

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05:004

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1373-1389

Методы проектирования рабочих операций в условиях внедрения цифровых технологий в строительстве

Ирина Викторовна Каракозова¹, Илья Михайлович Лисицын²,
Константин Владимирович Болдышев³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² ГСС Плюс; г. Москва, Россия;

³ Управляющая компания «Большая Шатура»; г. Шатура, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Техническое нормирование рабочих процессов заключается в хронометрировании рабочих операций и процессов в разбивке по фиксажным точкам и последующее проектирование оптимальных рабочих операций и процессов. Требуется проведение ряда сопоставимых по результирующей продукции и составу бригад замеров для различных строительных площадок и организаций. Крайне затруднена организация выездов специалистов на производственные площадки по причине незаинтересованности организаций и несогласованности действий по формированию целенаправленно организованных трудовых процессов. Проблема заключается в невозможности массовой фиксации процессов и актуализации норм. В современных реалиях создать стандартизированную государственную систему производственного нормирования для массового применения возможно только при коренном изменении процесса сбора и анализа информации. Предлагается создание центров моделирования, анализа и апробации моделей рабочих операций и процессов для производственной сферы.

Материалы и методы. Применены системный подход, общетеоретические методы познания (анализ, синтез, аналогия, обобщение, сопоставление, трансформация и др.).

Результаты. Для сбора и обработки данных рабочих операций в строительстве целесообразно использовать современные технологии, основанные на системах захвата движений и переноса сцены, в результате чего не требуется проводить несколько замеров, так как получаемая модель может быть отредактирована и дополнена в соответствии с оптимальным расположением людей, средств и предметов труда. Предложена концепция формирования автоматизированной технологической линии проектирования рабочих операций и процессов.

Выводы. Внедрение предлагаемого комплекса мер по созданию, ведению и сопровождению массовой системы производственного нормирования в строительстве будет способствовать формированию единого государственного стандарта системы производственного нормирования, сохранению технологий производства работ, ускорению процесса обучения приемам труда, созданию основы для роботизации производства и применения искусственного интеллекта в моделировании оптимальных технологических процессов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормирование, нормативные наблюдения, захват движений, моделирование, организация рабочих мест, биомеханика, электронные технологические карты, строительная анимация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Каракозова И.В., Лисицын И.М., Болдышев К.В. Методы проектирования рабочих операций в условиях внедрения цифровых технологий в строительстве // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 8. С. 1373–1389. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1373-1389

Автор, ответственный за переписку: Ирина Викторовна Каракозова, i.kar@inbox.ru.

Methods of designing work operations in the conditions of digital technologies implementation in the construction industry

Irina V. Karakozova¹, Ilya M. Lisitsyn², Konstantin V. Boldyshev³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² GSS Plus; Moscow, Russian Federation;

³ Management Company "Bolshaya Shatura"; Shatura, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Technical standardization of work processes consists of motion time study and processes by fixation points and subsequent design of optimal work operations and processes. It is required to carry out a number of measurements comparable in terms of the resulting products and the composition of the measurement teams for various construction sites and organizations. It is extremely difficult to organize visits of specialists to production sites due to the disinterest of organizations and inconsistency of actions to form purposefully organized labour processes. The problem is the impossibility

of mass recording of processes and updating of standards. In modern realities, creating a standardized state system of production regulation for mass application is possible only with a radical change in the process of collecting and analyzing information. It is proposed to create centres for modelling, analysis and testing of models of work operations and processes for the production sector.

Materials and methods. The system approach, general theoretical methods of cognition (analysis, synthesis, analogy, generalization, comparison, transformation and others) were applied.

Results. To collect and process data of work operations in construction, it is expedient to use modern technologies based on motion capture and scene transfer systems, as a result of which several measurements are not required, since the resulting model can be edited and supplemented in accordance with the optimal location of people and work equipment, objects of labour. The concept of forming an automated technological line for designing work operations and processes is proposed.

Conclusions. The introduction of the proposed set of measures for the creation, maintenance and support of the mass system of production norming in construction will contribute to the formation of a unified state standard of the system of production norming, preservation of work production technologies, acceleration of the process of training in labour techniques, creation of a basis for robotization of production and application of artificial intelligence in the modelling of optimal technological processes.

KEYWORDS: standardization, regulatory observations, motion capture, modelling, workplace organization, biomechanics, electronic technological maps, construction animation

FOR CITATION: Karakozova I.V., Lisitsyn I.M., Boldyshev K.V. Methods of designing work operations in the conditions of digital technologies implementation in the construction industry. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(8):1373-1389. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1373-1389 (rus.).

Corresponding author: Irina V. Karakozova, i.kar@inbox.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Нормирование, предусматривающее установление плановой нормы потребления ресурсов, стало ключевым методом в планировании и учете затрат на производство. Имея ряд достоинств, и не лишенная недостатков, данная область деятельности естественно требуется в условиях ограниченных ресурсов и мобилизации производственных мощностей. Основная проблема заключается в постоянном поиске баланса между необходимыми или желаемыми затратами ресурсов и возможностями человека (человеческого организма и психики), как основного участника всех производительных процессов.

Предлагаемая в данной работе антропоцентрическая концепция нормирования подразумевает, в первую очередь, потребность сохранения технологий ручного труда, как вида деятельности в условиях ограниченных ресурсов, так как человек является универсальным производительным ресурсом. За рамками исследования остается решение вопроса о критерии выбора оптимальных норм, так как эта область — самостоятельная и зависит от целевого применения норм.

Объект исследования — процесс наблюдения, фиксации и нормализации рабочих приемов и операций с учетом достигнутого в настоящее время уровня развития техники и технологий.

Как было показано в работах [1–5] и приведено в Методике по разработке и применению усредненных производственных норм для города Москвы¹, первичные производственные нормы, а также разрабатываемые с их использованием местные, отраслевые и единые нормы и расценки, являются теми «кирпичиками», из которых проектируются смет-

ные нормы (элементные и укрупненные). Обслуживание государственной системы управления стоимостью массовых строительных программ невозможно без создания фундамента в виде территориально распределенной системы сбора и анализа результатов нормативных наблюдений и проектирования первичных производственных норм.

Назначение базы первичных производственных норм заключается в:

- подготовке к проведению новых нормативных наблюдений;
- анализе сопоставимых нормативных наблюдений по нескольким объектам и формировании обобщенных (типовых, местных, отраслевых, единых) производственных норм;
- обеспечении основы разработки и актуализации сметных норм и расценок в строительстве.

Электронная база первичных производственных норм необходима для аналитической работы при организации системы сбора нормативной информации, проведения новых нормативных наблюдений, а также обеспечения хранения и оперативного анализа полученных результатов при последующей разработке норм, рациональной организации технологического процесса расчета норм затрат труда и времени эксплуатации машин на отдельные виды (комплексы) работ и создания актуальной системы сметного нормирования ресурсов в строительстве. Сегодня компьютерные технологии позволяют оперативно накапливать результаты, полученные в период проведения нормативных наблюдений и формировать первичные производственные нормы, причем существует ряд современных технических и технологических решений, которые дают возможность делать это массово.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В современной технической литературе хронометраж (фр. *chronometrage*, от греч. *chronos* — время

¹ Методика по разработке и применению усредненных производственных норм для города Москвы МОС.04.01-002.2021 : утв. приказом Москомэкспертизы от 24.12.2021 № МКЭ-ОД/21-104.

и metreo — измеряю) определяют как метод технического нормирования для изучения затрат времени с помощью фиксации состава, последовательности и замеров продолжительности выполняемых действий. Проведение нормативных наблюдений заключается в хронометрировании рабочих операций в разбивке по фиксационным точкам.

Начало применения хронометража относится ко второй половине XIX в. и описано в работах Фредерика Уинслоу Тейлора, Генри Форда, Генри Лоуренса Ганта, Морриса Л. Кука, Карла Еарта, Фрэнка и Лилиан Гилбрет.

