных объектов.

Ключевые слова: автоматизированное управление, линейные объекты, технологические процессы, 3D-система, спутниковый GNSS-приемник, экскаватор, грейдер, бульдозер

Для цитирования: Севастьянов П.Д., Казаков А.В., Матвеева М.В., Пешков А.В. Развитие систем автоматизированного управления на этапе строительства (на примере линейных объектов) // Известия вузов. Строительство. 2023. Т. 13. № 2. С. 324-335. <https://elibrary.ru/lkqvvg>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-324-335>.

Original article**Development of automated control systems at the construction stage
(using the example of linear objects)****Pavel D. Sevastyanov^{1✉}, Andrey V. Kazakov²,
Maria V. Matveeva³, Artem V. Peshkov⁴**^{1,2}Irkutsk Oil Company LLC, Irkutsk, Russia^{3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The research is aimed at improving production processes using information modeling technologies, along with the examination of the Trimble 3D Grade Control system for the construction of

linear facilities; determining the economic efficiency of this system, the speed and quality of work; creating an automated control system for road construction on the basis of 3D leveling and 3D design technologies, and developing a simulation model. An automated control system is investigated. The economic effect of 3D leveling during the reconstruction of the section of the Vilyui federal highway, which involved the preparation of the base for asphalt paving, is calculated. It is established that economic efficiency is increased due to an increase in the speed and quality of the work. The operation of the automated control system during the construction of linear facilities is demonstrated. The technologies of information modeling are studied. The process system during the construction of linear facilities is characterized. The article reveals several effects and advantages of incorporating 3D leveling technology into road construction management, including a threefold increase in the speed and quality of finishing planning works, the prevention of unnecessary reconstruction (only in the case of project modifications), the elimination of demarcation survey operations, real-time computation of earthwork quantities, and enhanced efficiency for the chief engineer. The implementation of information modeling technologies helps to improve the management model of production processes. Both theoretical and experimental research, as well as the development of new technical solutions and designs for machines and working bodies, comprise topical directions in the improvement of machines for the construction of linear facilities.

Keywords: automated control, linear objects, technological passages, 3D-method, satellite GNSS-receiver, excavator, grader, bulldozer

For citation: Sevastyanov P.D., Kazakov A.V., Matveeva M.V., Peshkov A.V. Development of automated control systems at the construction stage (using the example of linear objects). *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):324-335. (In Russ.). EDN: LKQVDG. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-324-335>.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы постоянно совершенствуются в направлении интеллектуализации процесса строительства линейных и площадных объектов. Разработка новых технических решений, теоретические и экспериментальные исследования, разработка проектов новых конструкций машин, рабочих органов является актуальным направлением в совершенствовании машин для строительства линейных объектов [1–2]. Цель работы – исследование системы 3D-нивелирования Trimble Grade Control при строительстве линейных объектов, экономическая эффективность данной системы, скорость и качество выполнения работ, изучение технологий, применяемых в сфере информационного моделирования в строительстве линейных объектов [3–7]. С целью исследования основных процессов строительства линейных и площадных объектов была построена имитационная модель. Для повышения качества, точности и скорости дорожно-строительных работ, процессов планирования и в целом контроля работы дорожно-строительной техники (ДСТ), авторами предложена идея создания системы автоматизированного управления (САУ) дорожным строительством на базе технологий 3D-нивелирования и 3D-проектирования [8–10]. Сущность данной системы базируется на трех

основных компонентах:

- разработка геопривязанной 3D-модели проекта [11];
- создание облачной системы хранения, через которую 3D-модель проекта будет удаленно загружаться в ДСТ, а также будут организованы функции интерактивного приема и передачи данных о ее фактической работе [12];
- установка на ДСТ комплекта высокоточных геодезических приемников и инклиметрических датчиков, за счет которых ДСТ будет видеть и определять положение своего рабочего органа относительно загруженной 3D-модели на местности и с возможностью перехода на автоматизированный режим работы [13].

