

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания к практическим занятиям
для слушателей специальности переподготовки 1-25 04 77
«Экспертиза товаров народного потребления»

Витебск
2016

УДК 68

Производственные технологии: методические указания к практическим занятиям для слушателей специальности переподготовки 1-25 04 77 «Экспертиза товаров народного потребления».

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2016.

Составители: д.т.н., проф. Буркин А.Н.,
асс. Борозна В.Д.,
маг. Радюк А.Н.

В методических указаниях изложены сведения о современных подходах к оценке эффективности любого технологического или иного процесса, рассмотрены такие методы схематического представления технологических процессов, как технологические карты, технологические диаграммы и многофункциональные диаграммы операций, представлены практические задания, рекомендуемая литература.

Одобрено кафедрой «Стандартизация» УО «ВГТУ» «4» мая 2016 г., протокол № 9.

Рецензент: д.т.н., проф. Ковчур С.Г.
Редактор: ст. преп. Козловская Л.Г.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» «27» мая 2016 г., протокол № 5.

Ответственный за выпуск: Абазовская Н.В.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати 01.11.16. Формат 60х90 1/16. Уч.- изд. лист. 2,3.
Печать ризографическая. Тираж 45 экз. Заказ № 345.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий №1/172 от 12 февраля 2014 г.
210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72

Содержание

Введение	4
1 Имитационное моделирование	5
2 Методические указания к выполнению практических работ	31
3 Задания для выполнения практических работ	37
Список использованных источников	39
Приложение А.....	40
Приложение Б.....	56

Введение

Имитационное моделирование – один из самых эффективных методов анализа для исследования и разработки сложных процессов и систем. Это моделирование дает возможность пользователю экспериментировать с системами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте невозможно или нецелесообразно. Имитационное моделирование основано на математике, теории вероятности и статистике. В то же время имитационное моделирование и экспериментирование во многих случаях остаются интуитивными процессами. Это связано с тем, что такие процессы, как отбор существующих факторов для построения модели, введение упрощающих допущений и принятие правильных решений на основе моделей ограниченной точности, опираются в значительной мере на интуицию исследователя и практический опыт того или иного руководителя.

Методическое пособие содержит сведения о современных подходах к оценке эффективности любого технологического или иного процесса. В них рассмотрены некоторые методы документирования информации, выявление на этапе поиска и обнаружение фактов, с целью обеспечить наиболее эффективного их использования. Для этой цели может быть использована группа методов, которую можно назвать схематическими моделями. Под этим названием понимается методы анализа, включающие графическое представление работы системы. Они предназначены для того, чтобы помочь менеджеру (инженеру) глубже понять и документировать исследуемый процесс или функционирование системы. Хотя в настоящее время имеется множество методов схематического представления технологических процессов, мы ограничимся рассмотрением лишь технологических карт, технологических диаграмм и многофункциональных диаграмм операций [1].

1 Имитационное моделирование

Управление в современном мире становится все более трудным делом, поскольку организационная структура нашего общества усложняется. Эта сложность объясняется характером взаимоотношений между различными элементами наших организаций и физическими системами, с которыми они взаимодействуют. Хотя эта сложность существовала давно, мы только сейчас начинаем понимать ее значение. Теперь мы осознаем, что изменение одной из характеристик системы может легко привести к изменениям или создать потребность в изменениях в других частях системы; в связи с этим получила развитие методология системного анализа, которая была призвана помочь руководителям и инженерам изучать и осмысливать последствия таких изменений. В частности, с появлением электронных вычислительных машин одним из наиболее важных и полезных орудий анализа структуры сложных процессов и систем стало имитационное моделирование. Имитировать – это значит «вообразить, достичь суть явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте».

Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. Таким образом, процесс имитационного моделирования понимаем как процесс, включающий и конструирование модели, и аналитическое применение модели для изучения некоторой проблемы. Под моделью реальной системы понимаем представление группы объектов или идей в некоторой форме, отличной от их реального воплощения; отсюда термин «реальный» используется в смысле «существующий или способный принять одну из форм существования». Следовательно, системы, существующие еще только на бумаге или находящиеся в стадии планирования, могут моделироваться так же, как и действующие системы.

Согласно определению, термин «имитационное моделирование» может также охватывать стохастические модели и эксперименты с использованием метода Монте-Карло. Иными словами, входы модели и (или) функциональные соотношения между различными ее компонентами могут содержать, а могут и не содержать элемент случайности, подчиняющийся вероятностным законам. Имитационное моделирование является поэтому экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью:

- описать поведение систем;
- построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение;
- использовать эти теории для предсказания будущего поведения системы, т. е. тех воздействий, которые могут быть вызваны изменениями в системе или изменениями способов ее функционирования.

В отличие от большинства технических методов, которые могут быть классифицированы в соответствии с научными дисциплинами, в которые они

уходят своими корнями (например, с физикой или химией), имитационное моделирование применимо в любой отрасли науки. Его применяют в коммерческой деятельности, экономике, маркетинге, в системе образования, политике, обществоведении, науке о поведении, международных отношениях, на транспорте, в кадровой политике, в области соблюдения законности, в исследовании проблем городов и глобальных систем, а также во многих других областях.

Рассмотрим простой пример, который позволяет уяснить существо идеи имитационного моделирования. Например, очередь покупателей к прилавку небольшого магазина (так называемая однолинейная система массового обслуживания). Предположим, что промежутки времени между последовательными появлениями покупателей распределяются равномерно в интервале от 1 до 10 мин (для простоты округляем время до ближайшего целого числа минут). Предположим далее, что время, необходимое для обслуживания каждого покупателя, распределяется равномерно в интервале от 1 до 6 мин. Нас интересует среднее время, которое покупатель проводит в данной системе (включая и ожидание, и обслуживание), и процент времени, в течение которого продавец, стоящий на контроле, не загружен работой.

Для моделирования системы нам необходимо поставить искусственный эксперимент, отражающий основные условия ситуации. Для этого мы должны придумать способ имитации искусственной последовательности прибытия покупателей и времени, необходимого для обслуживания каждого из них. Один из способов, который мы могли бы применить, состоит в том, чтобы одолжить у кого-либо из друзей, играющих в покер, десять фишек и один кубик. Вслед за этим мы могли бы пронумеровать фишки с числами 1 по 10, положить их в шляпу и, встряхивая ее, перемешать фишки. Вытягивая фишку из шляпы и считывая выпавшее число, мы могли бы таким путем представить промежутки времени между появлением предыдущего и последующего покупателей. Бросая наш кубик и считывая с его верхней грани число очков, мы могли бы такими числами представить время обслуживания каждого покупателя. Повторяя эти операции в указанной последовательности (возвращая каждый раз фишки обратно и встряхивая шляпу перед каждым вытягиванием), мы могли бы получить временные ряды, представляющие промежутки времени между последовательными прибытиями покупателей и соответствующие им времена обслуживания. Наша задача затем сведется к простой регистрации результатов эксперимента. Таблица 1.1 показывает, какие, например, результаты можно получить в случае анализа прибытия 20 покупателей.

Таблица 1.1 – Результаты эксперимента при анализе прибытия 20 покупателей

Покупатель	Время после прибытия предыдущего покупателя, мин.	Время обслуживания, мин	Текущее модельное время в момент прибытия покупателей	Начало обслуживания	Конец обслуживания	Время пребывания покупателя у прилавка, мин.	Время простоя продавца в ожидании покупателя, мин.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	1	0,00	0,00	0,01	1	0
2	3	4	0,03	0,03	0,07	4	2
3	7	4	0,10	0,10	0,14	4	3
4	3	2	0,13	0,14	0,16	3	0
5	9	1	0,22	0,22	0,23	1	6
6	10	5	0,32	0,32	0,37	5	9
7	6	4	0,38	0,38	0,42	4	1
8	8	6	0,46	0,46	0,52	6	4
9	8	1	0,54	0,54	0,55	1	2
10	8	3	1,02	1,02	1,05	3	7
11	7	5	1,09	1,09	1,14	5	4
12	3	5	1,12	1,14	1,19	7	0
13	8	3	1,20	1,20	1,23	3	1
14	4	6	1,24	1,24	1,30	6	1
15	4	1	1,28	1,30	1,31	3	0
16	7	1	1,35	1,35	1,36	1	4
17	1	6	1,36	1,36	1,42	6	0
18	6	1	1,42	1,42	1,43	1	0
19	7	2	1,49	1,49	1,51	2	6
20	6	2	1,55	1,55	1,57	2	5
Всего:						68	55

Очевидно, для получения статистической значимости результатов мы должны были взять гораздо большую выборку, кроме того, мы не учли некоторые важные обстоятельства, такие, например, как начальные условия. Важным моментом является и то, что для генерирования случайных чисел мы применили два приспособления (пронумерованные покерные фишки и кубик); это было сделано с целью осуществить искусственный (имитационный) эксперимент с системой, позволяющей выявить определенные черты ее поведения. Перейдем теперь к следующему понятию – модель. Модель является представлением объекта, системы или понятия (идеи) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Модель служит обычно средством, помогающим нам в объяснении, понимании или совершенствовании системы. Модель какого-либо объекта может быть или точной копией этого объекта (хотя и выполненной из другого материала и в другом масштабе), или отображать некоторые характерные свойства объекта в абстрактной форме. Вследствие того, что имита-

ция является лишь одним из видов моделирования, рассмотрим вначале моделирование в его общей форме.

Обычно считается, что модель – это используемый для предсказания и сравнения инструмент, позволяющий логическим путем спрогнозировать последствия альтернативных действий и достаточно уверенно указать, какому из них отдать предпочтение. Моделирование охватывает широкий диапазон актов человеческого общения в эволюционном плане – от наскальной живописи и сооружения идолов до составления систем сложных математических уравнений, описывающих полет ракеты в космическом пространстве. По существу, прогресс и история науки и техники нашли свое наиболее точное выражение в развитии способности человека создавать модели естественных явлений, понятий и объектов.

Почти все исследователи утверждают, что одним из главных элементов, необходимых для эффективного решения сложных задач, является построение и соответствующее использование модели. Такая модель может принимать разнообразные формы, но одна из наиболее полезных и определенно наиболее употребительных форм – это математическая, выражающая посредством системы уравнений существенные черты изучаемых реальных систем или явлений. К сожалению, не всегда возможно создать математическую модель в узком значении этого слова. При изучении большинства промышленных систем мы можем определить цели, указать ограничения и предусмотреть, чтобы наша конструкция подчинялась техническим и (или) экономическим законам. При этом могут быть вскрыты и представлены в той или иной математической форме существенные связи в системе. В отличие от этого решение проблем защиты от загрязнения воздушной среды, предотвращения преступлений, здравоохранения и роста городов связано с неясными и противоречивыми, целями, а также с выбором альтернатив, диктуемых политическими и социальными факторами. Следовательно, определение модели должно включать в себя как количественные, так и качественные характеристики модели.

Известно пять наиболее часто встречаемых функций применения моделей, таких как:

- средства осмысления действительности,
- средства общения,
- средства обучения и тренажа,
- инструмента прогнозирования,
- средства постановки экспериментов.

Полезность модели как средства осмысления реальных связей и закономерностей очевидна. Модели могут помочь нам упорядочить наши нечеткие или противоречивые понятия и несообразности. Например, представление работ по проектированию сложных систем в виде сетевой модели побуждает нас продумать, какие шаги и в какой последовательности необходимо предпринимать. Такая модель помогает нам выявить взаимозависимости, необходимые мероприятия, временные соотношения, требуемые ресурсы и т. п. Уже сама попытка представить наши словесные формулировки и мысли в какой-то иной

форме часто выявляет противоречия и неясности. Правильно построенная модель вынуждает нас организовать наши замыслы, оценить и проверить их обоснованность.

Как средство общения хорошо продуманная модель не имеет себе равных. Эту функцию моделей как нельзя лучше подтверждает пословица: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Все языки, в основе которых лежит слово, в той или иной мере оказываются неточными, когда дело доходит до сложных понятий и описании. Правильно построенные модели могут помочь нам устранить эти неточности, предоставляя в наше распоряжение, более действенные, более успешные способы общения. Преимущество модели перед словесными описаниями – в сжатости и точности представления заданной ситуации. Модель делает более понятной общую структуру исследуемого объекта и вскрывает важные причинно-следственные связи.

Модели применялись и продолжают широко применяться в качестве средств профессиональной подготовки и обучения. Психологи давно признали важность обучения человека профессиональному мастерству в условиях, когда у него нет к этому сильных побудительных мотивов. Если человек практикуется в чем-то, то на него не должно оказываться давление. Критическая ситуация возникает, здесь при выборе неподходящего времени и места обучения человека новым профессиональным приемам. Поэтому модели часто применяются как превосходное средство обучения лиц, которые должны уметь справляться с всевозможными случайностями до возникновения реальной критической ситуации. Большинство уже знакомо с такими применениями моделей, как натурные макеты или модели космических кораблей, используемые для тренировки космонавтов, тренажеры для обучения водителей автомашин и деловые игры для обучения административного персонала фирм.

Одним из наиболее важных применений моделей и в практическом, и в историческом аспектах является прогнозирование поведения моделируемых объектов. Строить ультразвуковой – реактивный самолет для определения его летных характеристик экономически нецелесообразно, однако они могут быть предсказаны средствами моделирования.

Наконец, применение моделей также позволяет проводить контролируемые эксперименты в ситуациях, где экспериментирование на реальных объектах было бы практически невозможным или экономически нецелесообразным. Непосредственное экспериментирование с системой обычно состоит в варьировании ее некоторых параметров; при этом, поддерживая все остальные параметры неизменными, наблюдают результаты эксперимента. Для большинства систем, с которыми приходится иметь дело исследователю, это или практически недоступно, или слишком дорого, или и то и другое вместе. Когда ставить эксперимент на реальной системе слишком дорого и (или) невозможно, зачастую может быть построена модель, на которой необходимые эксперименты могут быть проведены с относительной легкостью и недорого. При экспериментировании с моделью сложной системы мы часто можем больше узнать о ее внутренних взаимодействующих факторах, чем могли бы узнать, манипулируя

с реальной системой; это становится возможным благодаря измеряемости структурных элементов модели, благодаря тому, что мы можем контролировать ее поведение, легко изменять ее параметры и т. п.

Таким образом, модель может служить для достижения одной из двух основных целей: либо описательной, если модель служит для объяснения и (или) лучшего понимания объекта, либо предписывающей, когда модель позволяет предсказать и (или) воспроизвести характеристики объекта, определяющие его поведение. Модель предписывающего типа обычно является и описательной, но не наоборот. Это означает, что предписывающая модель почти всегда является описательной по отношению к моделируемому объекту, но описательная модель не всегда полезна для целей планирования и проектирования. Вероятно, в этом кроется одна из причин, почему экономические модели (в которых обнаруживается тенденция к описательности) оказали небольшое воздействие на управление экономическими системами и мало применялись в качестве вспомогательного средства управления на высшем уровне, в то время как модели исследования операций оказали значительное воздействие на эти сферы.

В технике модели служат в качестве вспомогательных средств при разработке новых или более совершенных систем, в то время как в социальных науках модели объясняют существующие системы. Модель, пригодная для целей разработки системы, должна также и объяснять ее, но очевидно, что модели, создаваемые исключительно для объяснения, часто не соответствуют даже своему прямому назначению.

Модели вообще и имитационные модели в частности, можно классифицировать различными способами. Укажем некоторые типовые группы моделей, которые могут быть положены в основу системы классификации:

- статические (например, поперечный разрез объекта) и динамические (временные ряды);
- детерминистские и стохастические;
- дискретные и непрерывные;
- натурные, аналоговые, символические.

Имитационные модели удобно представлять в виде непрерывного спектра, простирающегося от точных моделей или макетов реальных объектов до совершенно абстрактных математических моделей (рисунок 1.1). Модели, находящиеся в начале спектра, часто называются физическими или натурными, потому что они внешне напоминают изучаемую систему. Статические физические модели, такие, например, как модели архитектурных объектов или макеты расположения заводских сооружений, помогают нам наглядно представить себе пространственные соотношения. Примером динамической физической модели может служить, модель опытного завода (в уменьшенном масштабе), предназначенная для изучения нового химического процесса до перехода к рассчитанному на полную мощность производству, или модель самолета в уменьшенном масштабе, которая испытывается в аэродинамической трубе для оценки динамической устойчивости. Отличительной особенностью физической модели является то, что она в некотором смысле «выглядит» подобно моделируемому

объекту. Физические модели могут иметь вид полномасштабных макетов (например, тренажеры), выполняться в уменьшенном масштабе (например, модель солнечной системы) или в увеличенном масштабе (такие, как модель атома). Они могут быть также двумерными и трехмерными. Их можно использовать для демонстрационных целей (например, глобус) или для проведения косвенных экспериментов. Градуированные шаблоны, применяемые при изучении планировки заводских сооружений, являются примером двумерной физической модели в уменьшенном масштабе, используемой для целей экспериментирования.