Изучение рабочего времени наблюдением составляет основу нормирования. Хронометраж стал мощным инструментом для установления выработки и контроля выполнения работ; он превратился в метод нормирования, но представляет собой метод наблюдения (фиксации процесса). Хронометраж отождествляется с техническим нормированием, но по своей сути, он зависит от существующей постановки рабочего процесса в производстве и от добротности этой постановки будет зависеть и качество реконструируемой рабочей операции [6]. Также фотоучет и фотография рабочего дня определяются в литературе, как методы, но представляют собой форму записи информации, получаемой при наблюдении за производственным процессом, в том числе с помощью хронометража. В любом случае для выполнения наблюдений и замеров необходимы специально подготовленная площадка и организованный процесс. Требуется проведение нескольких замеров на различных площадках для получения усредненных данных.

В табл. 1 на основе руководящих документов по проектированию трудовых процессов^{2, 3, 4, 5} приведены достоинства и недостатки форм фиксации трудовых процессов.

Вопросы теории и методологии нормирования труда представлены в трудах отечественных ученых: А.К. Гастева, А.Г. Спаха, Н.А. Бернштейна, С.В. Башинского, О.А. Ерманского, А.А. Богданова, В.М. Иоффе, Б.М. Генкина, И.А. Либермана, А.И. Рофе, Ю.Г. Одегова, К.В. Антонова, В.Б. Бычина, В.И. Фильева, А.П. Павленко, В.П. Пашу-

то, А.Ф. Зубковой, О.Н. Кузиной, А.С. Павлова, Н.В. Лазаревой, Р.П. Миусковой и др.

К общим недостаткам форм фиксации трудовых (рабочих) процессов следует отнести:

- потребность в предварительном изучении процесса и последующем создании сценарного плана;
- потребность в организации процесса, рабочих на площадке и построении «идеального» процесса;
- отсутствие возможности оперативно исключать нерациональные приемы труда;
- необходимость ручного распознавания фиксационных точек;
- потребность наблюдения нескольких сопоставимых процессов.

Целью технического нормирования является установление технически обоснованных производственных норм на основе рационально построенных технологических процессов в определенных производственных условиях, что возможно путем исследования существующей организации труда, технологических процессов и проведения мероприятий, устраняющих недостатки производства и потери рабочего времени.

Основная формула технического нормирования заключается в следующей последовательности «фиксация – анализ – синтез – апробация». Задача такой модели технического нормирования — конструирование рабочего процесса. В этом случае под *техническим нормированием* следует понимать *изучение, проектирование и установление нормального состава и содержания рабочего процесса во времени и пространстве* [6–8].

При проектировании нормалей процессов применяются расчетно-аналитические методы, основанные на обработке опытно-статистической информации. На основе методических материалов^{6, 7}, а также по данным публикаций [9–12] настоящим прорывом можно было бы считать появление микроэлементного нормирования — проектирование рабочих процессов на основе разработанных микроэлементов (норм времени рабочих движений и приемов). Тем не менее это направление имеет ряд недостатков, к которым следует отнести трудоемкость процесса, необходимость владения системами микроэлементного нормирования, обязательную видеофиксацию, использование идеальной площадки и др.

Опытно-экспериментальная постановка рациональных операций заключается в проверке в производственных условиях этих операций, установлении необходимых дополнений или изменений в процесс. Для внедрения в производство вновь спроектиро-

² Руководство по проектированию высокопроизводительных трудовых процессов строительного производства. Выпуск 1. Основные положения. М. : Стройиздат, 1978. 32 с.

³ Руководство по проектированию высокопроизводительных трудовых процессов строительного производства. Выпуск 2. Проектирование и организация рабочих мест. М. : Стройиздат, 1982. 26 с.

⁴ Руководство по проектированию высокопроизводительных трудовых процессов строительного производства. Выпуск 3. Проектирование приемов труда. М. : Стройиздат, 1981. 41 с.

⁵ Рекомендации по составлению карт трудовых процессов строительного производства. М. : Стройиздат, 1983, 22 с.

⁶ Базовая система микроэлементных нормативов времени (БСМ-1) : методические и нормативные материалы. М. : НИИ труда. 1982. С. 2–5.

⁷ Базовая система микроэлементных нормативов времени (БСМ-1) : методические и нормативные материалы. М. : Экономика, 1989. С. 129.

Табл. 1. Достоинства и недостатки форм фиксации трудовых процессов

Table. 1. Advantages and disadvantages of forms of recording labour processes

Форма записи (фиксации) Record type (fixation)	Достоинства Advantages	Недостатки Disadvantages
Фотоучет Photo accounting	Фиксируется состав, время и продолжительность приемов и операций The composition, time and duration of appointments and operations are recorded.	Отсутствует наглядное представление процесса, возможны ошибки в записи информации, сложность распознавания данных There is no visual representation of the process, errors in recording information are possible, difficulty in recognizing data
Фотосъемка Photography	Фиксируется расположение объектов процесса The location of process objects is fixed	Отсутствуют данные по времени производства работ No data on work completion time
Видеосъемка (ранее киносъемка) Videography (formerly filming)	Запись продолжительности процесса, наглядное представление процесса Recording process duration, visualizing the process	Сложность установки аппаратуры, присутствуют скрытые от наблюдения зоны, сложность формирования данных для анализа Difficulty in installing equipment, there are areas hidden from observation, difficulty in generating data for analysis

ванных процессов разрабатывались и применялись различные документы и наглядные пособия — технологические карты, типовые проекты рабочих мест, инструкции, плакаты и др.

В период массового внедрения в производство передовых методов и приемов труда с середины 1950-х до начала 1990-х гг. активно разрабатывались и внедрялись карты трудовых процессов и нормокомплекты инструментов, предназначенные для обеспечения производителей работ инструментом и наглядными пособиями по производству работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существует ряд проблемных вопросов при организации нормирования на производстве в настоящее время (табл. 2), которые раньше решались с помощью установления сети центров нормирования (ранее — научно-исследовательские станции

(НИС)) и директивными указаниями и приказами профильных министерств и ведомств.

Ввиду сложности организации сетевой структуры, подобной ранее существующей, в современных условиях с учетом развития средств автоматизации возможно создать централизованную площадку сбора, анализа и моделирования данных — системную лабораторию технического нормирования. То, что раньше решалось сетевыми структурами и коллективами сейчас может осуществляться техническими средствами и алгоритмами обработки данных. Предлагается создание центров моделирования, анализа и апробации моделей рабочих операций и процессов для любой производственной сферы, состоящих из специализированных лабораторий, постоянно действующих площадок производственного нормирования (полигонов) и применения современных технологий фиксации

Табл. 2. Современные проблемы проведения нормативных наблюдений на производстве

Table. 2. Modern problems of conducting regulatory observations in production

Организационные проблемы Organizational problems	Субъективные проблемы Subjective problems	Юридические проблемы Legal problems
Отсутствие у заказчика (заявителя) действующих объектов для проведения хронометражных наблюдений с целью разработки расценок. Особенно это характерно для инновационных материалов и технологий The customer (applicant) does not have the ability to develop prices for existing facilities to conduct time-lapse observations for developing prices. This is especially true for innovative materials and technologies	Увеличение технологичности ведет к уменьшению затрат труда, что способствует уменьшению заработной платы и соответственно величины накладных расходов и сметной прибыли, что в целом приводит к уменьшению сметной стоимости объекта строительства, что негативно сказывается на желании заказчиков (заявителей) The increase in manufacturability leads to a reduction in labour costs, which contributes to a reduction in wages and, accordingly, the amount of overhead costs and estimated profit, which generally leads to a reduction in the estimated cost of the construction project, which negatively affects the desire of customers (applicants)	Незаинтересованность производителей работ Lack of interest from work producers

