

УДК 519.876.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗ СОМНЕНИЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ALINA GPSS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА

С.С. Поздняков (Москва), М.В. Федотов, Т.В. Девятков (Казань)

Введение

Ввод в эксплуатацию нового производственного участка – сложная задача даже для опытных специалистов отрасли. Процесс становится ещё более сложным, когда речь заходит о новом типе изделия или нестандартном подходе, сопряженном со сложным нелинейным технологическим процессом. В большинстве случаев такое мероприятие сопряжено с большими материальными затратами, поэтому требует всестороннего подхода к оптимизации производства. На начальном этапе необходимо определиться с типом и количеством оборудования, отладить технологические циклы, рассчитать такты для отдельных рабочих мест, скоординировать работу участников производства.

В 2024 г. ФГУП «Авиакомплект», действующее в рамках работ Министерства промышленности и торговли РФ, выполняло работы апробации метода имитационного моделирования в цифровой среде с целью оптимизации параметров производства, используя фактические данные. На момент начала работ производство уже находилось в опытной эксплуатации и требовалось его расширение для достижения заданных объемов выпуска изделия с учетом существующих ограничений. Для определения необходимых производственных параметров специалистами компании «Авиакомплект» и «Элина-Компьютер» был проведен комплекс мероприятий в рамках научно-исследовательской работы.

Целью апробации метода имитационного моделирования в цифровой среде являлось определение возможности достижения заданного объема производства изделий с помощью нескольких технологий их изготовления, определения необходимого и достаточного количества персонала и оборудования, а также выявление «узких» мест на производстве.

В рамках проведения мероприятий были поставлены следующие задачи:

- выявление преимуществ и недостатков выбранных технологий с точки зрения особенностей протекания технологического процесса;
- определение количества персонала и производственных ресурсов, необходимых для достижения заданного уровня выпуска продукции при односменном режиме работы;
- определение объемов выпуска продукции при 3-х сменном режиме работы;
- поиск «узких мест» в производственной цепочке.

Подготовка визуальных (в т.ч. анимационных) отчетных форм, отражающих работу производства.

Для решения поставленных задач был выбран метод имитационного моделирования, разработана имитационная модель на платформе ALINA GPSS и языке GPSS World Core, проведено имитационное исследование по согласованным сценариям работы производства.

Подобная задача идеально подходит и в целом является типовой для имитационного моделирования по следующим причинам:

- модель позволяет проверять различные сценарии работы производственной системы без вмешательства и остановки реального производства; это устраняет финансовые и временные потери, а также риски выхода производства из строя;

- модель может быть изменена (расширена, упрощена или проработана) частично или полностью для получения более адекватных значений по отдельным частям производственной системы;
- встроенные инструменты позволяют проводить оптимизационные эксперименты;
- модель позволяет определять необходимые, достаточные или оптимальные значения параметров производства и определять «узкие места» на раннем этапе запуска, экономя людские и материальные ресурсы;
- с помощью имитационного моделирования можно прогнозировать результаты производственной деятельности в краткосрочной и долгосрочной перспективе;
- анимация по результатам моделирования позволяет сделать внутренние расчёты наглядными, что очень важно, как для отладки модели, так и для достижения определённого уровня доверия со стороны заказчика.

Все эти достоинства позволяют имитационной модели быть надёжным инструментом при принятии многочисленных решений на новом производстве.

Имитационная модель

Имитационная модель была разработана в среде GPSS Studio. Производственная система представлена в виде иерархической структурной схемы. Схема является логической и отражает потоки материалов, и привязку ресурсов. Элементами этой схемы являются участки, производственные операции, оборудование и персонал. На рис. 1 представлен фрагмент модели. Синими элементами обозначены технологические операции, красные обозначают ресурсы.

