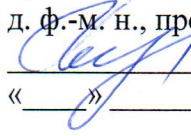


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет
Кафедра прикладной и газовой динамики и горения (ПГДиГ)

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В
ГЭК

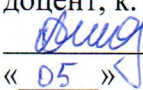
Руководитель ООП,
д. ф.-м. н., профессор
 Г.Р. Шрагер
« » 2017 г.


ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

по основной образовательной программе подготовки бакалавров
направление подготовки 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

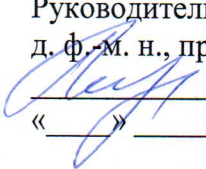
Леонтьев Виталий Сергеевич

Руководитель:
доцент, к. ф.-м. н.
 О.Ю. Фролов
«05» июня 2017г.

Автор работы:
студент группы № 10301
 В.С. Леонтьев

Министерство образования и науки российской федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физико-технический факультет
Кафедра прикладной газовой динамики и горения (ПГДиГ)

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП,
д. ф.-м. н., профессор
 Г.Р. Шрагин
«___» _____ 2016 г.

Задание

на выпускную квалификационную работу студенту группы № 10301
Леонтьеву Виталию Сергеевичу

1. Тема: Имитационное моделирование автоматизированного производства.
2. Цель: Построение имитационной модели реально существующего автоматизированного производства.
3. Руководитель выпускной квалификационной работы: доцент, к. ф.-м. н., Фролов Олег Юрьевич.
4. Срок сдачи студентом отчета по выпускной квалификационной работе: на кафедре 05.06.2017 г.
5. Календарный план выполнения выпускной квалификационной работы:

№	Название этапа	Срок исполнения
1	Постановка задачи, изучение литературы и информации из открытых источников.	01.09.2016-01.11.2016
2	Анализ возможностей программных пакетов GPSS WORLD и Autodesk Factory Design Suite применительно к имитационному моделированию и расчету требуемых характеристик рассматриваемого производственного процесса.	01.11.2016-01.02.2017
3	Реализация имитационных моделей и анализ полученных результатов.	01.02.2017-01.05.2017
4	Подготовка отчета.	01.05.2017-05.06.2017

6. Рекомендуемая литература для изучения:

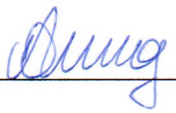
Алтаев А.А. Имитационное моделирование на языке GPSS / Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2001. – 122 с.

Климов Л. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке / СПб. : Издательство «Лань», 2011. – 240 с.

Фролов О.Ю., Борзенко Е.И. Моделирование автоматизированного производства: учебно-методическое пособие / Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 32 с.

Руководитель:

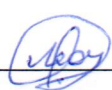
доцент, к. ф.-м. н., Фролов О.Ю.



Задание принял к исполнению:

Леонтьев В.С.

«01» сентября 2016 г.



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Имитационное моделирование	5
1.1 Математическое моделирование	5
1.2 Имитационное моделирование	5
1.3 Инструменты для создания имитационных моделей.....	6
1.4 Применение имитационного моделирования.....	8
2 Применение имитационного моделирования в автоматизированном производстве	9
2.1 Первая задача.....	9
2.1.1 Постановка задачи	9
2.1.2 Реализация имитационной модели.....	11
2.1.3 Результаты моделирования	18
2.1.4 Верификация полученных результатов	19
2.1.5 Анализ полученных результатов.....	20
2.2 Вторая задача.....	20
2.2.1 Постановка задачи	20
2.2.2 Реализация имитационных моделей	25
2.2.3 Реализация имитационной модели с помощью средств GPSS	25
2.2.4 Реализация имитационной модели с помощью средств Autodesk Factory Design Suite	26
2.2.5 Верификация полученных результатов	28
2.2.6 Анализ полученных результатов.....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ	30
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	31

ВВЕДЕНИЕ

В самых разных областях практической деятельности могут возникнуть задачи, решения которых добиться достаточно сложно. Подобные сложности могут возникнуть из-за того, что объект исследования, например, дорогостоящий или очень сложный. Могут возникнуть ситуации, когда исследуемая система не существует вообще. Обычно в таких ситуациях прибегают к созданию модели объекта исследования и последующему ее изучению.

Одним из методов создания моделей является аналитическое моделирование. Данный метод подразумевает представление системы в виде функциональных зависимостей, описывающих процессы, протекающие в системе. Однако подобные зависимости не всегда известны, и не все объекты можно достаточно просто описать с помощью подобного метода. Иногда необходимо представить модель в динамике, что невозможно реализовать с помощью аналитического моделирования. Альтернативным методом, призванным решить подобные проблемы, является метод имитационного моделирования.