Данные системы сегодня активно развиваются и применяются в дорожном строительстве во всем мире, устанавливаются на различную ДСТ: экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, укладчики бетона и асфальта (рис. 1) [14].

В целом сегодня широкое применение получили два вида таких систем:

1. На базе установки роботизированных тахеометров – более дорогая технология, но при этом более точная (точность измеряется в миллиметрах).
2. Второй тип – это система, оснащенная GNSS-приемниками – менее точная, более дешевая (точность до 5 см) [15–17].

Удалённый контроль техники

Принцип работы технологии



Рис. 1. Возможности 3D-нивелирования на стройплощадке
Fig. 1. Possibilities of 3D-leveling on the construction site

Остальная технологическая часть и принцип приема геодезических поправок от базовой геодезической станции у данных видов систем – общий [18]. В основной комплект 3D-систем входят: гидравлический комплект, датчики, которые отвечают за уклон и компенсацию наклона мачты, бортовой планшет, в котором хранится вся рабочая информация, проекты, осевые линии, отметки, а также, как говорилось выше, 2 вида комплектов геодезического оборудования [19–21].

В настоящее время все чаще встречается такое оборудование, как 3D-системы автома-

тического управления дорожно-строительными машинами (САУ ДСМ) [22]. Эти системы используются при устройстве земляного полотна дороги бульдозерами и экскаваторами, при профилировании слоев дорожной одежды автогрейдерами [23]. Обслуживание систем выполняется только сервисным инженером (техническим специалистом) компании-поставщика [24]. На данный момент таких не так много, поскольку устанавливать, настроить и грамотно обучить ИТР и машинистов компании-заказчика могут не все (рис. 2, а–с)¹ [25, 26].



Рис. 2. Строительная техника, оснащенная 3D-системой автоматического управления дорожно-строительными машинами: а – выемка непригодного грунта до проектных отметок; б – отсыпка дорожной одежды до проектных отметок; с – устройство выемки экскаватором до проектных отметок

Fig. 2. Construction equipment equipped with a 3D automatic control system for road construction machines: а – excavation of unsuitable soil to the design marks; б – filling of the pavement to the design marks; с – the device of excavation by the excavator to the design marks

Сегодня в мире существует множество производителей таких систем, европейского, японского и китайского производства. В России на сегодняшний день наиболее известны системы нивелирования таких компаний, как *Trimble*, *Leica* и *Topcon* [27].

Так, например, 3D-системами *Trimble Grade Control* оснащена ДСТ в ООО «Иркутская нефтяная компания» (ООО «ИНК»). Ее на отечественном рынке до 2022 г. представляла компания *Saitek*.

По опыту использования данных систем при производстве работ на объектах ООО «ИНК», системы нивелирования *Trimble* зарекомендовали себя надежно. Они стабильны в работе, более просты в подключении

и настройке, легко управляется, а скорректировать работу под нужные высотные отметки дорожно-строительной техники в соответствии с результатами датчиков уклона и высоты можно бортовым компьютером или джойстиком машиниста.

При этом исключаются ошибки, вызванные влиянием «человеческого фактора», особенно при выполнении финишных планировочных работ в ночное время суток, достигается удовлетворяющая точность работы и это позволяет значительно увеличить производительность и минимизировать расходы на инертных материалах, ГСМ, а также на рабочей силе [28, 29].

В целом в Дорожно-строительном управлении ООО «ИНК» на данный момент реали-

¹Латышенко К.П. Автоматизация измерений, контроля и испытаний. М.: Academia, 2018. 160 с.

зована следующая технологическая платформа, включающая в себя большой стек взаимосвязанных технологий.

