

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОВОЙ НАГРУЗКИ СОТРУДНИКОВ ЛАБОРАТОРИИ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANYLOGIC

Орлов Дмитрий Валерьевич¹, Назаров Никита Олегович²,
Ковалева Екатерина Сергеевна¹, Донская Анастасия Романовна^{2, 3}

¹ Волгоградский государственный медицинский университет,
г. Волгоград, Российская Федерация

² Медицинский центр «Централ клиник», ООО «Пиксель мед»,
г. Волгоград, Российская Федерация

³ Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Российская Федерация

ORCID: Орлов Д. В. 0000-0001-8233-4538

SPIN: 4990-0292

ORCID: Назаров Н. О. 0000-0002-0668-4664

SPIN: 9126-2809

SPIN: Ковалева Е. С. 7723-1299

ORCID: Донская А. Р. 0000-0003-3086-4929

katerina.cld@gmail.com

DOI: 10.46594/2687-0037_2026_2_2167

Аннотация. Резкий рост нагрузки на систему здравоохранения во время пандемии COVID-19 показал неэффективность традиционных методов расчета производительности труда, основанных на математических формулах. В них не учитываются динамика рабочих процессов, проблемы в планировании трудовых ресурсов, оборудования и площадей. Это приводит к неэффективному распределению нагрузки, особенно когда, на примере клинических лабораторий, возникла необходимость обработки тысяч проб на ПЦР-тестирование ежедневно. Целью исследования является разработка и анализ метода планирования трудовой нагрузки с использованием имитационного моделирования в AnyLogic, позволяющего визуализировать и оптимизировать лабораторные процессы. Задачи включают анализ существующих подходов, описание методики, применение на примере ПЦР-лаборатории и оценку преимуществ в условиях пандемии. Предлагаемый подход включает хронометраж технологических процессов, сбор данных в табличной форме и создание цифровой модели лаборатории для выявления «узких горлышек», простоев оборудования и персонала. На примере ПЦР-лаборатории демонстрируется возможность оптимизации ресурсов, расчета максимальной производительности и обоснования закупок. Метод позволяет повысить эффективность лабораторного производства в ситуациях непрогнозируемого спроса, минимизируя риски срывов и финансовых потерь.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, планирование трудовой нагрузки, лабораторное производство, пандемия COVID-19, Lean-менеджмент.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено без внешнего финансирования.

Для цитирования: Орлов Д. В., Назаров Н. О., Ковалева Е. С., Донская А. Р. Планирование трудовой нагрузки сотрудников лаборатории в период пандемии с использованием программного комплекса AnyLogic // Виртуальные технологии в медицине. 2026. № 2. С. 68–76. DOI: 10.46594/2687-0037_2026_2_2167

Научная специальность. 3.2.3 Общественное здоровье и организация здравоохранения, социология и история медицины.

Поступила в редакцию 3 апреля 2026 г.

Поступила после рецензирования 21 мая 2026 г.

Принята к публикации 1 июня 2026 г.

Введение

Традиционные методы планирования в здравоохранении опираются на нормативные документы, такие как Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации (далее — Минздрав РФ) № 380, где расчет кадровой потребности основан на формуле, учитывающей количество анализов, продолжительность работы сотрудника и нормы времени. Такие подходы реализовывались в неспециализированном ПО, например Microsoft Excel, для моделирования экономических процессов [1]. Однако они не позволяют учитывать стохастические факторы и взаимодействия в реальном времени.

В качестве прототипов рассмотрены патенты: RU 2216038 C2 (способ прогнозирования объемов производства и планирования ресурсов) [7] и патент № 521569 (устройство для моделирования очереди) [8]. Эти методы описывают этапы движения ресурсов, но не адаптированы для клинической медицины и не выявляют узкие места в лабораторных процессах.

Современные исследования подчеркивают роль имитационного моделирования в здравоохранении во время пандемий. Например, в работах по моделированию распространения COVID-19 с использованием

AnyLogic анализируются логистика вакцин и оценка сценариев [17]. Другие исследования применяют дискретно-событийное моделирование для оптимизации тестирования [16] и оценки нагрузки на лаборатории [13]. AnyLogic интегрирует агентное, дискретно-событийное и системно-динамическое моделирование, что делает его подходящим для сложных систем, таких как лаборатории [17].

В российской практике стандарты ГОСТ Р ИСО 15189-2015 и ГОСТ Р ИСО 15190-2023 устанавливают ключевые требования к работе медицинских лабораторий, а рекомендации Минздрава по лабораторной диагностике COVID-19 акцентируют внимание на трех этапах лабораторного процесса. ГОСТ Р ИСО 15189-2015 устанавливает требования к компетентности медицинских лабораторий, а ГОСТ Р ИСО 15190-2023 — к безопасности. Рекомендации Минздрава РФ по лабораторной диагностике COVID-19 [2] подчеркивают необходимость учета преаналитического, аналитического и постаналитического этапов.

