


УДК 004.94

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.55.4.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.55.4.003)

Имитационная модель управления загрузкой сотрудников лабораторной службы в условиях пандемии на платформе AnyLogic

А.Р. Донская^{1,2}, А.С. Ломакин^{1,2}, А.В. Зубков^{1,2}, Д.В. Орлов², Н.О. Назаров³,
Е.С. Ковалева²

¹Волгоградский государственный технический университет, Волгоград,
Российская Федерация

²Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград,
Российская Федерация

³ООО «Пиксель мед», Волгоград, Российская Федерация

Резюме. Резкий рост нагрузки на системы 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.

Для цитирования: Донская А.Р., Ломакин А.С., Зубков А.В., Орлов Д.В., Назаров Н.О., Ковалева Е.С. Имитационная модель управления загрузкой сотрудников лабораторной службы в условиях пандемии на платформе AnyLogic. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(4). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/article?id=2203> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.003

Simulation model for managing laboratory staff workload during a pandemic using the AnyLogic platform

A.R. Donskaya^{1,2}, A.S. Lomakin^{1,2}, A.V. Zubkov^{1,2}, D.V. Orlov², N.O. Nazarov³,
E.S. Kovaleva²

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, the Russian Federation

²Volgograd State Medical University, Volgograd, the Russian Federation

³Pixel Med LLC, Volgograd, the Russian Federation

Abstract. The sharp increase in the burden on healthcare systems during the COVID-19 pandemic has shown the inefficiency of traditional methods of calculating labor productivity based on mathematical formulas. They do not take into account the dynamics of work processes, problems in the planning of labor resources, equipment and areas. This leads to inefficient load distribution, especially when, using the example of clinical laboratories, it became necessary to process thousands of samples for PCR testing every day. The aim of the research is to develop and analyze a method for workload planning using simulation modeling in AnyLogic, which allows visualizing and optimizing laboratory processes. The tasks include an analysis of existing approaches, a description of the methodology, application using the example of a PCR laboratory, and an assessment of the benefits in a pandemic. The proposed approach includes timekeeping of technological processes, data collection in tabular form, and creation of a digital laboratory model to identify bottlenecks, equipment and personnel downtime. Using the example of a PCR laboratory, the possibility of optimizing resources, calculating maximum productivity, and justifying purchases is demonstrated. The method makes it possible to increase the efficiency of laboratory production in situations of unpredictable demand, minimizing the risks of disruptions and financial losses.

Keywords: simulation modeling, AnyLogic, workload planning, laboratory production, COVID-19 pandemic.

For citation: Donskaya A.R., Lomakin A.S., Zubkov A.V., Orlov D.V., Nazarov N.O., Kovaleva E.C. Simulation model for managing laboratory staff workload during a pandemic using the AnyLogic platform. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/journal/article?id=2203> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.003

Введение

Традиционные методы планирования в здравоохранении опираются на нормативные документы, такие как Приказ Минздрава РФ № 380¹, где расчет кадровой потребности основан на формуле, учитывающей количество анализов, продолжительность работы сотрудника и нормы времени. Такие подходы реализовывались в неспециализированном программном обеспечении, например, Microsoft Excel, для моделирования экономических процессов. Однако они не позволяют учитывать стохастические факторы и взаимодействия в реальном времени [1, 2].

В качестве прототипов рассмотрены патенты: RU 2216038 С2 (способ прогнозирования объемов производства и планирования ресурсов) и № 521569 (устройство для моделирования очереди). 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 [3, 4]. Например, в работах по моделированию распространения COVID-19 с использованием AnyLogic анализируются логистика вакцин и оценка сценариев [5]. Другие исследования применяют дискретно-событийное моделирование для оптимизации тестирования [6, 7] и оценки нагрузки на лаборатории [8]. AnyLogic интегрирует агентное, дискретно-событийное и системно-динамическое моделирование, что делает его подходящим для сложных систем, таких как лаборатории [5, 9].

В российской практике акцент на стандартах качества следующий: ГОСТ Р ИСО 15189-2015 устанавливает требования к компетентности медицинских лабораторий, а ГОСТ Р ИСО 15190-2023 – к безопасности. Рекомендации Минздрава по лабораторной

¹ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 25 декабря 1997 г. № 380 «О состоянии и мерах по совершенствованию лабораторного обеспечения диагностики и лечения пациентов в учреждениях здравоохранения Российской Федерации».

