

Использование имитационного моделирования для повышения эффективности швейного производства

П.И. Кузьмин¹, И.К. Мищенко², М.Е. Ощепков³

¹Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

²Алтайский филиал Финансового университета при Правительстве РФ (Барнаул, Россия)

³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Москва, Россия)

The Using of Simulation Modeling to Improve the Efficiency of Garment Production

P.I. Kuzmin¹, I.K. Mishchenko², M.E. Oshchepkov³

¹Altai State University (Barnaul, Russia)

²Barnaul Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation (Barnaul, Russia)

³National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russia)

Описывается процесс разработки дискретно-событийной имитационной модели швейного производства с учетом его специфических особенностей. Модель разрабатывалась в программной среде AnyLogic на основе анализа конкретных данных одного из старейших предприятий Алтайского края, ныне входящего в холдинг «БТК групп», — АО БМК «Меланжист Алтай». Непосредственной целью использования имитационного моделирования в деятельности предприятий швейной промышленности стала оптимизация трудозатрат как фактора снижения издержек и повышения эффективности производства. Именно высокие издержки и, соответственно, цены выступают главной причиной неспособности товаров отечественной легкой промышленности конкурировать с недорогими зарубежными изделиями. Результаты проведенного исследования представлены в виде рекомендаций предприятиям швейного производства по оптимизации технологической схемы разделения труда по операциям, перераспределению трудовых ресурсов и максимальной загрузке оборудования. Модификация разработанной модели и последующая ее интеграция с используемыми на предприятии системами автоматизированного управления производством обеспечат функционирование швейной фабрики на более высоком уровне и сформируют дополнительные условия для перехода к цифровому производству.

Ключевые слова: имитационное моделирование, компьютерное моделирование, дискретно-событийная модель, агентная модель, многоподходное моделирование, швейное производство, производственное планирование, бизнес-процесс, экспериментальный анализ.

The paper describes the process of developing a discrete-event simulation model of sewing production with consideration of its specific features. The model is developed in the AnyLogic software environment and based on the analysis of specific data of one of the oldest enterprises of the Altai territory, now part of the holding «BTK group» — JSC BMC «Melangist Altai». The direct purpose of using simulation modeling in the activities of enterprises of the garment industry is the optimization of labor costs as a factor in reducing overall costs and improving production efficiency. It is the high costs and, accordingly, prices that are the main reason for the inability of domestic light industry products to compete with inexpensive foreign products.

The results of the study are presented in the form of recommendations to enterprises of garment production to optimize the technological scheme of division of labor by operations, redistribution of labor resources, and maximum load of equipment. Modification of the developed model and its subsequent integration with the automated production management systems used at the enterprise will ensure the functioning of the garment factory at a higher level and create additional conditions for the transition to digital production.

Key words: simulation modelling, computer's simulation, discrete-event model, agent model, multi-approach modeling, sewing production, production planning, business process, experimental analysis.

Введение. В современных условиях предприятия легкой, в том числе швейной, промышленности находятся в сложной ситуации. В Алтайском крае доля легкой промышленности в обрабатывающих производствах упала с 20 % в 1989 г. примерно до 1 % в 2018 г. [1]. При проектировании процессов изготовления изделия необходимы значительные временные и квалификационные ресурсы специалиста, что снижает мобильность производственного планирования. Наиболее динамично во времени изменяются параметры технологического процесса за счет смены модельного ряда, количества рабочих и оборудования, что требует его оперативной корректировки [2].

Постановка задачи исследования. «БТК групп» включена в реестр организаций оборонно-промышленного комплекса. Холдинг имеет развитую производственную базу, в которую входит 13 территориально распределенных предприятий под контролем головного офиса в городе Санкт-Петербург. Комбинат в Алтайском крае по выпуску натуральных и смесовых тканей реализует технологический процесс текстильного производства от прядения и ткачества до отделки полотна.

Компания придерживается стратегии реинвестиции прибыли в оборудование для обеспечения полного цикла производства. На 2017 г. внеоборотные активы холдинга составляют 2 844 435 тысяч рублей. Оборотные активы составляют 7 047 423 тысячи рублей. Целью представленной работы является повышение эффективности деятельности АО «БТК групп» с помощью анализа разработанной имитационной модели швейного производства.