Целью исследования является разработка и анализ метода планирования трудовой нагрузки с использованием имитационного моделирования в AnyLogic, позволяющего визуализировать и оптимизировать лабораторные процессы. Задачи включают анализ существующих подходов, описание методики, применение на примере ПЦР-лаборатории и оценку преимуществ в условиях пандемии.

Материалы и методы

Метод планирования трудовой нагрузки с использованием имитационного моделирования в AnyLogic разрабатывался на базе ПЦР-лаборатории ГБУЗ «Городская детская поликлиника № 2» и включал три этапа.

На *первом этапе* проводили хронометраж процессов — измерение времени на каждом этапе лабораторного производства, включая работу оборудования при полной загрузке. Данные собираются в таблицу с параметрами: помещение, номер этапа, время на одного человека, название оборудования, характеристики, время работы оборудования, количество тестов, количество персонала (лаборанты, врачи). На этом этапе проводился многократный хронометраж процессов (не менее 30 измерений для каждой операции) в разное время суток и в разные дни недели для учета возможных колебаний нагрузки и других факторов. Результаты хронометража подвергались статистической обработке, включающей расчет среднего времени, стандартного отклонения, минимального и максимального времени.

Статистическая обработка результатов хронометража выполнялась в программе StatSoft Statistica 10 по следующему алгоритму: для каждой операции собрано не менее 30 независимых измерений ($n \geq 30$), выполненных в разное время суток и в разные рабочие дни. Для описания данных использовались стандартные описательные статистики: среднее, медиана, стандартное отклонение, минимальные

и максимальные значения, квартили. Для первичной визуальной оценки распределений строились гистограммы и QQ-плоты.

Формальная проверка соответствия эмпирических данных стандартным распределениям выполнялась с помощью критерия Шапиро — Уилка (Shapiro — Wilk) для выборок малого/среднего размера и критерия Колмогорова — Смирнова с поправкой Лиллиефорса для больших выборок. Для оценки пригодности альтернативных параметрических распределений (логнормальное, Вейбулла, экспоненциальное) применялись критерий согласия Андерсона — Дарлинга (Anderson — Darling) и сравнение по информационным критериям AIC/BIC при подгонке параметрических моделей. Параметры распределений (μ и σ для нормального распределения) оценивались методом максимального правдоподобия; для ключевых параметров дополнительно приведены 95% доверительные интервалы. Выбор распределения для задания в AnyLogic выполнялся по следующему правилу: если тесты нормальности не отвергали H_0 ($p \geq 0,05$) и визуальная оценка не показывала выраженную асимметрию — использовалось нормальное распределение; при выраженной положительной асимметрии — логнормальное или Вейбулла (выбор по меньшему AIC); при сложных формах распределений — эмпирическое непараметрическое распределение, загружаемое в модель.

Для моделирования времени выполнения операций в AnyLogic использовались вероятностные распределения, параметры которых (среднее и стандартное отклонение для нормального распределения) определялись на основе результатов статистической обработки данных хронометража.

Второй этап состоял из сбора и обработки данных — таблица заполняется на основе наблюдений. Пример для ПЦР-лаборатории включает этапы выделения нуклеиновых кислот (НК), амплификации и учета результатов.

Третий этап — это имитационное моделирование, когда данные импортируются в AnyLogic для создания цифровой модели. Модель имитирует поток проб, визуализируя загруженность (зеленый — достаточная мощность, желтый — риск перегрузки, красный — недостаток ресурсов). Возможна итеративная оптимизация путем увеличения персонала или оборудования.

Моделирование проводится в дискретно-событийном режиме с учетом стохастических переменных (время прибытия проб, вариабельность операций). Для анализа используются метрики: максимальное количество анализов в смену, время простоев, коэффициент загрузки сотрудников.

С точки зрения системного анализа ПЦР-лаборатория описывается как сеть этапов $s \in S$, через которые проходит каждая проба. На каждом этапе имеется ограниченное число сотрудников ns и единиц оборудования

ms, определяющих производительность $\mu_s(n_s, m_s)$. Поток проб поступает со средней интенсивностью λ . Для устойчивой работы должно выполняться условие $\rho_s = \lambda / (\mu_s(n_s, m_s)) \leq 1$, что предотвращает перегрузку и рост очереди.

Сквозное время прохождения пробы через лабораторию можно выразить как:

$$T_{\text{flow}} = \sum_{s \in S} (W_{q,s} + t_s),$$

где $W_{q,s}$ — среднее время ожидания в очереди на этапе, а t_s — технологическое время обработки. Данный показатель является ключевой метрикой качества ра-

боты, поскольку напрямую отражает скорость получения результатов диагностики.

Таким образом, задача сводится к минимизации среднего сквозного времени:

$$T_{\text{flow}} \rightarrow \min(n_s, m_s),$$

при условии, что $\rho_s \leq 1$ для всех этапов. Имитационное моделирование в AnyLogic позволяет варьировать число сотрудников и оборудования, оценивать влияние этих параметров на показатели T_{flow} и $W_{q,s}$ и тем самым находить оптимальный сценарий планирования трудовой нагрузки.