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Организационные проблемы Organizational problems	Субъективные проблемы Subjective problems	Юридические проблемы Legal problems
Сложность учета при хронометражных наблюдениях мелких или поточных операций, на которых рабочие, выполняющие такие операции, не готовы останавливаться для правильной фиксации работ The difficulty of accounting for time-keeping observations of small or continuous operations, in which the workers performing these operations are not ready to stop to record the work correctly	Нежелание заказчика показывать стройплощадку по причине имеющихся место нарушений по технике безопасности, нарушений организации площадки, наличие низкоквалифицированного персонала и др. Reluctance of the customer to show the construction site due to existing safety violations, violations of site organization, the presence of low-skilled personnel, etc.	Боязнь ответственности Fear of responsibility
Многопоточная организация труда, при которой физически невозможно правильно зафиксировать все нюансы технологии, например, сверление отверстий, резку конструкций, подготовку технических растворов и работу с ними и др. Multi-threaded organization of work, in which it is physically impossible to record all the nuances of the technology correctly, for example, drilling holes, cutting structures, preparing technical solutions and working with them, etc.	Непонимание необходимости проведения наблюдений Lack of understanding of the need to conduct observations	Отсутствие материального стимулирования проведения нормативной работы Lack of financial incentives for regulatory work
Отсутствие рационально организованных процессов работ Lack of rationally organized work processes	Боязнь видеофиксации процесса Fear of video recording of the process	Отсутствие законодательной базы в области производственного нормирования процессов и внедрения передовых норм труда Lack of a legislative framework in the field of industrial standardization of processes and the introduction of advanced labour standards

и моделирования рабочих процессов, оснащенных необходимыми техническими средствами фиксации строительных процессов и специализированным программным обеспечением (ПО) для моделирования отдельных операций и процессов, сложных или трудоемких для натурного наблюдения.

Концепция современной системы нормирования расхода ресурсов в строительстве заключается в адаптации всех видов обеспечения процесса проектирования норм расхода ресурсов для создания технологической линии автоматизированного проектирования норм затрат строительных ресурсов (трудовых, технических, материальных). Цели, задачи, а также предполагаемые результаты внедрения такой системы нормирования приведены в табл. 3.

Технологическая линия проектирования затрат ресурсов (ТЛПЗр) — неразрывная проектно-технологическая последовательность (фаза) обработки данных в процессе проектирования затрат ресурсов с применением прикладных программ и вспомогательных средств с обеспечением возможности контроля и изменения данных (рис. 1).

Актуальная концепция нормирования затрат труда и расхода ресурсов состоит в том, чтобы заменить проект сметного норматива на анимированную информационную модель процесса на основе технологии переноса сцены. Основная задача — переход к современным методам наблюдения, фиксации и проектирования трудовых процессов с целью повышения производительности труда и формирования опытной базы трудовых приемов для обучения сотрудников.

В результате построения ТЛПЗр реализуется применение новейших технологий сбора и обработки данных, основанных на системах захвата движений и переноса сцены, в результате чего не требуется проводить несколько замеров, так как получаемая модель может быть отредактирована и дополнена в соответствии с оптимальным расположением людей, инструмента, предметов труда.

Проблема фиксации технологических операций и процессов посредством видеозахвата и воспроизведение движений с целью последующего обучения работников была предметом изучения на-

Табл. 3. Описание современной системы нормирования расхода ресурсов в строительстве
Table. 3. Description of the modern system of rationing resource consumption in construction

Компоненты системы System components	Описание Description
Цели системы The goals of the system	- Ускорение процесса нормирования рабочих операций; - обезличивание нормативных наблюдений технологического процесса; - обеспечение объективности нормирования; - хранение банка данных технологий производства работ; - тиражирование технологии производства работ; - ускорение процесса обучения приемам труда (внедрению технологий); - создание основы для роботизации производства; - повышение уровня безопасности труда - Speeding up the process of rationing work operations; - depersonalization of regulatory observations of the technological process; - ensuring the objectivity of rationing; - storage of the data bank of work production technologies; - replication of work production technology; - acceleration of the learning process of labour techniques (technology implementation); - creating the basis for the robotization of production; - improving the level of occupational safety
Задачи системы Tasks of the system	- Одномоментная фиксация процесса в цифровом виде; - исключение дискретности замеров по процессу; - многоканальная фиксация данных; - обеспечение моделирования всей сцены (системы, площадки); - оптимизация процесса - Simultaneous recording of the process in digital form; - exclusion of discreteness of measurements in the process; - multi — channel data capture; - providing simulation of the entire scene (system, site); - process optimization
Принципы работы Principles of operation	- Скорость, адаптивность, многоканальность, достаточность - Speed, adaptability, multi-channel, sufficiency
Методы работы Working methods	- Фиксация, анализ, расчет, моделирование - Fixation, analysis, calculation, modelling
Результаты Results	- Снижение себестоимости продукции или услуг; - создание цифровых технологических карт; - сохранение полученных знаний и опыта работы — создание виртуальных инструкций; - создание внутренней экспертной среды предприятий по применению и тиражированию инструментов бережливого производства; - создание единого стандарта системы производственного нормирования - Reduction of the cost of products or services; - creation of digital technological maps; - preservation of acquired knowledge and work experience — creation of virtual instructions; - creation of an internal expert environment of enterprises for the application and replication of lean production tools; - creation of a single standard for the production rationing system

учной организации труда, разрабатываемой в СССР в середине XX в. Требовалось изучить рабочие движения лучших представителей пролетариата, чтобы в последующем массово внедрить их в практическое применение на производстве. Эта тематика разрабатывалась в Москве Центральным институтом труда (ЦИТ) под руководством Н.А. Бернштейна, основателя научного направления биомеханики, в том числе с разработкой и применением средств захвата движений: маркерных костюмов и рапидной (ускоренной) киносъемки для построения и анализа циклограммы движений [13, 14].

Захват движения (англ. motion capture) — это метод анимации персонажей и объектов, при котором анимация создается не вручную, а путем оцифровки (видеозаписи с помощью специальных датчиков) движений реального объекта (прежде всего, человека) и последующего переноса их на трехмерную модель. Модель сцены редактируема в отличие от видеозаписи. Такая модель позволяет решать задачи:

- определения сложности работ;
- учета факторов влияния;
- анализа графика (циклограммы) движений частей тела;

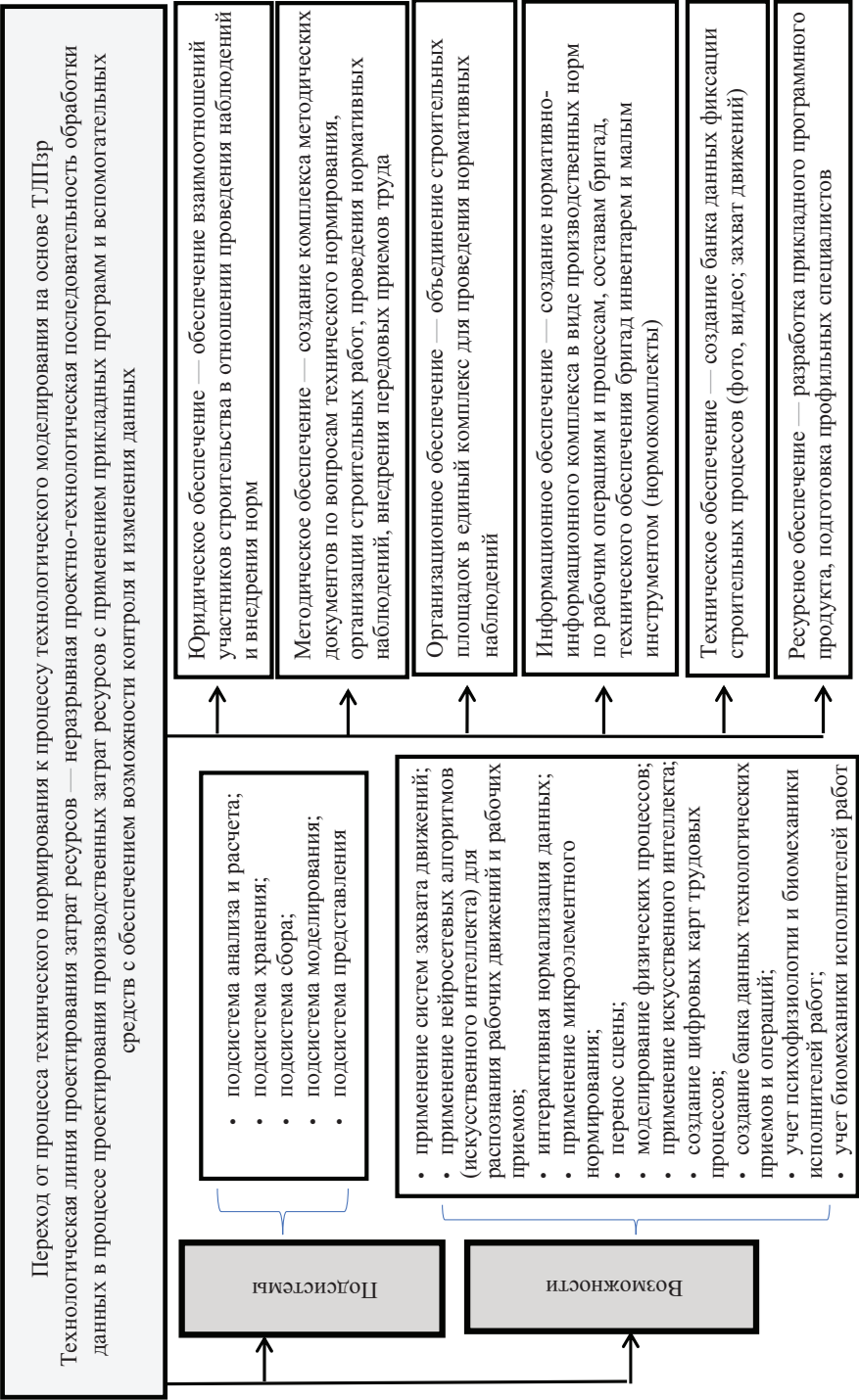
- фиксации навыков конкретных рабочих;
- нормирования расхода ресурсов;
- оптимизации производственных процессов;
- сохранения и оптимизации технологии производства работ;
- формирования базы микроэлементного нормирования;
- применения искусственного интеллекта (ИИ) для оптимизации рабочих приемов.