Построение дискретно-событийной имитационной модели. Исходя из цели и задач данного исследования, нормы времени и денежные тарифы применяются только для операций процесса пошива изделий, а общезаводские операции предполагаются как моментальные и не учитываются при подсчете стоимости изделия. В швейных цехах применяется поточная система организации производства, характеризующаяся специфическими признаками:

1) разделение технологического процесса на отдельные технологически неделимые операции, которые при необходимости выполняются на разном оборудовании;

2) закрепление за каждым исполнителем конкретной организационной операции — одной или нескольких;

3) передача обрабатываемых изделий или деталей на каждую последующую операцию осуществляется только после окончания предшествующей операции;

4) синхронное выполнение операций на всех рабочих местах потока в соответствии с установленным ритмом движения изделий.

Началу разработки имитационной модели предшествовали описание последовательности выявления проблемы, существующей на предприятии, оценка рациональности построения технологического потока и схемы разделения труда, а именно замедление потока деталей на некоторых участках с высокой загруженностью оборудования (этап AS-IS), исследование условий труда методом QIPM. Затем на основе концептуальной модели было проведено два вида анализа: ABC-анализ (функционально-стоимостный) и UDP-анализ (на основе свойств пользователя). Первый анализ привел к пониманию суммарной стоимости работ и общих трудозатрат, а также наиболее трудозатратных и дорогих операций. Второй анализ позволил рассчитать удельный вес полной себестоимости продукции от объема реализации, а также процент по каждому основному процессу.

Модель разрабатывалась в программной среде AnyLogic [3, 4] и была представлена в общем доступе на веб-платформе AnyLogic Cloud [5]. Непосредственная разработка имитационной модели начинается с определения исходных параметров модели [6–10], обозначенных для исследуемого производства в таблице 1. Общезаводские параметры задают начальные значения для элементов всего предприятия в целом. Параметры швейного цеха формируются исходя из технологической схемы разделения труда.

Таблица 1

Обозначение параметров модели

Параметр	Тип данных	Описание
Объем подачи материалов	int	Количество полотен к раскрою, фурнитуры, материалов швейного цеха, поступающих ежедневно
Процент брака упаковки	double	Процентный показатель брака упаковки
Размер пачки	int	Количество изделий, выпускаемых под единым номером
Тариф швеи	double	Оплата труда швеи за час времени
Нормы времени выполнения операций	double	Количество времени по каждой операции, затраченное на единицу изделия
Расчетное количество рабочих	double	Количество рабочих, необходимое для выполнения нормы времени по каждой операции

Расчетное количество рабочих показывает разделение труда по операциям, при котором достигается выполнение нормы, если предположить, что один работник может выполнять определенную часть одной операции и переключаться на другую. Данный показатель рассчитывается как отношение дневного плана к частному от количества часов в рабочей смене и нормы времени в часах (например, расчетное количество рабочих K на соединении плечевых срезов определяется так: $K=270/(11/(0,52/60))=0,21$).

Поскольку рассматриваемое предприятие масштабное, модель была разбита на две потоковые

диаграммы в целях удобства размещения элементов, для этого создан дополнительный класс активного объекта, отражающий швейный цех. Вверху диаграммы (рис.) представлен пользовательский интерфейс, заголовки служат ссылками на области отображения модели. Сформирована область для отображения структуры предприятия, которая показывает взаимосвязи подразделений и потоков сырья. После определения взаимосвязей была разработана основная часть модели, а именно схема работы швейного цеха.