Метод имитационного моделирования достиг своей популярности сравнительно недавно, с развитием ЭВМ. Данный метод позволяет описывать системы в виде логико-алгоритмического построения. Реализация моделей с помощью данного метода осуществляется на ЭВМ в виде программ. Все это в совокупности предоставляет моделям более гибкие возможности, которые невозможно или очень трудно достичь при помощи аналитического моделирования. Для построения моделей используют различные специализированные языки программирования, называемые моделирующими языками. К ним относятся такие языки, как CSL, SIMULA, GPSS, SIMSCRIPT. Наибольшее распространение из них получил язык GPSS, который и используется в данной работе.

В настоящее время большое количество производств переходят на автоматизированное или автоматическое производство. Данный процесс занимает большое количество времени и средств. Для того, чтобы заранее узнать возможности будущего производства прибегают к моделированию, так как описание производства с помощью аналитических моделей является очень трудоемкой задачей, иногда попросту неразрешимой.

В данной работе было рассмотрено применение метода имитационного моделирования в автоматизированном производстве. Для рассмотрения были выбраны две задачи. В первой задаче рассматривается гипотетическая гибкая производственная система. Данная задача представлена для демонстрации возможностей метода имитационного моделирования и GPSS, в частности. Во второй задаче рассматривается пример реального автоматизированного производства – автоматизированная сварочная линия по производству брызговика правого переднего крыла с лонжероном в сборе автомобиля ВАЗ-1118.

1 Имитационное моделирование

1.1 Математическое моделирование

В различных областях деятельности человека, будь это деятельность, направленная на изучение устройства мира или создание какого-либо предприятия, могут возникнуть довольно сложные задачи. Изначально такие задачи решались путем исследования непосредственно самих систем. Но с развитием научного подхода к решению подобных задач появился метод построения и изучения их моделей.

Построение моделей позволяет построить некоторую систему, исследование которой служит средством для получения информации о системе, на основе которой и была построена модель. Данный подход решения поставленной задачи позволяет в определенных случаях облегчить процесс исследования и получения результатов о системе.

При исследовании систем обычно решают две противоположные задачи – задачу анализа и задачу синтеза [1].

Под задачей анализа подразумевают исследование функционирования существующей системы путем разбиения ее на составляющее. В результате получают различные характеристики исследуемой системы, например, производственные возможности, причины возникновения заторов на дорогах, необходимое количество товаров в магазине и другие подобные характеристики.

Задача синтеза подразумевает задачу, обратную анализу. В данном случае изначально исследуемая система не существует, а создается заново. В результате построения такой модели, ее строят «сверху вниз», то есть от отдельных частей, составляющих систему, до единого целого, определяя функционирование каждой части и взаимосвязей между ними. В данном случае по результатам моделирования определяют структуру и параметры будущей системы, которые будут удовлетворять ожидаемым характеристикам. Обычно эти характеристики совпадают с характеристиками, полученными при решении задачи анализа.

1.2 Имитационное моделирование

Довольно долгое время основным методом построения моделей был метод аналитического моделирования. Данный способ построения моделей пригоден в огромном количестве случаев как инструмент для исследования систем. Однако, существуют такие системы, к которым затруднительно или вообще невозможно применить данный подход. К характеристикам таких систем можно отнести: [2]

1. Неопределенность и возможность ветвления процессов в зависимости от конкретной реализации этой неопределенности. – Если применять метод аналитического моделирования, то решение данной задачи будет очень сложным и практически не осуществимым для задачи, с большим количеством исходов событий. В случае метода имитационного моделирования данной проблемы нет, так как вариативность протекания процессов осуществляется с помощью генерации различных переменных на ЭВМ.
2. В исследуемой системе присутствует время. – Аналитическая модель является статичной во времени, что не позволяет исследовать системы, в которых время является неотъемлемой частью протекания процессов. Метод имитационного моделирования позволяет исследовать такие системы, а также замедлять быстротечные процессы и ускорять процессы, которые занимают достаточно большой период времени.
3. В случае, когда процессы являются нелинейными и зависят от друг друга. – В случае аналитического моделирования невозможно учесть нелинейность протекающих процессов. Имитационная модель же представляет собой компьютерную программу, в которой возможно реализовать зависимость процессов друг от друга и реализовать ветвления в алгоритме программы.
4. Неизвестные аналитические уравнения зависимости протекания процессов в системе. – Так как для построения аналитической модели необходимо знать аналитические уравнения, описывающее исследуемую систему, то в данном случае построение

аналитической модели невозможно. Имитационная модель представляет собой логико-алгоритмическое описание исследуемой системы. Для построения такой модели достаточно знать алгоритм протекания процессов, взаимосвязи между элементами системы и параметры системы.