К результатам при создании технологической линии автоматизированного проектирования затрат строительных ресурсов следует также отнести соз-

дание внутренней экспертной среды предприятий по применению и тиражированию инструментов бережливого производства.

С начала 2010-х гг. происходит динамичное развитие систем захвата движений. Ускоренное развитие подобных систем осуществляется с 2017 г., когда были отработаны алгоритмы обработки данных и устранены основные помехи датчиков. Основное направление — анализ эргономики рабочих мест, медицина, спорт, охранные системы, робототехника [15, 16].

В настоящее время существуют следующие виды систем захвата движений: маркерные, без-



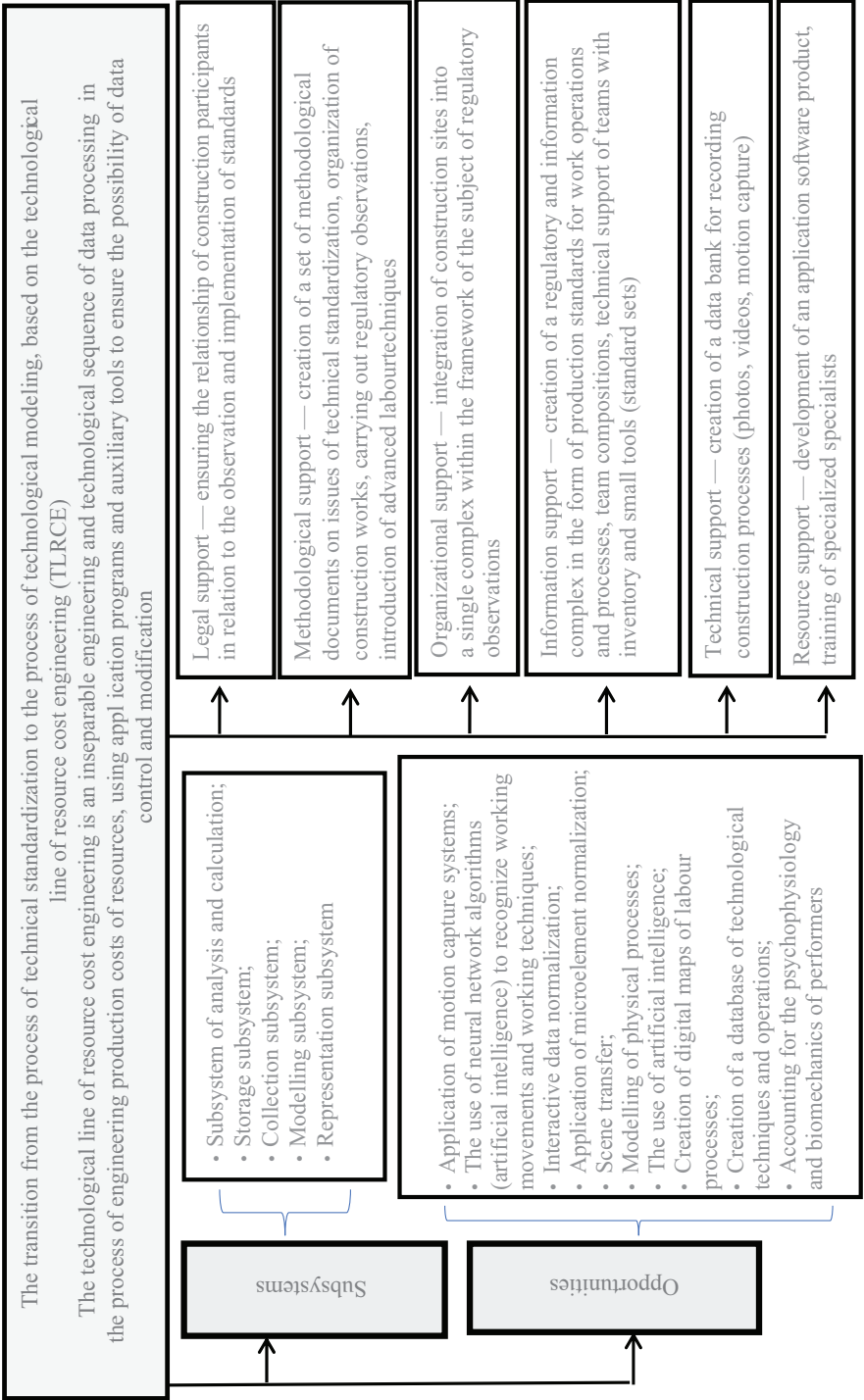


Рис. 1. Концепция создания технологической линии автоматизированного проектирования затрат строительных ресурсов
Fig. 1. The concept of creating a technological line for computer-aided design of construction resource costs

маркерные, оптические, магнитные, механические, гироскопические/инерциальные.

Оптимальным выбором для фиксации и последующей обработки данных нормативных наблюдений в строительном производстве являются гироскопические/инерциальные системы, которые для сбора информации о движении используют миниатюрные гироскопы и инерциальные сенсоры, расположенные на теле человека — также, как и маркеры или магниты в других системах. Данные с гироскопов и сенсо-

ров передаются в компьютер, где происходит их обработка и запись. Система определяет не только положение сенсора, но также угол его наклона.

В 2010–2015 гг. происходит революционное развитие в создании компактных IMU-датчиков для различных целей применения. Инерциальные измерительные модули (Inertial Measurement Unit — IMU) основаны на многоосевой комбинации высокостабильных гироскопов, акселерометров, магнетометров и датчиков давления.



Рис. 2. Схема размещения датчиков и пример работы системы Perception Neuron^{8,9}
Fig. 2. The layout of the sensors and an example of the Perception Neuron system^{8,9}

Каждый сенсор — автономный портативный прибор, который включает в себя три вида пространственных датчиков движения (акселерометр, гироскоп и магнитометр). Датчики позволяют регистрировать различные параметры движения (кинематические, временные, пространственные, комбинированные) в любых сегментах тела человека. IMU обеспечивают возможность переноса в виртуальную среду движений человека (животных), предметов в пространстве, рабочих органов машин и механизмов.

Инерциальный костюм захвата движений (mo-cap suit) — это носимое устройство, которое записывает движения тела пользователя. Используя миниатюрные IMU-датчики, можно с высокой точностью считывать положение каждой точки на теле человека (рис. 2).