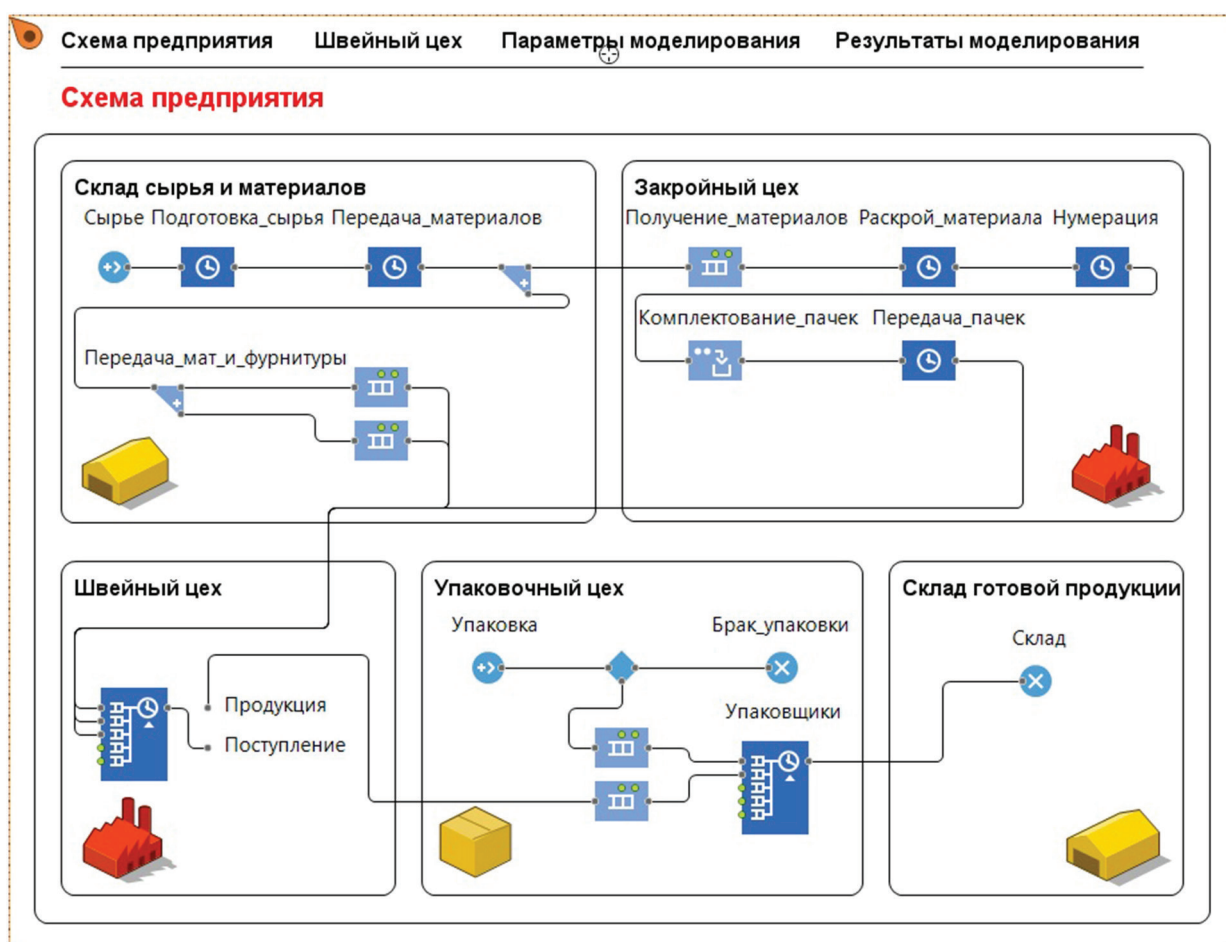


Рис. Построение начальной модели функционирования швейной фабрики в среде AnyLogic

Данная модель отражает процент загруженности оборудования в реальном времени, а также по ходу эксперимента рассчитываются результирующие переменные трудозатрат и стоимости. На диаграмме присутствуют как последовательные, так и параллельные операции, что соответствует технологическому потоку на предприятии.

Разработана математическая модель, которая описывает стационарный случай производственного процесса и представляется в виде системы $(n \times m)$ уравнений, где n — количество произведенных изделий

(объем подачи материалов), m — количество технологических операций процесса. В общем виде продолжительность производственного цикла (T_d) определяется как разность между моментом окончания обработки изделия (n_i) на последней операции (m) и моментом начала обработки следующего изделия (n_{i+1}) на первой операции (m_0) (формула 1), $t_{n,m}$ — норма времени в минутах на выполнение операции (формула 2), $P_{n,m}$ — время простоя изделия в очереди (формула 3).

$$T_d = t_{n,m} - t_{n+1,0} = \sum_{i=2}^n \Delta\tau_0(t_{i-1,0}) + \sum_{k=1}^m P_{n,k} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_k(t_{n,k-1} + P_{n,k}), \quad (1)$$