Данные, а также и многие другие факторы создали необходимость поиска других способов построения моделей. То есть необходимо было разработать метод построения моделей, в которых параметры могли бы иметь стохастический характер, процессы могли бы быть нелинейными, в системе могло бы присутствовать время, и отсутствовала необходимость в определении аналитических зависимостей процессов. В результате был разработан метод имитационного моделирования, который позволяет строить динамические модели на основе логико-алгоритмического описания системы. Такое описание системы в большинстве случаев получить гораздо проще по сравнению с функциональными зависимостями.

При использовании метода имитационного моделирования выделяют несколько его видов: системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

В середине 1950-х годов Джейм Форрестером из Массачусетского технологического института был разработан вид имитационного моделирования системная динамика. Имитационные модели данного вида реализуются путем построения графических диаграмм причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени. Данные модели позволяют понять суть причинно-следственных связей, возникающих между элементами и процессами системы [1].

Позже, в 1960-х годах Джеффри Гордон основал вид имитационного моделирования – дискретно-событийное моделирование. Особенность данного вида построения имитационной модели заключается в том, что предлагается абстрагироваться от непрерывности протекания процессов системы. Процессы системы представляются в дискретном виде и рассматриваются как хронологическая последовательность событий [1].

Относительно недавно появился вид имитационного моделирования – агентное моделирование. Исследуемая система при таком подходе представляется в виде отдельных агентов системы. Совокупность поведения каждого отдельного агента формирует активность всей системы в целом [1].

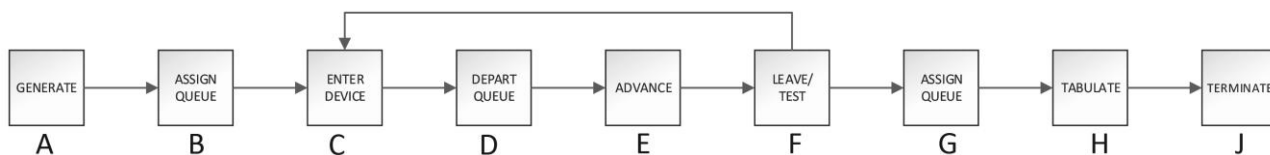
1.3 Инструменты для создания имитационных моделей

Имитационная модель представляет собой динамическую модель, в которую включены стохастические параметры, нелинейные процессы и временные параметры, поэтому для ее построения прибегают к средствам ЭВМ. Изначально имитационные модели реализовывались на ЭВМ посредством таких языков программирования как FORTRAN, ALGOL. Позже для облегчения построения имитационных моделей были созданы специализированные языки программирования, которые выделяют в отдельную категорию – моделирующие языки высокого уровня. Разработан ряд моделирующих языков высокого уровня, предназначенных для построения дискретных моделей, такие как CSL, SIMULA, GPSS, SIMSCRIPT [3].

В 1961 году сотрудниками IBM был разработан моделирующий язык высокого уровня GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения), который нашел широкое применение для построения дискретных имитационных моделей, основанных на принципе очереди – «первый пришел – первый ушел». [1]

Этот язык получил несколько обновлений (GPSS II – 1962 г, GPSS III – 1965 г, GPSS/360 – 1967 г, GPSS V – 1975 г, GPSS/H – 1978 г, GPSS/PC – 1984 г, MICRO-GPSS – 1990 г, GRAMOS-GPSS – 1993 г, GPSS WORLD – 1993 г). В данной работе используется последняя доступная версия GPSS WORLD Student Version 5.2.2 [4].

Рассмотрим реализацию простейшей имитационной модели, созданной посредством GPSS WORLD.