Инерциальный костюм захвата движений служит единой платформой для создания разнообразных естественных интерфейсов по причине модульности

системы. Получая весь объем данных, возможно выявлять зависимости отдельно на каждой руке или ноге, зависимости между друг другом или во всем «каркасе» тела человека в целом^{10, 11} [15, 16].

К достоинствам применения такого костюма относятся легкость применения, мобильность, отсутствие стесненности движений, передача движения в пространстве. Однако при его использовании возникает воздействие магнитных полей, что следует отнести к недостаткам. Наиболее известными фирмами-производителями инерциальных систем (костюмов) захвата движений являются Noitom, Xsens, Rokoko, Manus. Последовательность действий в процессе записи движений приведена в табл. 4.

⁸ URL: <https://noitom.com/>

⁹ URL: <https://neuronmocap.com/>

¹⁰ Комплекс Биомеханика // Neurocor. URL: <https://neurocor.ru/products/sport/biomexanika-biokinekt>

¹¹ Обзор возможностей Perception Neuron. 2016. URL: <https://spark.ru/startup/finch-vr/blog/14996/obzor-vozmozhnostej-perception-neuron>

Табл. 4. Последовательность и продолжительность действий в процессе записи
Table. 4. The sequence and duration of labour actions during the recording process

Наименование процесса Process name	Продолжительность выполнения Execution duration	Примечание Note
Надевание костюма или крепление датчиков Putting on a suit or attaching sensors	10–15 мин 10–15 min	—
Подключение костюма Connecting the suit	1 мин 1 min	—
Калибровка датчиков Sensor calibration	30 с 30 s	—
Начало записи Start recording	Запись может производиться длительное время, зависит от мощности компьютера Recording can take a long time, depending on the power of the computer	Записи различных операций производятся последовательно. Возможность подключения нескольких костюмов (систем) одновременно Records of various transactions are made sequentially. Ability to connect several suits (systems) simultaneously
Окончание записи End of recording	Сохранение данных в зависимости от объема 10–40 с Saving data depending on the volume of 10–40 s	

Эти устройства в совокупности с ПО позволяют получать полную функциональную информацию в виде графического отчета. Технология захвата движений, основанная на применении IMU-датчиков, позволяет исследователям получать данные дистанционно, производить измерения при работе на высоте, в условиях ограниченного пространства или в опасных условиях труда, значительно улучшая эргономический анализ рабочего места и, в частности, оценку тяжести труда¹² [17, 18].

Достоинства и недостатки технологии захвата движений для задач технического нормирования приведены в табл. 5.

Такой подход помогает расширить сферу применения технологии захвата движений со стационарных подготовленных мест с видеокамерами

¹² Система Perception Neuron сделает процесс motion capture намного проще и дешевле. URL: <https://overclockers.ru/blog/letsplay/show/85009/sistema-perception-neuron-sdelaet-process-motion-capture-namnogo-prosche-i-desheвле>

к захвату движений конкретных людей без привязки к их местоположению. Так же это позволяет снизить хранимый поток информации, так как оцифровка каркаса движения производится датчиками на местах без передачи видеопотока.

Движение каждого датчика в пространстве фиксируется отдельно путем записи его угловых перемещений в пространстве. С помощью датчиков производится формирование кинематической схемы (модели) и определение графиков движения элементов тела человека. Каждый датчик привязан к элементу тела человека. Движение датчика представляется графиком (в графической форме). График поддается редактированию, сглаживанию вершин (экстремумов), что дает возможность убирать спонтанные движения, неточности замеров (артефакты) или лишние действия.

В процессе записи движений человека формируется трехмерная (пространственная) модель перемещения тела человека в пространстве (в отличие от видеозаписи данная модель поддается ре-

Табл. 5. Достоинства и недостатки применения инерциальных костюмов захвата движений

Table. 5. Advantages and disadvantages of using inertial motion capture suits

Достоинства Advantages	Недостатки Disadvantages
Оперативный хронометраж и разбивка фиксажных точек Operational timing and breakdown of fixing points	Ресурсоемко в отношении компьютерных мощностей и объема хранения данных Resource-intensive in terms of computer power and data storage capacity
Возможность склейки движений Possibility of stitching movements	Требует освоения специалистами-разработчиками Requires mastering by specialist developers
Возможность применения микроэлементного нормирования Possibility of using microelement rationing	Требуются датчики с электромагнитной защитой Requires sensors with electromagnetic protection
Достаточность проведения фиксации одного процесса с последующей оптимизацией данных Sufficiency of recording one process with subsequent data optimization	Относительно дорого, требуется специальное оборудование Relatively expensive, requires special equipment
Пространственная модель движений Spatial movement pattern	—
Редактирование движений и их оптимизация Editing and optimizing movements	—
Моделирование инструментов и предметов труда Modelling of tools and work items	—
Анализ биомеханики движений Analysis of biomechanics of movements	—
Учет антропометрических параметров исполнителей работ Accounting for anthropometric parameters of work performers	—
Фиксация и анализ биоритмов и физического состояния исполнителей Recording and analysis of biorhythms and physical condition of performers	—
Создание виртуальных инструкций Creating virtual instructions	—
Многовариантная проработка процесса Multivariate process development	—
Создание базы данных для обеспечения роботизированного производства Creation of a database to support robotic production	—

дактированию во времени и пространстве). В полученную модель в зависимости от фиксажных точек возможно добавление предметов и средств труда в привязке к элементам тела человека по времени, а также можно производить склейку нескольких ранее записанных приемов труда для получения полноценной рабочей операции (рис. 3).

Формат файлов движения и жестов сегодня широко используется во многих приложениях, которые работают с сигналами движения и жестов. Это касается таких областей, как захват движения, анимация персонажей, анализ жестов, биомеханика, интерфейсы музыкальных жестов, виртуальная хирургия. Эти форматы являются низкоуровневыми форматами, т.е. форматами, близкими к сигналу, производимому системой захвата: XML, BVH, ASK/SDL, MNM, MVNX, RAW, AOA, ASF/AMC, BRD, GRC, HTR и GTR, FBX.

Обсуждая вопрос моделирования движений человека, необходимо провести четкую дифференциацию между понятиями о расчетных моделях анализа и моделях синтеза движений и приемов. Перспективное расширение возможностей цифровых (компьютерных) технологий позволяет на основе математических моделей синтеза движений конструировать технику рабочих приемов и операций с заранее заданными свойствами. В процессе выполнения рабочих приемов изменяется биомеханическое состояние опорно-двигательного аппарата тела человека. Для количественной оценки этих изменений используют биомеханические характеристики движений, заключающиеся в двух больших группах показателей движения: кинематические и динамические. Кинематические характеристики описывают геометрический рисунок действий в пространстве и времени, основываясь на котором осуществляют кинематический анализ техники ра-

бочих движений, состоящий в определении положений звеньев тела человека в процессе выполнения движений, включая определенные траектории отдельных точек тела, скоростей и ускорений звеньев тела и его отдельных точек, времени проведения отдельных фаз и всех движений или приемов в целом. Но кинематический анализ не объясняет причин возникновения и изменений движений, для этого производится динамический анализ техники движений с учетом внешних факторов, который заключается в определении силовых, инерционных и энергетических характеристиках рабочих приемов с объяснением причин возникновения и изменений движений¹³ [13, 19–25]. Поэтому, помимо фиксации рабочих действий, современная форма фиксации наблюдаемого процесса должна предусматривать также автоматическую фиксацию всех доступных факторов влияния на рабочий процесс, прежде всего, на труд непосредственных исполнителей процесса. Такой подход подразумевает необходимость фиксации психофизиологических факторов влияния на труд людей, что требует определенного подхода к классификации функций труда. Предлагается следующая функциональная классификация труда для его нормирования с позиций многофакторного анализа при моделировании, приведенная в табл. 6.