где

$$t_{n,m} = t_{1,0} + \sum_{i=2}^n \Delta\tau_0(t_{i-1,0}) + \sum_{k=1}^m P_{n,k} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_k(t_{n,k-1} + P_{n,k}), \quad (2)$$

$$P_{n,m} = \max\{\sum_{k=1}^m P_{n-1,k} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_k(t_{n-1,k-1} + P_{n-1,k}) - \Delta\tau_0(t_{n-1,0}) - \sum_{k=1}^{m-1} P_{n,k} - \sum_{k=1}^{m-1} \Delta\tau_k(t_{n,k-1} + P_{n,k}), 0\} \quad (3)$$

Из выражений (1)–(3) следует, что задача определения продолжительного производственного цикла трудоемкая. Это заключение служит обоснованием для применимости дискретно-событийного имитационного моделирования в решении построения и анализа детерминированного технологического потока. Зная возможности технологических модулей, параметры разделения труда по операциям, ограничения модели и законы функционирования, можно производить

эксперименты, варьируя данные параметры в заданных границах. Для оценивания результатов работы имитационной модели предприятия предусмотрена отдельная область «Результаты моделирования», на которую выводятся показатели моделирования. Сущность и типы данных, изображенных на рисунке переменных, описаны в таблице 2. Стоит отметить, что переменные финансовых результатов для наглядности отделены от производственных показателей.

Таблица 2

Обозначение переменных модели

Переменная	Тип данных	Описание
Трудозатраты на ед. изд.	double	Общее количество временных затрат, необходимых для изготовления одного изделия
Трудозатраты на партию	double	Общее количество временных затрат, необходимых для изготовления партии изделий (дневной нормы выработки)
Колич. изделий	int	Количество готовых изделий, выпущенных за конкретный период времени
Колич. упаковки	int	Израсходованное количество упаковки на партию готовых изделий
Колич. брака упаковки	int	Количество упаковки с дефектом, непригодной для использования
Стоим. партии	double	Сумма затрат по каждой операции на размер партии выпущенных изделий
Стоим. ед. изделия	double	Сумма затрат по каждой операции, исходя из расценок по тарифу
Затраты по операциям на партию	double	Произведение расценки операции на количество выполненных операций в течение смены и расчетного количества работников

В процессе разработки была проведена серия тестов с варьированием параметров и получены следующие результаты экспериментов. Уточним, что модельное время ограничивается и составляет 660 мин. (11 часов), это позволит оценивать возможности производства за рабочую смену. При моделировании суммарные затраты по партиям детализировались на 21 позицию. Тест № 1 отражает реальную ситуа-

цию на предприятии, когда план выработки за рабочую смену соблюдается (таблица 3).

В ходе проведения эксперимента была обнаружена большая очередь на операции выкладки деталей кроя, а также высокая загруженность оборудования (90 %). Для поиска возможного пути решения узкого места осуществлен следующий эксперимент, при котором были изменены некоторые параметры модели.

Таблица 3

Обобщенные результаты эксперимента № 1

Изменяемые параметры		Результаты	
параметр	значение	переменная	значение
Объем подачи материалов (компл.)	270	Трудозатраты на ед. изд. (мин.)	150,5
Процент брака упаковки (%)	1	Трудозатраты на партию (мин.)	40 635
Размер пачки (ед.)	30	Колич. изделий (ед.)	270
Тариф швей (руб./ч)	125	Колич. упаковки (ед.)	9
Количество работников (чел.)	62 (факт.)	Колич. брака упаковки (ед.)	0
		Стоим. партии (руб.)	594 864
		Стоим. ед. изделия (руб.)	2 203
		Суммарные затраты по операциям по партиям (руб.)	653 763

В результате эксперимента № 2 (табл. 4) удалось снизить стоимость единицы изделия на 94,9 руб. за счет переназначения одного работника с операции «обработка мелких деталей» на операцию «вы-

кладка деталей кроя» и уменьшения нормы времени первой операции на одну минуту, а также изменения числа единиц оборудования (этап ТО-ВЕ). Вследствие этого предприятие ежедневно экономит 25 623 руб.