При подготовке модели были учтены следующие требования в части выполнения технологических операций:

- для каждой технологической операции задается время выполнения, количество рабочих, количество одновременно выполняемых потоков, ресурсы (оборудование, участок), количество элементов в партии, и ряд дополнительных параметров;
- для каждой технологической операции можно задать количество одновременно выполняемых потоков, то есть количество групп рабочих, одновременно выполняющих эту операцию с разными элементами. Такие потоки являются полностью независимыми друг от друга;
- практически все операции выполняются с использованием оборудования или на определённом рабочем месте, их количество может быть специально настроено;
- некоторые технологические операции зависят от результата выполнения одной или нескольких предыдущих операций; такие операции могут быть начаты только при наличии достаточного количества материалов и/или заготовок;
- для каждой операции можно задать размер партии элементов (материалов, заготовок), которые должны быть готовы до начала операции и обрабатываются одновременно, с точки зрения внешних показателей исполнения этой операции. Количество материалов или заготовок может быть настроено с помощью соответствующих параметров;
- операция выполняется только в том случае, если для её выполнения имеется достаточное количество элементов (соответствующих размеру партии), имеется свободный ресурс, окончание операции будет выполнено до окончания смены;
- по окончании операции рабочие перемещают результат выполнения операции (материалы, заготовки или готовые изделия) на следующую операцию или склад, согласно заданной последовательности выполнения операций;

- прерывание операции в конце рабочего дня и перенос её на начало смены следующего дня не допускается. Таким образом, каждая технологическая операция должна быть начата в рабочее время и закончена до окончания рабочего дня;
- допускается прерывание операции на технический перерыв и её продолжение по окончании такого перерыва;
- если технологическая операция не требует участия человека (например, отверждение в печи), прерывания на обеденный перерыв не происходит. Операция может быть завершена в обеденный перерыв, но работы с ней продолжатся только по окончании обеденного перерыва;
- в операции может быть настроен особый «ночной» режим работы; продолжительность и некоторые другие параметры выполнения операции в этом режиме может быть настроена отдельно.