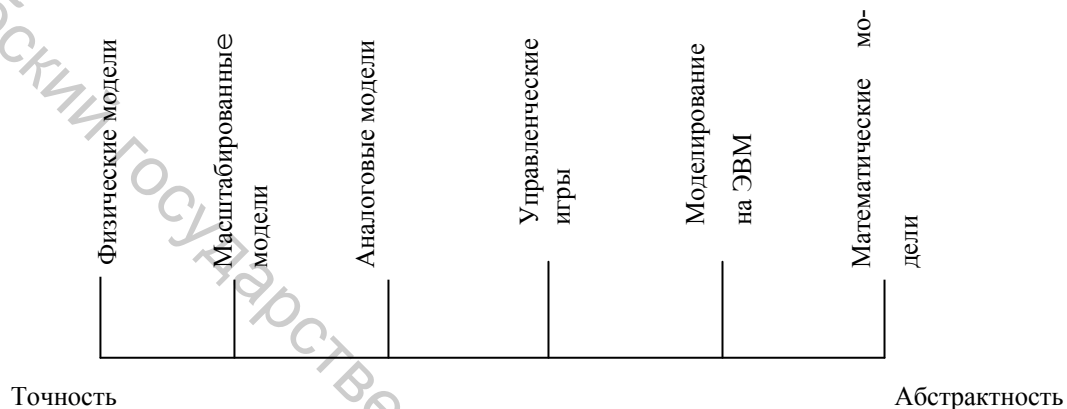


Рисунок 1.1 – Математические модели

Аналоговыми моделями являются модели, в которых свойство реального объекта представляется некоторым другим свойством аналогичного по поведению объекта. Задача иногда решается путем замены одного свойства другим, после чего полученные результаты надо истолковывать применительно к исходным свойствам объекта. Например, изменение напряжения в сети определенной конфигурации может отображать поток товаров в некоторой системе и является превосходным примером аналоговой имитационной модели. Другим примером может служить логарифмическая линейка, в которой количественные характеристики некоторого объекта представлены отрезками шкалы в логарифмическом масштабе.

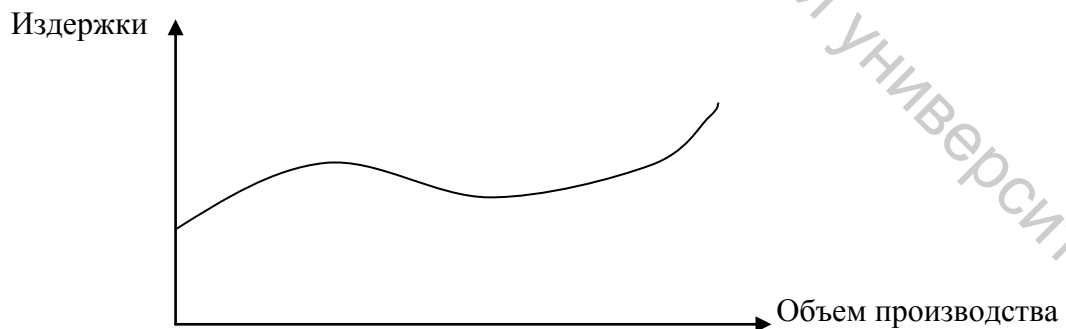


Рисунок 1.2 – Кривая производственных затрат

График представляет собой аналоговую модель другого типа: здесь расстояние отображает такие характеристики объекта. Как время, срок службы, количество единиц и т. д. График может также показывать соотношение между

различными количественными характеристиками и может предсказывать, как будут изменяться некоторые величины при изменении других величин. Так, например, график на рисунке 1.2 показывает, как издержки изготовления определенного изделия могут зависеть от объема производства. Из этого графика видно, как именно издержки связаны с объемом производства, поэтому можно предсказать, что произойдет с издержками, если мы будем увеличивать или уменьшать объем производства. Для некоторых относительно простых случаев график действительно может служить средством решения поставленной задачи. Из графика рисунка 1.2 можно получить кривую изменения предельной себестоимости изделия.

Если задача состоит в определении оптимального объема производства при данной цене (т. е. объема производства, который обеспечивает получение максимальной чистой прибыли), то мы решаем эту задачу путем построения на том же графике кривой изменения цены одного изделия. Оптимальный объем будет соответствовать точке, где кривая цены и кривая предельной себестоимости пересекаются. Графические решения возможны также для определенных задач линейного программирования, а также для игровых задач. Иногда графики используются совместно с математическими моделями, причем одна из этих моделей дает исходную информацию для другой.

Отличающиеся от графиков модели, которые представляют собой различного рода схемы, также являются полезными аналоговыми моделями; обычным примером такого рода схем может служить структурная схема какой-либо организации. Соединенные линиями «квадратики» в такой схеме отражают взаимоподчинение между членами организации ко времени составления схемы, а также каналы информационного обмена между ними. В системных исследованиях также широко применяются схемы технологических процессов, в которых такие разнообразные события, как операции, задержки, проверки, образующиеся запасы и т. д., представлены отображающими движение линиями и символами.

По мере продвижения по спектру моделей мы достигнем тех из них, где во взаимодействие вступают люди и машинные компоненты. Такое моделирование часто называется играми (управленческими, планировочными). Поскольку процессы принятия решений управленческим звеном моделировать трудно, очень часто считают целесообразным отказаться от подобной попытки. В так называемых управленческих (деловых) играх человек взаимодействует с информацией, поступающей с выхода вычислительной машины (которая моделирует все другие свойства системы), и принимает решения на основе полученной информации. Решения человека затем снова вводятся в машину в качестве входной информации, которая используется системой. Продолжая этот процесс дальше, мы приходим к полностью машинному моделированию, которое обычно и понимается под термином «моделирование». Вычислительная машина может быть компонентом всех имитационных моделей рассмотренной части спектра, хотя это и не обязательно.

К символическим, или математическим, моделям относятся те, в которых для представления процесса или системы используются символы, а не физические устройства. Обычным примером представления систем в этом случае можно считать системы дифференциальных уравнений. Поскольку последние представляют собой наиболее абстрактные и, следовательно, наиболее общие модели, математические модели находят широкое применение в системных исследованиях. Символическая модель является всегда абстрактной идеализацией задачи, и, если хотят, чтобы эта модель позволяла решить задачу, необходимы некоторые упрощающие предположения. Поэтому особое внимание должно быть обращено на то, чтобы модель служила действительным представлением данной задачи.

При моделировании сложной системы исследователь обычно вынужден использовать совокупность нескольких моделей из числа разновидностей, упомянутых выше. Любая система или подсистема может быть представлена различными способами, которые значительно отличаются друг от друга по сложности и детализации. В большинстве случаев в результате системных исследований появляются несколько различных моделей одной и той же системы. Но обычно по мере того, как исследователь глубже анализирует и лучше понимает проблему, простые модели заменяются все более сложными.

Все имитационные модели представляют собой модели типа так называемого черного ящика. Это означает, что они обеспечивают выдачу выходного сигнала системы, если на ее взаимодействующие подсистемы поступает входной сигнал. Поэтому для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять «прогон» имитационных моделей, а не «решать» их. Имитационные модели не способны формировать свое собственное решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором. Следовательно, имитационное моделирование – не теория, а методология решения проблем. Более того, имитационное моделирование является только одним из нескольких имеющихся в распоряжении системного аналитика важнейших методов решения проблем. Поскольку необходимо и желательно приспособлять средство или метод к решению задачи, а не наоборот, то возникает естественный вопрос: в каких случаях имитационное моделирование полезно?

Исходя из изложенного выше, исследователь должен рассмотреть целесообразность применения имитационного моделирования при наличии любого из следующих условий:

- 1) не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной математической модели. К этой категории относятся многие модели массового обслуживания, связанные с рассмотрением очередей;

2) аналитические методы имеются, но математические, процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;

3) аналитические решения существуют, но их реализация невозможна, вследствие недостаточной математической подготовки имеющегося персонала. В этом случае следует сопоставить затраты на проектирование, испытания и работу на имитационной модели с затратами, связанными с приглашением специалистов со стороны;

4) кроме оценки определенных параметров, желательно осуществить на имитационной модели наблюдение за ходом процесса в течение определенного периода;

5) имитационное моделирование может оказаться, единственной, возможностью вследствие трудностей постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях;

6) для длительного действия систем или процессов может понадобиться сжатие: временной шкалы. Имитационное моделирование дает возможность полностью контролировать, время изучаемого процесса поскольку явление может быть замедлено или ускорено по желанию.

Дополнительным преимуществом имитационного моделирования можно считать широчайшие возможности его применения в сфере образования и профессиональной подготовки. Разработка и использование имитационной модели позволяют экспериментатору видеть и «разыгрывать» на модели реальные процессы и ситуации. Это в свою очередь должно в значительной мере помочь ему понять и прочувствовать проблему, что стимулирует процесс поиска нововведений.

Использование имитационного моделирования привлекательно как для руководителей, так и для исследователей систем благодаря своей простоте. Однако, разработка хорошей имитационной модели часто обходится дорого и требует много времени. Например, для создания хорошей модели внутрифирменного планирования может понадобиться от 3 до 11 лет. Кроме того, имитационные модели не точны и практически невозможно измерить степень этой неточности. Тем не менее, выше были указаны достоинства имитационного моделирования.

Прежде чем начать разработку модели, необходимо понять, что собой представляют структурные элементы, из которых она строиться. Хотя математическая или физическая структура модели может быть очень сложной, основы ее построения весьма просты. В самом общем виде структуру модели можно представить математически в виде (1.1):

$$E = f(x_i, y_i), \quad (1.1)$$

где E – результат действия системы; x_i – переменные и параметры, которыми мы можем управлять; y_i – переменные и параметры, которыми мы

управлять не можем; f – функциональная зависимость между x_i и y_i , которая определяет величину E .

Это упрощение полезно тем, что оно показывает зависимость функционирования системы как от контролируемых нами, так и от неконтролируемых переменных. Почти каждая модель представляет собой некоторую комбинацию таких составляющих как:

- компоненты,
- переменные,
- параметры,
- функциональные зависимости,
- ограничения,
- целевые функции.

Под компонентами понимают составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему. Иногда считают компонентами также элементы системы или ее подсистемы.

Модель города может состоять из таких компонентов, как система образования, система здравоохранения, транспортная система и т. п. В экономической модели компонентами могут быть отдельные фирмы, отдельные потребители и т. п. Система определяется как группа, или совокупность объектов, объединенных некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости для выполнения заданной функции. Компоненты – это объекты, образующие изучаемую систему.

Параметры – это величины, которые оператор, работающий на модели, может выбирать произвольно, в отличие от переменных, которые могут принимать только значения, определяемые видом данной функции. Смотря на это под другим углом зрения, мы можем сказать, что параметры, после того как они установлены, являются постоянными величинами, не подлежащими изменению. Например, в таком уравнении, как $y = 3x$, число 3 есть параметр, а x и y – переменные. С таким же успехом можно задать и $y = 16x$ или $y = 30x$. Проводя статистический анализ, часто стремятся определить эти неизвестные, но фиксированные параметры для целой группы данных. Если рассматривают некоторую группу данных или статистическую совокупность, то величины, которые определяют тенденцию поведения этой совокупности, такие, например, как среднее значение, медиана или мода, являются параметрами совокупности точно так же, как мерами изменчивости служат такие величины, как размах, дисперсия, среднеквадратическое отклонение. Так, для распределения Пуассона, где вероятность x задается функцией $P(x) = e^{-\lambda} (\lambda^x / x!)$, λ представляет собой параметр распределения, x является переменной величиной, а e – константой.

В модели системы различают переменные двух видов – экзогенные и эндогенные. Экзогенные переменные называются также входными; это значит, что они порождаются вне системы или являются результатом воздействия внешних причин. Эндогенными переменными называются переменные, возникающие в системе или в результате воздействия внутренних причин. Мы также называем эндогенные переменные переменными состояния (когда они характе-

ризуют состояние или условия, имеющие место и системе) либо выходными-переменными (когда речь идет о выходах системы). Статистики иногда называют экзогенные переменные независимыми, а эндогенные зависимыми.

Функциональные зависимости описывают поведение переменных и параметров в пределах компонента или выражают соотношения между компонентами системы. Эти соотношения, или операционные характеристики, по своей природе являются либо детерминистскими, либо стохастическими. Детерминистские соотношения – это тождества или определения, которые устанавливают зависимость между определенными переменными или параметрами в тех случаях, когда процесс на выходе системы однозначно определяется заданной информацией на входе. В отличие от этого стохастические соотношения представляют собой такие зависимости, которые при заданной входной информации дают на выходе неопределенный результат. Оба типа соотношений обычно, выражаются в форме математического уравнения, которое устанавливает зависимость между эндогенными переменными (переменными состояниями) и экзогенными переменными. Обычно эти соотношения можно строить лишь на основе гипотез или выводить с помощью статистического или математического анализа.

Ограничения представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия, распределения и расходования тех или иных средств (энергии, запасов времени и т. д.). Они могут вводиться либо разработчиком (искусственные ограничения), либо самой системой вследствие присущих ей свойств (естественные ограничения). Примерами искусственных ограничений могут быть заданные максимальный и минимальный уровни занятости рабочих или установленная максимальная сумма денежных средств, ассигнуемых на капиталовложения. Большинство технических требований к системам представляет собой набор искусственных ограничений. Естественные ограничения обусловлены самой природой системы. Например, нельзя продать больше изделий, чем система может изготовить, и никто не может сконструировать систему, нарушающую законы природы. Таким образом, ограничения одного типа обусловлены неизменными законами природы, в то время как ограничения другого типа будучи делом рук человеческих, могут подвергаться изменению. Исследователю весьма важно помнить об этом, потому что в ходе своих исследований он должен постоянно оценивать привнесенные человеком ограничения, с тем чтобы ослабить или усилить их по мере необходимости.

Целевая функция, или функция критерия – это точное отображение целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения. Обычно указывают на два типа целей: сохранение и приобретение. Цели сохранения связаны с сохранением или поддержанием каких-либо ресурсов (временных, энергетических, творческих и т. д.) или состояний (комфорта, безопасности, уровня занятости и т. д.). Цели приобретения связаны с приобретением новых ресурсов (прибыли, персонала, заказчиков и т. п.) или достижением определенных состояний, к которым стремится организация или руководитель (захват ча-

сти рынка, достижение состояния устрашения и т.п.). Выражение для целевой функции должно быть однозначным определением целей и задач, с которыми должны соразмеряться принимаемые решения. Словарь Вебстера определяет понятие «критерии» как «мерило оценки, правило или вид проверки, при помощи которых составляется правильное суждение о чем-либо». Это четкое и однозначное определение критерия очень важно по двум причинам. Во-первых, оно оказывает громадное влияние на процесс создания модели и манипулирования с ней. Во-вторых, неправильное определение критерия обычно ведет к неправильным заключениям. Функция критерия (целевая функция) обычно является органической составной частью модели, и весь процесс манипулирования с моделью направлен на оптимизацию или удовлетворение заданного критерия.

Даже небольшие участки реального мира слишком сложны, чтобы человек смог их полностью понять и описать. Почти все проблемные ситуации чрезвычайно сложны и включают в себя почти бесконечное число элементов, переменных, параметров, соотношений, ограничений и т. д. Пытаясь построить модель, можно включить в нее бесконечное число фактов и потратить уйму времени, собирая мельчайшие факты, касающиеся любой ситуации, и устанавливая связи между ними. Рассмотрим, например, простое действие, состоящее в том, что вы берете лист бумаги и пишете на нем письмо. Ведь можно было бы определить точный химический состав бумаги, карандашного грифеля и резинки; влияние атмосферных условий на влажность бумаги и влияние последней на силу трения, действующую на острое карандаша, движущегося на бумаге; исследовать статистическое распределение букв во фразах текста и т. д. Однако если единственный аспект, который нас в данной ситуации интересует, это факт отправления письма, то ни одна из упомянутых подробностей не относится к делу. Следовательно, мы должны отбросить большую часть реальных характеристик изучаемого события и абстрагировать из реальной ситуации только те особенности, которые воссоздают идеализированный вариант реального события. Все модели суть упрощенные представления реального мира или абстракции, если они выполнены корректно, то эти идеализации дают нам полезное приближенное отображение реальной ситуации или по крайней мере ее определенных особенностей.

Сходство модели с объектом, который она отображает, называется степенью изоморфизма. Для того чтобы быть изоморфной (т. е. идентичной или сходной по форме), модель должна удовлетворять двум условиям.

Во-первых, должно существовать взаимно однозначное соответствие между элементами модели и элементами представляемого объекта. Во-вторых, должны быть сохранены точные соотношения или взаимодействия между элементами. Степень изоморфизма модели относительна, и большинство моделей скорее гомоморфны, чем изоморфны. Под гомоморфизмом понимают сходство по форме при различии основных структур, причем имеет место лишь поверхностное подобие между различными группами элементов модели и объекта.

Гомоморфные модели являются результатом процессов упрощения и абстракции.

Для разработки идеализированной гомоморфной модели мы обычно разбиваем систему на некоторое число более мелких частей. Это делается для того, чтобы должным образом интерпретировать их, т. е. произвести требуемый анализ задачи. Такой способ действий зависит от наличия частей или элементов, которые в первом приближении не зависят друг от друга или взаимодействуют между собой относительно простым образом. Так, мы можем сначала проанализировать режим работы автомашины, проверяя последовательно двигатель, коробку передач, привод, систему подвески и т. д., хотя эти узлы не полностью независимы.

С такого рода анализом при построении модели близко связан процесс упрощения реальной системы. Представление об упрощении легко доступно большинству людей – под упрощением подразумевается пренебрежение несущественными деталями или принятие предположений о более простых соотношениях. Например, мы часто предполагаем, что между двумя переменными имеет место линейная зависимость, хотя можем подозревать или даже знать наверное, что истинная зависимость между ними нелинейна. Мы предполагаем, что по крайней мере в ограниченном диапазоне значений переменных такое приближение будет удовлетворительным. Инженер-электрик работает с моделями цепей, предполагая, что резисторы, конденсаторы и т. д. не изменяют своих параметров; это упрощение, потому что мы знаем, что электрические характеристики этих компонентов изменяются в зависимости от температуры, влажности, срока службы и т. д. Инженер-механик работает с моделями, в которых газы считаются идеальными, давления адиабатическими и проводимость однородной. В большинстве практических случаев такие приближения или упрощения достаточно хороши и дают полезные результаты.