Основные компоненты программно-аппаратного комплекса дорожно-строительного управления (ДСУ) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные компоненты программно-аппаратного комплекса

Table 1. The main components of the software and hardware complex

Компонент программно-аппаратного комплекса – ДСУ	Описание
3D CAD (САПР)	Система автоматизированного 3D моделирования и проектирования
АСУ ДСУ	Автоматизированная система фактического учета и планирования
КОМБАТ	Интеллектуальная транспортная система автоматизированного управления дорожно-строительной техникой
3D нивелирование	Автоматизированное управление техникой и строительным процессом

Для того чтобы система работала на объекте, создается специализированная техническая инфраструктура, основными компонентами которой являются:

- установка базовой геодезической станции.

- развертывание телекоммуникационного оборудования для быстрой передачи производственных данных (офис-поле, поле-офис).

Проектировщики работают с двухмерными моделями объектов строительства.

Это техническая документация, планы, чертежи. BIM проектирование кардинально отличается от традиционных видов проектных работ: отличие – в сборе и обработке данных о технологических, архитектурно–

планировочных, конструктивных, эксплуатационных характеристиках объекта, объединенных в едином информационном поле (BIM-модели) [30–32].

Рассмотрим эффективность применения проекта 3D-нивелирования при реконструкции участка федеральной автомобильной дороги (а/д) «Вилуй» с подготовкой основания под укладку асфальта (табл. 2).

Задача производителя работ / мастера ДСУ – выполнить реконструкцию участка федеральной а/д «Вилуй» с подготовкой основания под укладку асфальта (рис. 3).

Протяженность участка – 1,3 км, требуемые сроки реализации – 21 календарный день, требуемое качество работ – +/- 2 см.



Рис. 3. Процесс строительства федеральной автомобильной дороги «Вилуй»:

- a* – выемка реконструируемого участка автодороги до проектных отметок;
- b* – подготовленное основание для устройства дорожной одежды

Fig. 3. The process of construction of the federal highway «Vilyuy»:

- a* – excavation of the reconstructed section of the highway to the design marks;
- b* – the prepared base for the device of the road surface

При строительстве данного объекта из-за постоянного трафика движения машин по дороге, работы были осложнены очень стесненными условиями, в связи с чем единственным выходом было – организовать работу захватками (работа захватками значительно увеличивает объем разбивочных работ, а постоянное движение машин создает риск сбить планировочные колья). Дополнительно к этому одновременно требовалось вести и контролировать работу еще на двух серьезных объектах со сложной планировкой – откос ГФУ, а также противопожарные проезды ШРС КПХиО СУГ. Благодаря применению системы 3D-нивелирования нам удалось сделать и передать основание подрядной организации в срок (20 дней), с соблюдением точности +/- 2 см от проекта. Выданный в работу GNSS-приемник с загруженной 3D-моделью и техника, оснащенная 3D-системой, помогли нам оперативно «на месте» решать споры со службой заказчика, службой строительного контроля и смежными подрядными организациями, и доказывать качество и точность выполненной планировки. При использовании техники, оснащенной системой 3D-нивелирования,

разбивка площадки и дорог кольями не требуется. При сравнительном анализе производительности и организации работ ДСУ ООО «ИНК» и смежной подрядной организации, на участке федеральной автомобильной дороги А-331 «Вилуй» задействовано со стороны ДСУ ООО «ИНК» три единицы дорожно-строительной техники в двухсменном режиме в комплексе с одним дорожным мастером, а со стороны смежной подрядной организации было задействовано 17 единиц дорожно-строительной техники в двухсменном режиме в комплексе с 13 ИТР, из них: главный инженер, начальник участка, семь дорожных мастеров, две бригады геодезистов (геодезист + замерщик) (табл. 3).

Срок выполнения работ ДСУ ООО «ИНК» составил 20 календарных дней на участке в 1,3 км дороги (рис. 4).