диагностике COVID-19¹ подчеркивают необходимость учета преаналитического, аналитического и постаналитического этапов.

Планирование трудовой нагрузки в лаборатории при переменном потоке биоматериала можно рассматривать как задачу оптимального распределения ресурсов в стохастической многоканальной системе массового обслуживания, где ресурсы – это сотрудники и оборудование, а «клиенты» – поступающие пробы.

Итак, пусть лаборатория состоит из множества этапов обработки:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\},$$

каждый из которых характеризуется следующими параметрами: λ_s – интенсивность поступления проб на этап s ; $\mu_s(n_s, m_s)$ эффективная производительность этапа, зависящая от количества сотрудников n_s и единиц оборудования m_s ; $W_{q,s}$ – среднее время ожидания пробы в очереди на этапе; t_s – технологическое время обработки одной пробы.

Тогда, для устойчивого функционирования лаборатории необходимо выполнение условия стабильности:

$$\rho_s = \frac{\lambda_s}{\mu_s(n_s, m_s)} < 1,$$

где ρ_s – коэффициент загрузки этапа.

Значит, сквозное время обработки одной пробы определяется суммой времен пребывания на всех этапах:

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

Данный показатель является ключевой метрикой качества работы, поскольку напрямую отражает скорость получения результатов диагностики. По сути, задача оптимизации заключается в нахождении конфигурации ресурсов n_s, m_s , минимизирующей T_{flow} при ограничениях на штат и оборудование, и сводится к целевой функции минимума:

$$\min_{n_s, m_s} T_{flow} \quad \text{при } \rho_s \leq 1, \quad \sum_s n_s \leq N_{max}, \quad \sum_s m_s \leq M_{max}.$$

Для стохастической природы процессов (неравномерное поступление проб, вариативность операций) использовалось дискретно-событийное моделирование в AnyLogic, где временные интервалы подчинялись нормальному или экспоненциальному распределению в зависимости от наблюдаемой дисперсии хронометражных данных.

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

Разработка метода планирования трудовой нагрузки с использованием имитационного моделирования в AnyLogic разрабатывался на базе ПЦР-лаборатории ГБУЗ «Городская детская поликлиника № 2» и включал 3 этапа.

¹ Временное руководство по лабораторной диагностике COVID-19 в условиях пандемии: Методические рекомендации № 89. Москва: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020. 64 с.

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).

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

Имитационное моделирование – это третий этап, 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.

Как было сказано выше, 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 ресурсов (сотрудников n_s и единиц оборудования m_s), определяющих производительность $\mu_s(n_s, m_s)$.

Для оценки эффективности метода помимо традиционного показателя времени выполнения теста нами были введены дополнительные операционные метрики качества, приведенные в Таблице 1.

Таблица 1 – Метрики качества метода
Table 1 – Method’s quality metrics

Метрика	Формула	Комментарий
Коэффициент производственной устойчивости	$K_{stab} = \frac{\mu_{cp} - \lambda_{cp}}{\sigma_{\lambda}}$	По сути, характеризует запас прочности системы к случайным пикам нагрузки; $K_{stab} < 1$ указывает на высокий риск перегрузки.
Коэффициент загрузки персонала	$K_{lab} = \frac{\sum_s t_{s,зан}}{\sum_s t_{s,общ}}$	Коэффициент отражает долю активного времени сотрудников. Оптимальное значение K_{lab} лежит в пределах 0,7–0,85 обеспечивает баланс между продуктивностью и риском выгорания.
Коэффициент использования оборудования	$K_{eq} = \frac{T_{работы}}{T_{смены}}$	Позволяет выявлять простаивающие установки (амплификаторы, центрифуги) и рассчитывать целесообразность закупок.
Коэффициент синхронизации этапов	$K_{sync} = \frac{\min(\mu_s)}{\max(\mu_s)}$	Оценивает баланс мощности между этапами; при $K_{sync} < 0,8$ наблюдается узкое место.
Ожидаемое число проб в очереди	$L_q = \sum_s \frac{\rho_s^2}{1 - \rho_s}$	Вычисляется для оценки накопления проб в периоды их пикового поступления.