Ученый, изучающий проблемы «управления» для построения полезных моделей также прибегает к упрощению. Он предполагает, что его переменные либо детерминированы (чрезвычайно упрощенная трактовка реальности), либо подчиняются законам случайных событий, описываемым известными вероятностными функциями распределений, таких, как нормальное, пуассоновское, экспоненциальное и т. д. Он также зачастую предполагает, что зависимости между переменными носят линейный характер, зная, что такое допущение не совсем правомерно. Это часто бывает необходимым и оправданным, если требуется построить модели, поддающиеся математическому описанию.

Другим аспектом анализа является абстракция – понятие, которое в отличие от упрощения не так легко объяснить и осмыслить. Абстракция содержит или сосредоточивает в себе существенные качества или черты поведения объекта (вещи), но не обязательно в той же форме и столь детально, как это имеет место в оригинале. Большинство моделей – это абстракции в том смысле, что они стремятся представить качества и поведение моделируемого объекта в форме или способом, отличающимися от их действительной реализации. Так, в схеме организации работ мы пытаемся в абстрактной форме отра-

зять трудовые взаимоотношения между различными группами работающих или отдельными членами таких групп. То обстоятельство, что подобная схема только поверхностно отображает реальные взаимоотношения, не умаляет ее полезности для определенных целей.

После того как мы проанализировали и промоделировали части или элементы системы, мы приступаем к их объединению в единое целое. Иными словами, мы можем путем синтеза относительно простых частей сконструировать некоторое приближение к сложной реальной ситуации. Здесь важно предусмотреть два момента. Во-первых, используемые для синтеза части должны быть выбраны корректно, и, во-вторых, должно быть корректно предсказано их взаимодействие. Если все это выполнено должным образом, то эти процессы анализа, абстракции, упрощения и синтеза в итоге приведут к созданию модели, которая аппроксимирует поведение изучаемой реальной системы. Необходимо помнить, однако, что модель является только приближением (аппроксимацией), а поэтому не будет себя вести в точности, как реальный объект. Мы оптимизируем модель, но не реальную систему. Вопрос о том, существует ли действительно взаимосвязь между характеристиками нашей модели и реальностью, зависит от того, насколько правильно и разумно мы провели наши процессы анализа, абстракции, упрощения и синтеза. Мы редко сталкиваемся с моделью, которая полностью удовлетворяла бы данной управленческой ситуации.

По-видимому, основой успешной методики моделирования должна быть тщательная отработка моделей. Обычно, начав с очень простой модели, постепенно продвигаются к более совершенной ее форме, отражающей сложную ситуацию более точно. Аналогии и ассоциации с хорошо построенными структурами, по-видимому, играют важную роль в определении отправной точки этого процесса совершенствования и отработки деталей. Этот процесс совершенствования и отработки связан с учетом постоянного процесса взаимодействия и обратной связи между реальной ситуацией и моделью. Между процессом модификации модели и процессом обработки данных, генерируемых реальным объектом, имеет место непрерывное взаимодействие. По мере проведения испытаний и оценки каждого варианта модели возникает новый вариант, который приводит к повторным испытаниям и переоценкам.

До тех пор, пока модель поддастся математическому описанию, аналитик может добиваться все больших ее улучшений или усложнять исходные предположения. Когда же модель становится «непослушной», т. е. неразрешимой, разработчик прибегает к ее упрощению и использованию более глубокой абстракции.

Таким образом, искусство моделирования состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстракции ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать основные предположения, характеризующие систему, а затем отрабатывать и совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать полезные для практики результаты. Обычно формулируют это в виде семи указаний, согласно которым надлежит:

- разложить общую задачу исследования системы на ряд более простых задач;
- четко сформулировать цели;
- подыскать аналогии;
- рассмотреть специальный численный пример, соответствующий данной задаче;
- выбрать определенные обозначения;
- записать очевидные соотношения;
- если полученная модель поддается математическому описанию, расширить ее. В противном случае упростить.

Вообще говоря, упростить модель можно, выполнив одну из перечисленных ниже операций (в то время как для расширения модели требуется как раз обратное):

- превратить переменные величины в константы;
- исключить некоторые переменные или объединить их;
- предположить линейную зависимость между исследуемыми величинами;
- ввести более жесткие предположения и ограничения;
- наложить на систему более жесткие граничные условия.

Эволюционный характер процесса конструирования модели неизбежен и желателен, поэтому мы не должны думать, что этот процесс сводится к построению единственного базового варианта модели. По мере того как достигаются цели и решаются поставленные задачи, ставятся новые задачи либо возникает необходимость достижения большего соответствия между моделью и реальным объектом, что приводит к пересмотру модели и все лучшим ее реализациям. Этот процесс, при котором начинают с построения простой модели, а затем усложняют и отрабатывают ее имеет ряд преимуществ с точки зрения успешного завершения разработки модели. Темп и направление эволюционного изменения модели зависят от двух главных факторов. Первый из них – это, очевидно, присущая модели гибкость, и второй – взаимоотношения между создателем модели и ее пользователем. При их тесном сотрудничестве в течение всего процесса эволюции модели ее разработчик и пользователь могут создать атмосферу взаимного доверия и взаимоотношения, которые будут способствовать получению конечных результатов, удовлетворяющих поставленным целям, задачам и критериям.

Искусством моделирования могут овладеть те, кто обладает оригинальным мышлением, изобретательностью и находчивостью, равно как и глубокими знаниями систем и физических явлений, которые необходимо моделировать.

Не существует твердых и эффективных правил относительно того, как надо формулировать задачу в самом начале процесса моделирования, т. е. сразу же после первого знакомства с ней. Не существует и магических формул для решения при построении модели таких вопросов, как выбор переменных и параметров, соотношений, описывающих поведение системы, и ограничений, а также критериев оценки эффективности модели. Необходимо помнить, что ни-

кто не решает задачу в чистом виде, каждый оперирует с моделью, которую он построил, исходя из поставленной задачи.

Имитация тесно связана с функционированием системы. Система есть группа или совокупность объектов, объединенных какой-либо формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости с целью выполнения определенной функции.

Примерами систем могут быть: промышленное предприятие, организация, транспортная сеть, больница, проект застройки города, человек и машина, которой он управляет. Функционирование системы представляет собой совокупность координированных действий, необходимых для выполнения определенной задачи. С этой точки зрения системам, которыми мы интересуемся, свойственна целенаправленность. Это обстоятельство требует от нас при моделировании системы обратить самое пристальное внимание на цели или задачи, которые должна решать данная система. Мы должны постоянно помнить о задачах системы и модели, чтобы достичь необходимого соответствия между ними.

Поскольку имитация связана с решением реальных задач, мы должны быть уверены, что конечные результаты точно отражают истинное положение вещей. Следовательно, модель, которая может нам дать абсурдные результаты, должна быть немедленно взята под подозрение. Любая модель должна быть оценена по максимальным пределам изменений величины ее параметров и переменных. Если модель дает нелепые ответы на поставленные вопросы, то нам придется снова возвратиться к чертежной доске. Модель также, должна быть способна отвечать на вопросы типа «а что, если...», поскольку это именно те вопросы, которые для нас наиболее полезны, так как они способствуют более глубокому пониманию проблемы и поиску лучших способов оценки наших возможных действий.

Наконец, всегда следует помнить о потребителе информации, которую позволяет получить наша модель. Нельзя оправдать разработку имитационной модели, если ее в конечном счете нельзя использовать или если она не приносит пользу лицу, принимающему решения.

Потребителем результатов может быть лицо, ответственное за создание системы или за ее функционирование; другими словами, всегда должен существовать пользователь модели – в противном случае мы попусту потратим время и силы руководителей, которые будут в течение продолжительного времени оказывать поддержку группам ученых, занятых исследованием операций, теорией управления или системным анализом, если результаты их работы не смогут найти практического применения.

Приняв во внимание все это, можно сформулировать конкретные критерии, которым должна удовлетворять хорошая модель. Такая модель должна быть:

- простой и понятной пользователю;
- целенаправленной;
- надежной в смысле гарантии от абсурдных ответов;

- удобной в управлении и обращении, т. е. общение с ней должно быть легким;
- полной с точки зрения возможностей решения главных задач; адаптивной, позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;
- допускающей постепенные изменения в том смысле, что, будучи вначале простой, она может во взаимодействии с пользователем становиться все более сложной.

Исходя из того, что имитация должна применяться для исследования реальных систем, можно выделить следующие этапы этого процесса:

- определение системы - установление границ, ограничений и измерителей эффективности системы, подлежащей изучению;
- формулирование модели - переход от реальной системы к некоторой логической схеме (абстрагирование);
- подготовка данных - отбор данных, необходимых для построения модели, и представление их в соответствующей форме;
- трансляция модели - описание модели на языке, приемлемом для используемой ЭВМ;
- оценка адекватности - повышение до приемлемого уровня степени уверенности, с которой можно судить относительно корректности выводов о реальной системе, полученных на основании обращения к модели;
- стратегическое планирование - планирование эксперимента, который должен дать необходимую информацию;
- тактическое планирование - определение способа проведения каждой серии испытаний, предусмотренных планом эксперимента;
- экспериментирование - процесс осуществления имитации с целью получения желаемых данных и анализа чувствительности;
- интерпретация - построение выводов по данным, полученным путем имитации;
- реализация - практическое использование модели и (или) результатов моделирования;
- документирование - регистрация хода осуществления проекта и его результатов, а также документирование процесса создания и использования модели.

Перечисленные этапы создания и использования модели определены в предположении, что задача может быть решена наилучшим образом с помощью имитационного моделирования. Однако, как мы уже отмечали, это может быть и не самый эффективный способ. Неоднократно указывалось, что имитация представляет собой крайнее средство или грубый силовой прием, применяемый для решения задачи. Несомненно, что в том случае, когда задача может быть сведена к простой модели и решена аналитически, нет никакой нужды в имитации. Следует изыскивать все возможные средства, подходящие для решения данной конкретной задачи, стремясь при этом к оптимальному сочетанию стоимости и желаемых результатов. Прежде чем приступать к оценке возможно-

стей имитации, следует самому убедиться, что простая аналитическая модель для данного случая не пригодна.

Этапы, или элементы, процесса имитации в их взаимосвязи показаны на блок-схеме рисунка 1.3. Проектирование модели начинается обычно с того, что какой-либо сотрудник организации приходит к выводу о возникновении проблемы, которая нуждается в изучении.

Для проведения предварительных исследований выделяется соответствующий работник (обычно из группы, связанной с данной проблемой). На некотором этапе признается, что для изучения проблемы могут быть полезны количественные методы исследования, и тогда на сцене появляется математик. Так начинается этап определения постановки задачи.

Эйнштейн как-то сказал, что правильная постановка задачи даже более важна, чем ее решение. Для того чтобы найти приемлемое или оптимальное решение задачи, необходимо сначала знать, в чем она состоит.

Большинство практических задач сообщается руководителям научно-исследовательских подразделений в недостаточно четкой, неточной форме. Во многих случаях руководство не может или не способно правильно выразить суть своих проблем. Оно знает, что некая проблема существует, но не может точно сформулировать, какая это проблема. Поэтому анализ системы обычно начинается с поискового изучения системы под руководством ответственного лица, уполномоченного принимать решения. Исследовательская группа должна понимать и четко формулировать ряд подходящих к данному случаю задач и целен. Опыт показывает, что постановка задачи есть непрерывный процесс, пронизывающий весь ход исследования. Это исследование непрерывно порождает новую информацию, касающуюся ограничений, задач и возможных альтернативных вариантов. Такая информация должна периодически использоваться в целях обновления формулировки и постановки задачи.

Важной частью постановки задачи является определение характеристик системы, подлежащей изучению. Все системы – это подсистемы других более крупных систем. Поэтому мы должны определить цели и ограничения, которые нам надлежит учитывать в процессе абстрагирования или построения формальной модели. Говорят, что проблема может быть определена как состояние неудовлетворенной потребности. Ситуация становится проблемной, когда действие какой-либо системы не дает желаемых результатов.

Если желаемые результаты не достигаются, возникает потребность модифицировать систему или окружающие условия, в которых она функционирует. Математически можно определить проблему следующим образом (1.2):

$$P_t = |D_t - A_t|, \quad (1.2)$$

где P_t – состояние проблемы в момент времени t ; D_t – желаемое состояние в момент времени t ; A_t – действительное состояние в момент времени t .

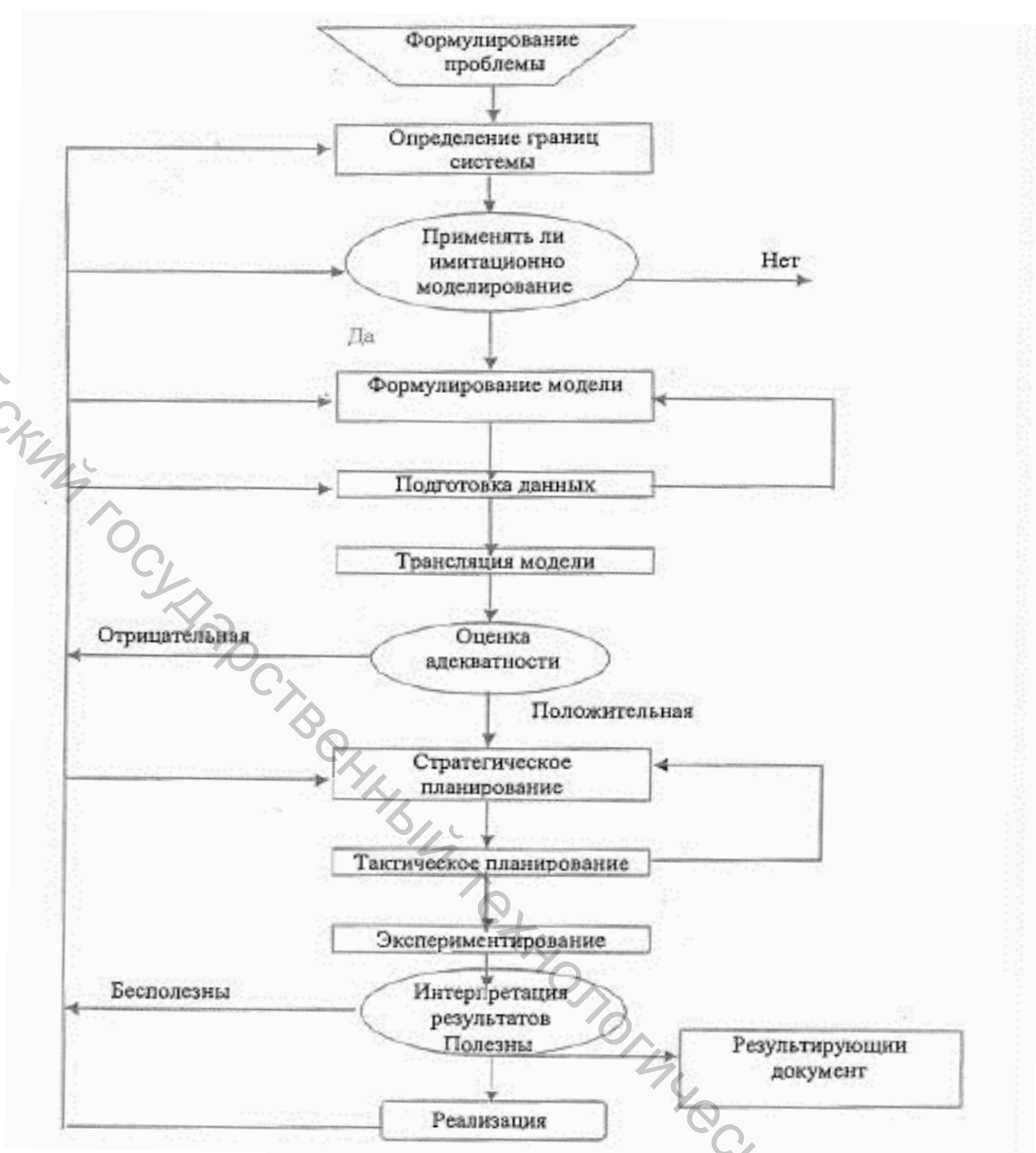


Рисунок 1.3 – Этапы процесса имитации

Поэтому первый шаг в определении характеристик системы, подлежащей изучению, состоит в проведении анализа потребностей той среды, для которой предназначается система. Этот анализ начинается с определения целей и граничных условий (т. е. того, что является и что не является частью системы, подлежащей изучению). Нас интересуют здесь две функциональные границы, или два интерфейса: граница, отделяющая нашу проблему от всего остального мира, и граница между системой и окружающей средой (т. е. что мы считаем составной частью системы и что составляет среду, в которой эта система работает). Мы можем описать, что происходит в пределах самой системы, разными способами. Если бы мы не остановились на каком-то наборе элементов и взаимосвязей, которые надлежит изучить, имея в виду вполне определенную цель, перед нами было бы бесконечное число связей и сочетаний.

Очертив цели и задачи исследования и определив границы системы, мы далее сводим реальную систему к логической блок-схеме или к статической модели. Мы хотим построить такую модель реальной системы, которая, с одной стороны, не будет столь упрощена, что станет тривиальной, а с другой - не будет столь детализирована, что станет громоздкой в обращении и чрезмерно дорогой. Опасность, которая подстерегает нас при построении логической блок-схемы реально действующей системы, заключается в том, что модель имеет тенденцию обрастать деталями и элементами, которые порой ничего не вносят в понимание данной задачи.