Таблица 2. Окупаемость инвестиции в системы 3D-нивелирования

Table 2. Recoupment of 3D leveling systems

Норма за смену, м³	Производительность, %
690	100
1100	162

Таблица 3. Сравнение производительности и организации работ дорожно-строительного управления ООО «Иркутская нефтяная компания» с подрядной организацией*

Table 3. Comparison of productivity and organization of works of LLC «INK» with a contractor*

	Участок федеральной АД «Вилуй»		Межплощадочная АД ИЗП	
ИТР состав	Дорожный мастер (параллельно вел еще два объекта: ГФУ откос, пожарные проезды КПХиО СУГ) Итого: 1 чел.		1. Главный инженер 2. Начальник участка 3. Семь мастеров (на линии) 4. Две бригады геодезистов (геодезист + замерщик) Итого: 13 чел.	
Задействованная техника	1 3D экскаватор 1 3D бульдозер 1 грунтовый каток	1 звено	7 экскаваторов 6 бульдозеров 2 катка 1 3D грейдер 1 грейдер	6 звеньев
Срок Выполнения работ	20 дней с учетом постоянного трафика по федеральной а/д и работы «захватками»		Около одного года	
Качество выполненных работ	Вертикальная планировка поверхности была выполнена с допуском + \ - 2 см без работы грейдера. Дорога находится в <u>удовлетворительном состоянии</u> после двух сезонов прохода температуры через 0 градусов, регулярного транзитного трафика и «зимнего завоза»		Дорога находится в <u>неудовлетворительном состоянии</u> после двух сезонов прохода температуры через 0 градусов и в отсутствии регулярного использования	

*после выполнения ДСУ объекта – участок реконструкции федеральной автодороги «Вилуй» – строительная подрядная организация закупила пять комплектов систем 3D-нивелирования для тяжелой техники марки Торсон у ООО «Байкал-Оптика».

Строительство межплощадочной АД ИЗП подрядной организации составило около года.

Выявленные эффекты и преимущества при использовании в производстве работ ДСУ технологии 3D-нивелирования:

- 3-кратное повышение скорости и качество финишных планировочных работ;
- исключение переделок объекта (только в случае изменения проекта);
- отказ от разбивочных геодезических работ;

– интерактивный подсчет объемов земляных работ;

– повышение эффективности работы мастера/производителя работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследована система автоматизированного управления при строительстве линейных объектов. Рассчитан экономический эффект применения проекта 3D-нивелирования при реконструкции участка федеральной автодороги «Вилюй» с подготовкой основания под укладку асфальта.



Рис. 4. Участок федеральной автомобильной дороги «Вилюй», расстояние 1,3 км

Fig. 4. Section of the federal highway "Vilyuy", distance 1.3 km

Показана возможность применения систем 3D-нивелирования при реконструкции участка федеральной а/д «Вилюй» с подготовкой основания под укладку асфальта. Применение систем 3D-нивелирования позволит ООО «ИНК» оперировать огромными массивами памяти, способствует повышению скорости и качества финишных планировочных работ,

исключению переделок объекта, отказу от разбивочных геодезических работ, интерактивному подсчету объемов земляных работ.

Благодаря применению системы 3D-нивелирования удалось сделать и передать основание подрядной организации в срок (20 дней) с соблюдением точности +/-2 см от проекта (рис. 5).



Рис. 5. Перевозка основного крупногабаритного оборудования на стройплощадку завода полимеров

Fig. 5. Transportation of the main large-sized equipment to the construction site of the polymer

ВЫВОДЫ

Исследована 3D-система *Trimble Grade Control* и технологии информационного моделирования. Проведена характеристика системы процессов строительства линейных объектов в ООО «ИНК». С целью совершенствования процессов организации строительства линейных объектов в ООО «ИНК» предполагается внедрение технологии информационного моделирования. Выявлены эффекты и преимущества при использовании в производстве

работ ДСУ технологии 3D-нивелирования:

1. 3-кратное повышение скорости и качества финишных планировочных работ.

2. Экономическая эффективность данной системы.