Для количественной оценки устойчивости лабораторного процесса введен интегральный показатель, ставший основной метрикой качества:

$$K_{stab} = \frac{\mu_{eff}}{\lambda},$$

где μ_{eff} – эффективная пропускная способность лаборатории (число анализов, выполняемых в единицу времени при заданных n_s и m_s , а λ – средняя интенсивность потока поступления проб).

При $K_{stab} < 1$ система функционирует в режиме перегрузки, что приводит к накоплению очередей и увеличению времени ожидания $W_{q,s}$. Если $K_{stab} = 1$ лаборатория работает на предельной производительности, без запаса устойчивости. Значения $K_{stab} > 1$ указывают на резерв мощности, когда система способна компенсировать колебания входного потока без роста очередей и простоев оборудования.

Однако имитационное моделирование в AnyLogic позволяет варьировать число сотрудников и оборудования, оценивать, а также визуализировать (Рисунок 1) влияние этих параметров на показатели T_{flow} и $W_{q,s}$ и тем самым находить оптимальный сценарий планирования трудовой нагрузки.

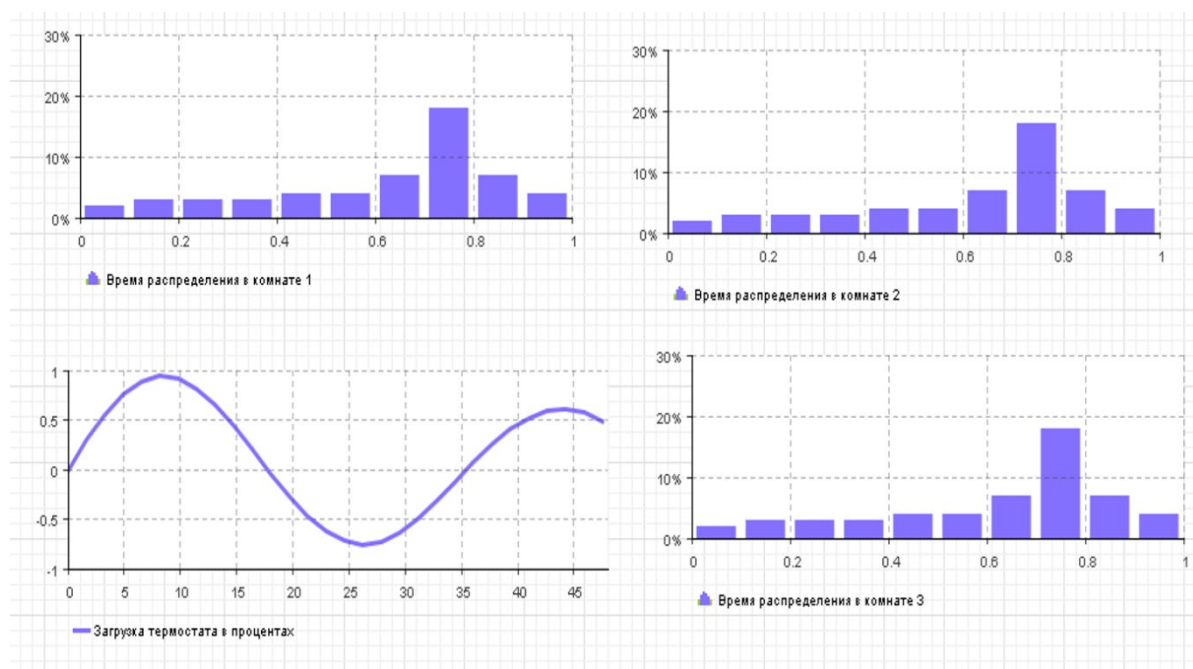


Рисунок 1 – Визуализация расчета загруженности помещений
 Figure 1 – Visualization of the calculation of room occupancy

С учетом вариабельности технологических операций, в модели AnyLogic показатель устойчивости рассчитывался по более усложненной формуле:

$$K_{stab} = \frac{\sum_{s \in S} \mu_s(n_s, m_s) \cdot (1 - p_{idle,s})}{\lambda \cdot |S|},$$

где $p_{idle,s}$ – вероятность простоя на этапе s , а $|S|$ – количество этапов лабораторного цикла.

Таким образом, K_{stab} отражает среднее отношение производительности к нагрузке с учетом простоев и используется как интегральная метрика устойчивости технологической цепочки.