Поэтому почти всегда наблюдается тенденция имитировать избыточное число деталей. Во избежание такого положения следует строить модель, ориентированную на решение вопросов, на которые требуется найти ответы, а не имитировать реальную систему во всех подробностях. Закон Парето гласит, что в каждой группе или совокупности существует жизненно важное меньшинство и тривиальное большинство. Ничего действительно важного не происходит, пока не затронуто жизненно важное меньшинство. Системные аналитики слишком часто стремились перенести все усугубленные деталями сложности реальных ситуаций в модель, надеясь, что ЭВМ решит их проблемы. Такой подход неудовлетворителен не только потому, что возрастают трудности программирования модели и стоимость удлиняющихся экспериментальных прогонов, но и потому, что действительно важные аспекты и взаимосвязи могут потонуть в массе тривиальных деталей. Вот почему модель должна отображать только те аспекты системы, которые соответствуют задачам исследования.

Во многих исследованиях моделирование может на этом закончиться. В удивительно большом числе случаев в результате точного и последовательного описания ситуаций становятся очевидны дефекты и «узкие места» системы, так что необходимость продолжать исследования с помощью имитационных методов отпадает.

Каждое исследование охватывает и сбор данных, под которым обычно понимают получение каких-то численных характеристик. Но это только одна сторона сбора данных. Системного аналитика должны интересовать входные и выходные данные изучаемой системы, а также информация о различных компонентах системы, взаимозависимостях и соотношениях между ними. Поэтому он заинтересован в сборе как количественных, так и качественных данных; он должен решить, какие из них необходимы, насколько они соответствуют поставленной задаче и как собрать всю эту информацию.

Создавая стохастическую имитационную модель, всегда приходится решать, следует ли в модели использовать имеющиеся эмпирические данные непосредственно или целесообразно использовать теоретико-вероятностные или частотные распределения. Этот выбор имеет фундаментальное значение по трем причинам. Во-первых, использование необработанных эмпирических данных означает, что, как бы мы ни старались, можно имитировать только прошлое. Использование данных за один год отобразит работу системы за этот год и не обязательно скажет нам что-либо об ожидаемых особенностях работы си-

стемы в будущем. При этом возможными будут считаться только те события, которые уже происходили. Одно дело предполагать, что данное распределение в своей основной форме будет неизменным во времени, и совсем иное дело считать, что характерные особенности данного года будут всегда повторяться. Во-вторых, в общем случае применение теоретических частотных или вероятностных распределений с учетом требований к машинному времени и памяти более эффективно, чем использование табличных данных для получения случайных вариационных рядов, необходимых в работе с моделью. В-третьих, крайне желательно и даже, пожалуй, обязательно, чтобы аналитик-разработчик модели определил ее чувствительность к изменению вида используемых вероятностных распределений и значений параметров. Иными словами, крайне важны испытания модели на чувствительность конечных результатов к изменению исходных данных. Таким образом, решения относительно пригодности данных для использования, их достоверности, формы представления, степени соответствия теоретическим распределениям и прошлым результатам функционирования системы – все это в сильной степени влияет на успех эксперимента по имитационному моделированию и не является плодом чисто теоретических умозаключений.

Проверка модели представляет собой процесс, в ходе которого достигается приемлемый уровень уверенности пользователя в том, что любой вывод о поведении системы, сделанный на основе моделирования, будет правильным. Невозможно доказать, что та или иная имитация является правильным или «правдивым» отображением реальной системы. К счастью, нас редко занимает проблема доказательства «правдивости» модели. Вместо этого нас интересует главным образом справедливость тех более глубоких умозаключений, к которым мы пришли или к которым придем на основании имитационного моделирования. Таким образом, нас волнует обычно не справедливость самой структуры модели, а ее функциональная полезность.

Проверка модели – этап чрезвычайно важный, поскольку имитационные модели вызывают впечатление реальности, и как разработчики моделей, так и их пользователи легко проникаются к ним доверием. К сожалению, для случайного наблюдателя, а иногда и для специалиста, искушенного в вопросах моделирования бывают скрыты исходные предположения, на основе которых строилась данная модель. Поэтому проверка, выполненная без должной тщательности, может привести к катастрофическим последствиям.

Такого процесса, как «испытание» правильности модели, не существует. Вместо этого экспериментатор в ходе разработки должен провести серию проверок, с тем чтобы укрепить свое доверие к модели. Для этого могут быть использованы проверки трех видов. Применяя первую из них, мы должны убедиться, что модель верна, так сказать, в первом приближении. Например, следует поставить такой вопрос: не будет ли модель давать абсурдные ответы, если ее параметры будут принимать предельные значения? Мы должны также убедиться в том, что результаты, которые мы получаем, по-видимому, имеют смысл. Последнее может быть выполнено для моделей существующих систем

методом, предложенным Тьюрингом. Он состоит в том, что людей, непосредственно связанных с работой реальной системы, просят сравнить результаты, полученные имитирующим устройством, с данными, получаемыми на выходе реальной системы. Для того чтобы такая проверка была несколько более строгой в научном отношении, мы можем предложить экспертам указать на различия между несколькими выборками имитированных данных и аналогичными выборками, полученными в реальной системе.

Второй метод оценки адекватности модели состоит в проверке исходных предположений, и третий – в проверке преобразований информации от входа к выходу. Последние два метода могут привести к необходимости использовать статистические выборки для оценки средних значений и дисперсий, дисперсионный анализ, регрессионный анализ, факторный анализ, спектральный анализ, автокорреляцию, метод проверки с помощью критерия «хи-квадрат» и непараметрические проверки. Поскольку каждый из этих статистических методов основан на некоторых допущениях, то при использовании каждого из них возникают вопросы, связанные с оценкой адекватности. Некоторые статистические испытания требуют меньшего количества допущений, чем другие, но в общем эффективность проверки убывает по мере того, как исходные ограничения ослабляются.

Обычно делят способы оценки имитационной модели на три категории: верификацию, используя которую экспериментатор хочет убедиться, что модель ведет себя так, как было задумано; оценку адекватности – проверку соответствия между поведением модели и поведением реальной системы; проблемный анализ – формулирование статистически значимых выводов, на основе данных, полученных путем машинного моделирования. Для осуществления этой оценки часто бывает необходимо предпринять целый ряд действий, начиная от поэтапного испытания модели на компьютере до проведения испытаний. Как бы то ни было, сами эти испытания связаны с трудностями, присущими эмпирическому исследованию; к числу таких трудностей относятся следующие ситуации: высокая стоимость получения данных вынуждает пользоваться небольшими выборками; данные чрезмерно разделены на различные группы и используются данные, достоверность которых сомнительна.

Таким образом, вопрос оценки адекватности модели имеет две стороны: приобретение уверенности в том, что модель ведет себя таким же образом, как и реальная система; установление того, что выводы, полученные из экспериментов с моделью, справедливы и корректны. Оба эти момента в совокупности сводятся к обычной задаче нахождения равновесия между стоимостью каждого действия, связанного с оценкой адекватности модели, ценностью получаемой все в больших количествах информации и последствиями ошибочных заключений.

Мы определили имитационное моделирование как экспериментирование с помощью модели с целью получения информации о реально действующей системе. Отсюда следует, что мы должны позаботиться о стратегическом планировании, т. е. о том, как планировать эксперимент, который дает желаемую ин-

формацию. Планирование экспериментов широко применяется в биологических и физических науках, а теперь и в моделировании систем. Цель использования планируемых экспериментов двоякая: они обеспечивают экономию с точки зрения уменьшения числа требуемых экспериментальных проверок, и они задают структурную основу обучения самого исследователя.

Цель любого экспериментального исследования, включая моделирование, заключается в том, чтобы больше узнать об изучаемой системе. Эксперимент представляет собой процесс наблюдения и анализа, который позволяет получить информацию, необходимую для принятия решений. План эксперимента даст возможность выбрать метод сбора исходной информации, содержащей необходимые сведения о явлении или системе, которые позволяют сделать важные выводы о поведении изучаемого объекта. В экспериментальном исследовании можно выделить два типа задач: определение сочетания параметров, которое оптимизирует переменную отклика, и (или) объяснение соотношения между переменной отклика и контролируруемыми в системе факторами. Для обеих этих задач разработано и доступно для использования множество планов постановки экспериментов.

Далее, чтобы обучение было успешным, требуется полное использование накопленных ранее знаний, что в свою очередь необходимо при выдвижении возможных гипотез, подлежащих проверке, и стратегий, подлежащих оценке. Хороший план эксперимента позволяет разработать стратегию сбора исходных данных, полезных для такого синтеза и выдвижения гипотез. Существующие в настоящее время методы планирования экспериментов и аналитические методы очень хорошо удовлетворяют нашим потребностям. Математические описания, сопутствующие планированию эксперимента, предоставляют нам много возможных альтернатив.

Методы извлечения информации, содержащейся в планах эксперимента, хорошо описаны и обычно легко осуществимы. Таким образом, планирование эксперимента может в значительной мере облегчить синтез новых сведений и выдвижение новых идей и в то же время уменьшить затраты времени, усилий и денежных средств.

Тактическое планирование, вообще говоря, связано с вопросами эффективности и определением способов проведения испытаний, намеченных планом эксперимента. Тактическое планирование прежде всего связано с решением задач двух типов: определением начальных условий в той мере, в какой они влияют на достижение установившегося режима, и возможно большим уменьшением дисперсии решений при одновременном сокращении необходимых размеров выборки.

Первая задача (т. е. определение начальных условий и их влияния на достижение установившегося режима) возникает вследствие искусственного характера функционирования модели. В отличие от реального объекта, который представлен моделью, сама имитационная модель работает эпизодически. Это значит, что экспериментатор запускает модель, делает свои наблюдения и «останавливает» ее до следующего прогона. Всякий раз, когда начинается про-

гон, модели требуется определенное время для достижения условий равновесия, которые соответствуют условиям функционирования реальной системы. Таким образом, начальный период работы модели искажается из-за действия начальных условий запуска модели. Для решения задачи, во-первых, необходимо исключить из рассмотрения данные, относящиеся к некоторой части начального периода, и, во-вторых, следует выбирать такие начальные условия, которые уменьшают время, необходимое для достижения установившегося режима. Разумно выбранные начальные условия могут уменьшить, но не полностью свести к нулю время переходного процесса. Поэтому дополнительно необходимо определить время начала измерений.

Вторая задача тактического планирования связана с необходимостью оценить точность результатов эксперимента и степень надежности заключений или выводов. Это немедленно ставит нас лицом к лицу с такими вопросами, как изменяемость условий, размер выборки и повторяемость результатов. В любом эксперименте из ограниченного объема полученных данных мы стремимся извлечь как можно больше информации. Для уменьшения разброса характеристик было предложено несколько методов (в основном в связи с процедурами взятия выборок), которые могут существенно снизить требуемый размер выборки и число повторений эксперимента. Использование очень больших выборок может в конечном счете решить все тактические проблемы имитационного моделирования, но обычно ценой больших затрат машинного времени и времени, необходимого для последующего анализа результатов. Чем сложнее имитационная модель, тем более важен этап тактического планирования, выполняемого перед проведением экспериментов.

После завершения этапов разработки и планирования мы наконец осуществляем прогон модели с целью получения желаемой информации. На этом этапе мы начинаем находить недостатки и просчеты в нашем планировании и повторяем наши усилия до тех пор, пока не достигнем первоначально поставленных целей.

Одним из наиболее важных понятий в имитационном моделировании является анализ чувствительности. Под ним мы понимаем определение чувствительности наших окончательных результатов к изменению используемых значений параметров. Анализ чувствительности обычно заключается в том, что величины параметров систематически варьируются в некоторых представляющих интерес пределах и при этом наблюдается влияние этих вариаций на характеристики модели. Почти в любой имитационной модели многие переменные рождаются на основании весьма сомнительных данных. Во многих случаях их значения могут быть определены только на основе предположений опытного персонала или с помощью весьма поверхностного анализа некоторого минимального объема данных. Поэтому чрезвычайно важно определить степень чувствительности результатов относительно выбранных для исследования величин. Если при незначительных изменениях величин некоторых параметров результаты меняются очень сильно, это может служить основанием для затраты большего количества времени и средств с целью получения более точных оце-

нок. В то же время, если конечные результаты при изменениях величин параметров в широких пределах не изменяются, то дальнейшее экспериментирование в этом направлении неоправданно и не является необходимым.

Имитационное моделирование идеально подходит для анализа чувствительности благодаря тому, что экспериментатор здесь может успешно контролировать весь ход эксперимента. В отличие от экспериментирования с реальными системами пользователь модели, располагая возможностями абсолютного контроля над своей моделью, может варьировать по желанию любой параметр и судить о поведении модели по наблюдаемым результатам.

Последние два элемента, которые должны быть включены в любое задание по моделированию, это реализация замысла и документирование. Никакое задание на моделирование не может считаться завершенным до тех пор, пока оно не будет принято, понято и использовано. Наибольшие неудачи, постигавшие специалистов, занимающихся проблемами управления, были связаны с восприятием и использованием их работ.

Известно, что распределение времени проектирования модели представляется следующим образом: 25 % на постановку задачи, 20 % на сбор и анализ данных, 30 % на разработку модели и 25 % на реализацию.

Документирование близко связано с реализацией. Тщательное и полное документирование процессов разработки и экспериментирования с моделью может значительно увеличить срок ее жизни и вероятность успешной реализации. Хорошо организованное документирование облегчает модификацию модели и обеспечивает возможность ее использования, если даже служб, занимавшихся разработкой модели, больше не существует. Кроме этого, тщательная документация может помочь разработчику модели учиться на своих ошибках и, быть может, послужит источником для создания подпрограмм, которые будут снова использованы в будущих проектах.

Ниже по тексту методических указаний приводятся требования к выполнению практических работ, а также несколько простейших заданий для закрепления теоретического материала. В Приложении А представлен вариант решения конкретной задачи имитационного моделирования на пошивочном участке обувного предприятия ОАО «Красный Октябрь», г. Витебск.

2 Методические указания к выполнению практических работ

Изложенный выше материал относится к постановке и анализу какой-либо производственной задачи. Далее следует этап совместной работы менеджера и программиста.

Методические указания содержат сведения о современных подходах к оценке эффективности любого технологического или иного процесса. В них рассмотрены некоторые методы документирования информации, выявление на этапе поиска и обнаружение фактов, с целью обеспечить наиболее эффективное их использование.

Для этой цели может быть использована группа методов, которую можно назвать схематическими моделями. Под этим названием понимаются методы анализа, включающие графическое представление работы системы. Они предназначены для того, чтобы помочь менеджеру (инженеру) глубже понять и документировать исследуемый процесс или функционирование системы. Хотя в настоящее время имеется множество методов схематического представления технологических процессов, мы ограничимся рассмотрением лишь технологических карт, технологических диаграмм и многофункциональных диаграмм операций.

Технологическая карта процесса представляет собой относительно простое в использовании средство и превосходный метод детального поэтапного описания того, как протекает или может протекать некоторый производственный, технологический или какой-либо другой процесс. Она отображает логическую последовательность операций в сжатой форме, показывая шаг за шагом ход того или иного процесса. Однако универсальность технологических карт несколько ограничена, они очень удобны для прослеживания поэтапного движения лишь единичного изделия или материала, документа, а также действий одного человека; подобным образом может также отображаться движение множества документов, материалов и людей, но это значительно сложнее.

Технологические карты были впервые разработаны Джилбретом, а позднее усовершенствованы рядом других специалистов [1]. Джилбрет разработал своеобразный сокращенный способ записи процесса при помощи условных знаков — символов, каждый из которых обозначал наличие или отсутствие некоторого вида операций. С годами его 39 символов были упрощены. Американское общество инженеров-механиков установило пять получивших широкие распространение символов (таблица 2.1), которые позволяют наглядно представлять большинство операций, встречающихся при изучении функционирования систем.

Кружок обозначает операцию, в результате которой что-то производится или в ходе которой намерено изменяются физические или химические свойства объекта, что-то создается, расчленяется или собирается. Эти операции продуктивны, например, печатанные страницы текста, сверление отверстия, сварка детали и т. д. Вычисления, планирование и сбор информации также считаются операциями.

Таблица 2.1 – Символы, наглядно позволяющие представить большинство операций, встречающихся при изучении функционирования системы

Символ действия	Наименование	Результат действия
	Операция	Производит, подготавливает и осуществляет
	Транспортировка	Перемещает
	Инспектирование	Проверяет, контролирует
	Задержка	Задерживает, проверяет
	Хранение	Хранит, накапливает

Стрелка обозначает движение или транспортировку. Этот знак отображает движение рассматриваемого предмета от одного производственного участка к другому или из одного отдела в другой. На технологической карте любые перемещения внутри зоны непосредственного осуществления операции, такие, например, как взятие инструмента, перемещение отчетного документа на столе исполнителя и т. п., считаются частью операции, а не транспортировкой. Но если человек или предмет должен переместиться в другое место, то эта операция должна обозначаться как транспортировка. Иногда полезно внутри символа, обозначающего транспортировку, ставить букву, указывающую на способ транспортировки, например, «Г» – грузовик, «Т» – транспортер или «Л» – лифт.