3. Исключение переделок объекта (только в случае изменения проекта), отказ от разбивочных геодезических работ, интерактивный подсчет объемов земляных работ, повышение эффективности работы мастера / производителя работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hu Z.Z., Leng S., Lin, J.R., Li S.-W., Xiao Y.-Q. Knowledge extraction and discovery based on BIM: a critical review and future directions // Archives of Computational Methods in Engineering. 2022. Vol. 29. P. 335–356. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09576-9>.
2. Nguyen V., Zhang J., Le V., Jiao R. Vibration analysis and modeling of an off-road vibratory roller equipped with three different cab's isolation mounts // Shock and Vibration. 2018. Vol. 2018. P. 8527574. <https://doi.org/10.1155/2018/8527574>.
3. Nguyen V., Zhang J., Yang X. Low-frequency performance analysis of semi-active cab's hydraulic mounts of an off-road vibratory roller // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. P. 8725382. <https://doi.org/10.1155/2019/8725382>.
4. Peiling Wang, Nguyen Van Liem, Jianrun Zhang. Experimental research and optimal control of vibration screed system (VSS) based on fuzzy control // Journal of Vibroengineering. 2020. Vol. 22. Iss. 6. P. 1415–1426. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21560>.
5. Siebelink S., Voordijk H., Endedijk M., Adrianse A. Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity // Frontiers of Engineering Management. 2020. Vol. 8. No. 9. P. 236–257. <http://doi.org/10.1007/s42524-019-0088-2>.
6. Vanliem Nguyen, Jianrun Zhang. A sensitivity analysis of the importance of the dynamic parameters on the paver's performance // Journal of Vibroengineering. 2020. Vol. 22. Iss. 2. P. 322–336. <http://doi.org/10.21595/jve.2020.20966>.
7. Guanghui Xu, George K. Chang. Continuous compaction control - mathematical models and parameter identification // Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG-2019). Guimarães, 2019. P. 563–584. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_49.
8. Qinglong Zhang, Tianyun Liu, Zhaosheng Zhang, Zehua Huangfu, Qingbin Li, Zaizhan An. Unmanned rolling compaction system for rockfill materials // Automation in Construction. 2019. Vol. 100. P. 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.004>.
9. Yipin Wan, Jie Jia. Nonlinear dynamics of asphalt-screed interaction during compaction: Application to improving paving density // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 202. P. 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.205>.
10. Wolf P., Vierling A., Husemann J., Berns K., Decker P. Extending skills of autonomous off-road robots on the example of behavior-based edge compaction in a road construction scenario // Commercial Vehicle Technology 2020/2021: Proceedings. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021. http://doi.org/10.1007/978-3-658-29717-6_5.
11. Александрова Е.Б. Минимизация рисков инвестиционно-строительных проектов с использованием BIM технологий // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. P. 14–18. EDN: LDXNUO.
12. Асатрян В.А., Попова И.Н., Лазич Ю.В. Внедрение BIM-технологий как фактор конкурентоспособности компаний строительной отрасли // Beneficium. 2019. № 3 (32). С. 4–13. EDN: YCRYKT. [http://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2019.3\(32\).4-13](http://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2019.3(32).4-13).
13. Бадмаева И.А., Волкова Е.В. Технологии информационного моделирования объектов дорожного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4 (43). С. 521–528. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
14. Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартынов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1 (40). С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.