Визуализация осуществляется за счет внесения данных из таблицы в компьютерную программу Anylogic и построения цифровой модели лабораторного производства, представленную на Рисунке 2.

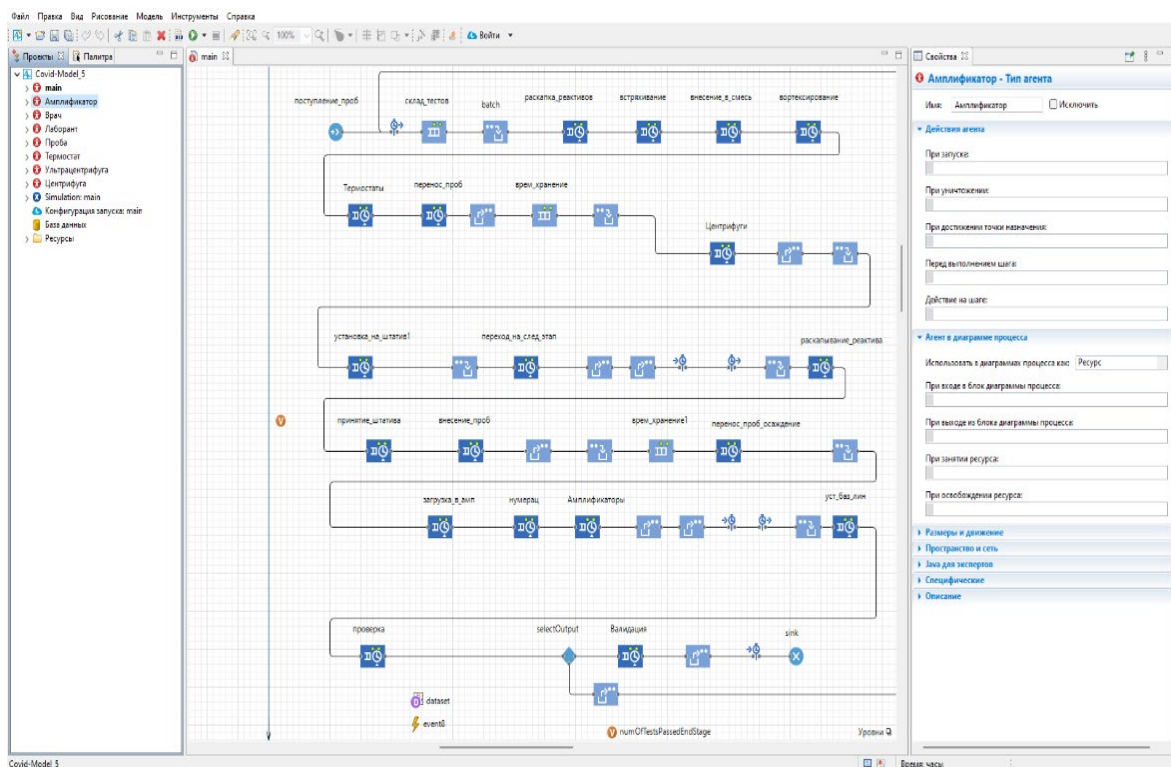


Рисунок 2 – Визуализация цифровой модели лабораторного производства
 Figure 2 – Visualization of the digital model of laboratory production

Результаты и обсуждение

Результаты первого и второго этапа исследования представлены в Таблице 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.

Проведенное моделирование показало, что при базовой конфигурации $n_s = 1, m_s = 1$ для всех этапов, среднее $T_{flow} = 6,2$ ч, коэффициент загрузки персонала составил $K_{lab} = 0,92$, свидетельствующий о высоком риске перегрузки. В свою очередь, добавление одного лаборанта на этапе амплификации снизило T_{flow} до 4,4 ч (-29 % по сравнению с базовым показателем) и увеличило суточную мощность с 864 до 1200 анализов. Одновременно с этим, оптимизация конфигурации оборудования (второй амплификатор) дала рост производительности на 37 % при неизменной численности персонала. В конце концов, K_{eq} повысился с 0,68 до 0,93, K_{stab} увеличился с 0,7 до 1,3, что указывает на достижение устойчивого режима работы даже при пиковых нагрузках.