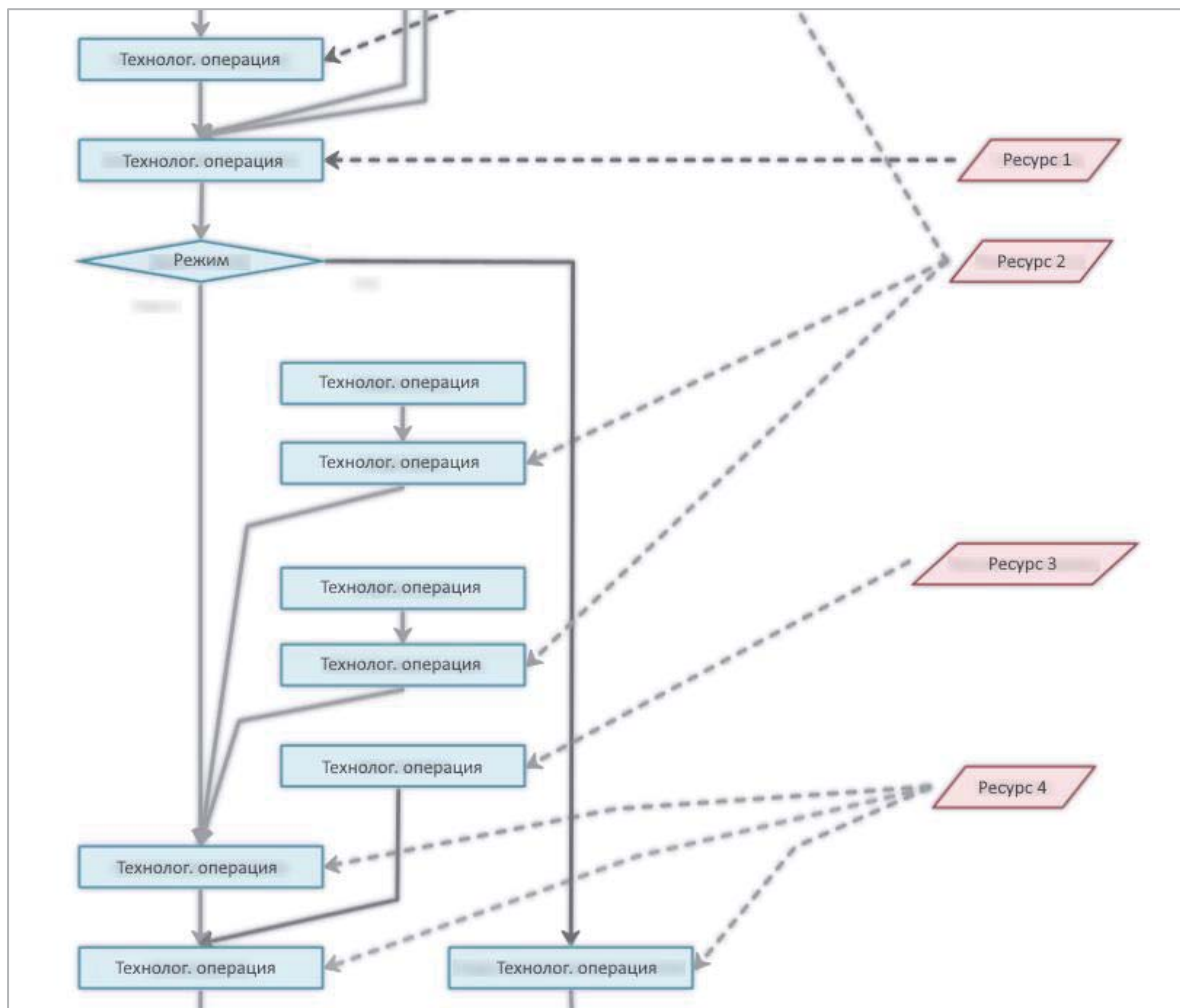


Рис. 1. Фрагмент технологии

При подготовке модели были сделаны следующие допущения в части односменного режима работы:

- общая продолжительность смены 9 час, полезная продолжительность смены 8 час;
- начало рабочего дня – 9:00. Предполагается что все подготовительные мероприятия (переодевание в рабочую одежду, подход к рабочему месту, подготовка инструмента к работе и т.п.) выполнены рабочими до этого момента времени и в 9:00 они готовы приступить к непосредственному выполнению должностных обязанностей;

- окончание рабочего дня – 18:00. Предполагается, что в это время рабочие заканчивают выполнение работы; действия по подготовке к уходу с производства (очистка инструмента, перемещение в раздевалку, переодевание в повседневную одежду и т.п.) выполняются после 18:00, то есть не включены в рабочее время;
- обеденный перерыв с 13:00 до 14:00;
- рабочая неделя состоит из 5 рабочих дней, после которых идут 2 выходных дня, в течение которых не выполняется ни одна технологическая операция.

Имитационное исследование

Имитационная модель разрабатывалась специалистами по моделированию и не является инструментом конечного пользователя. Для проведения экспериментов с моделью было разработано имитационное приложение (рис. 2).

С его помощью исследователь может задавать вручную или импортировать из Excel исходные данные по всем операциям модели, устанавливать режим работы, определять дополнительные параметры работы производства.

Большая часть функций имитационного приложения, например, подготовка данных, проведение серий экспериментов и ограниченной оптимизации, отображение результатов является стандартной для GPSS Studio. Для упрощения работы с моделью, в имитационное приложение было добавлено расширение – редактор планировки предприятия, позволяющий осуществлять размещение участков, оборудования и рабочих мест на общем плане предприятия. Площадь производства и участков, при этом, были заранее определены и зафиксированы. На рис. 3 представлен редактор с фрагментом возможной планировки производства.

Длительность, мин	Кол-во потоков	Кол-во сотрудников	Кол-во элементов
20	1	2	2
15	3	4	2
30	5	2	2
45	2	1	2
50	5	2	1
10	2	1	1
5	3	2	2
4	1	1	1
15	2	2	2
100	1	3	10
100	5	2	10
700	2	1	10
25	4	3	10
0	1	4	2
0	0	0	5
30	3	2	1
30	4	1	3
5	1	2	1
0	3	4	1
100	4	0	-1
15	1	1	1
15	2	3	2
5	3	1	1
0	1	2	2