15. Колбасин А.М., Гумеров А.Р. Автоматизация дорожного строительства // Отходы и ресурсы. 2020. Т. 7. № 1. С. 12. EDN: JOUOZL. <http://doi.org/10.15862/12INOR120>.
16. Носов С.В. Анализ исследований взаимодействия грунтов земляного полотна и дорожных одежд с дорожными катками // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 3 (51). С. 72–82. EDN: XZDFOP.
17. Поршнева Л. «Строительный навигатор» задал курс на BIM, Цифровой кодекс и поиски человека труда // Отраслевой журнал «Строительство». 2021. № 4. С. 5–9.
18. Прокопьев А.П. Теоретические основы построения интеллектуальных систем управления уплотнением асфальтобетонных смесей // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 10–1. С. 48–58. EDN: PEHQSН. <https://doi.org/10.17513/snt.39345>.
19. Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Иванчура В.И., Турышева Е.С. Автоматизация неразрушающего контроля уплотнения дорожных материалов. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. 156 с. EDN: FCRFCQ.
20. Прокопьев А.П., Набижанов Ж.И. Нейросетевая система управления процессом уплотнения дорожных материалов асфальтоукладчиками // Инженерный вестник Дона. 2021. № 10 (82). С. 120–129. EDN: XVGOZS.
21. Прокопьев А.П., Набижанов Ж.И., Емельянов Р.Т., Иванчура В.И. Новый метод нейросетевой системы контроля уплотнения асфальтобетонных смесей // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2021. № 9. С. 65–69. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.09.21>. EDN: SLGGMC.
22. Рыбаков Д.А., Астафьева Н.С. Анализ эффективности строительно-инвестиционных проектов с учетом применения BIM-технологий // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 33. С. 1565–1570. EDN: STQVLP.
23. Соколов Н.С., Михайлова С.В. Организация технического надзора с помощью BIM-технологий при строительстве нефтеперерабатывающего завода // Научный журнал «Евразийский союз ученых». 2020. № 4-4 (73). С. 46–48. EDN: BSYMBK.
24. Бачурина С.С. Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1: Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. М.: ДМК Пресс, 2021. 112 с.
25. Захаренко А.В., Пермяков В.Б., Молокова Л.В. Дорожные катки: теория, расчет, применение: монография. СПб.: Лань, 2018. 328 с.
26. Пермяков В.Б., Шапошников А.В. Исследование влияния температуры смеси и высоты образцов на прочность и плотность асфальтобетона // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: материалы II Национальной науч.-практ. конф. (г. Омск, 18–19 апреля 2019 г.). Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2019. С. 421–427. EDN: WHTIEN.
27. Самсонов В.В. Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D. М.: Academia, 2019. 216 с.
28. Селевцов Л.И. Автоматизация технологических процессов. М.: Academia, 2019. 160 с.
29. Скрыпник Т.В., Василенко Т.Е. Инновационное развитие дорожной отрасли // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (г. Горловка, 22 мая 2019 г.). Горловка: Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета, 2019. С. 204–206.
30. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Рн/Д: Феникс, 2018. 64 с.
31. Матвеева М.В., Адегбола А.А.А. К вопросу организации процессов 4D-моделирования и управления ими в строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 2. С. 190–195. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>. EDN: QVZRKL.
32. Пешков А.В., Матвеева М.В., Безруких О.А., Рогов Д.С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 90–97. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>. EDN: AИHCLW.

REFERENCES

1. Hu Z.Z., Leng S., Lin, J.R., Li S.-W., Xiao Y.-Q. Knowledge extraction and discovery based on BIM: a critical review and future directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022;29:335-356. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09576-9>.