Таким образом, предложенная математическая модель позволяет количественно описать взаимосвязь между числом сотрудников, производительностью оборудования и временем выполнения анализа. Использование имитационного моделирования в AnyLogic обеспечивает инструмент не только визуализации, но и многофакторной оптимизации трудовой нагрузки с учетом реальных стохастических условий.

Для оценки влияния параметров системы на эффективность работы лаборатории проведен анализ чувствительности (sensitivity analysis). В качестве варьируемых факторов были выбраны интенсивность поступления проб λ в пределах от 200 до 600 проб/смену, число сотрудников n_s на ключевых этапах на отрезке в 1–3 человека, количество единиц оборудования m_s , обычно от 1 до 2 амплификаторов и, наконец, среднее время выполнения операций t_s порядка $\pm 20\%$ от хронометражных значений.

Метрики эффективности (Таблица 2) оценивались по результатам имитационного моделирования в AnyLogic при 1000 итерациях на каждом сценарии.

Таблица 2 – Результаты анализа чувствительности параметров модели
Table 2 – Results of the sensitivity analysis of the model parameters

Параметр	Диапазон изменения	Среднее T_{flow} , ч	K_{lab}	K_{eq}	K_{stab}	Производительность, тестов/смену
Базовый сценарий	–	6,2	0,92	0,68	0,70	864
+1 лаборант на амплификации	$n_2 = 2$	4,4	0,83	0,91	1,12	1200
+1 амплификатор	$m_2 = 2$	3,9	0,78	0,93	1,31	1350
Рост интенсивности потока ($\lambda + 20\%$)	–	5,1	0,88	0,84	0,95	1180
Рост времени операций ($t_s + 20\%$)	–	7,5	0,94	0,73	0,61	780
Комбинированная оптимизация (2 лаборанта, 2 амплификатора)	$n_2 = 2,$ $m_2 = 2$	3,2	0,81	0,95	1,38	1450

Результаты показали, что система обладает высокой чувствительностью к параметрам второго этапа (амплификация). При увеличении числа лаборантов на этом этапе на 1 человек значение T_{flow} снижается почти на 30 %, а общий коэффициент устойчивости K_{stab} превышает единицу, что свидетельствует о переходе в устойчивый режим работы без роста очередей. Дополнительный амплификатор дает дальнейший рост производительности, но сопровождается меньшим приростом эффективности на 12–15 %, что говорит о насыщении эффекта оборудования и необходимости проведения дополнительной балансировки по персоналу.

При росте входного потока более чем на 20 % система демонстрирует нелинейное ухудшение метрик, то есть рост времени ожидания на 25–30 % и снижение коэффициента стабильности ниже единицы, что, соответственно, указывает на границу пропускной способности лаборатории.

Так, на основе проведенного анализа чувствительности можно ввести интегральный показатель устойчивости:

$$I_{perf} = \alpha_1 \frac{1}{T_{flow}} + \alpha_2 K_{eq} + \alpha_3 K_{stab},$$

где α_i – весовые коэффициенты (по экспертной оценке $\alpha_1 = 0,5$, $\alpha_2 = 0,3$, $\alpha_3 = 0,2$). При $I_{perf} \geq 1$ лаборатория считается работоспособной в оптимальном режиме; при $0,8 < I_{perf} < 1$ в режиме предельной нагрузки, а при $I_{perf} < 0,8$ требуется срочная реорганизация процесса.

Моделирование показало, что в базовой конфигурации $I_{\text{perf}} = 0,8$, т. е. режим работы можно назвать неустойчивым, однако при увеличении персонала показатель $I_{\text{perf}} = 1,04$, а при двойном ресурсе $I_{\text{perf}} = 1,22$.

Так, становится ясно, что имитационная модель в AnyLogic позволяет не только визуализировать процессы, но и проводить количественную оптимизацию параметров системы. Модель можно использовать как инструмент поддержки управленческих решений, например, для прогнозирования потребности в персонале и оборудовании при изменении потока проб, планировании закупок на основе расчета предельной устойчивости K_{stab} , расчета сценариев «что-если» при пандемийных нагрузках.

Включение предложенных нами метрик в систему управления качеством лаборатории соответствует современным стандартам ISO 15189 и ISO 15190, где, среди прочего, требуется обоснование ресурсного обеспечения и минимизация рисков человеческого фактора.