Квадрат обозначает контроль или сравнение результатов с плановым или стандартными показателями, в том числе проверку единицы продукции по качественным и количественным показателям, контроль результатов испытаний, прочтение документов перед принятием определенного решения и т. д. Подсчет деталей, выявление ошибок в документе, сравнение полученных данных с предшествовавшими указаниями — все эти действия относятся к операциям контроля и должны обозначаться прямоугольниками. Во многих процессах контроль часто совмещается с другой операцией; например, при подсчете деталей перед их отгрузкой рабочий производит также их осмотр. В этом случае мы можем употреблять два символа, вписав кружок внутрь квадрата.

Прописная буква D употребляется для обозначения временных задержек (от англ. delay), например, когда человек прерывает работу, или письмо лежит в почтовом ящике, ожидая выемки, или данные, которые должны быть переданы со спутника на наземную станцию по системе телеметрической связи, ожидают своей очереди в буферном запоминающем устройстве. Изделия, ожидающие своей очереди на соответствующее обслуживание, или изделия, ожидающие погрузки, также должны обозначаться прописной буквой D.

Треугольник обозначает накопление, хранение, что имеет место тогда, когда детали или изделия преднамеренно хранятся в пассивном состоянии, например, запчасти на складе, информация в оперативной памяти ЭВМ или на диске для последующего использования, записи в файлах.

Различие между хранением и задержкой состоит в том, что первое планируется и осуществляется преднамеренно, в то время как второе не подчиняется контролю и не планируется.

Располагая подобным набором символов, мы можем описать любую процедуру или процесс. Технологическая карта строится сравнительно просто и может иметь несколько различных форм. Простейшая из них показана на рисунке 2.1 и отображает ход операций, которые выполняются над одним изделием. Такая карта представляет собой последовательный комментарий к тому, что происходит с определенной деталью или человеком в то время, когда деталь подвергается обработке, а человек совершает действия, вытекающие из конкретной задачи. В технологическую карту могут включать и другие сведения, как, например, пройденный путь; время, необходимое для различных операций; время задержек и т. д.

Другим способом визуализации любых процессов является использование технологической диаграммы такого типа, которая показана на рисунке 2.2, в сочетании с технологической картой. Технологическая диаграмма дает нам возможность отобразить ход процесса, как бы наложенного «на местность» того реального производственного помещения, где этот процесс протекает. Операция и другие события пронумерованы так, что мы можем сравнить их с технологической картой. Такая схема позволяет выявить узкие места процесса, где могут возникнуть помехи и снизиться эффективность всего производственного комплекса. Для изучения более сложных операций, при которых обрабатывается несколько изделий или множество копий одного документа, могут использоваться различные варианты сочетаний технологических карт и технологических диаграмм.

Другим очень полезным средством схематичного представления является многофункциональная диаграмма операций (multiple activity chart), в которой сведения о некоторых деталях процесса сочетаются с согласованным временным графиком множества параллельных операций. Многофункциональная диаграмма позволяет отобразить на шкале времени требуемую координацию действий между двумя или более людьми, машинами или комбинациями тех и других. И этот метод по существу прост. На многофункциональной диаграмме регистрируется время, необходимое для выполнения совместной работы людьми, машинами или теми и другими вместе. Основные символы, используемые в схемах подобного типа, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные символы, используемые на многофункциональной диаграмме операций

Символ	Человек	Машина
	Любая работа или деятельность, не зависящая ни от машин, ни от других людей	Любая работа или операция, выполняемая машиной без совместительства оператора
	Работа, выполняемая совместно с машиной или другим человеком; символ обозначает также время совместной работы	Время совместных действий машины и оператора
	Время ожидания машины или другого человека	Время ожидания оператора

Технологическая карта

Сводка характеристик процесса

	Фактически		По проекту		Разности	
	время	длина	время	длина	время	длина
○ Операция	2					
□ Транспортировка	5					
□ Контроль	0					
○ Задержка	6					
▽ Хранение	2					
Прочное расстояние	71	метр		метр		метр

Процесс: резка и пада концов перемычек, выпалывание проводов № 82

☐ Человек ☒ Материал Провод № 10

☐ или ☐ автомат

Карта начала: Склад исходных материалов

Карта окончания: Склад полуфабрикатов

Составил: Т.Р.С. Дата: 11 мая 1993

Подборное описание предлагаемого метода работы

	Операция	Транспортировка	Контроль	Задержка	Хранение	Расстояние в метрах	Количество	Длительность	Возможности				Примечания	
									Исключается	Объединяется	Последовательность	Место		
1 Склад	○	□	□	□	▽									
2 Подсобный рабочий	○	□	□	□	▽	20								
3 Верстак	○	□	□	□	▽									
4 Оператор резака	○	□	□	□	▽	5								
5 У резака	○	□	□	□	▽									
6 Резка на нужную длину	○	□	□	□	▽									
7 У резака	○	□	□	□	▽									
8 Подсобный рабочий	○	□	□	□	▽	10								
9 Верстак	○	□	□	□	▽									
10 Распайка концов	○	□	□	□	▽									
11 Верстак	○	□	□	□	▽									
12 Ручная переноска	○	□	□	□	▽	28								
13 Склад (входной контроль)	○	□	□	□	▽									
14 Ручная переноска	○	□	□	□	▽	8								
15 Склад полуфабрикатов	○	□	□	□	▽									
16	○	□	□	□	▽									
17	○	□	□	□	▽									
18	○	□	□	□	▽									
19	○	□	□	□	▽									
20	○	□	□	□	▽									

Рисунок 2.1 – Пример технологической карты

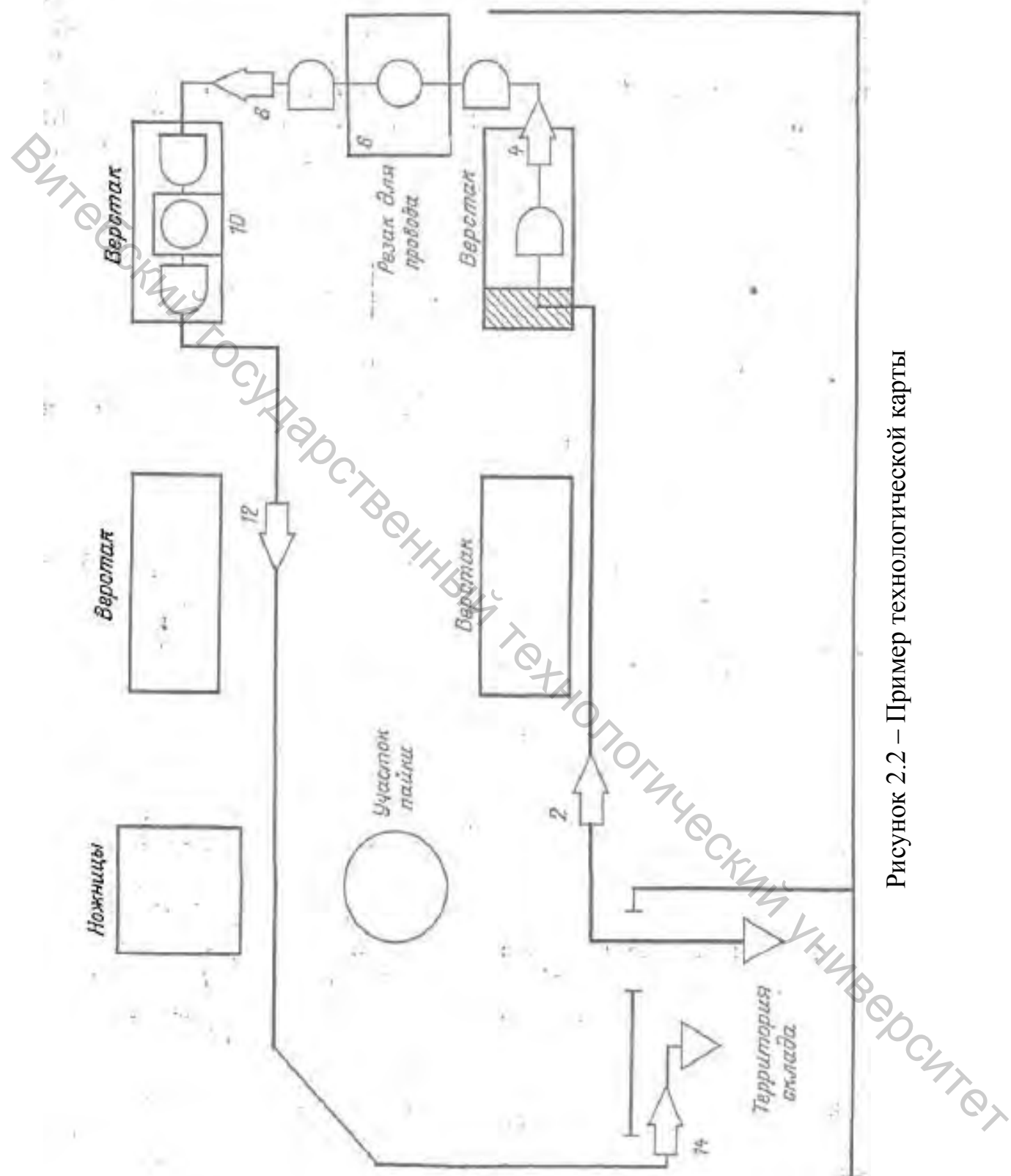


Рисунок 2.2 – Пример технологической карты



Рисунок 2.3 – Многофункциональная диаграмма операций

На рисунке 2.3 в качестве примера приведена многофункциональная диаграмма действий группы космонавтов. Такие диаграммы применялись в космической программе для процедур функциональной проверки узлов и предпускового отчета времени, для изучения использования времени космонавтами и для расчета времени проведения некоторых экспериментов. В больницах подобные многофункциональные диаграммы применяются для изучения хода операций и ситуаций, возникающих в клинических лабораториях. Поскольку в большинстве сложных систем многофункциональные операции совершаются одновременно, такие диаграммы позволяют оценить, в каких случаях в имитационной модели процесса должны иметь место комбинированные, а в каких независимые действия.

3 Задания для выполнения практических работ

Практические занятия состоят из заданий, каждое из которых представляет возможность студентам самостоятельно выполнить работу по изучаемой теме теоретического курса. Работа оформляется в виде отчета.

Цель работы: научиться самостоятельно составлять технологические карты, технологические диаграммы и многофункциональные диаграммы операций простейших технологических процессов.

Вопросы для подготовки к работе:

1. Сущность понятий «техника» и «технология» [2].
2. Охарактеризуйте понятие «технологический процесс», «технологическая документация», «технологические операции», «технологическая карта» и т.д. [2].

Задание 1

Составьте технологическую карту для изготовления ученической тетради.

Сначала необходимо мысленно произвести разработку тетради на составляющие элементы: обложка (1 шт.), листы (12 шт.), скрепки (2 шт.), а затем представить процесс изготовления изделия с необходимой подготовкой и транспортировкой полуфабриката.

Пусть процесс сборки изделия начинается с наличия на складе рулона писчей бумаги. Способы транспортирования и другие элементы организации производства студент выбирает самостоятельно исходя из своих знаний.

Основными технологическими операциями будут следующие:

- нанесение рисунка («линейка», «клетка» и т.д.);
- разрезание листов;
- нанесение рисунка на обложку;
- разрезание обложки;
- окончательное комплектование;
- сшивание;
- отрубание;
- контроль;
- упаковка.

Задание 2

Нарисуйте технологическую диаграмму изготовления ученической тетради. Пусть размеры цеха 18 x 24 м и условно примем размеры поверхности столов технологического оборудования одинаковые – 1,5 x 1,0 м. Необходимо будет зарисовать технологическую диаграмму и при этом учитывать следующее:

- расстояние от стен до технологического оборудования должны быть не менее 2 м;
- расстояние между смежными машинами также не менее 2 м.

Задание 3

Составить многофункциональную диаграмму операций сборки тетради.

В данном случае предполагаем, что процесс изготовления обложки и листов осуществляется одновременно. Здесь можно предположить разные варианты организации производства и загрузки оборудования. Например, один рабочий может выполнять разрезание листов и разрезание обложки, комплектование и окончательное комплектование и т. д. (по выбору студентов).

Задание 4

Составить технологическую карту любого, знакомого вам, технологического процесса (домашнее и аудиторное задание). Например, сшивание изделий на швейной машинке, разработка ступицы переднего колеса велосипеда, выпечка кондитерского изделия, пайка элементов электроприбора и т. д. [1-4].

Список использованных источников

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М. : Мир, 1988. – 418 с.
2. Производственные технологии. Конспект лекций для студентов экономических специальностей / Г. И. Москалев. – Витебск, УО «ВГТУ», 2010.
3. Основы технологии важнейших отраслей промышленности. Ч.1. Учебное пособие для вузов / Под ред. И. В. Ченцова, В. В. Вашука. – Минск : Выш.шк., 1989. – 325 с.
4. Основы технологии важнейших отраслей промышленности. Ч.2. Учебное пособие для вузов / Под ред. И. В. Ченцова, В. В. Вашука. – Минск : Выш.шк., 1989. – 199 с.
5. Мочальник, И. А. Производственные технологии и товароведение / И. А. Мочальник, М. В. Самойлов : учебно-методическое пособие. – Минск : БГЭУ, 2011. – 58 с.
6. Садовский, В. В. Производственные технологии: учебник / В. В. Садовский, М. В. Самойлов, Н. П. Кохно [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2008. – 431 с.

Приложение А

Оптимизация технологического процесса формования верха обуви

Оптимизация технологических процессов является одним из наиболее эффективных способов снижения затрат предприятия, производящего какое-либо изделие. Суть данной работы заключается в подборе и практической реализации наиболее подходящих способов и методов изготовления этого изделия в рамках возможностей данного производства. Таким образом достигается не только экономия ресурсов, но и обеспечивается повышение эффективности и, в ряде случаев, качества конечной продукции.

Задачей данной работы является оптимизация технологического процесса производства мужских полуботинок с целью улучшения формоустойчивости обуви. Для решения поставленной задачи использовался метод имитационного моделирования. Имитационное моделирование является мощным инструментом исследования поведения систем. Данным методом моделирования позволяют набрать необходимую информацию о поведении системы путем создания модели. Анализ поведения модели позволит нам оптимизировать технологический процесс. По сравнению с другими методами имитационное моделирование позволяет рассматривать большее число альтернатив, улучшать качество прогнозирования их последствия.

В данной работе проводилось моделирование процесса формования заготовки верха обуви. Формование заготовки верха является одним из основных процессов производства обуви, от правильного выполнения которого зависят внешний вид и формоустойчивость обуви при носке. Результаты данной работы позволят выделить оптимальные параметры технологического процесса тем самым оптимизировать процесс, а также позволят улучшить формоустойчивость обуви.

Все выше сказанное значительно позволит улучшить качество производимой продукции предприятия и, следовательно, повысит престиж и рентабельность организации.

1 Характеристика объекта исследования

1.1 Конструктивная характеристика обуви внутреннего способа формования

Рассмотрим конструктивную характеристику мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления модели 43001. Внешний вид модели представлен на рисунке А.1.



Рисунок А.1 – Мужские полуботинки, модель 43001

Для производства данной модели использовали следующие материалы: верх – натуральная кожа, подкладка – натуральная кожа и текстильный материал, подошва – полиуретановая композиция.

Данный образец состоит из следующих элементов:

– наружные детали верха обуви:

- овальная вставка – 2;
- обсоюзка – 2;
- берец наружный – 2;
- берец внутренний – 2;
- боковина – 4;
- язычок – 2;
- задинка – 2.

– промежуточные детали верха обуви:

- межподкладку под овальную вставку – 2;
- межподкладка под обсоюзку – 2;
- межподкладка под берец – 4;
- межподкладка под задинку – 2;
- межподблочник наружный – 2;
- межподблочник внутренний – 2;
- межподкладку под боковину – 4;
- вставка в мягкий кант – 2;
- подпяточник – 2.

– внутренние детали верха обуви:

- подкладка под берец наружный – 2;
- подкладка под внутренний берец – 2;
- карман – 2;
- подкладка под язычок – 2;
- вкладная стелька – 2;
- подкладка под союзку – 2.

После раскроя деталей подкладки, верха заготовки и межподкладки на машинах ПКП-10 и ПТО-40 соответственно осуществляется следующие операции:

- расслаивание межподкладки, дублирование овальной вставки с межподкладки (ДВ-О, машина проходного типа);
- увлажнение овальных вставок, пролежка (увлажнительная камера);
- активация овальных вставок (по необходимости), формование овальной вставки, проверка перегибов по шаблону (W44, парилка);
- переруб овальной вставки (двойной) (ПВГ-8);
- выравнивание деталей по толщине;
- профилирование деталей по толщине;
- клеймение реквизитов, парников на кожподкладки;
- спускание краев деталей верха обуви и подкладки.

Колебание толщины наружных деталей верха обуви и деталей кожаной подкладки существенно влияет на качество обуви, поэтому детали верха обуви выравнивают по толщине на машине МДВ-О (Россия). Машины МДВ-О предназначены не только для выравнивания деталей по толщине, но и для фасованного двоения и утонения краев деталей верха. Спускание краев деталей осуществляется на машине АСГ-13 (Россия). Толщина спущенного края под строчку зависит от исходной толщины деталей, но не должна превышать половины первоначальной толщины [1].

В последующем идет контроль качества кроя и транспортирование в сборочный цех.

Сборка заготовки осуществляется в следующем порядке: дублирование межподкладки с деталями верха заготовки; настрачивание кожаной подкладки под язычок текстильную подкладку с дополнительной закрепкой; пристрачивание деталей подкладки под берцы к кожаному карману с дополнительной закрепкой; настрачивание берцов на боковинки с дополнительной закрепкой; настрачивание задинки на берцы; настрачивание овальной вставки на язычок; настрачивание берцов на овальную вставку; настрачивание обсоюзки на овальную вставку; встрачивание «узла» подкладки в «узел» верха с тесьмой; намазка клеем деталей поролона, верха и подкладки; сушка; наклеивание деталей поролона, равномерное выворачивание кожаной подкладки, расправка подкладки, склеивание верха с подкладкой.