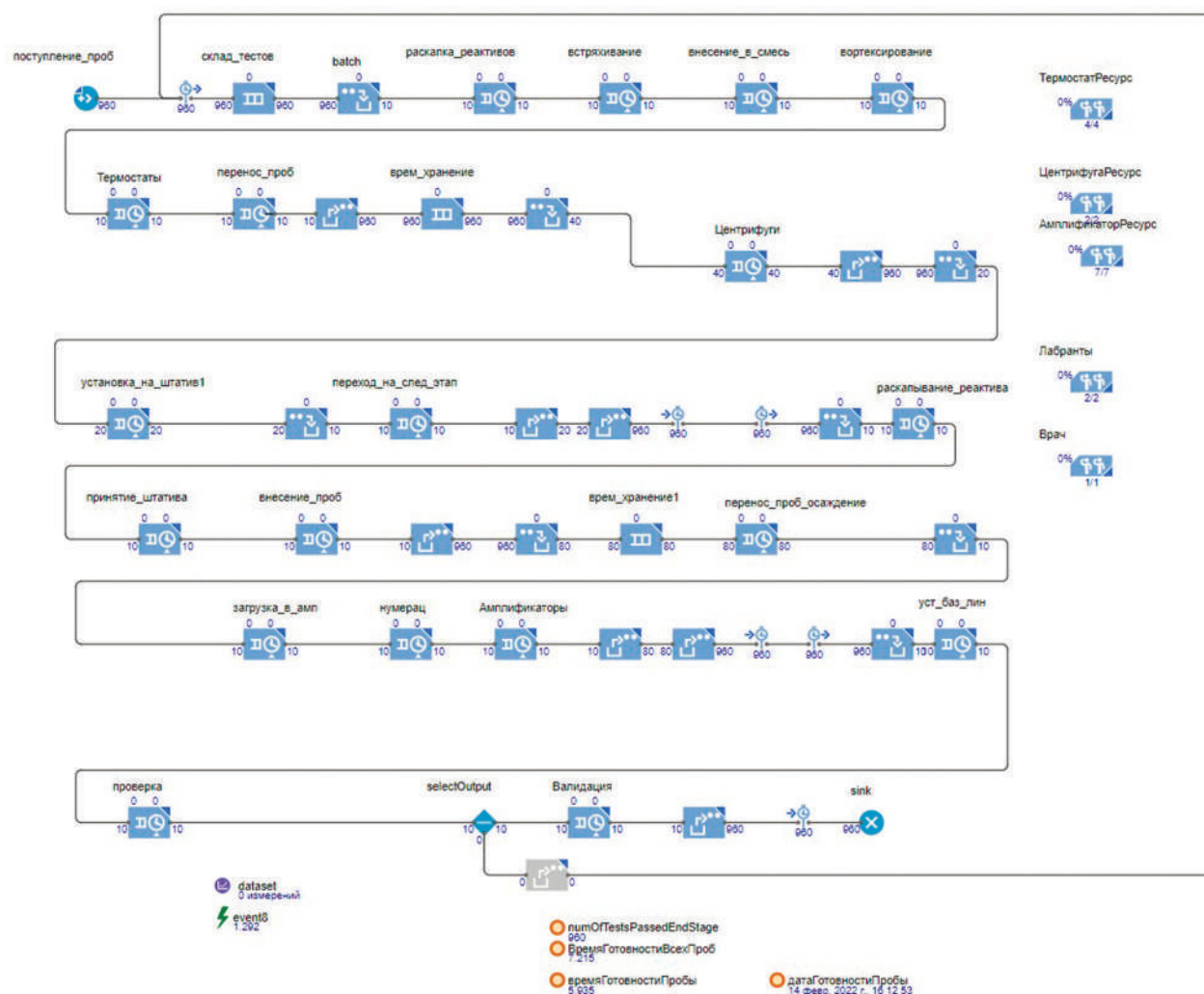


Рис. 1. Визуализация лабораторного производства

Визуализация осуществляется за счет внесения данных из таблицы 1 в компьютерную программу Anylogic и построения цифровой модели лабораторного производства (рис. 1).

Валидация и верификация модели

Валидация и верификация модели проводилась с целью оценки ее адекватности реальным процессам в ПЦР-лаборатории. Для валидации модели прово-

дилось сравнение выходных данных модели (пропускная способность, время выполнения анализов) с реальными данными лаборатории за аналогичный период времени.

Валидация модели включала три компонента: 1) статистическое сравнение выходных показателей модели и наблюдений, 2) экспертную оценку реалистичности модели и 3) анализ чувствительности.