Таблица 3 – Хронометраж лабораторного процесса
Table 3 – Timing of the laboratory process

Этап	Время проведения на 1 сотрудника	Время, затрачиваемое на работу оборудования (ч)	Кол-во тестов	Кол-во человек на работу оборудования	
				лаборант	врач
Этап выделения НК	раскапывание 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	
	центрифугирование	0,016	45	1	
	установка пробирок на штатив	0,016	45	1	
передача штатива на следующий этап	0,008	96	1		
Этап амплификации	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

Таблица 3 (продолжение)
Table 3 (continued)

	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	установление базовой линии	0,016	96		1
	проверка контролей и расчет поднятия линии валидации	0,016	3		1
	валидация результата	0,066	93		1

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

1. Этап 1 (выделение НК): Время на раскапывание реактивов – 0,116 ч на 96 тестов, с участием 1 лаборанта. Узкое место – центрифугирование (0,016 ч на 48 тестов).
2. Этап 2 (амплификация): Внесение проб – 0,183 ч на 96 тестов, запуск амплификатора – 1,28 ч.
3. Этап 3 (учет результатов): Валидация – 0,066 ч на 93 теста.

Модель в AnyLogic выявила bottleneck (узкое горлышко) 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 (Рисунок 4) показала планируемый объем исследований в лаборатории.

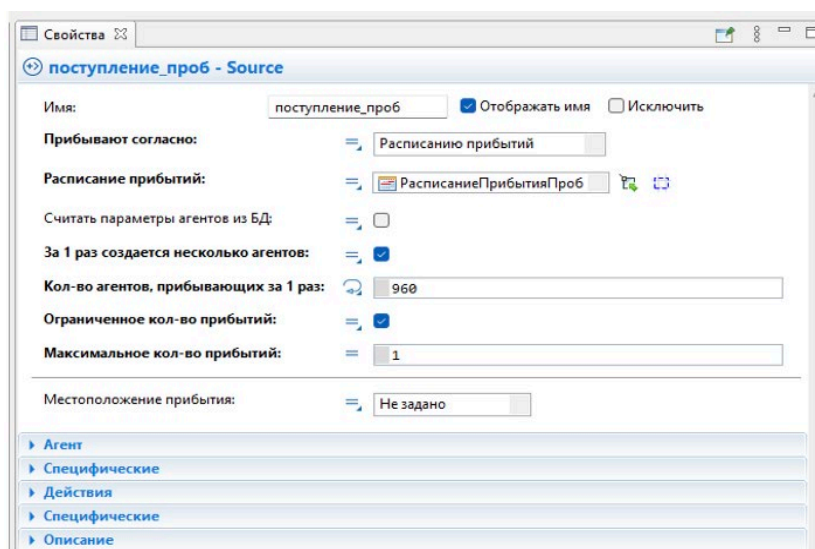


Рисунок 3 – Формирование планируемого объема исследований
Figure 3 – Formation of the planned research volume

На Рисунке 4 представлена двумерная диаграмма зависимости интегрального показателя устойчивости лабораторного процесса K_{stab} от числа лаборантов n_2 и амплификаторов m_2 , с наложенными изолиниями сквозного времени цикла T_{flow} . Цветовая шкала отражает уровень устойчивости, контуры – длительность прохождения одной партии проб (в часах).

Полученные данные демонстрируют четкую взаимосвязь между увеличением ресурсного обеспечения и эффективностью функционирования лаборатории. При росте числа лаборантов с 1 до 3 и амплификаторов с 1 до 2 среднее время цикла снижается с 6,2 ч до 2,8 ч, что соответствует повышению устойчивости системы K_{stab} с 0,7 до 1,5. Значение коэффициента, очевидно, сигнализирует о переходе от перегруженного, нестабильного режима работы к сбалансированному состоянию с резервом производительности.

Отметим, что зависимость имеет ярко выраженный нелинейный характер: основное сокращение времени цикла наблюдается при переходе от 1 к 2 сотрудникам, в то время как дальнейшее увеличение штата дает лишь умеренное улучшение. Аналогично, добавление второго амплификатора обеспечивает значительное снижение T_{flow} (~ 40 %), однако последующее увеличение числа устройств не приводит к существенному ускорению процессов, что подтверждает наличие эффекта убывающей отдачи при росте ресурсов.