Только при такой классификации труда [26–28] и с применением современных технических средств фиксации процессов возможно добиться получения модели, максимально идентичной реальному трудовому процессу (цифровой двойник). В процессе обработки сцены, полученной с помощью техно-

¹³ Разработано дешевое устройство для изучения мозговой активности // ТАСС. 2022. URL: <https://nauka.tass.ru/nauka/13469495>

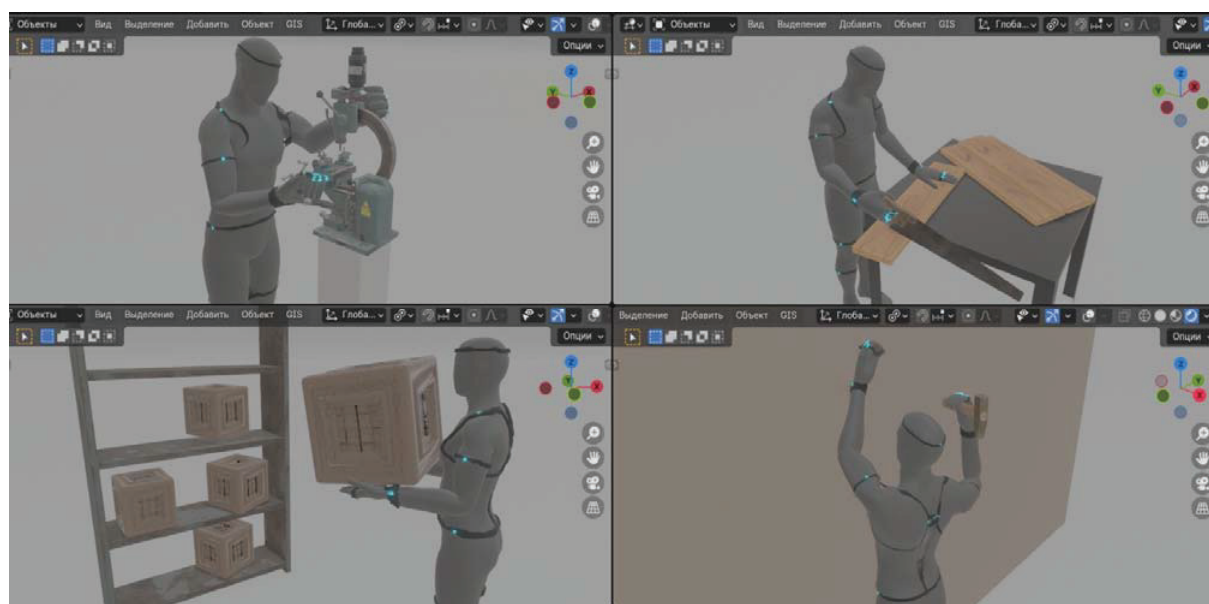


Рис. 3. Пример анимационной сцены, выполненной в Blender

Fig. 3. An example of an animated scene made in Blender

Табл. 6 Функциональная классификация труда

Table. 6. Functional classification of labour

Вид труда Type of labour	Описание Description	Тип фиксации Fixation type
Действительный Valid	Труд, связанный с изменением положения тела человека в пространстве Labour associated with changing the position of the human body in space	Фотоучет, фотофиксация, видеофиксация, захват движений, перенос сцены Photo recording, photo recording, video recording, motion capture, scene transfer
Мыслительный Thoughtful	Труд, связанный с мыслительным процессом центральной нервной системы Labour associated with the thinking process of the central nervous system	Энцефалограмма мозговой активности Electroencephalogram of brain activity
Вербальный Verbal	Труд, связанный с передачей информации посредством речи Work related to the transmission of information through speech	Запись рабочих переговоров Recording work negotiations
Перцептивный Perceptual	Труд, связанный с восприятием органов чувств человека (в первую очередь, зрение и слух) различных раздражителей Work associated with the perception of human sensory organs (primarily vision and hearing) of various stimuli	Запись данных с датчиков: шум, освещенность, окружающая температура, влажность, загрязненность воздуха, а также с носимых датчиков: сердечный ритм, давление, температура тела, тонус, потеря калорий и т.д. Recording data from sensors: noise, light, ambient temperature, humidity, air pollution, as well as from wearable sensors: heart rate, pressure, body temperature, tone, caloric loss, etc.

логий переноса сцены при человеко-машинном взаимодействии, лицо, принимающее решения (ЛПР), решает задачу построения оптимального процесса на основе имеющейся записи некоего реального процесса, а также с помощью банка данных вспомогательных моделей и справочной информации. Требуется изменение методологии нормирования. Новая методология нормирования трудовых про-

цессов базируется не на обработке и усреднении статистических данных, а на моделировании и экспертном принятии решений. Также предлагается изменение подхода к хранению информации по рабочим приемам, операциям, процессам таким образом, чтобы представлялось возможным сформировать структуру данных цифровой технологической карты рабочей операции или процесса (табл. 7).

Табл. 7. Примерная структура данных цифровой технологической карты рабочей операции или процесса

Table. 7. Approximate data structure of a digital flow sheet for a work operation or process

Категория Category	Тип данных и их описание Data type and description
Объект Object	Работа (операция, процесс) (вид, наименование) Work (operation, process) (type, name)
	Продукция (вид, наименование (результат), требования к качеству, допуски)) Products (type, name (result), quality requirements, tolerances))
	Работы предшествующие (перечень, степень готовности, требования к качеству (допуски)) Previous works (list, degree of readiness, quality requirements (tolerances))
	Работы сопутствующие (перечень, требования к качеству (допуски)) Related works (list, quality requirements (tolerances))
	Работы последующие (перечень, требования к качеству (допуски)) Subsequent works (list, quality requirements (tolerances))
	Условия производства работ (район, адрес, сезон, время суток, уровень естественного освещения, температура воздуха, влажность, атмосферное давление, сила ветра, осадки, шум, загрязненность воздуха, инсоляция и др.) Conditions of work (region, address, season, time of day, level of natural light, air temperature, humidity, atmospheric pressure, wind force, precipitation, noise, air pollution, insolation, etc.)
Ресурсы Resources	Характеристика исполнителей (количество, возраст, уровень образования, квалификация, физическое состояние и др.) Characteristics of performers (number, age, level of education, qualifications, physical condition, etc.)

Окончание табл. 7 / End of the Table 7

Категория Category	Тип данных и их описание Data type and description
Ресурсы Resources	Безопасность производства работ (одежда, средства индивидуальной защиты, страховочные приспособления и др.) Work safety (clothing, personal protective equipment, safety devices, etc.)
	Инструмент, инвентарь (перечень, описание состояния и др.) Tools, inventory (list, description of condition, etc.)
	Приспособления (перечень, описание состояния и др.) Devices (list, description of condition, etc.)
	Машины и механизмы (перечень, технические характеристики, подтверждающие документы (паспорта и др.), степень готовности к работе)) Machines and mechanisms (list, technical characteristics, supporting documents (passports, etc.), degree of readiness for work))
	Материалы, изделия и конструкции (перечень, технические характеристики, подтверждающие документы (паспорта, сертификаты и др.), показатель потребности в ресурсе (нормативный, проектный и др.)) Materials, products and structures (list, technical specifications, supporting documents (passports, certificates, etc.), resource requirement indicator (normative, design, etc.))
	Оборудование (перечень, технические характеристики, подтверждающие документы (паспорта, сертификаты и др.)) Equipment list (technical specifications, supporting documents (passports, certificates, etc.))
Процесс Process	Данные записи процесса (видеофиксация; запись сцены, переговоров, мозговой активности; физиологические показатели исполнителей (сердечный ритм, давление, тонус, потеря калорий и др.); контроль выполнения технологической активности; режим труда (чередование работы и регламентирующих перерывов); время эксплуатации машин и механизмов; данные о расходе материальных ресурсов и оборудования Process recording data (video recording; recording of a scene, negotiations, brain activity; physiological indicators of performers (heart rate, pressure, tone, calorie loss, etc.); control of technological performance; labour mode (alternating work and regulatory breaks); operating time of machines and mechanisms; data on the consumption of material resources and equipment
	Модель процесса Process model

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Область строительного анимационного моделирования обозначена достаточно длительный период времени, но еще не раскрыта в качестве инструмента нормирования и внедрения технологических процессов. Строительное анимационное моделирование — это создание нормализованной информационной динамической модели со всеми параметрами и атрибутами процесса, причем моделироваться может не только строительная продукция, но и люди и их процесс работы. Цель строительной анимации — симуляция строительного процесса с точностью, приближенной к реальному процессу.