Рис. 2. Главное окно имитационного приложения

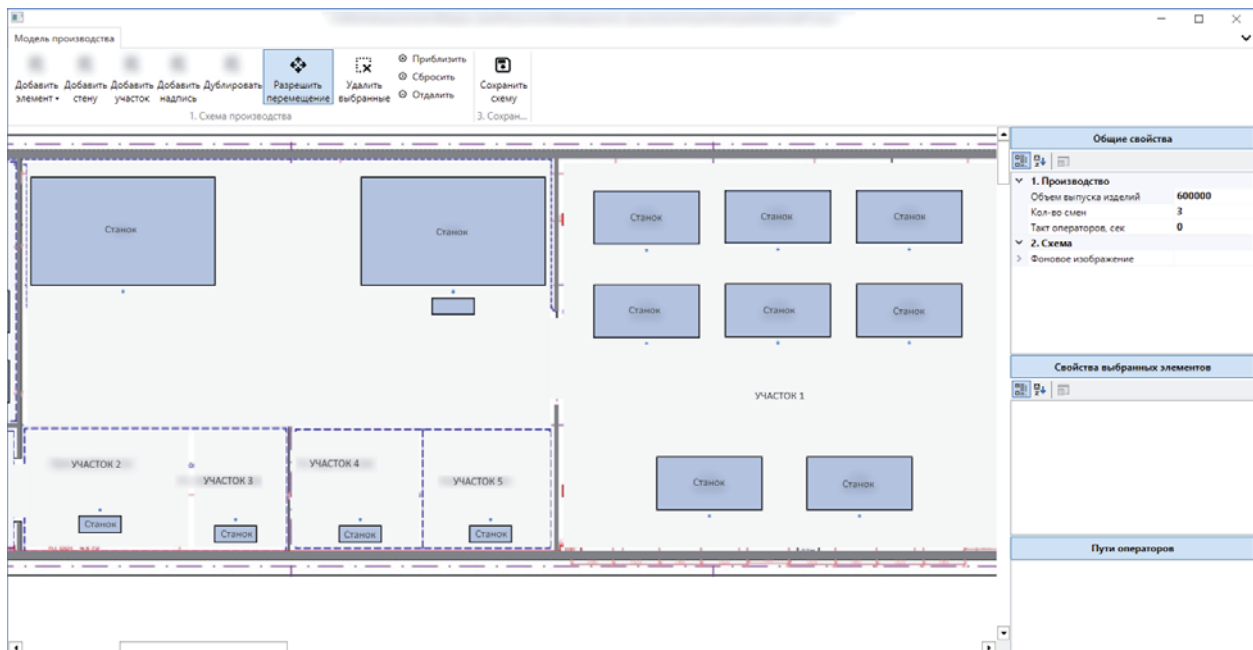


Рис. 3. Редактор планировки производственного участка

С помощью данного приложения было выполнено имитационное исследование и проведены группы экспериментов для решения следующих задач:

- определение количества персонала и производственных ресурсов, необходимых для достижения заданного объема выпуска продукции при односменном режиме работы;
- определение количества персонала и производственных ресурсов, необходимых для достижения утроенного объема выпуска продукции в месяц при 3-х сменном режиме работы;
- определение объемов выпуска продукции в месяц, при фиксированном наборе персонала и производственных ресурсов;
- поиск «узких мест» в производственной цепочке.

При проведении экспериментов проверялись две технологии изготовления изделия, используемые на производстве. Данные технологии отличаются не всем составом оборудования и технологических операций, а только частью. При этом параметры работы оборудования и время выполнения операций могут существенно отличаться. Также при выполнении некоторых операций появляются дополнительные требования и зависимости, которые необходимо было учесть в модели.

Для выполнения поставленных задач было сформулировано порядка 100 факторов и около 20 показателей.

Результаты моделирования представляются исследователю в нескольких формах, для возможности проведения всестороннего анализа работы производства. Они включают как стандартные, так и специально подготовленные формы. На рис. 4 представлен пример графика мониторинга показателей загруженности нескольких последовательных оборудования.