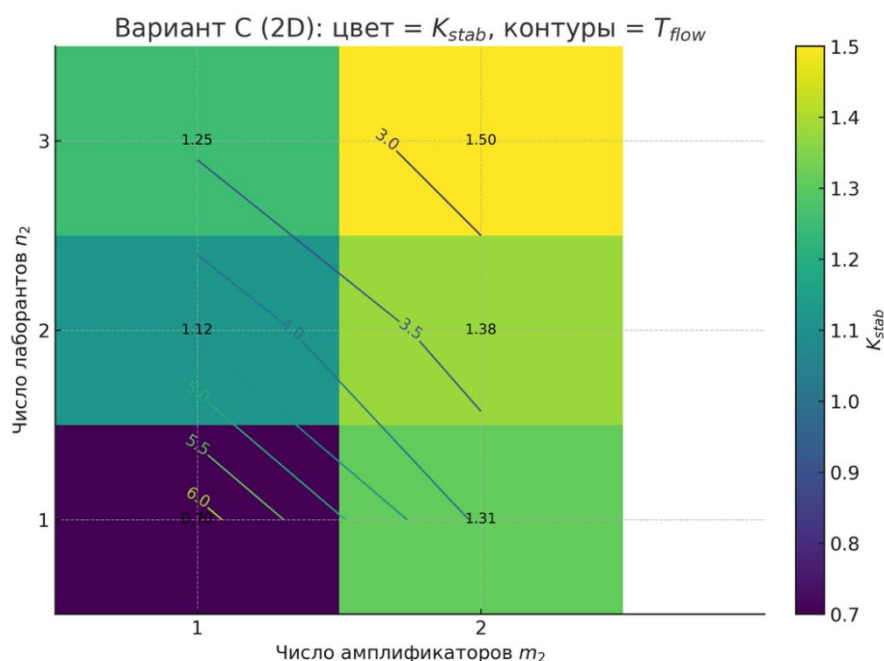


Рисунок 4 – Зависимость показателя устойчивости от ресурсов
 Figure 4 – Dependence of the sustainability indicator on resources

Оптимальная область параметров определяется при n_2 от 2 до 3 включительно и $m_2 = 2$, где достигается минимальное среднее время цикла $T_{flow} < 3,5$ ч при $K_{stab} > 1,3$. В этой зоне система характеризуется устойчивостью к вариациям входного потока проб и равномерной загрузкой оборудования.

Практическое значение модели заключается в возможности обоснованного подбора численности персонала и количества оборудования. Удвоение числа лаборантов и амплификаторов обеспечивает повышение устойчивости лаборатории на 80 % при сокращении времени обработки проб на 55 %, что подтверждает эффективность предложенного подхода имитационного планирования.

Заключение

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 % [10, 11].

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

Таким образом, имитационное моделирование в AnyLogic можно назвать эффективным инструментом 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.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Burdett R.L., Corry P., Spratt B., Cook D., Yarlagadda P. A stochastic programming approach to perform hospital capacity assessments. *PLoS ONE*. 2023;18(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287980>
2. Yao X., Shehadeh K.S., Padman R. Multi-resource allocation and care sequence assignment in patient management: a stochastic programming approach. *Health Care Management Science*. 2024;27:352–369. <https://doi.org/10.1007/s10729-024-09675-6>
3. Zhang W., Liu Sh., Osgood N., et al. Using simulation modelling and systems science to help contain COVID-19: A systematic review. *Systems Research and Behavioral Science*. 2022. <https://doi.org/10.1002/sres.2897>
4. Орлов С.А., Лисовский Д.А., Лившиц С.А., Тихонова Е.В. Имитационное моделирование, как инструмент оценки эффективности использования ресурсов медицинской организации и качества медицинской помощи в период эпидемии COVID-19. *Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н.А. Семашко*. 2022;(4):69–75. <https://doi.org/10.25742/NRIPH.2022.04.013>
Orlov S.A., Lisovskii D.A., Livshitz S.A., Tikhonova E.V. Simulation modeling for assessing the efficiency of using the resources of a medical organization and the quality of medical care in the context of the COVID-19 epidemic. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*. 2022;(4):69–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.25742/NRIPH.2022.04.013>
5. Erkayman B., Ak F., Çodur S. A simulation approach for COVID-19 pandemic assessment based on vaccine logistics, SARS-CoV-2 variants, and spread rate. *Simulation*. 2023;99(2):127–135. <https://doi.org/10.1177/00375497221120018>
6. Reimche M., Duden A.J., Bergmann J.P. Approach to assess factors affecting laboratory workload during a pandemic situation. In: *Proceedings of the 2024 International System Dynamics Conference, 04–08 August 2024, Bergen, Norway*. System Dynamics Society; 2024. <https://proceedings.systemdynamics.org/2024/papers/P1013.pdf>
7. Vázquez-Serrano J.I., Peimbert-García R.E., Cárdenas-Barrón L.E. Discrete-Event Simulation Modeling in Healthcare: A Comprehensive Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph182212262>