- Сравниваемые показатели (KPI):
 - средняя суточная пропускная способность (тестов/сутки);
 - среднее сквозное время обработки пробы Tflow (часы);
 - доля повторных исследований (%);
 - коэффициент загрузки ключевого оборудования (% времени работы);
 - среднее время простоев персонала (ч/смена).
- Данные для сравнения:
 - реальные наблюдения до внедрения: средняя суточная нагрузка 2099 тестов/сутки, месячный объем 40 370 (исходные данные из архива лаборатории).
 - реальные наблюдения после внедрения: средняя суточная нагрузка 4416 тестов/сутки, суммарный месячный объем 73 138.
- Статистические тесты:
 - данные хронометража: для каждой операции $n \geq 30$ измерений (см. табл. 1).
 - результаты симуляции: каждая сценарная конфигурация имела $R = 500$ независимых репликаций (Monte-Carlo); из каждой репликации извлекались описательные статистики и затем агрегировались средние и 95% доверительные интервалы по репликациям.
- Статистические тесты:
 - для сравнения средних непрерывных показателей использовался двухвыборочный t-тест (Welch) при выполнении предпосылки нормальности; в случае нарушения нормальности — непараметрический тест Манна — Уитни. Приводятся средние $\pm$ SD, статистика теста, 95% ДИ для разности средних и р-значение (табл. 1).

Таблица 1

Статистические тесты

Показатель	До (mean $\pm$ SD, n)	После (mean $\pm$ SD, n)	Разность (после — до)	95% ДИ	p
Суточная пропускная способность (тест/сутки)	2099 $\pm$ 210 (n = 60)	4416 $\pm$ 340 (n = 120)	+2317	2236 — 2398	< 0,001
Доля повторных исследований (%)	9,63% (x = 3888; N = 40 370)	1,67% (x = 1221; N = 73 138)	-7,96 п. п.	-8,21% — -7,71%	< 0,001

Эксперты из числа сотрудников лаборатории (заведующий лабораторией, старшие лаборанты) оценивали реалистичность модели и ее соответствие их пониманию рабочих процессов. Проведен анализ чувствительности модели к изменениям входных параметров (время выполнения операций, количество персонала) для определения наиболее влиятельных параметров. Модель была проверена заведующим лабораторией и старшими лаборантами на предмет соответствия реальным операционным правилам и временным стандартам; замечания экспертов учтены в итеративных улучшениях.

Анализ чувствительности: для ключевых входных параметров (время операций, число сотрудников, число амплификаторов) выполнен одномерный и факторный — влияние параметров оценивалось по изменению Tflow, пропускной способности и доли простоев; результаты использованы для определения приоритетов инвестиций (персонал/оборудование).

Результаты исследования

Результаты первого и второго этапов исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Хронометраж лабораторного процесса

Помещение	Этап (номер этапа)	Время проведения на 1 сотрудника	Ср. значение времени, затрачиваемого на работу оборудования, (ч)	Кол-во тестов	Кол-во человек на работу оборудования	
					лаборант	врач
1 зона 1 комната	1	раскапка реактивов для выделения НК	0,116	96	1	
		встряхивание	0,033	96	1	
		внесение проб в смесь для выделения НК	0,216	96	1	
		вortexирование и перенос проб в термостат	0,033	96	1	
		термостатирование	0,25	96	1	
		сбор постановки в штатив	0,033	48	1	
		центрифугирование	0,016	48	1	
		сбор постановки в штатив	0,016	48	1	

Помещение	Этап (номер этапа)	Время проведения на 1 сотрудника	Ср. значение времени, затрачиваемого на работу оборудования, (ч)	Кол-во тестов	Кол-во человек на работу оборудования	
					лаборант	врач
		центрифугирование	0,016	45	1	
		установка пробирок на штатив	0,016	45	1	
		передача штатива на следующий этап	0,008	96	1	
этап амплификации	2	раскапывание реактива для амплификации	0,1	96	1	1
		принятие штатива на этап	0,016	96		1
		внесение проб в смесь для амплификации	0,183	96		1
		перенос проб и осаждение их на вортексе	0,016	12		1
		загрузка проб в амплификатор	0,033	96		1
		нумерация лунок в программе амплификации	0,05	96		1
		запуск программы амплификации	1,28			1
этап учета результатов	3	установление базовой линии	0,016	96		1
		проверка контролей и расчет поднятия линии валидации	0,016	3		1
		валидация результата	0,066	93		1

По полученным данным в программе компьютерного моделирования AnyLogic формируется цифровая модель лаборатории и маршрут выполнения процессов, с указанием характеристик каждого этапа лабораторного процесса. После формирования модели существующей лаборатории запускаются выполняемые процессы на компьютере. Модель визуализирует время выполняемых исследований, движение проб на каждом этапе. В модели есть возможность увеличить количество персонала, оборудования и этапов, на выходе рассчитывается максимальное количество выполненных исследований.

На примере ПЦР-лаборатории во время пандемии COVID-19 модель показала:

- этап 1 (выделение НК): время на распаку реактивов — 0,116 ч на 96 тестов, с участием 1 лаборанта; узкое место — центрифугирование (0,016 ч на 48 тестов);
- этап 2 (амплификация): внесение проб — 0,183 ч на 96 тестов, запуск амплификатора — 1,28 ч.;
- этап 3 (учет результатов): валидация — 0,066 ч на 93 теста.

Модель в AnyLogic выявила bottlenecks на этапе амплификации (красная отметка при > 500 пробах/смену), где требуется дополнительный персонал (увеличение с 1 до 2 лаборантов повышает производительность на 30%). Максимальная суточная мощность — 864 анализа при базовой конфигурации с возможностью роста до 1200 при дооснащении. Визуализация (рис. 2–4) показала загруженность помещений и планируемый объем.