Видимые края деталей обрабатывают обжигом и окрашивание видимых краев деталей верха и союзок. Детали верха обуви скрепляются ниточными швами, токами высоких частот или химическим способом. Выбор шва определяют его внешним видом, технико-экономическими показателями и требованиями государственных стандартов на обувь. При производстве данной модели использовались при скреплении подкладки и деталей верха обуви настрачной, точной и выворотный шов.

После соединения деталей заготовки предварительно формуют в носочной и пяточной части для создания пространственной заготовки. Потом к отформованной заготовке прикрепляют втачную стельку. Так как детали низа

прикрепляются с помощью строчно-литьевого метода крепления, то в заготовке используют затяжную кромку направленную вертикально вниз по отношению к плоскости следа колодки.

Разрез обуви с строчно-литьевого метода крепления низа представлен на рисунке А.2.

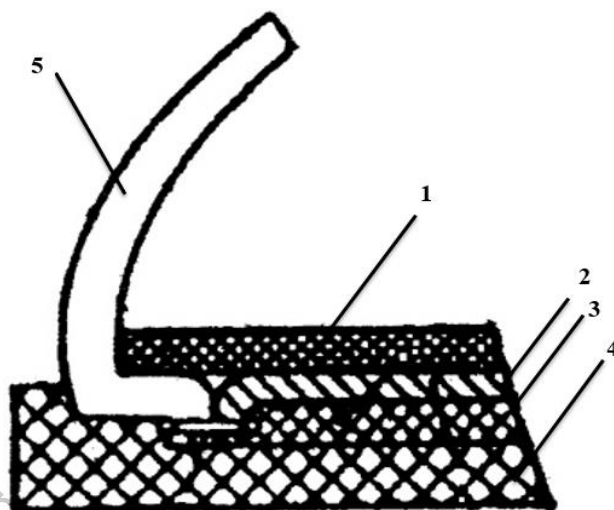


Рисунок А.2 – Схема сечения обуви строчно-литьевого метода крепления: 1 – вкладная стелька; 2 – втачная стелька; 3 – простилка; 4 – подошва; 5 – заготовка

1.2 Анализ технологического процесса производства обуви внутреннего способа формования

Данная модель изготавливается внутренним способом формования. Поэтому после соединения деталей верха, межподкладки и подкладки для облегчения формования заготовок верха и улучшения формоустойчивости обуви применяют предварительное формование заготовки. Детали верха обуви предварительно формуют на машине модели 50/2R фирмы «Matic», представленной на рисунке А.3.



Рисунок А.3 – Машина для формования носочной части MATIC50/2R

Заготовка разогревается в активаторе подноски в течение 15-25 с при температуре 160-200° С (температура и время активации зависит от материала верха и подкладки). После активации заготовка формируется с помощью холодного пуансона. Время фиксации 13-18 с, а для заготовок на натуральном меху 20-25 с. После активации заготовку укладывают на плиту машины, опускается обжимная скоба и вся система опускается на пуансон, происходит формование заготовки между пуансоном и обжимной скобой. Давление пуансона и обжимной скобы в пределах 0,2-0,4 МПа. Отформованная заготовка не должна иметь перекосов. На подносках не должно быть складок и морщин. Излишки затяжной кромки в носочной части должны быть аккуратно обрезаны.

После предварительного формования деталей верха к заготовке пристрачивают втачную стельку, изготовленную из материала «Ibitix» и отправляют в пошивочный цех. В цеху объемную заготовку подвергли обработке разогретым паром при температуре 50-90 °С и время воздействия 20 с. В последующем ее одевали на колодку и отправляли на влажно-тепловую операцию.

На заготовки, одетые на колодки, с помощью кисти или пульверизатора наносят увлажнитель. Затем заготовки загружают в установку для фиксации формы. Температура влажно-тепловой обработки для обуви с верхом из светлых кож 110-130 °С, для обуви с верхом из темных кож – 160-180°С. Время выполнения термофиксации подбирает технолог цеха для каждого кожтовара отдельно. ВТО происходит на машине SAVE-2000 (рисунок А.4).



Рисунок А.4 – Машина для влажно-тепловой обработке SAVE-2000 (пр-во Италия)

После ВТО рабочий смотрит, чтобы не было морщин на заготовке, если они имеются, то их устраняют с помощью ролика спецприспособления и отвозят тележку с колодками на литье подошвы. Литье низа осуществляют на машине (рисунок А.5).



Рисунок А.5 – Литьевого агрегат Десма 581/18 (пр-во Германия)

Колодки с заготовками снимают с тележек и устанавливают на штуцер штанги литьевого агрегата. Нажатием кнопки на агрегате работник смыкает пресс-форму. После полного смыкания пресс-форм можно приступить к выполнению операции. Намазка поверхности заготовок выполняется в носочной и пяточной части. Клей должен быть нанесен равномерным тонким слоем без сгустков и подтеков. Выполняют отжим пресс-формой. Отжим на заготовке должен быть четким для точного выполнения взъерашивания затяжной кромки заготовок. Затем колодку снимают со штуцера штанги и устанавливают в ячейки литьевого агрегата. В заготовках после выполнения операций взъерашивания выполняется околачивание боковых швов идущих в прилив подошвы. Колодка с заготовкой устанавливается на штуцер литьевого агрегата. Под резинку вставляется вкладыш на пяточную часть следа заготовки. Перед каждым литьем пуансон и пресс форма должны быть очищены от литников и отходов полиуретановой смеси. Пуансон и пресс-форма литьевого агрегата должны быть смазаны из пульверизатора разделительной смазкой. Такт литья одной полупары зависит от применяемой ПУ-композиции, температура пресс-форм и пуансона $55 \pm 5^\circ\text{C}$. Давление воздуха в реакторах 0,4 МПа. Температура реакторов, насосов, шлангов $35\text{--}40^\circ\text{C}$.

После прикрепления низа обуви следует удаление выпрессовок по периметру обуви и снятие ее с колодки. Весь процесс с одевания заготовки на колодку до снятия ее длится приблизительно 45 мин.

Этот способ формования имеет следующие преимущества по сравнению с обтяжно-затяжным:

- 1) материалоемкость обуви уменьшается на 8-12% в результате более равномерного растяжения деталей заготовки и уменьшения припуска на затяжную кромку;
- 2) производительность труда повышается на 15-20% вследствие совмещения и ликвидации ряда технологических операций;
- 3) снижение затрат на дорогостоящее обтяжно-затяжное оборудование.

2 Обоснование параметров оптимизации и управляемых факторов технологического процесса

2.1 Факторы технологического процесса, влияющие на качество обуви

При производстве обуви на процесс ее изготовления влияет множество факторов. Для улучшения формоустойчивости обуви необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на ее формоустойчивость:

- физико-механические свойства материала верха и низа;
- конструкцию заготовки обуви;
- увлажнение заготовки;
- величину и характер распределения деформаций по площади заготовки при затяжке;
- фиксацию формы;
- продолжительность нахождения обуви на колодке;
- гигрометрические параметры воздуха в цеху;
- условия транспортирования и хранения обуви;
- условия и динамику носки обуви [3].

Остановимся на некоторых из перечисленных факторов и кратко их охарактеризуем.

Наибольшее воздействие при движении человека испытывает участок верха обуви над плюсно-фаланговым сочленением стопы. При переносе опоры стопы на пучки эта часть верха подвергается наиболее сильному изгибанию. При сгибании стопы на материале над плюсно-фаланговым сочленением образуются складки в направлении, перпендикулярном к продольной линии стопы или близком к нему. В зависимости от толщины материала и конструкции обуви величина складок (их радиус кривизны) различна: от 0,5-1 мм в мягких и тонких материалах до 5-10 мм в жестких и толстых. Многократный изгиб материала приводит к его разрушению. Примерно считают, что нормальный материал для верха обуви должен выдерживать до разрушения не менее 1,5 млн. повторных изгибов. При отсутствии длинного жесткого подноски на союзке обуви образуются не исчезающие складки относительного большого радиуса кривизны, что несколько портит внешний вид верха обуви. Жесткий подносок в обуви уменьшает область возможного ее изгиба и радиус кривизны изгиба материала.

Если носок обуви сделать длинным и в то же время достаточно жестким, разместив его край примерно на расстоянии 0,76-0,78 $D_{ст}$ от пятки, изгиб союзки будет сконцентрирована небольшом участке. При этом напряжение материала союзки при носке обуви достигает такой величины, что кожаный верх под влиянием изгибов может разрываться уже в течении 2-3 недель от начала носки. Следовательно, на качество обуви влияет конструкция ее верха.

Когда стопа опирается на пучки, происходит ее расширение в области плюсно-фалангового сочленения и периметр сечения стопы увеличивается в пучках на 10-15 мм, а по ширине – на 4-5 мм, что составляет около 5-7 % от размера стопы в висячем положении.

Приформование верха к стопе происходит примерно происходит примерно за 2-3 недели носки обуви; далее наблюдается лишь незначительное растяжение материала союзки в поперечном направлении. Следует также отметить, что верх нормально вытянутой при формировании заготовки усаживается после съёмки с колодки на 4-5 % в союзке в указанном выше направлении [4].

При формировании передней части заготовки верха хорошее качество формирования достигается при устранении разницы между площадью плоского носка и площадью поверхности части. Но при формировании заготовки верха надо иметь некоторый запас прочности, поэтому удлинение материала должно быть 1,5-2 раза больше, чем требуется для посадки. При формировании заготовок верха обуви материал редко подвергается одноосному растяжению, обычно он находится в более сложных условиях двухосной деформации, которая происходит в основном в результате растяжения пучков волокон (пряжи, нитей) сетчатого материала, а не сдвига. При одноосной деформации для получения пространственной формы материал должен сильно сокращаться в поперечном направлении, при двухосной – растягиваться одновременно в двух направлениях без ухудшения физико-механических свойств.

Интенсификация процессов увлажнения и сушки обувных материалов приводит к тому, что в материалах заготовки возникают значительные градиенты температуры и влагосодержания, что приводит к возрастанию уровня внутренних напряжений. Исходя из этого, с целью установления оптимальных режимов формирования, обеспечивающих минимальный уровень остаточных напряжений, необходимы исследования релаксационных свойств материалов и систем материалов при различных режимах гигротермических воздействий.

Многочисленные исследования указывают, что большое влияние на формоустойчивость обуви оказывает достигнутый перед формированием уровень влажности в заготовке верха обуви.

Проводились попытки нормировать уровень влажности различных материалов, обеспечивающий высокий уровень фиксации формы. Установлен предельный уровень абсолютной влажности натуральной кожи, равный 30-33 %, дальнейшее повышение влажности тормозит процесс релаксации и может привести к уменьшению остаточных деформаций.

С увеличением влажности снижается не только усилие, необходимое для растяжения, но и повышается скорость релаксации, уменьшается остаточное напряжение, а вместе с ним увеличивается остаточная деформация. Оптимальный уровень относительной влажности эластичных кож установлен в пределах 24 – 26 %.

Для установления оптимальных параметров гигротермического воздействия при формировании изделий из кожи используют показатель – время прохождения влаги через кожу, который зависит от свойств применяемых материалов и вида лицевого покрытия кожи. Установлено, что повышению формоустойчивости способствует увлажнение обувных заготовок перед формированием до влагосодержания, соответствующего гигроскопическому состоянию матери-

ала, при котором в первые 30-60 секунд после нагружения наиболее эффективно проявляется пластифицирующее действие влаги.

Модернизация производства приводит к интенсификации многих производственных процессов, в частности сокращается время увлажнения и сушки обуви. В связи с этим возникает вопрос, как новые технологические режимы отражаются на формоустойчивости обуви. Исследования, проведенные учеными А.В. Лыковым, Ю.Л. Кавказовым, Н.И. Егоркиным, Б.М. Поляком, П.В. Явщицем, М.А. Файбищенко, Л.И.-О. Адигезаловым, А.С. Шварцем и др., явились основополагающими для развития гигротермии обувного производства.

Установлено, что значительно ускоряет процесс увлажнения совместное действие тепла и влаги, что реализуется при помощи термодиффузионного увлажнения. Привес влаги, достигаемый в заготовке при таком способе увлажнения, незначительный ($+1 \div +9$ %), но он находит большое распространение в связи с широким применением эластичных кож и использовании для фиксации формы обуви влажно-тепловой и тепловой обработки. Достигаемый уровень влажности в материале в большой степени зависит от температуры контактных плит, продолжительности обработки, влагосодержания влагоносителя и толщины кожи. Установлено, что путем быстрого (в течение 45-60 секунд) нагревания кожи с абсолютной влажностью 16 % до температуры 85-100 °С можно получить такой же эффект в области ускорения релаксации, повышения пластичности и снижения нагрузок, как и при увлажнении до относительной влажности 35 % [5].

Одним из основных факторов влияющей на формоустойчивость обуви является фиксация формы. Фиксация формы заготовок заключается в устранении напряжений, возникающих в заготовках в результате формования. Устранение напряжений в материалах является условием сохранения заготовками формы колодки. В противном случае процесс релаксации напряжений будет протекать дальше в готовой обуви. В этом направлении проводится много работ учеными различных школ и направлений [1, 6, 7-12]. Устранять напряжение в материале можно путем приложения физических или механических воздействий. Эти воздействия могут протекать до деформирования и во время выдержки в деформированном состоянии. Исследованиям релаксационных процессов в коже посвящен ряд работ Ратаутаса А.С. [8], Кравченко А.Д. [9]. В работе [10] очень подробно исследован процесс релаксации напряжений в коже при гигротермической обработке, показана возможность интенсификации процесса влажно-тепловой обработки.

Наибольшее внимание ученых приковано к разработке режимов фиксации формы верха обуви. Сложные физические процессы, происходящие в коже при увлажнении, формовании и сушке, недостаточно изучены, хотя известно, что режимы их протекания оказывают большое влияние на изменение структуры материала [1, 13-18].

Известно, что кожа существенно изменяет свои размеры в зависимости от влажности, поэтому на форму и размеры обуви при ее производстве существенное влияние оказывают гигротермические параметры воздуха в цехе [19].

Исследованием влияния условий хранения обуви на ее формоустойчивость занимались Любич М.Г., Кавказов Ю.Л. и др. [20, 21], которыми было определено максимальное увеличение ширины союзки на 1,3-2,4 % при 100% влажности воздуха в течение 30 суток. Такое увеличение размеров обуви практически неощутимо при носке. Таким образом, выше были перечислены основные факторы, влияющие на формоустойчивость обуви при ее производстве, а также в процессе эксплуатации.

2.2 Технологическая карта и параметр оптимизации

Технологическая карта процесса представляет собой относительно простое в использовании средство и превосходный метод летального поэтапного описания того, как протекает или может протекать некоторый производственный, технологический или какой-либо другой процесс. Она отражает логическую последовательность операций в сжатой форме, показывая шаг за шагом ход того или иного процесса. Однако универсальность технологических карт несколько ограничена, они очень удобны для прослеживания поэтапного движения лишь единичного изделия или материала, документа, а также действий одного человека; подобным образом может также отображаться движение множества документов, материалов и людей, но это значительно сложнее.

Технологические карты были впервые разработаны Джилбетром, а позднее усовершенствованы рядом других специалистов [22]. Джилберт разработал своеобразный сокращенный способ записи процесса при помощи условных знаков – символов, каждый из которых обозначал наличие или отсутствие некоторого вида операций. С годами его 39 символов были упрощены. Американское общество инженеров-механиков установило пять получивших широкое распространение символов, представленные в таблице А.1, которые позволяют наглядно представлять большинство операций, встречающихся при изучении функционирования систем.

Таблица А.1 – Условное обозначение операций

Символ действия	Наименование	Результат действия
	Операция	Производит, подготавливает и осуществляет
	Транспортировка	Перемещение
	Инспектирование	Проверяет, контролирует
	Задержка	Задерживает, проверяет
	Хранение	Хранит, накапливает

Кружок обозначает операцию, в результате которой что-то производится или входе которой намерено изменяются физические или химические свойства объекта, что-то создается, расчленяется или собирается. Эти операции продуктивны, например, печатанные страницы текста, сверление отверстия, сварка де-

тали и т.д. Вычисления, планирование и сбор информации также считаются операциями.

Стрелка обозначает движение или транспортировку. Этот знак отображает движение рассматриваемого предмета от одного производственного участка к другому или из одного отдела в другой. На технологической карте любые перемещения внутри зоны непосредственного осуществления операции, такие, например, как взятие инструмента, перемещение отчетного документа на столе исполнителя и т.п., считаются частью операции, а не транспортировкой. Но если человек или предмет должен переместиться в другое место, то эта операция должна обозначаться как транспортировка.

Квадрат обозначает контроль или сравнение результатов с плановым или стандартными показателями, в том числе проверку единицы продукции по качественным и количественным показателям, контроль результатов испытаний, прочтение документов перед принятием определенного решения и т.д. Подсчет деталей, выявление ошибок в документе, сравнение полученных данных с предшествовавшими указаниями – все эти действия относятся к операциям контроля и должны обозначаться прямоугольниками. Во многих процессах контроль часто совмещается с другой операцией; например, при подсчете деталей перед их отгрузкой рабочий производит также их осмотр. В этом случае мы можем употреблять два символа, вписав кружок внутрь квадрата.