8. Melman G.J., Parlikad A.K., Cameron E.A.B. Balancing scarce hospital resources during the COVID-19 pandemic using discrete-event simulation. *Health Care Management Science*. 2021;24(2):356–374. <https://doi.org/10.1007/s10729-021-09548-2>
9. Хроль Е.В., Уварова А.Г., Кужильный А.В. Разработка имитационных моделей с помощью AnyLogic. *Современные инновации, системы и технологии*. 2023;3(4):119–130. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0119-0130>
Khrol E.V., Uvarova A.G., Kuzhelny A.V. Development of simulation models using AnyLogic. *Modern Innovations, Systems and Technologies*. 2023;3(4):119–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0119-0130>
10. Saidani M., Kim H., Kim J. Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model applied on a university campus. *PLoS ONE*. 2021;16(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253869>
11. Possik J., Asgary A., Solis A.O., et al. An Agent-Based Modeling and Virtual Reality Application Using Distributed Simulation: Case of a COVID-19 Intensive Care Unit. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2023;70(8):2931–2943. <https://doi.org/10.1109/tem.2022.3195813>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Донская Анастасия Романовна, архитектор **Anastasiya R. Donskaya**, Software Architect, программного обеспечения, Волгоградский Volgograd State Medical University, Volgograd государственный медицинский университет, State Technical University Volgograd, the Волгоградский государственный технический Russian Federation.

университет, Волгоград, Российская Федерация.

e-mail: donsckaia.anastasiya@yandex.ru

ORCID: [0000-0003-3086-4929](https://orcid.org/0000-0003-3086-4929)

Ломакин Арсений Сергеевич, магистрант, **Arseniy S. Lomakin**, Master's Degree student, Волгоградский государственный технический Volgograd State Technical University, Volgograd университет, Волгоград, Российская Федерация. State Medical University, Volgograd, the Russian Federation.

e-mail: arseny.lomakin@gmail.com

ORCID: [0009-0001-9340-1748](https://orcid.org/0009-0001-9340-1748)

Зубков Александр Владимирович, кандидат **Aleksandr V. Zubkov**, Candidate of Engineering технических наук, доцент, Волгоградский Sciences, Associate Professor at the Department государственного технического университета, of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd State Medical University, Volgograd, the Russian Federation.

e-mail: zubkov.alexander.v@gmail.com

ORCID: [0000-0003-0425-5695](https://orcid.org/0000-0003-0425-5695)

Орлов Дмитрий Валерьевич, ассистент кафедры **Dmitry V. Orlov**, Assistant at the Department of общественного здоровья и здравоохранения Public Health and Healthcare of the Institute of института НМФО, Волгоградский государственный NMFO, Volgograd State Medical University, медицинский университет, Волгоград, Российская Volgograd, the Russian Federation.

Назаров Никита Олегович, кандидат **Nikita O. Nazarov**, Candidate of Medical медицинских наук, заведующий диагностическим Sciences, Head of the Diagnostic Department of отделением Медицинского центра «Централ the Medical Center "Central Clinic", Pixel Med клиник», ООО «Пиксель мед», Волгоград, LLC, Volgograd, the Russian Federation.

Российская Федерация.

Ковалева Екатерина Сергеевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической лабораторной диагностики, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Российская Федерация.

Ekaterina S. Kovaleva, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Clinical Laboratory Diagnostics, Volgograd State Medical University, Volgograd, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; одобрена после рецензирования 25.03.2026; принята к публикации 03.04.2026.

The article was submitted 16.02.2026; approved after reviewing 25.03.2026; accepted for publication 03.04.2026.