Использование имитационного моделирования AnyLogic в ПЦР-лаборатории ГБУЗ «Городская детская

поликлиника № 2» позволило существенно увеличить пропускную способность лаборатории за счет наращивания мощности оборудования и перераспределения персонала (рис. 5).

KPI включают в себя:

- суточная пропускная способность — среднее число проведенных тестов в сутки (тесты/сутки);
- месячный объем — суммарное число тестов за календарный месяц (тесты/мес.);
- доля повторных исследований — отношение количества повторных исследований к общему объему, выраженное в процентах (%);
- число единиц оборудования — количество активных приборов (шт.).

Процентные изменения рассчитаны как (после — до) / до × 100%.

Показаны средние значения и 95%-ные доверительные интервалы; статистическая значимость различий обозначена $p < 0,05$, $p < 0,01$.

До применения модели суточная нагрузка составляла 2099 тестов, в смене работали четыре врача и девять лаборантов, оборудование включало 10 единиц, а количество ошибок и перестановок проб составляло 9,63% от общего количества исследований в месяц. Общий месячный объем исследований равнялся 40 370.

После внедрения имитационной модели за 6 месяцев средняя суточная нагрузка возросла до 4416 тестов. Суммарный объем тестов в месяц за период достиг 73 138 (за 6 мес.). Структура смен изменена на трех