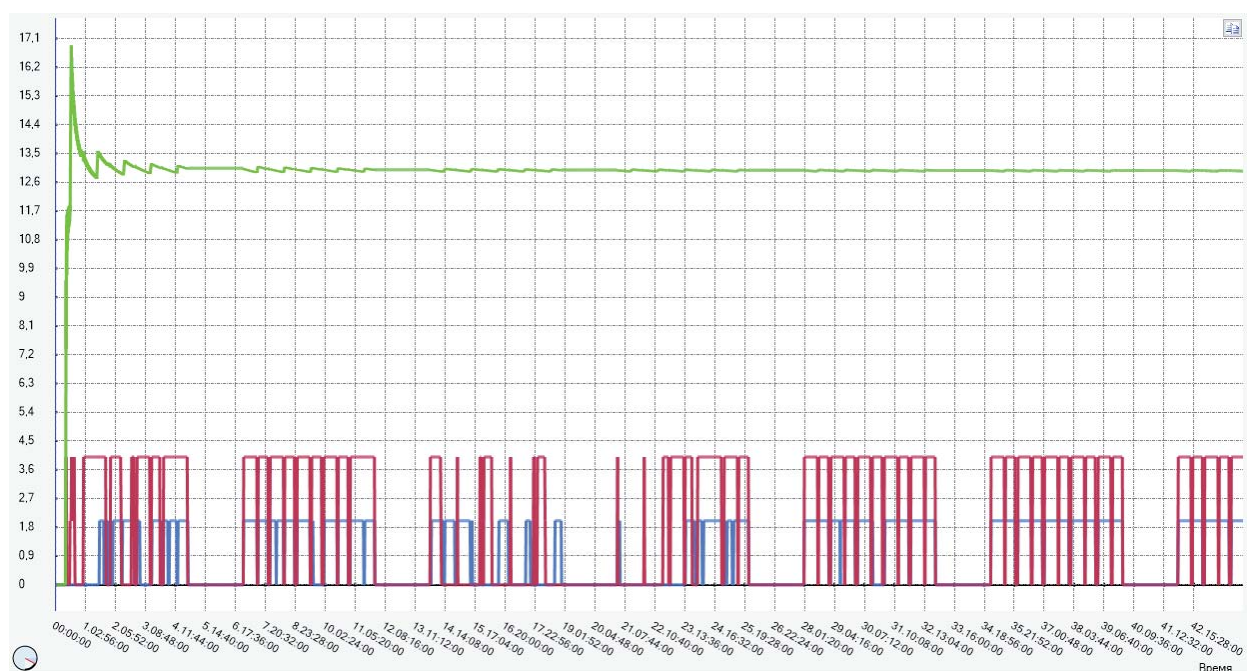


Рис. 4. График загрузки оборудования

На рис. 5 представлена диаграмма Ганта, отображающая время протекания технологического процесса и отдельных операций.

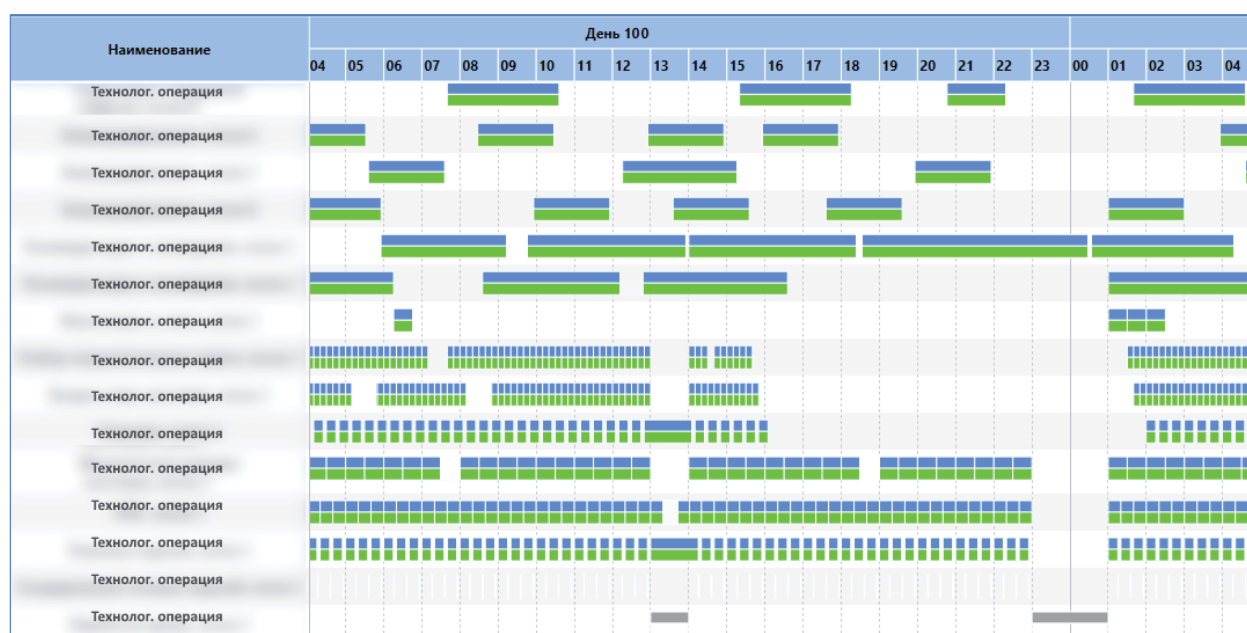


Рис. 5. Диаграмма Ганта протекания операций

Дополнительно для проверки адекватности и возможности визуального анализа производственной ситуации по результатам моделирования в приложение была добавлена анимационная форма, на которой отображаются текущая операция, которая выполняется рабочими, состояние оборудования, расположение оснастки, перемещение операторов и деталей между рабочими местами.