Прописная буква D употребляется для обозначения временных задержек, например, когда человек прерывает работу, или письмо лежит в почтовом ящике, ожидая выемки, или данные, которые должны быть переданы со спутника на наземную станцию по системе телеметрической связи, ожидают своей очереди в буферном запоминающем устройстве. Изделия, ожидающие своей очереди на соответствующее обслуживание, или изделия, ожидающие погрузки, также должны обозначать прописной буквой D.

Треугольник обозначает накопление, хранение, что имеет место тогда, когда детали или изделия преднамеренно хранятся в пассивном состоянии, например, запчасти на складе, информация в оперативной памяти ЭВМ или на диске для последующего использования, записи в файлах.

Различие между хранением и задержкой состоит в том, что первое планируется и осуществляется преднамеренно, в то время как второе не подчиняется контролю и не планируется.

Располагая подобным набором символов, мы можем описать любую процедуру или процесс. Технологическая карта строится сравнительно просто и может иметь несколько различных форм.

Другим способом визуализации любых процессов является использование технологических диаграммы в сочетании с технологической картой. Технологическая диаграмма дает нам возможность отобразить ход процесса, как бы «на местность» того реального производственного помещения, где этот процесс протекает. Операция и другие события пронумерованы так, что мы можем сравнить их с технологической картой. Такая схема позволяет выявить узкие места процесса, где могут возникнуть помехи и снизить эффективность всего

производственного комплекса. Для изучения более сложных операций, при которых обрабатывается несколько изделий или множество копий одного документа, могут использоваться различные варианты сочетаний технологических карт и технологических диаграмм.

Построим технологическую карту для данного технологического процесса, а именно – формование заготовки верха обуви и крепление подошвы.

Таблица А.2 – Технологическая карта

Подробное описание	Операция	Транспортировка	Контроль	Задержка	Хранение	Количество	Длительность	Исключается	Объединяется	Изменения			Улучшение	Примечание
										Последовательность	Место	Лицо		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Увлажнение и разогрев заготовок паром	○													
Одевание заготовок на колодки	↓													
Проверка положения заготовок на колодках			□											
Околачивание шва					D									
Проклеив. штробельного шва в пяточной части					D									
Вставка временного вкладыша под шнуровку					D									
Временное шнурование заготовок на колодках с подтягиванием берца и закреплением шнурка на бирку					D									
Увлажнение заготовок на колодках	○													
Загрузка обуви в ВТО-О					D									
Термофиксация обуви	○													
Контроль качества формовочных процессов			□											
Отделка обуви на колодках					D									
Околачивание					D									
Обслуживание ВТО-О					D									
Выравнивание верхней площадки колодок					D									
Раскладывание колодок с заготовками на тележки					D									

Окончание таблицы А.2

Сушка вкладышей					D										
Поднос вкладышей к литьевому агрегату					↓										
Доставка, подготовка и составление ПУ композиции					↓										
Загрузка заготовок на колодках в ячейки литьевого агрегата					↓										
Выполнение отжима прессформой на заготовке, подправка колодок, околачивание шва					↓										
Промазывание заготовок клеем в носочной и пяточной части					↓										
Взъерошивание заготовок по отжиму					↓										
Установка колодки с заготовкой на штуцер литьевого агрегата, подправка колодок, установка вкладыша					↓										
Очистка пресс-форм от остатков полиурет. массы					↓										
Чистка мундштука смесительной головки					↓										
Нанесение разделительной смазки					↓										
Литье ПУК на след заготовки					↓										
Съемка обуви на колодках с литьевого агрегата					↓										
Удаление литников					↓										
Отгибка выходов ПУК					↓										
Загрузка обуви в охладит. установку	○														не осущ.
Выгрузка обуви из охладит. установки	↓	○													не осущ.
Удаление временной шнуровки и вкладыша						D									
Съемка обуви с колодок	○														

Анализируя таблицу можно сделать вывод на следующие операции влияют на формоустойчивость обуви:

1. Увлажнение и разогрев заготовок паром.
2. Одевание заготовок на колодки.
3. Увлажнение заготовок на колодках.
4. Снятие обуви с колодок.

Также на формоустойчивость обуви будет влиять предварительное формование заготовке. В таблице А.3 представлены значения технологических параметров данных операций и измеренные их значения.

Таблица А.3 – Параметры технологического процесса

Операция	Значения по технологическим картам	Измеренные значения
1. Разогрев в активаторе	$T_3 = (160-200)^\circ\text{C}$ $t_3 = (15-20) \text{ с}$	$T_3 = (145-180)^\circ\text{C}$ $t_3 = (15-25) \text{ с}$ $T_{\text{заг. верх.}} = (25-80)^\circ\text{C}$ $T_{\text{заг. подкл.}} = (20-110)^\circ\text{C}$
2. Формование на пуансоне	$t = (13-18) \text{ с}$	$T_{\text{пуан.}} = (26-27)^\circ\text{C}$ $T_{\text{заг. верх.}} = (20-39)^\circ\text{C}$ $T_{\text{заг. подкл.}} = (18-36)^\circ\text{C}$
3. Увлажнение паром	–	$T_{\text{штык}} = (80-95)^\circ\text{C}$ $t = 1 \text{ мин } 20 \text{ с.}$ $T_{\text{на обор.}} = (50-91)^\circ\text{C}$ $T_{\text{после снятия}} = (22-65)^\circ\text{C}$
4. ВТО	$T = (160-180)^\circ\text{C}$ $T = (110-130)^\circ\text{C}$ $t = (3-4,5) \text{ мин}$	$t = 40 \text{ с.}$ $T_{\text{передвозд.}} = (22-31)^\circ\text{C}$ $T_{\text{послевозд.}} = (40-65)^\circ\text{C}$

В результате чего можно выделить следующие факторы, позволяющие оптимизировать технологический процесс: температура, время, влажность и деформация заготовки. Деформация заготовки зависит от ее конструкции, размеров и формы колодки и пуансонов. Время является фактором производительности труда и объема выпускаемой продукции на потоке. В связи с указанным выше мы застабилизируем деформацию заготовки и время выполнения операций. Оптимальная влажность для создания хорошей формоустойчивости обуви составляет 25-30 % [2, 23]. Однако при контактном увлажнении возможен привес влаги 3-6 % [1]. Поэтому варьировать фактором влажности будем в пределах 14-20 %, т. к. 14 % – количество влаги, находящееся в натуральных кожах (неувлажненных), а 20 % – это максимально возможная влажность материалов заготовки, достигаемая при контактном увлажнении. Деформацию заготовки застабилизируем на уровне 10 %, так как это средняя величина деформации заготовки при внутреннем способе формования. Температуру будем варьировать в пределах 22–65 °С, т. к. 22 °С – это температура воздуха в цехе, а 65 °С – это измеренная температура заготовки верха обуви на выходе из ВТО.

Используя таблицы А.4 и А.5 и уравнение А.1 рассчитаем статическую формоустойчивость обуви. Для этого воспользуемся данными, приведенными в работе [3, с. 107].

Таблица А.4 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Сим- вол	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		–	0	+	
Влажность кожи W, %	X ₁	20	25	30	5
Удлинение материала ε ₁ , % при σ = 9,81 МПа	X ₂	9,5	14,25	19	4,75
13 – 15		9,5	20,00	30,5	10,5
24 – 26		9,5	20,00	30,5	10,5
34 – 36					
Температура воздуха в су- шилке Т, °С	X ₃	80	100	120	20

Таблица А.5 – Рабочая матрица и результаты эксперимента (двухосное растяжение)

№	Рабочая матрица			Значение параметра оптимизации				
	W, %	ε, %	T, °С	E ₁ ^C	E ₂ ^C	E ₃ ^C	E ₄ ^C	E _{ср.} ^C
1	20	9,5	80	72,0	71,8	68,6	70,0	70,6
2	30	9,5	80	82,0	80,0	82,2	80,0	81,1
3	20	19	80	68,6	73,4	72,3	71,3	71,4
4	30	19	80	79,0	82,2	79,7	82,3	80,8
5	20	9,5	120	65,8	65,5	66,2	66,7	66,0
6	30	9,5	120	81,4	82,1	80,0	78,1	80,4
7	20	19	120	67,9	68,2	68,6	68,7	67,9
8	30	19	120	77,2	78,4	76,0	75,6	76,8

Рассчитаем значение формоустойчивости для нашего технологического процесса воспользовавшись уравнением вида [3, с. 108]:

$$Y_C = 74,37 + 5,39X_1 - 1,59X_3 - 0,72X_1X_2 + 0,54X_1X_2X_3. \quad (A.1)$$

Проверку адекватности проводим по критерию Фишера для 5 % уровня значимости: $F_{\text{расч.}} = 1,41$, $F_{\text{табл.}} = 3,01$. Доверительные интервалы для коэффициента регрессии: $\Delta b_j = \pm 0,52$.

Если $X_1 = 14$ %, $X_2 = 10$ %, $X_3 = 22$ °С, то $Y_C = 58$ %.

Если $X_1 = 20$ %, $X_2 = 10$ %, $X_3 = 65$ °С, то $Y_C = 69$ %.

Если $X_1 = 14$ %, $X_2 = 10$ %, $X_3 = 65$ °С, то $Y_C = 60$ %.

Если $X_1 = 20$ %, $X_2 = 10$ %, $X_3 = 22$ °С, то $Y_C = 68$ %.

Для анализа полученных значений статической формоустойчивости используем метод Харрингтона: 0,00-0,20 «очень плохо»; 0,20-0,37 «плохо»; 0,37-0,63 «удовлетворительно»; 0,63-0,80 «хорошо»; 0,80-1,0 «очень хорошо». Полученные значения относятся к группе «удовлетворительно» и «хорошо», что свидетельствует о недостаточной формоустойчивости и последующем появлении таких дефектов как отдушистость, отмин и складкообразование.

Для достижения наилучшей формоустойчивости с помощью уравнения (A.1) определим оптимальные значения параметров.

Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 69 \%$.
 Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 69 \%$.
 Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 70 \%$.
 Если $X_1 = 20 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 67 \%$.
 Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 77 \%$.
 Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 76 \%$.
 Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 74 \%$.
 Если $X_1 = 25 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 73 \%$.
 Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 84 \%$.
 Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 83 \%$.
 Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 80 \%$.
 Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 78 \%$.
 Если $X_1 = 30 \%$, $X_2 = 10 \%$, $X_3 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, то $Y_C = 84 \%$.

Анализируя полученные значения, мы можем говорить: чтобы достичь оптимальной формоустойчивости, необходимо увлажнять заготовку до 25–30 % влажности.

Таким образом, исследованный технологический процесс не является оптимальным, так как не обеспечивается достаточной формоустойчивости обуви (не менее 75 %).

С целью повышения качества выпускаемой продукции нужно провести следующие мероприятия:

- увеличить длительность увлажнения заготовки верха обуви (до 3 минут);
- увеличить температуру воздуха в ВТО.

Однако, как и следовало ожидать, превалирующим фактором является влажность материала заготовки верха обуви из натуральной кожи. Практически это можно сделать следующим образом – добавить операцию: увлажнение в жидкой фазе с последующей пролежкой заготовки в течение часа.

Приложение Б

Таблица Б.1 – Технологический маршрут раскроя и обработки деталей верха и подкладки мужских полуботинок, модель 43001 ф. к. «Kris»

№	Наименование операции	Оборудование	Инструмент	Вспомогательные материалы
1	2	3	4	5
1.	Растяжка эластичного кожтовара на барабане, отметка пороков на кожтоваре	барабан для растяжки кож	серебряный стержень	эластичный к/товар т.1,4-1,6мм
2.	Раскрой деталей верха: – овальная вставка – 2; – обсоюзка – 2; – берец нар. – 2; – берец внут. – 2; – боковинка – 4; – язычок – 2; – задинка – 2	ПКП-10	комплект резаков	эластичный к/товар т.1,4-1,6мм
3.	Подбор парников. Связка в пачки. Раскладывание в ящик. Сдача в кладовую	стол	купонное кольцо	
4.	Раскрой деталей к/подкладки: – подкладка под берец наружная – 2; – подкладка под берец внутренняя – 2; – карман – 2; – подкладка под язык – 2; – вкладная стелька – 2	ПКП-10	комплект резаков	к/подкладка т. 0,8-1,0
5.	Подбор парников, связка в пачки. Раскладывание в ящики. Сдача в кладовую	стол	купонное кольцо	
6.	Составление настилов текстильных материалов	стол для настила	ножницы	проволока для настилов d=0,8мм
7.	Раскрой подкладки под союзку-2 (в 18 слоев)	ПТО-40	комплект резаков	трикотаж с т/п ТП 180П-КР
8.	Раскрой межподкладки (в 18 слоев): – м/п овальную вставку – 2	ПТО-40	комплект резаков	трикотаж с т/п MPS 220
9.	Раскрой межподкладки (в 18 слоев): – м/подкладку под обсоюзку – 2; – м/подкладку под отр. деталь обсоюзки – 2; – м/подкладку под берцы – 4; – м/подкладку под задинку – 2; – м/подкладку боковинку – 4	ПТО-40	комплект резаков	трикотаж с т/п ТП 180П-7С

Окончание таблицы Б.1

10.	Раскрой межподкладки (в 18 слоев): – межподблочник наружный – 2; – межподблочник внутренний – 2; – межподкладка под боковинку – 2	ПТО-40	комплект ре- заков	нетканое полотно
11.	Раскрой вставки в мягкий кант – 2	ПКП-10	комплект ре- заков	поролон т.10 мм
12.	Раскрой подпяточника – 2	ПКП-10	комплект ре- заков	вспененный ла- текс с липким сло- ем т. 3 мм
13.	Раскрой упрочнителя вкладной стельки – 2	ПТО-40	комплект ре- заков	лекан
14.	Раскрой втачной стельки – 2	ПТО-40	комплект ре- заков	ibitex
15.	Связка в дневки. Сдача в кладовую	стол	ножницы	купонное кольцо, шпагат, маркер
16.	Транспортировка кроя на участок обработки	тележки, ящики		
17.	Подписывание парников: – 8 деталей верха на п/пару; – 4 деталей подкладки на п/пару	стол	серебряный стержень	
18.	Выравнивание деталей верха по толщине: – 4 дет. верха на п/пару (по необх.).	МДВ-О	толщиномер	
19.	Профилирование деталей по тол- щине (3 деталей на п/пару)	МДВ-О	нож	шаблоны
20.	Клеймение реквизитов на вкладных стельках (номер пачки, парник, раз- мер) (2 на пару)	КДВ		фольга
21.	Спускание краев деталей верха обу- ви (8 на п/пару)	SS-20	толщиномер	
22.	Спускание краев деталей подкладки (4 на п/пару)	SS-20	толщиномер	
23.	Контроль качества кроя	стол	печать	штемпельная краска
24.	Комплектовка кроя, запуск кроя для транспортировки на швейную ленту	стол		
25.	Транспортировка кроя на швейную ленту	тележка, ящики		

Таблица Б.2 – Технологический маршрут изготовления деталей низа мужских полуботинок модель 43001 ф.к. «Kris»

№ п/п	Наименование операций	Оборудование	Инструменты	Вспомогательные материалы
1	2	3	4	5
1.	Подготовка настила для разруба подноски. Скалывание слоев настила	стол	нож	проволока
2.	Разруб подносков в 6 слоев. Счет. Связка	пресс ПКП-16	комплект резаков	термопласт. материал купон.кольцо, маркер
3.	Подготовка настила для разруба задников. Скалывание слоев настила	стол	нож	проволока
4.	Разруб задников в 6 слоев. Счет. Связка	ПКП-16	резаки Н-32	термопласт. материал купон.кольцо, маркер
5.	Спускание подноски по переднему краю	АСГ-12	нож форт., фортунн. камень	линейка
6.	Спускание задников по периметру	АСГ-12	нож фор. камень форт.	линейка
7.	Разруб бирки для временного шнурования	пресс ПКП-16	резаки	
8.	Клеймение фирменного знака на вкладные стельки			фольга
9.	Подготовка настила для разруба вкладышей в носочную часть	стол	нож	проволока
10.	Разруб вкладышей в подошву. Счет	ПКП-16	резаки Н-32	отходы ПУ
11.	Разруб вкладышей в носочную часть. Счет	ПКП-16	резаки Н-32	картон, маркер
12.	Загрузка гранул в бункер машины. Литье. Съем изделий (геленков) с машины. Охлаждение. Нарезка	ZPS - SM ф. «Svit»		
13.	Прикрепление геленков с вкладышем в подошву по ориентирам (2 скобы на п/пару)	БШП-5		проволока
14.	Намазка и наклеивание амортизирующего слоя на вкладную стельку	стол		клей Ирутекс
15.	Намазка клеем упрочнителя вкладной стельки, вкладной стельки. Сушка. Склеивание	Приспособление		клей Ирутекс
16.	Дублирование стелек	ДВ-О		
17.	Комплектовка стелек	стол		купонная резинка, маркер
18.	Транспортировка готовых деталей в цех	тележка		

Таблица Б.3 –Технологический маршрут сборки заготовок мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления модель 43001ф.к. «Kris»

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Инструмент	Вспомогательные материалы
1	2	3	4	5
1.	Нанесение линий наметки на детали верха (3 дет. на п/п)	стол	стержень	шаблоны
2.	Нанесение линий центра на союзки	стол	стержень	шаблоны
3.	Оплавление краев деталей эластичной ленты с двух сторон (2 дет. на п/пару)	маш. воздуш. типа с присп.		
4.	Нарезка, наклеивание упрочнительной ленты на союзку под загибку (1 отр. на п/п)	стол	ножницы	«Mistex» шир.4 мм
5.	Нарезка, наклеивание упрочнительной ленты на берцы по зат. кромке (2 отр. на п/п)	стол	ножницы	липк. лента х/б шир.15 мм
6.	Выполнение плетения на берцах	стол	ножницы	
7.	Намазка концов продержки, сушка, приклеивание к берцам	стол с подсушк.	сосуд, кисть, молоток	клей Луч ПХК-2051
8.	Нарезка, наклеивание липкой ленты на продержку	стол	ножницы	л. лента ш. нейлон 15 мм.
9.	Расслаивание м/подкладки, дублирование м/подкладки с дет. верха (5 дет. на п/пару). Обрезка ниток (по необ.)	ДВ-О	ножницы	
10.	Обжиг видимых краев деталей верха (5 дет. на п/пару).	стол с присп.		
11.	Окрашивание видимых краев деталей верха (7 дет. на п/пару)	камера АК-О	пульверизатор, сосуд	краска водная
12.	Сострачивание передних краев подкладки под берцы по переднему краю переметочной строчкой с доп. закр.	72.527 кл	134-KKS-100	70лл/70лл
13.	Нарезка и наклеивание упрочнительной ленты на кожподкладку на переметочную строчку	стол	ножницы	л. лента нейлон.ш. 15 мм
14.	Настрачивание деталей к/подкладки под берцы на текстильную подкладку под союзку с доп. закр.	31 ряда или 330-8 кл	134-KKS-90	70лл/70лл
15.	Пристрачивание деталей подкладки под берцы к к/карману с доп. закр.	31 ряда или 330-8 кл.	134-KKS-90	70лл/70лл 70лл/44лх(нелик.)