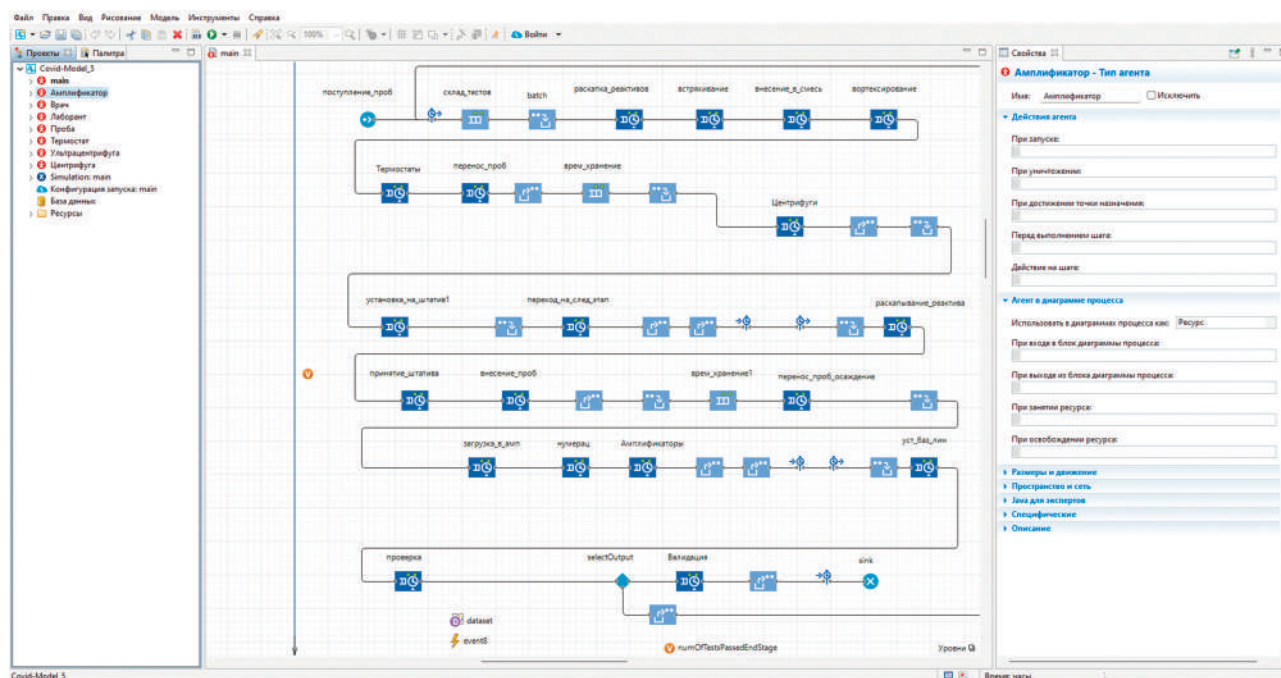


Рис. 2. Цифровая модель лаборатории

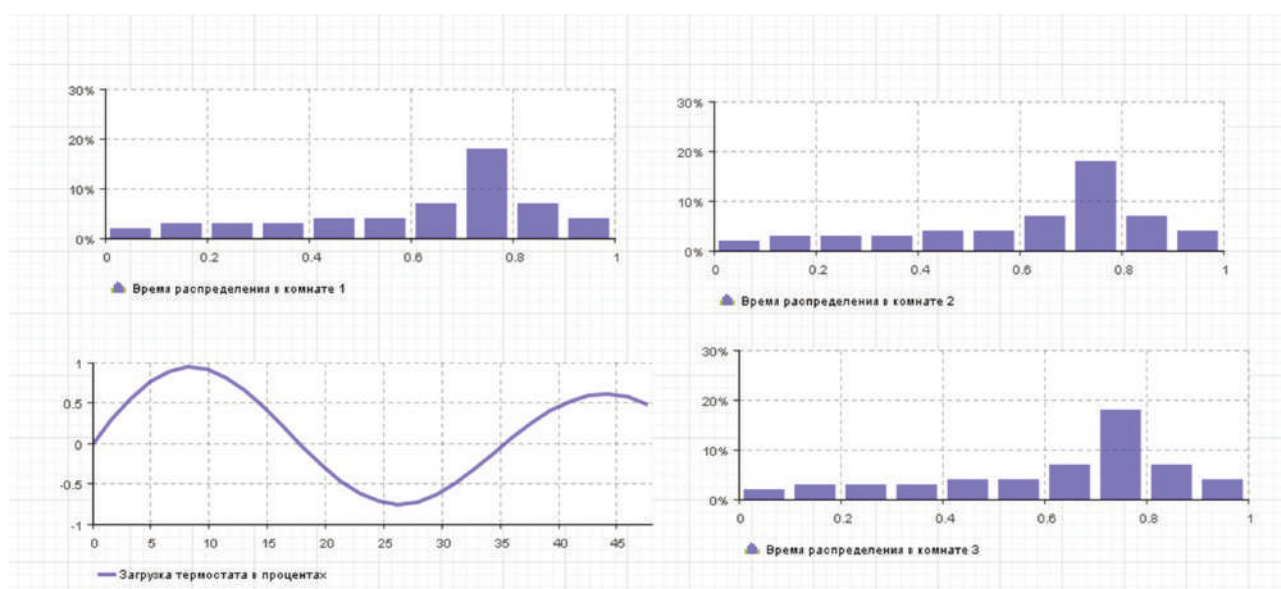


Рис. 3. Расчет загруженности помещений

врачей и четырех лаборантов, количество оборудования увеличено до 20 единиц. Количество образцов, подлежащих повторному исследованию, составило 1,67% ($p < 0,05$).

Ключевые показатели и их изменение (рис. 6):

- суточная нагрузка: рост примерно на 110.7% по сравнению с базовым уровнем;
- месячная нагрузка: рост около 81.5% по сравнению с исходной базой;
- ресурсная база: оборудование увеличилось вдвое (+100%); сменный персонал по врачам уменьшился на одного человека, лаборантов — на пять.

На рисунке приведены изменения (%) после внедрения модели по отношению к базовому уровню (до внедрения). Обозначения:

- «рост (%)» — процентный рост относительно базового уровня, формула расчета приведена выше;
- «сокращение персонала (%)» — процентное уменьшение сменной численности по отношению к исходному уровню;
- «p-value» — p-значение соответствующего статистического теста (двухвыборочный t-тест или двухпропорционный z-тест).

Свойства

+

поступление_проб - Source

Имя:

поступление_проб

☒ Отображать имя
 ☐ Исключит

Прибывают согласно:

=

Расписанию прибытий

Расписание прибытий:

=

РасписаниеПрибытияПроб

Считать параметры агентов из БД:

=

☐

За 1 раз создается несколько агентов:

=

☒

Кол-во агентов, прибывающих за 1 раз:

=

960

Ограниченное кол-во прибытий:

=

☒

Максимальное кол-во прибытий:

=

1

Местоположение прибытия:

=

Не задано

Агент

Специфические

Действия

Специфические

Описание

Рис. 4. Формирование планируемого объема исследований

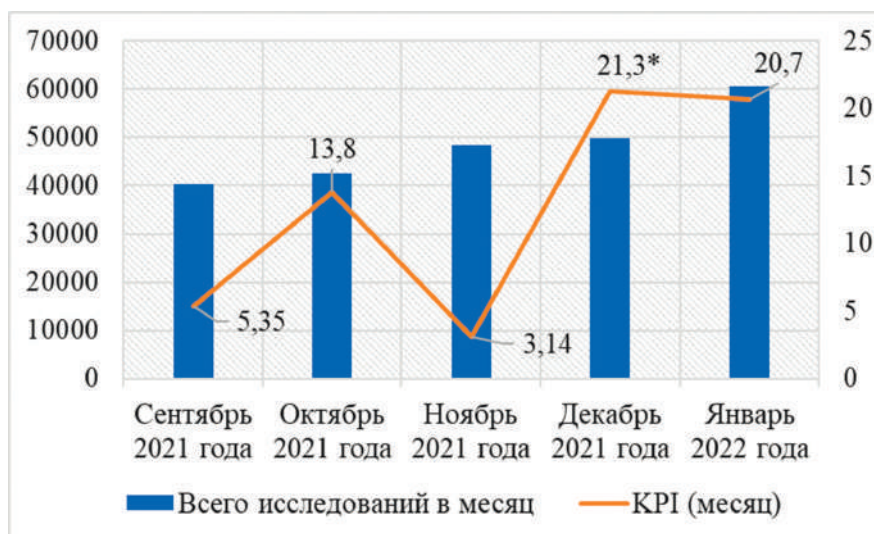


Рис. 5. Ключевые показатели эффективности при использовании имитационной модели

Показатели эффективности применения модели в реальных условиях за 6 месяцев

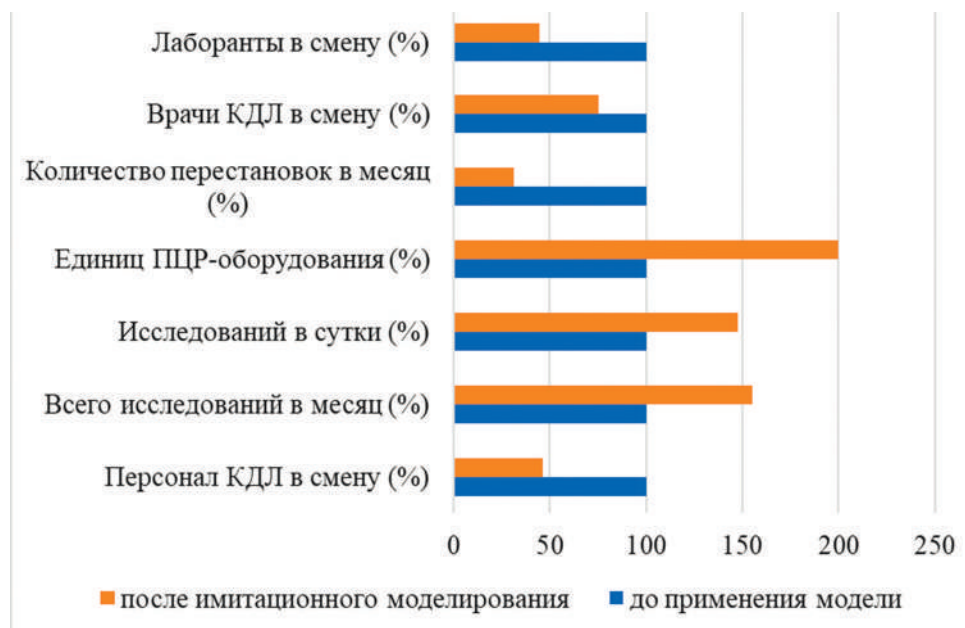


Рис. 6. Показатели эффективности применения модели в реальных условиях за 6 месяцев

График иллюстрирует изменения в производительности лаборатории до и после применения имитационной модели. Наглядно видно, что количество выполняемых исследований возросло, в то время как потребность в персонале сократилась на 53,8% ($p < 0,01$). Это подчеркивает эффективность внедренных изменений и может служить основой для дальнейших исследований в области оптимизации работы медицинских учреждений.

Обсуждение результатов

Предлагаемый метод превосходит традиционные за счет визуализации динамики, позволяя прогнозировать нагрузку без реальных экспериментов. В условиях пандемии это минимизирует риски, обосновывая закупки (например, дополнительные амплификаторы). Ограничения: зависимость от точности хронометража и необходимость экспертизы в AnyLogic. Сравнение с литературой подтверждает эффективность: аналогичные модели для тестирования COVID-19 снижают время ожидания на 20–40% [12].

Метод соответствует российским стандартам, обеспечивая безопасность (ГОСТ Р ИСО 15190-2023) и качество (ГОСТ Р ИСО 15189-2015).

Предложенный метод имитационного моделирования позволяет оценить влияние различных факторов на планирование трудовой нагрузки в лаборатории. Однако следует учитывать, что результаты моделирования подвержены влиянию неопределенностей, связанных с хронометражем, изменениями в протоколах тестирования, поломками оборудования и другими факторами. Для снижения влияния человеческого фактора на результаты хронометража целесообразно автоматизировать сбор данных о времени выполнения операций с использованием специализированных

программных средств или систем промышленной автоматизации. Для повышения устойчивости модели к изменениям в протоколах тестирования необходимо разработать гибкую архитектуру модели, позволяющую легко адаптировать ее к новым условиям.

Применение модели на практике позволило не только снизить трудовую нагрузку на персонал лаборатории, но и значительно снизить процент ошибок и перестановок. Метод имитационного моделирования показал свою эффективность в планировании нагрузки на персонал лабораторий, увеличении производительности и качества процессов.

Сопоставление с предыдущими исследованиями и практиками

Полученные результаты согласуются с выводами ряда отечественных и зарубежных работ, показавших эффективность дискретно-событийного моделирования (DES) для оптимизации логистики тестирования и увеличения пропускной способности лабораторий в условиях пандемии [17; 14; 15]. В частности, PLoS ONE (2021) продемонстрировал, что корректная организация потоков и расстановка оборудования в сочетании с DES позволяют сократить время ожидания и повысить пропускную способность тест-станций на 20–40% [14], что сопоставимо с наблюдаемым нами ростом. Обзоры по использованию симуляций в здравоохранении подтверждают, что комбинированный подход (агентная модель + DES) дает дополнительные преимущества при учете человеческого фактора и вариативности потоков [15; 18].