Выделение области строительной анимации, как самостоятельного научного направления в проектировании, связано с развитием вычислительных мощностей и программных средств, особенно за последние 20–25 лет. Методологический аппарат, естественно, отстает от развития вышеуказанных направлений, хотя его первостепенная значимость трудно оспорима, так как именно область методологии разработки и применения норм для задач управления строительством является основой для законодательного регулирования и организации массовых

строительных программ. Необходимость корректировки и изменения законодательства сказывается также сильно, потребуется внесение изменений в градостроительный кодекс, трудовой кодекс, методики разработки технологических карт и сметных норм.

По своей сути строительная анимация весьма примитивна, представляет собой четырехмерное позиционирование элементов объекта строительства в трехмерном пространстве и времени. По исполнению задача — трудоемкая, поскольку связана с пространственно-временным моделированием, обеспечиваемым определенным уровнем техническими средствами, программными средствами, распределенной организацией работ над проектом, информационным наполнением и установленными правилами работ наполнения совокупной информационной модели проекта в рамках принятого методического обеспечения.

Развитие системы нормирования трудовых процессов при построении модели (прототипа) процесса (цифрового двойника) на основе технологии захвата движений и переноса сцены целесообразно планировать по следующим направлениям:

- создание библиотеки динамических (анимационных) микроэлементов, из которых возможна склейка любых рабочих операций;

- применение физических симуляций для определения времени работы с материалами, а в дальнейшем для установления расхода материальных ресурсов;
- развитие отечественного программного и аппаратного обеспечения для моделирования сцены — места производства работ или стройплощадки полностью;
- создание виртуальных инструкций для рабочих различных специальностей, обучения студентов, внедрения передовых методов и приемов труда;
- анализ движений человека в зависимости от его антропометрических характеристик (длина шага, моторика движений, длина рук, масса тела, положение центра тяжести и проч.) и физиологических параметров (раса, пол, возраст, вес, рост и т.п.);
- обеспечение оценки биоритмов человека;
- обеспечение возможности оценивать вредное воздействие среды, установление требований к безопасности производства работ и нормированию рабочего процесса с учетом факторов влияния.

Последующее применение технологии захвата движений и моделирования сцены, фактически, переводит техническое нормирование в строительстве в область дополненной виртуальности, и обеспечивает сопоставимость реальных и смоделированных объектов и сцен.

Проведенная апробация возможности использования технологии захвата движений для моделирова-

ния рабочей операции показала даже на начальном этапе допустимость такого подхода к фиксации данных по наблюдаемому процессу. Доступными средствами возможно снять данные по всем рабочим движениям в процессе наблюдения рабочей операции, а также с применением доступного ПО (например, Blender¹⁴) выявить непроизводительные действия, удалить их и сформировать процесс с чистым оперативным временем работы. При этом формируется цифровой след процесса, который может быть проанализирован различными способами. Неоспоримым достоинством является обезличенность модели сцены рабочей операции, т.е. не привязанность к личностям исполнителей работ. Сцена может быть смоделирована на основе банка данных рабочих движений и приемов, полученных из различных источников, — склейка данных. Такой подход позволяет наблюдать недостаточно подготовленные на производстве процессы с последующим их анализом и нормализацией модели, а соответственно, установлением норм затрат труда и времени выполнения оперативной работы. Перспективным является применение микроэлементного нормирования в сочетании с искусственным интеллектом, позволяющим сопоставлять данные о рабочих движениях модели с микроэлементами и в итоге оперативно устанавливать обоснованные нормы затрат труда [29–33].

¹⁴ URL: <https://www.blender.org/>

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каракозова И.В., Лисицын И.М., Болдышев К.В. Создание электронной базы нормативных наблюдений в условиях цифровизации в строительстве // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 8. С. 1306–1317. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.8.1306-1317
2. Каракозова И.В., Лисицын И.М. Особенности отечественного опыта разработки и применения производственных и сметных норм в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 4. С. 104–109. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-4-104-109. EDN BPAIGF.
3. Савенков А.Н. Методические подходы к развитию технического нормирования в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 7. С. 51–57. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.07.51-57. EDN FTEEXA.
4. Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7 (25). С. 87–99. EDN OIYPUN.
5. Волхонский А.Н. Модели данных при проектировании баз данных автоматизированных систем // Международный студенческий научный вестник. 2021. № 6. С. 38. EDN YEMXQY.
6. Спих А.Г. Основы нормирования рабочих процессов. Харьков, 1932. 84 с.
7. Башинский С.В. Основы технического нормирования в строительстве. М., 1954. 342 с.
8. Ступникова Е.А., Шаталова Е.П. Анализ состояния технического нормирования в строительстве в России и за рубежом // Транспортное дело России. 2016. № 1. С. 100–103. EDN VUDRRV.
9. Позолотина Е.И. Сравнение методов нормирования труда // Human Progress. 2015. Т. 1. № 1.
10. Одегов Ю.Г., Малинин С.В. Основные тенденции развития нормирования труда в странах с развитой рыночной экономикой // Экономика и труд. 2005. № 5. С. 71–78.
11. Куликов А. Микроэлементное нормирование и повышение производительности труда. 2015.
12. Кожевникова Е.О., Букалова А.Ю. Нормирование труда в условиях современного производства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 1. С. 149–155. EDN VCXUYU.
13. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990. 496 с.
14. Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 254 с.

15. Гайниязов И.М., Обабков И.Н., Хлебников Н.А. Метод захвата движений как средство естественного интерфейса. Пермь, 2017. С. 193–196.
16. Вабищевич А.Н., Восков Л.С. Беспроводная система захвата движения на основе платформы беспроводной сенсорной сети и инерциальных датчиков // Научные труды (Вестник МАТИ). 2013. № 20 (92). С. 200–210.
17. Бондарук Е.В., Меркулова А.Г., Калинина С.А. Возможность применения инерционных систем захвата движений для решения задач физиологии труда // Медицина труда и промышленная экология. 2020. Т. 60. № 11. С. 734–737. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-734-737
18. Бузуев И.И., Сумарченко И.А., Сорокина Л.В. Оценка тяжести и напряженности трудового процесса при проведении специальной оценки условий труда : лабор. практ. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 96 с.
19. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Анализ походки. Иваново : Издательство НППЦ – «Стимул», 1996. 344 с.
20. Скворцов Д.В., Поляев Б.А., Стаховская Л.В., Иванова Г.Е. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами // Вестник восстановительной медицины. 2013. № 5 (57). С. 74–78. EDN RRYRQN.
21. Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В. Виртуальная реальность в восстановлении двигательной функции // Вестник восстановительной медицины. 2014. № 2 (60). С. 46–51. EDN SPMRJX.
22. Badler N., Phillips C.B., Webber B.L. Simulating humans-computer graphics animation and control. Oxford University Press, 1999.
23. Кокарева В.В., Смелов В.Г., Шитарев И.Л. Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. 2012. № 3–3. (34). С. 131–136. EDN PWTGHF.
24. Крышень Е.В., Лаврусь О.Е. Моделирование производственных процессов // Механика и машиностроение. 2012.
25. Загrevский В.И. Модели анализа движений биомеханических систем. Томск : Издательство Томского университета, 1990. 124 с. EDN YUFGJLJ.
26. Звегинцев В.А. Теоретико-лингвистические предпосылки гипотезы Сепира – Уорфа // Новое в лингвистике. Вып. I, М., 1960.
27. Звегинцев В.А. Очерки по общему языкознанию (раздел «Роль языка в процессах познания»), М., 1962.
28. Денисова Е.Н., Махров С.С. Анализ современных методов регистрации сигналов мозговой активности посредством нейрокомпьютерного интерфейса // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 12. С. 14–17. EDN ZXLRBR.
29. Кашипов Р.З. Влияние автоматизации и цифровизации на развитие системы нормирования труда // Экономика. Наука. Бизнес : сб. науч. тр. II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2021. С. 223–230. EDN HTVVCL.
30. Кашипов Р.З. Развитие системы нормирования труда на нефтегазодобывающем предприятии в условиях автоматизации : дис. ...канд. экон. наук. Омск, 2021. EDN HJDGOW.
31. Демидов В.В., Кашипов Р.З. Совершенствование микроэлементного нормирования за счет применения инновационных технологий // Организация и нормирование труда: наука, образование, практика : сб. науч. тр. 2018. С. 68–74. EDN YUYDQL.
32. Матвеев М.Ю., Сборщикова М.Н., Сборщиков С.Б. Развитие системы нормирования труда за рубежом // Вестник МГСУ. 2011. № 3–2. С. 68. EDN OWCDHL.
33. Максимов Д.Г. Возникновение и развитие микроэлементного нормирования труда // Вестник Удмуртского университета. Серия: Экономика и право. 2014. № 1. С. 68–71. EDN SBNLYR.