2. Nguyen V., Zhang J., Le V., Jiao R. Vibration analysis and modeling of an off-road vibratory roller equipped with three different cab's isolation mounts. *Shock and Vibration*. 2018;2018:8527574. <https://doi.org/10.1155/2018/8527574>.
3. Nguyen V., Zhang J., Yang X. Low-frequency performance analysis of semi-active cab's hydraulic mounts of an off-road vibratory roller. *Shock and Vibration*. 2019;2019:8725382. <https://doi.org/10.1155/2019/8725382>.
4. Peiling Wang, Nguyen Van Liem, Jianrun Zhang. Experimental research and optimal control of vibration screed system (VSS) based on fuzzy control. *Journal of Vibroengineering*. 2020;22(6):1415-1426. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21560>.
5. Siebelink S., Voordijk H., Endedijk M., Adrianse A. Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity. *Frontiers of Engineering Management*. 2020;8(9):236-257. <http://doi.org/10.1007/s42524-019-0088-2>.
6. Vanliem Nguyen, Jianrun Zhang. A sensitivity analysis of the importance of the dynamic parameters on the paver's performance. *Journal of Vibroengineering*. 2020;22(2):322-336. <http://doi.org/10.21595/jve.2020.20966>.
7. Guanghui Xu, George K. Chang. Continuous compaction control - mathematical models and parameter identification. In: *Information Technology in Geo-Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference (ICITG-2019)*. Guimarães; 2019. P. 563-584. http://doi.org/10.1007/978-3-030-32029-4_49.
8. Qinglong Zhang, Tianyun Liu, Zhaosheng Zhang, Zehua Huangfu, Qingbin Li, Zaizhan An. Unmanned rolling compaction system for rockfill materials. *Automation in Construction*. 2019;100:103-117. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.004>.
9. Yipin Wan, Jie Jia. Nonlinear dynamics of asphalt-screed interaction during compaction: Application to improving paving density. *Construction and Building Materials*. 2019;202:363-373 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.205>.
10. Wolf P., Vierling A., Husemann J., Berns K., Decker P. Extending skills of autonomous off-road robots on the example of behavior-based edge compaction in a road construction scenario. *Commercial Vehicle Technology 2020/2021: Proceedings*. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2021. http://doi.org/10.1007/978-3-658-29717-6_5.
11. Aleksandrova E.B. Minimizing the risks of investment and construction projects using BIM technologies. *Innovatsii i investitsii = Innovation and Investment*. 2018;11:14-18. (In Russ.). EDN: LDXNUO.
12. Asatrayn V.A., Popova I.N., Lazich YU.V. Implementation of BIM-technologies as a factor of competitiveness of companies in the construction industry. *Beneficium*. 2019;3:4-13. (In Russ.). [http://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2019.3\(32\).4-13](http://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2019.3(32).4-13). EDN: YCRYKT.
13. Badmaeva I.A., Volkova E.V. Information modelling of road facilities. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):521-528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-521-528>. EDN: FXCTCH.
14. Guevara Rada L.T., Peshkov V.V., Mart'yanov V.I., Radionova E.A., Buzheeva F.G., Saibatalova E.V. Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):70-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
15. Kolbasin A.M., Gumerov A.R. Automation of road construction. *Otkhody i resursy = Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2020;7(1):12. (In Russ.). EDN: JOUOZL. <http://doi.org/10.15862/12INOR120>.
16. Nosov S.V. Analysis of the research on the interaction of the base strength and road surfacing with road rotors. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury = Russian journal of building construction and architecture*. 2018;3:72-82. (In Russ.). EDN: XZDFOP.
17. Porshneva L. "Construction navigator" set the course for BIM, the Digital Code and the search for a man of labor. *Otraslevoi zhurnal «Stroitel'stvo»*. 2021;4:5-9. (In Russ.).
18. Prokopev A.P. Theoretical foundations of building intelligent control systems for compaction asphalt mixtures. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2022;10-1:48-58. (In Russ.).
19. Prokop'ev A.P., Emel'yanov R.T., Ivanchura V.I., Turyshcheva E.S. Automation of non-destructive testing of compaction of road materials. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2021. 156 p. (In Russ.). EDN: FCRFCQ.
20. Prokopev A.P., Nabizhanov Zh.I. Neural network control system for compaction of road materials of pavers. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2021;10:10-20. (In Russ.). EDN: XVGOZS.
21. Prokopev A.P., Nabizhanov Zh.I., Emel'yanov R.T., Ivanchura V.I. A new method of neural network system for monitoring of asphalt mixtures compaction. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki = Modern Science: actual problems of theory and practice*. 2021;9:65-69. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37882/2223-2966.2021.09.21>.
EDN: SLGGMC.

22. Rybakov D.A., Astaf'eva N.S. Analysis of the effectiveness of construction and investment projects taking into account the use of BIM technologies. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021;33:1565-1570. (In Russ.).

23. Sokolov N.S., Mikhailova S.V. Organization of technical supervision using BIM technologies during the construction of an oil refinery. *Nauchnyy zhurnal "Evraziyskiy Soyuz Uchenykh" = Scientific journal "Eurasian Union of Scientists"*. 2020;4-4:46-48. (In Russ.).
EDN: BSYMBK.