Таблица 4

Результаты эксперимента № 2

Изменяемые параметры		Результаты	
параметр	значение	переменная	значение
Объем подачи материалов (ед.)	270	Трудозатраты на ед. изд. (мин.)	149,5
Процент брака упаковки (%)	1	Трудозатраты на партию (мин.)	40 365
Размер пачки (ед.)	30	Колич. изделий (ед.)	270
Тариф швеи (руб./ч)	125	Колич. упаковки (ед.)	9
Расчетное количество работников (чел.):		Колич. брака упаковки (ед.)	0
Обр. мелких дет. 1	13,71	Стоим. партии (руб.)	569 241
Выкладка дет. кроя 1	1,91	Стоим. ед. изделия (руб.)	2 108,3
Нормы времени на операцию «обр. мелких дет.» (мин.)	34,96	Суммарные затраты по операциям по партиям (руб.)	628 140

Третий эксперимент с моделью показал, что при заданных параметрах за рабочую смену бригада может изготовить 14 пачек готовых изделий (табл. 5). Для точной оценки стоимости партии ограничили объем подачи материалов до 420 единиц. С помощью показателя трудозатрат на партию можно оценить величину прироста производительности труда. Таким образом, в результате модернизации количество времени на изготовление партии изделий, которое может быть потрачено за рабочую смену, увеличилось на 22 425 мин. (362 мин. в расчете на одного человека).

Данный вариант развития производства во многом зависит от состояния рынка и объема реализации продукции. Он предполагает оценку величины спроса заказчиков и потенциальных клиентов, а также прогнозирование различных сценариев. При оптимистическом сценарии развития увеличение объема подачи материала позволит дополнительно снизить себестоимость продукции за счет достижения эффекта масштаба производства.

Таблица 5

Результаты эксперимента № 3

Изменяемые параметры		Результаты	
параметр	значение	переменная	значение
Объем подачи материалов (ед.)	420	Трудозатраты на ед. изд. (мин.)	149,5
Процент брака упаковки (%)	1	Трудозатраты на партию (мин.)	62 790
Размер пачки (ед.)	30	Колич. изделий (ед.)	420
Тариф швеи (руб./ч)	125	Колич. упаковки (ед.)	14
Расчетное количество работников (чел.):		Колич. брака упаковки (ед.)	0
Обр. мелких дет. 1	13,71	Стоим. партии (руб.)	885 486
Выкладка дет. кроя 1	1,91	Стоим. ед. изделия (руб.)	2108
Нормы времени на операцию «обр. мелких дет.» (мин.)	34,96	Суммарные затраты по операциям по партиям (руб.)	977 122

Для расчета экономической эффективности внедрения имитационной модели применялась общепринятая методология оценки совокупной стоимости владения. Расчет экономического эффекта от внедрения имитационной модели по годам производился нарастающим итогом с учетом ставки дисконтирования, которая рассчитывается по формуле и составляет 23,3 %. Таким образом, ожидаемый экономический эффект за три года (2019–2021 гг.) в результате

внедрения имитационной модели швейного производства за вычетом ожидаемых затрат составляет более 12 683 млн. руб.

Заключение. На основе данных, полученных по построенным имитационным моделям, предложены изменения: перераспределить рабочую силу на операцию «выкладка деталей кроя» с операции «обработка мелких деталей и узлов», а также обеспечить дополнительное оборудование,

что в сочетании с параллельным выполнением определенных операций повысит выпуск изделий по сравнению с исходным и сократит их себестоимость.

Библиографический список

1. Мищенко В.В., Мищенко И.К. Легкая промышленность Алтайского края: состояние и перспективы // ЭКО. 2008. № 12.
2. Бусыгина Н.А. К вопросу использования имитационного моделирования при проектировании процессов производства швейных изделий // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : матер. докладов Междун. научно-технич. конф. Витебск, 2015.
3. Боев В.Д. Компьютерное моделирование в среде anylogic. М., 2019.
4. Григорьев И. AnyLogic за 3 дня : практич. пособ. по имитационному моделированию. 2016.
5. Oschepkov M. Sewing factory // AnyLogic Cloud. URL: <https://cloud.anylogic.com/model/36a52c88-3719-4954-8162-cbfc441f688a?mode=SETTINGS>.
6. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Емельянова Н.З. Системный анализ в управлении. М., 2017. DOI: 10.12737/textbook_5923d5ac7ec116.40684446.
7. Бирюкова Н.П. Организационные особенности проектирования швейного производства на малых предприятиях // Ученые записки Орловского гос. ун-та. 2008. № 3.
8. Кузьмин П.И. Имитационное моделирование экономических процессов. Барнаул, 2013.
9. Wagner F, Schmuki R., Wagner T., Wolstenholme P. Modeling software with finite state machines: a practical approach // Auerbach Publications, 2006. DOI: doi.org/10.1201/9781420013641.
10. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов. М., 2008.