Поступила в редакцию 5 марта 2024 г.

Принята в доработанном виде 11 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 24 июня 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Ирина Викторовна Каракозова** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и инновации; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ID RSCI: 655795, Scopus: 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Илья Михайлович Лисицын — кандидат технических наук, директор департамента методологии ценообразования в строительстве; **ГСС Плюс;** 107113, г. Москва, ул. Лобачика, д. 11, 6-й этаж; limmoscow@mail.ru;

Константин Владимирович Болдышев — заместитель генерального директора; **Управляющая компания «Большая Шатура»;** 140700, Московская область, г. Шатура, ул. Савушкина, д. 3; BoldyshevKV@mosreg.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Karakozova I.V., Lisitsyn I.M., Boldyshev K.V. Electronic database of regulatory observations as a tool of public administration in the context of digitalization in construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(8):1306-1317. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1306-1317 (rus.).
2. Karakozova I.V., Lisitsyn I.M. Features of the domestic experience in the development and application of production and estimated standards in construction. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 4:104-109. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-4-104-109. EDN BPAIGF. (rus.).
3. Savenkov A.N. Methodological approaches to the development of technical regulation in construction. *Industrial and Civil Engineering*. 2021; 7:51-57. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.07.51-57. EDN FTEEXA. (rus.).
4. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. Streamlining of work operations of simple technological processes in construction. *Civil Engineering Magazine*. 2011; 7(25):87-99. EDN OIYPUN. (rus.).
5. Volkhonsky A.N. Data models in the design of databases of automated systems. *International Student Scientific Bulletin*. 2021; 6:38. EDN YEMXQY. (rus.).
6. Spakh A.G. *Fundamentals of standardization of work processes*. Kharkov, 1932; 84. (rus.).
7. Bashinsky S.V. *Fundamentals of technical rationing in construction*. Moscow, 1954; 342. (rus.).
8. Stupnikova E.A., Shatalova E.P. Analysis of the state of technical regulation in construction in Russia and abroad. *Transport Business of Russia*. 2016; 1:100-103. EDN VUDRRV. (rus.).
9. Zolotina E.I. Comparison of methods of labor rationing. *Human Progress*. 2015; 1(1). (rus.).
10. Odegov Yu.G., Malinin S.V. The main trends in the development of labor rationing in countries with developed market economies. *Economics and Labor*. 2005; 5:71-78. (rus.).
11. Kulikov A. *Microelement rationing and labor productivity improvement*. 2015. (rus.).
12. Kozhevnikova E.O., Bukalova A.Yu. Labor rationing in construction in conditions of modern production. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2019; 1:149-155. EDN VCXUYU. (rus.).
13. Bernstein N.A. *Physiology of movements and activity*. Moscow, Nauka, 1990; 496. (rus.).
14. Bernstein N.A. *On the construction of movements*. Moscow, Medgiz, 1947; 254. (rus.).
15. Gainiyarov I.M., Obabkov I.N., Khlebnikov N.A. *Motion capture method as a means of natural interface*. Perm, 2017; 193-196. (rus.).
16. Vabishevich A.N., Voskov L.S. Wireless motion capture system based on a wireless sensor network platform and inertial sensors. *Scientific papers (Bulletin of the Institute of Physics and Technology)*. 2013; 20(92):200-210. (rus.).
17. Bondaruk E.V., Merkulova A.G., Kalinina S.A. The possibility of using inertial motion capture systems to solve problems of labor physiology. *Occupational Medicine and Industrial Ecology*. 2020; 60(11):734-737. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-11-734-737 (rus.).
18. Buzuev I.I., Sumarchenkova I.A., Sorokina L.V. *Assessment of the severity and intensity of the labor process during a special assessment of working conditions*. Samara, Samara State Technical University, 2016; 96. (rus.).
19. Skvortsov D.V. *Clinical analysis of movements. Gait analysis*. Ivanovo, NPTS – Stimul Publishing House, 1996; 344. (rus.).
20. Skvortsov D.V., Poljaev B.A., Stahovskaja L.V., Ivanova G.E. Diagnostics and testing of motive pathology by tools. *Journal of Restorative Medicine and Rehabilitation*. 2013; 5(57):74-78. EDN RRYRQN. (rus.).
21. Ivanova G.E., Skvortsov D.V., Klimov L.V. Virtual reality at recovery of motion. *Journal of Restorative Medicine and Rehabilitation*. 2014; 2(60):46-51. EDN SPMRJJ. (rus.).
22. Badler N., Phillips C.B., Webber B.L. *Simulating Humans-Computer Graphics Animation and Control*. Oxford University Press, 1999.
23. Kokareva V.V., Smelov V.G., Shitarev I.L. Simulation of manufacturing processes within the concept of "Lean production". *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2012; 3-3(34):131-136. EDN PWTGTF. (rus.).
24. Kryshen E.V., Lavrus O.E. Modeling of production processes. *Mechanics and Mechanical Engineering*. 2012. (rus.).
25. Zagrevsky V.I. *Models for analyzing the movements of biomechanical systems*. Tomsk, Tomsk University Press, 1990; 124. EDN YUFGJL. (rus.).
26. Zvegintsev V.A. Theoretical and linguistic prerequisites of the Sepir-Whorf hypothesis. *New in linguistics*. vol. I, M., 1960.
27. Zvegintsev V.A. Essays on general linguistics (section "The role of language in the processes of cognition"), M., 1962.
28. Denisova E.N., Makhrov S.S. Analysis of modern methods for registering brain activity signals through a neurocomputer interface. *T-Comm*. 2017; 11(12):14-17. EDN ZXLRBR. (rus.).
29. Kashapov R.Z. Automation and digitalization impact on the development of the labor rationing system. *Economy. Science. Business*. 2021; 223-230. EDN HTVVCL. (rus.).
30. Kashapov R.Z. *Development of a labor standardization system at an oil and gas production enterprise in conditions of automation*. Omsk, 2021. EDN HJGDOW. (rus.).
31. Demidov V.V., Kashapov R.Z. Development of microelement regulation using innovation technologies. *Organization and rationing of labor: science, education, practice*. 2018; 68-74. EDN YUYDQL. (rus.).
32. Matveev M.Y., Sborshikova M.N., Sborshi

kov S.B. Development of normalization of work quota setting abroad. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011; 3-2:68. EDN OWCDHL. (rus.).

33. Maksimov D.G. The emergence and development of microelement work measurement. Bulletin of Udmurt University. *Series Economics and Law*. 2014; 1:68-71. EDN SBNLYR. (rus.).

Received March 5, 2023.

Adopted in revised form on March 11, 2024.

Approved for publication on June 24, 2024.

B I O N O T E S: **Irina V. Karakozova** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Innovation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 655795, Scopus: 57190864252, ResearcherID: AAD-4118-2022, ORCID: 0000-0002-7913-919X; i.kar@inbox.ru;

Ilya M. Lisitsyn — Candidate of Technical Sciences, Director of the Department of Pricing Methodology in Construction; **GSS Plus**; 6th floor 11 Lobachika st., Moscow, 107113, Russian Federation; limmoscow@mail.ru;

Konstantin V. Boldyshev — Deputy General Director; **Management Company “Bolshaya Shatura”**; 3 Savushkina st., Moscow region, Shatura, 140700, Russian Federation; BoldyshevKV@mosreg.ru.

Contribution of the authors: all the authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.