24. Bachurina S.S. Information modeling: methodology of using digital models in the process of transition to digital design and construction. Part 1: Digital project management of a full cycle in urban planning. Theory. Moscow: DMK Press; 2021. 112 p. (In Russ.).

25. Zakharenko A.V., Permyakov V.B., Molokova L.V. Road rollers: theory, calculation, application. Saint-Petersburg: Lan'; 2018. 328 p. (In Russ.).

26. Permyakov V.B., Shaposhnikov A.V. Study of the effect of the temperature of the mixture and height of samples on the strength and density of asphalt concrete. In: *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo: materialy II Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Education. Transport. Innovation. Construction: materials of the II National Science-practical conference*. 18-19 April 2019, Omsk, Omsk: Siberian State Automobile and Road University; 2019. p. 421-427. (In Russ.).
END: WRITELN.

27. Samsonov V.V. Automation of design work in the Compass-3D environment. Moscow: Academia; 2019. 216 p. (In Russ.).

28. Selevtsov L.I. Automation of technological processes. Moscow: Academia; 2019. 160 p. (In Russ.).

29. Skrypnik T.V., Vasilenko T.E. Innovatsionnoe razvitiye dorozhnoi otrasli. *Nauchno-tekhnicheskie aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa: materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Scientific and technical aspects of the development of the motor transport complex: materials of the V International Scientific and Practical Conference*. 22 May 2019, Gorlovka. Gorlovka: Automobile and Road Institute of Donetsk national technical university; 2019. p. 204-206.
EDN: XJQIOS.

30. Shishmarev V.Yu. Automation of production processes in mechanical engineering. Rostov on Don: Feniks; 2018. 64 p.

31. Matveeva M.V., Adegbola A.A.A. Organization and management of 4D-modelling processes in construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(2):190-195. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-190-195>.
EDN: QVZRKL

32. Peshkov A.V., Matveeva M.V., Bezrukikh O.A., Rogov D.S. Ensuring quality control processes at all stages of the life cycle of capital construction projects under the Construction 4.0 concept. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):90-97. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>.
EDN: AIHCLW.

Информация об авторах

Севастьянов Павел Дмитриевич,
производитель работ
дорожно-строительного управления,
ООО «Иркутская нефтяная компания»,
664007, г. Иркутск, Большой Литейный просп., 4,
Россия
e-mail: matrik40074@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8211-941X>

Казаков Андрей Владимирович,
руководитель группы по 3D-моделированию
дорожно-строительного управления,
ООО «Иркутская нефтяная компания»,
664007, г. Иркутск, Большой Литейный просп., 4,
Россия
e-mail: Kazakov_av@Irkutskoil.ru
<https://orcid.org/0009-0004-4449-9680>

Information about the authors

Pavel D. Sevast'yav
Foreman of the Road
Construction Department,
LLC «Irkutsk Oil Company»,
4 Bolshoi Liteiny ave., Irkutsk 664007,
Russia,
e-mail: matrik40074@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-8211-941X>

Andrey V. Kazakov
Team Leader for 3D Modeling,
Road Construction Department,
LLC «Irkutsk Oil Company»,
4 Bolshoi Liteiny ave., Irkutsk 664007,
Russia,
e-mail: Kazakov_av@Irkutskoil.ru
<https://orcid.org/0009-0004-4449-9680>

Матвеева Мария Витальевна,

д.э.н., профессор,
профессор кафедры экспертизы
и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>

Mariya V. Matveeva

Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Professor of the Department
of Expertise and Real Estate Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: expertiza@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-9390-5444>

Пешков Артем Витальевич,

к.э.н., доцент, доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>

Artem V. Peshkov

Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor,
Assistant Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 03.04.2023.
Одобрена после рецензирования 28.04.2023.
Принята к публикации 03.05.2023.

Information about the article

The article was submitted 03.04.2023.
Approved after reviewing 28.04.2023.
Accepted for publication 03.05.2023.