Фрагмент анимации представлен на рис. 6.

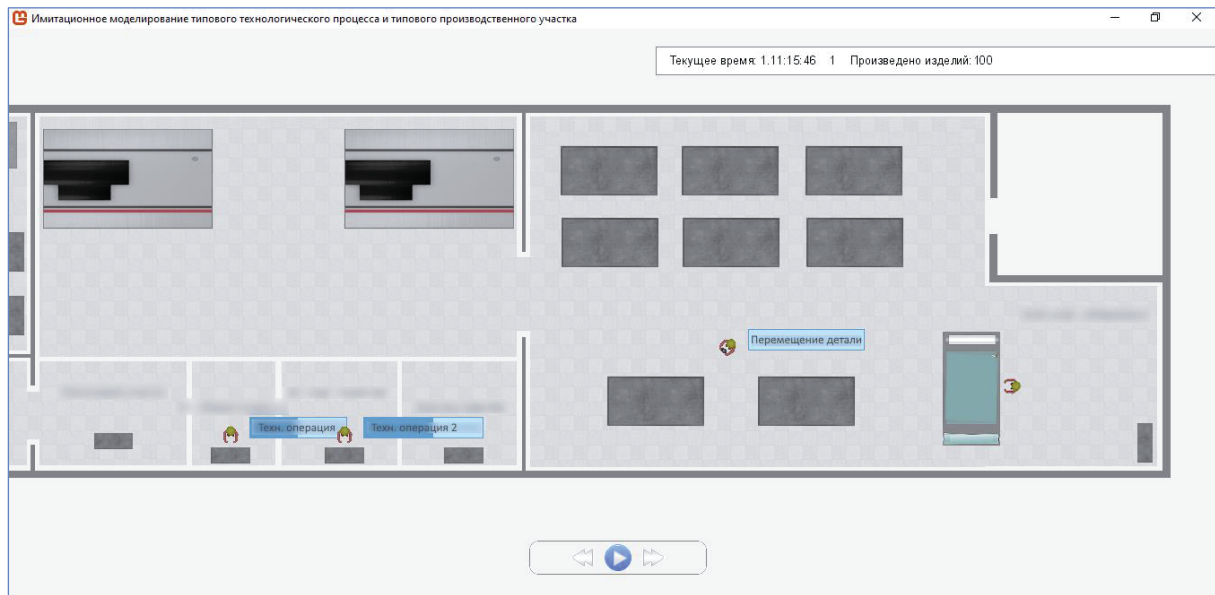


Рис. 6. Фрагмент анимационной формы

Выводы

С помощью моделирования удалось решить все поставленные задачи. Отчётный документ послужил одним из количественных доказательств, разработанных компанией «Авиакомплект» рекомендаций по новому производству.

Для каждой из моделируемых технологий было определено количество оборудования, необходимое и достаточное для выполнения производственных планов согласно всем производственным сценариям работы. При этом поддерживалась внутренняя согласованность количества материалов и полуфабрикатов между последовательно идущими операциями, то есть не допускались ситуации недопроизводства и перепроизводства на отдельных этапах.

По каждому рабочему месту было определено количество персонала, необходимого для выполнения операции и количество одновременных потоков выпуска заготовок и изделий.

Был определён максимально возможный объем выпуска продукции для каждого режима работы производства. Выпуск продукции считался не только для производства в целом, но и по отдельным участкам.

Были определены «узкие места» и ситуации, при которых на производстве потребуется значительное увеличение количества персонала или увеличение мощностей для достижения заданного режима работы.

Полученные результаты показывают какую неопределимую пользу может принести имитационное моделирование в сфере подготовки нового и модернизации имеющегося производства. В относительно небольшой срок можно получить количественные оценки показателей работы, достоверность которых легко проверяется с помощью анимации, графиков и иных отчётных форм.

Литература

1. Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В. GPSS Studio: первый шаг к новым технологиям имитационных исследований [Электронный ресурс] // Труды Восьмой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 239-243.

2. **В. В. Девятков.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2014. 448 с.
3. **Шрайбер Т. Дж.** Моделирование на GPSS Пер. с англ. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича под ред. М. А. Файнберг. М.: Машиностроение, 1980. 592 с..
4. Реестр программного обеспечения «Платформа имитационного моделирования Alina GPSS» [Электронный ресурс], – Режим доступа: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=965110.