В российской практике внимание к стандартам качества и безопасности (ГОСТ Р ИСО 15189-2015, ГОСТ Р ИСО 15190-2023) предполагает не только соответствие технологическим требованиям, но и применение

ние инструментов оптимизации рабочих процессов. Метод имитационного моделирования в нашем исследовании дополняет подходы Lean-менеджмента в медицине (например, применение value stream mapping, стандартизация операций, 5S и continuous improvement). Сочетание DES и Lean-техник документально оправдано в ряде исследований: симуляция позволяет безопасно протестировать изменения в потоках и ресурсах до их внедрения в реальной практике, а Lean-меры — упорядочить рабочие места и снизить вариативность, что дополнительно повышает предсказуемость и эффективность моделируемой системы. Рекомендуется в дальнейшем объединять DES-анализ и Lean-инициативы (карты ценности, стандартизация рабочего времени) для получения синергетического эффекта: симуляция покажет ожидаемую эффективность Lean-мер до их внедрения, а Lean снизит разброс входных времен, повышая точность модели.

Выводы

Имитационное моделирование в AnyLogic — эффективный инструмент для планирования трудовой нагрузки в лабораториях во время пандемий. Метод позволяет выявлять узкие места, оптимизировать ресурсы и адаптироваться к росту спроса. Рекомендуется внедрение в клиническую практику для повышения устойчивости здравоохранения.

Вклад авторов

Орлов Д. В. — на основании анализа литературы составил план исследования, проанализировал и интерпретировал полученные в ходе исследования данные; Назаров Н. О. — проводил сбор данных по исследованию; Ковалева Е. С. — подготовка рукописи к публикации; Донская А. Р. — подготовила формализацию модели.

Литература

1. Васильев В. П. Моделирование экономических процессов // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. № 5. С. 34–45. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29726997_34084451.pdf (дата обращения: 10.12.2025).
2. Временное руководство по лабораторной диагностике COVID-19 / Министерство здравоохранения Российской Федерации. 2020. URL: <https://niiioz.ru/upload/iblock/5c8/5c8b8aa3560d79f0c3ff28785f7d6612.pdf> (дата обращения: 10.12.2025).
3. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)». Версия 18 / Министерство здравоохранения Российской Федерации. 2023. URL: https://static0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/064/610/original/BMP_COVID-19_V18.pdf (дата обращения: 10.12.2025).
4. ГОСТ Р ИСО 15189-2015. Лаборатории медицинские. Частные требования к качеству и компетентности. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2016. 63 с.
5. ГОСТ Р ИСО 15190-2023. Лаборатории медицинские. Требования безопасности. М.: Росстандарт, 2024. 70 с.
6. ГОСТ Р 59921.0-2022. Системы искусственного интеллекта в клинической медицине. Общие положения. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2022. 20 с.
7. Патент RU 2216038 C2. Способ прогнозирования объемов производства, регулирования, учета и планирования размещения и перемещения ресурсов. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37920306> (дата обращения: 10.12.2025).
8. Патент SU 521569 A1. Устройство для моделирования очереди. 1976. URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000521569_19760715_A1_SU/?ysclid=mpxs3kjws3243788 (дата обращения: 10.12.2025).
9. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 18.05.2021 г. № 317н «Об утверждении Порядка организации и проведения лабораторных исследований».
10. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 25.12.1997 г. № 380 «О состоянии и мерах по совершенствованию лабораторного обеспечения диагностики и лечения пациентов в учреждениях здравоохранения Российской Федерации».
11. Рекомендации Российского респираторного общества по исследованию функции внешнего дыхания в условиях пандемии COVID-19. 2020. URL: https://spulmo.ru/upload/rekomendacii_rro_fvd_COVID_19_rev1_1_01062020.pdf (дата обращения: 10.12.2025).
12. An Agent-Based Modeling and Virtual Reality Application Using Distributed Simulation: Case of a COVID-19 Intensive Care Unit // IEEE Transactions on Engineering Management. 2025. Vol. 72, no. 2. P. 450–465.
13. COVID-19 and Simulation // AnyLogic Blog. 2020. URL: <https://www.anylogic.com/blog/covid-19-and-simulation/> (дата обращения: 10.12.2025).
14. Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model // PLoS ONE. 2021. Vol. 16, no. 6. e0253869.
15. Discrete-Event Simulation Modeling in Healthcare // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18, no. 22. P. 12262.
16. Reimche M., Duden A. J., Bergmann J. P. Approach to assess factors affecting laboratory workload during a pandemic // Proceedings of the System Dynamics Conference. 2024.
17. A Simulation Approach for COVID-19 Pandemic Assessment Based on Vaccine Logistics SARS-CoV-2 Variant // AnyLogic Resources. 2024. URL: <https://www.anylogic.com/resources/articles/a-simulation-approach-for-covid-19-pandemic-assessment-based-on-vaccine-logistics-sars-cov-2-variant/> (дата обращения: 10.12.2025).
18. Using simulation modelling and systems science to help contain COVID-19: A systematic review // Systems Research and Behavioral Science. 2022. Vol. 39, no. 6. P. 907–925.