Продолжение таблицы Б.3

1	2	3	4	5
16.	Намазка клеем деталей резинок по наметке, намазка клеем деталей отделки на резинку по площади, сушка. Наклеивание отделки на резинку по наметке, склеивание, околачивание	стол с подсушк.	сосуд, кисть, молоток	клей Луч ПХК-2051
17.	Настрачивание отделки на резинку по наметке с доп. закр.	330-8кл., 31 ряд	134-LLCR-100	70л/70лл
18.	Строчка ажюра на берцах по наметке	330-8кл., 31 ряд (или 72.414-102)	134-LLCR-90 (или 134-LL-90,134-LR-90)	70л/70лл
19.	Настрачивание берец на верхнюю деталь союзки с доп. закрепкой	330-8кл., 31 ряд	134-LLCR-90	70л/70лл
20.	Настрачивание союзки на верхнюю деталь союзки с доп. закрепкой	330-8кл., 31 ряд (или 72.414-102)	134-LLCR-90 (или 134-LL-90,134-LR-90)	70л/70лл
21.	Загибка союзки по верхнему краю. Удаление излишков клея, ручная подправка	COM-42		клей-расплав G-11,G-12, шаблоны
22.	Увлажнение выточки задинки	стол, эл. плитка	сосуд, кисть	увлажни-тель
23.	Стачивание выточки	Pfaff 3806	4463-KKS-90	40/3/40/3
24.	Фрезерование выточки задинки	01168	фреза	
25.	Разглаживание выточки задинки с одновременным наклеиванием упрочнительной ленты	РЗШ-О	ножницы	лента липк. нейлон. 16мм (Texband)
26.	Настрачивание задинки на берцы с доп. закрепкой	72.414-102	134-LL-90 134-LR-90	70л/70лл
27.	Намазка клеем деталей резинки, берцев и верх.дет. союзки в обл. резинки. Сушка. Наклеивание резинки. Околачивание	стол с подсушк.	сосуд, кисть, молоток	клей Луч ПХК-2051
28.	Увлажнение заготовок по верхнему канту	стол, эл. плитка	сосуд, кисть	увлажни-тель
29.	Встрачивание «узла» подкладки в «узел» верха с тесьмой, с доп. закр.	332 кл	134-KKS-90	70л/70лл, тесьма 2 мм
30.	Околачивание тачных швов	стол с присп.	молоток	
31.	Намазка клеем деталей поролона, верха и подкладки, припуска текстильной подкладки. Сушка	стол с выт.	сосуд, кисть	клей НК-10%
32.	Наклеивание деталей поролона, равномерное выворачивание к/подкл., расправка к/подкл., склеивание верха с подкладкой, приклеивание припуска текст.подкл. Околачивание	стол, плита	молоток	

Окончание таблицы Б.3

1	2	3	4	5
33.	Строчка канта заготовки с одновременным пристрачиванием эластичной ленты, с обрезкой излишков к/подкл., вырезание к/подкл. под эластичной лентой, с доп. закрежкой. Ручная подправка	471 кл, 72.406-101, 418i Durkopp Adler	134-LLCR- 90, ножницы	70л/70лл
34.	Вырезание подкладки под резинкой	стол	ножницы	
35.	Окрашивание видимых краев к/подкладки по канту. Сушка	стол с вытяжкой	сосуд, кисть	краска водная
36.	Нанесение клея и подклеивание к/подкладки под берцы к берцам. Активация подносков, вставка подноски в заготовку по наметке, нанесение клея, выкладывание подкладки, дублирование верха с подкладкой и подноском	интегрированное рабочее место ф. «Sarema»	сосуд, пульверизатор	клей Ирутекс, синтепон
37.	Обрезка излишков подкладки по затяжной кромке	спецприспособление	нож	
38.	Припосаживание носочной части заготовок с одновременным прокладыванием тесьмы. Намотка тесьмы	м-на 3811-2/04	4463-35-100	86л/70лл тесма 2мм.

Таблица Б.4 – Технологический маршрут пошива и отделки мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления, модель 43001ф.к. «Kris»

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Инструмент	Вспомогательные материалы
1	2	3	4	5
1	Транспортирование заготовок на пошивочный участок	тележка		
2	Запуск заготовок и колодок. Раскладка на тележки по 9 пар. Разбор колодок по размерам	тележка		
3	Увлажнение верхнего канта по всему периметру, закрепок с наружной и внутренней стороны перед запуском заготовок	стол	сосуд, кисть	увлажнитель-ДС4501(концентрат)
4	Увлажнение и разогрев заготовок паром. Одевание заготовок на колодки. Проверка положения заготовок на колодках. Околачивание шва, скрепляющего заготовку с втачной стелькой по всему периметру	приспособл. для разъема колодок, приспособл. для увлажнения нос.ч-ти паром	молоток ПВХ, лопаточка,	
5	Проклеивание штробельного шва в пяточной части	стол		бумажная липкая лента шириной 25 мм
6	Вставка временного вкладыша под шнуровку	тележка		картонный вкладыш
7	Временное шнурование заготовок на колодках с подтягиванием берца и закреплением шнура на бирку	тележка		шнурок с биркой
8	Увлажнение заготовок на колодках. Загрузка обуви в ВТО-О. Термофиксация обуви	ВТО-О		увлажнитель ОП-7, спирт, глицерин
9	Контроль качества формовочных процессов. Отделка обуви на колодках путем разглаживания морщин роликом спецприспособления, феном. Околачивание. Обслуживание ВТО-О	стол, спец. приспособление, фен, ВТО-О	обувной молоток	крем силиконовый, фторопласт
10	Выравнивание верхней площадки колодок	приспос. конструкции фабрики		
11	Раскладывание колодок с заготовками на тележки с учетом размерного ассортимента на агрегате	тележки		
12	Транспортирование колодок с заготовками к литьевому агрегату	тележки		

Продолжение таблицы Б.4

1	2	3	4	5
13	Сушка вкладышей. Поднос вкладышей к литьевому агрегату. Доставка, подготовка и составление ПУ композиции для прямого прилива подошв на агрегате «Десма» с проведением регламентных работ	сушильный шкаф, печь, технолог. весы, эл. мешалки, агрегат 581-18, тележка	металл. корзинки	вкладыши с геленком, активатор, полиэфир, красящая паста, предполимер
14	Загрузка заготовок на колодках в ячейки литьевого агрегата. Выполнение отжима пресс-формой на заготовке, подправка колодок, околачивание шва. Промазывание заготовок клеем в носочной и пяточной части. Взъерошивание заготовок по отжиму. Установка колодки с заготовкой на штупер литьевого агрегата, подправка колодок, установка вкладыша. Очистка пресс-форм от остатков полиурет. массы. Чистка мундштука смесительной головки. Нанесение разделительной смазки. Литье ПУК на след заготовки. Съемка обуви на колодках с литьевого агрегата. Удаление литников. Отгибка выходов ПУК. Загрузка обуви в охладит. установку	литьевого агрегат, машина для взъерошивания, охладительная установка	сосуд, кисть, пульверизатор, емкость, нож	клей НК-10%, бензин, набор шарошек, разделительная смазка, рукавицы, ПУК
15	Выгрузка обуви из охладительной установки. Удаление временной шнуровки и вкладыша. Съемка обуви с колодок	тележки, приспособл. для разъема колодок		
16	Транспортирование колодок к запуску	тележки		
17	Транспортирование обуви к отделочному участку. Удаление выпрессовок по периметру подошвы	тележки	нож ручной	
19	Чистка обуви от резинового клея щетками	ХПП-О	волосая щетка	
20	Мытье обуви (по необходимости)	стол с вытяжкой	ветошь, сосуд	бензин (нефрас С2 80/120)
21	Чистка и отделка верха обуви и подкладки. Заделка дефектов. Удаление выпрессовок, заделка недоливов на подошве	стол с вытяжкой, эл. плитка	утюжки	АГО, воск. карандаш, этилацетат, клей «Луч 3072», шлиф. шкурка, резинка, фторопласт
22	Ретуширование верха обуви	стол с вытяжкой	сосуд, кисть	н/эмаль НЦ-583, этилацетат
23	Нанесение финишного крема на верх обуви вручную. Сушка	стол с вытяжкой	губка, сосуд	крем «Sirio»

Окончание таблицы Б.4

1	2	3	4	5
24	Обработка обуви на щетке с абразивным воском	ХПП-1-О	нитевая щетка	воск абразивный
25	Полирование верха обуви	ХПП-1-О	нитевая щетка	воск полировочный
26	Шнурование готовой обуви	стол		шнурки
27	Контроль качества готовой обуви	стол	печать, сосуд	мел, мастика штемпельная, тех. ацетон
28	Вставка вкладышей в носочную часть	стол		вкладыши
29	Загрузка готовой обуви в люльки перекидчика	стол, перекидчик		
30	Съемка с перекидчика и перекладывание готовой обуви на тележку	тележка		
31	Наклеивание пиктограмм на подкладку	стол		пиктограмма
32	Сборка коробок и крышек. Складывание в стопы	стол		коробочный крой
33	Намотка и нарезка шпагата	стол	шпагат	ножницы
34	Вкладывание в коробку с готовой обувью инструкции по эксплуатации обуви	стол		инструкции
36	Клеймение номера упаковщика на этикетке штампом. Промывание печати	стол	сосуд, печать	мастика штемпельная, тех. ацетон
37	Наклеивание этикеток на коробки	стол		коробки
38	Складывание коробов. Проклеивание скотчем. Упаковка коробов в короба	стол	приспособ. скотч	короба, скотч
39	Сортировка. Складывание коробов с готовой обувью по фасонам, размерам, подготовка для сдачи на склад. Учет готовой обуви	тележка	тетрадь, ручка	стержни

Примечание: при выполнении операции № 39, операции № 33 и 38 не выполняются.

Заключение

Оптимизация технологического процесса позволяет не только улучшить процесс производства, снизить затраты, но и повысить качество производимой продукции и престиж предприятия. Потребитель при эксплуатации обуви оценивает качество готовой продукции визуальным способом и в первую очередь замечает пороки, связанные с низкой формоустойчивостью.

Анализируя технологический процесс производства мужских полуботинок строчечно-литьевого метода крепления, можно сказать о необходимости корректировки температурных режимов влажно-тепловой обработки, времени и процента влаги, находящихся в натуральной коже.

При изучении литературных источников были выделены следующие факторы, влияющие на формоустойчивость при производстве:

- физико-механические свойства материала верха и низа;
- конструкция заготовки обуви;
- увлажнение заготовки;
- величина и характер распределения деформаций по площади заготовки при затяжке;
- фиксация формы;
- продолжительность нахождения обуви на колодке;
- гигрометрические параметры воздуха в цеху;
- условия транспортирования и хранения обуви.

Применяя технологические карты по методу Шеннона, были выделены основные технологические операции, влияющие на формоустойчивость обуви:

1. Увлажнение и разогрев заготовок паром.
2. Одевание заготовок на колодки.
3. Увлажнение заготовок на колодках.
4. Снятие обуви с колодок.

Также на формоустойчивость обуви будет влиять предварительное формование заготовки. Таким образом, можно выделить следующие факторы, позволяющие оптимизировать технологический процесс: температура, время, влажность и деформация заготовки.

В результате проведенной работы было определено оптимальное значение влажности заготовки – до 25-30 %. С целью повышения качества выпускаемой продукции нужно провести следующие мероприятия:

- увеличить длительность увлажнения заготовки верха обуви (до 3 минут);
- увеличить температуру воздуха в ВТО до 90 °С.

Также целесообразно добавить операцию: увлажнение заготовок жидкой фазе с последующей их пролежкой в течение часа.

Ниже приводится список рекомендуемой литературы для выполнения данной работы.

Список рекомендуемой литературы

1. Михеева, Е. Я. Справочник обувщика (Технология) : учеб. пособие / Е. Я. Михеева, Г. А. Мореходов, Т. П. Швецова и др. – Москва: Легпромбыт-издт, 1989. – 416 с.
2. Зыбин, Ю. П. Технология изделий из кожи : учебник для студентов / Ю. П. Зыбин. – Москва : Легкая индустрия, 1975. – 464 с.
3. Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формирования верха обуви : моногр. / А. Н. Буркин. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – 220 с.
4. Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи : учебник для студентов / Ю. П. Зыбин. – Москва : Легкая индустрия, 1966. – 318 с.
5. Фурашова, С. Л. Гигротермические процессы и оборудование в технологии обуви : курс лекций / С. Л. Фурашова, К. А. Загайгора. – Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – 90 с.
6. Кавказов, Ю. Л. Тепло и массообмен в технологии кожи и обуви / Ю.Л. Кавказов. – Москва : Лёгкая индустрия, 1973. – 272 с.
7. Хрипин, А. Г. К вопросу термообработки обувных материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев, И. М. Шляпников и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1972. – №6. – С. 95-99; 1973. – №5 – С. 91-96; 1974. – №5. – С. 71-75.
8. Ратаутас, А. С. Гигротермическая фиксация формы изделий из кожи / А. С. Ратаутас // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1974. – №2. – С. 65-70.
9. Кравченко, А. Д. Термофиксация кожи хромового дубления при двухмерном растяжении / А. Д. Кравченко // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – №9. – С. 45-47.
10. Дзевульский, В. А. Вакуумная сушка обуви / В.А. Дзевульский и др. // Обзорная информация. Обувная промышленность. – 1976. – вып. 9. – 37 с.
11. Таубин, М. Г. Гигротермическое оборудование обувного производства / М. Г. Таубин, З. А. Вапник. – Москва: Лёгкая индустрия, 1978. – 158 с.
12. Хрипин, А. Г. Термофиксация искусственных и синтетических материалов / А. Г. Хрипин, Я. Ф. Чередниченко, Э. А. Бабаев и др. // Изв. вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1976. – №2. – С. 59-64.
13. Михайлов, А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки / А.Н. Михайлов. – Москва: Лёгкая индустрия, 1971. – 528 с.
14. Страхов, И. П. Химия и технология кожи и меха / И. П. Страхов, Ю. Н. Аронина, Л. П. Гайдаров и др.; под ред. И.П. Страхова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Лёгкая индустрия, 1970. – 632 с.
15. Кутянин, Г. И. Термостойкость и износостойкость кожи / Г. И. Кутянин, Р. С. Уруджев. – Москва: Лёгкая индустрия, 1973. – 168 с.
16. Луцык, Р. В. Влияние температуры сушки на структуру пор кожи хромового метода дубления / Р. В. Луцык, А. Ф. Мельникова // Кожевенно-обувная промышленность. – 1974. – №3. – С. 53-55.

17. Насерова, Ш. И. Влияние температуры сушки в сушилке «Поливак» на структуру и свойства кож / Ш. И. Насерова, А. А. Денисова, Г. Н. Типтева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 7. – С. 20-21.

18. Минтаханова, Т. М. Исследование влияния некоторых способов сушки на физические свойства кожевенных материалов / Т. М. Минтаханова, Н. Ю. Маяускене // Материаловедение и технология изделий из кожи : сборник. – Вильнюс. – 1978. – С. 31-34.

19. Климчук, Г. С. Исследование влияния относительной влажности воздуха на изменение размеров кожаных изделий: автореферат диссертации ... кандидата технических наук: 05.19.06 / Г. С. Климчук; Московский технологический институт легкой промышленности. – Москва, 1971. – 31 с.

20. Любич, М. Г. Свойства обуви / М. Г. Любич. – Москва: Лёгкая индустрия, 1969. – 256 с.

21. Кавказов, Ю. Л. Гигиенические свойства обуви / Ю. Л. Кавказов // Научные труды МТИЛП / Моск. технол. ин-т легк. пром-ти. – Москва, 1962. – №22. – С. 193-216.

22. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва : Мир, 1988. – 418 с.

23. Фукин, В. А. Технология изделия из кожи : учебник для вузов / В. А. Фукин, А. Н. Калита . – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 272с.