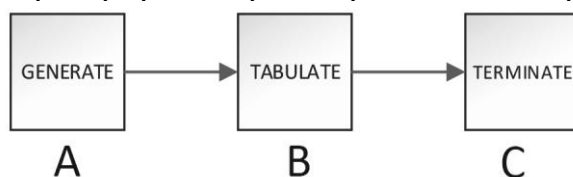


A – Generate, B – Assign queue, C – Enter Device, D – Depart queue, E – Advance, F – Leave/Test, G – Assign queue, H – Tabulate, J – Terminate

Рисунок 1 – Блок-схема принципа работы простейшей имитационной модели производственной системы, реализуемой с помощью средств GPSS

На рисунке 1 продемонстрирована реализация алгоритма простейшего производства, состоящего из двух хранилищ и одного устройства. Блок А – Generate имитирует поступление транзактов. Под транзактом понимают объект, который перемещается по системе за время моделирования. Блок В – Assign queue имитирует поступление транзакта в первое хранилище. Блок С – Enter device имитирует попытку занять устройство. Блок D – Depart queue имитирует вычитание транзакта из первого хранилища. Блок Е – Advance имитирует производственный процесс, выполняемый устройством. Блок F – Leave/Test имитирует освобождение устройства и проверку на наличие транзакта в первом хранилище, если транзакт обнаружен, то схема С – F повторяется. Блок G – Assign queue имитирует поступление транзакта во второе хранилище. Блок Н – Tabulate заносит данные моделирования в таблицу, например, среднее время использование устройства, среднее время задержки транзакта в хранилище, общее количество транзактов, прошедших через систему и другие. Блок J – Terminate является завершающим элементом блока процесса, имитирующего алгоритм работы моделируемой системы.

Для реализации процесса завершения моделирования в GPSS WORLD предусмотрено несколько различных способов. Первым способом является указание определенного количества транзактов, когда все эти транзакты попадут в блок Terminate, моделирование завершается. Данный способ подходит для тех случаев, например, когда необходимо определить время изготовления партии товаров [5]. Второй способ заключается в введении в систему таймера, который позволяет завершить моделирование по истечению определенного времени. Данный способ подходит для случаев, когда необходимо смоделировать систему на протяжении определенного времени, например, одного рабочего дня [6]. Третий способ основан на завершении моделирования по возникновению определенного события. Данный способ подходит для тех случаев, когда первые два способа не могут реализовать необходимое требования завершения моделирования. Возможны комбинации данных способов моделирования. В данном примере рассмотрен второй способ завершения моделирования.



A – Generate, B – Tabulate, C – Terminate

Рисунок 2 – Блок-схема реализации таймера в среде моделирования GPSS WORLD

На рисунке 2 продемонстрирована реализация таймера. Блок-схема таймера состоит из трех элементов. Блок А – Generate имитируют все время моделирования. Блок В – Tabulate заносит данные о времени моделирования в таблицу. Блок С – Terminate имитирует вычитание единицы времени из блока А, тем самым имитируя таймер.

Таблица 1 – Реализация простейшей имитационной модели в среде моделирования GPSS WORLD.

Текст программы	Комментарии
Блок процесса	
GENERATE A,B	Генерация транзактов каждые A единиц времени с отклонением B
QUEUE FIRST	Поступление транзакта в очередь First
ENTER DEVICE	Попытка занять Device
DEPART FIRST	Вычитание одного транзакта из очереди First
ADVANCE A,B	Имитация времени протекания процесса за A единиц времени с отклонением B
LEAVE DEVICE	Освобождение Device
QUEUE SECOND	Поступление транзакта в очередь Second
TERMINATE 0	Завершение блока процесса
Блок таймера	
GENERATE A	Генерация A единиц времени
TERMINATE 1	Имитация таймера

Одним из недостатков использования GPSS для построения имитационных моделей является практическое отсутствие визуализации исследуемых систем. В данной работе для визуализации используется средства Autodesk Factory Design Suite. Данный пакет программ является CAD системой и позволяет проектировать промышленные предприятия различной сложности.

Для проверки результатов моделирования можно использовать исходные данные, но такие данные не всегда доступны. Особенно для тех случаев, когда исследуемый объект не существует. Для решения этой проблемы в настоящей работе используется инструмент Autodesk Process Analysis, с помощью которого подобно GPSS можно реализовывать имитационные модели.

1.4 Применение имитационного моделирования

За время своего существования имитационное моделирование успешно себя широко зарекомендовало как универсальный метод для исследования разного рода систем. Наиболее широко имитационное моделирование используется в системах, в которых присутствуют различного рода очереди и можно выделить элементы, которые перемещаются по системе. Подобными системами могут быть, например, билетные кассы в аэропортах, дорожный трафик, оценка работы компьютерной сети или работы парикмахерской.

Одной из областей, где можно применить имитационное моделирование, является автоматизированное производство. В такой системе можно явно выделить транзакты – производимая продукция, очереди – складские зоны, а стационарными элементами системы являются различные станки, персонал или робототехнические устройства. В данной работе будет рассмотрено применение имитационного моделирования для построения имитационных моделей автоматизированных производств.

2 Применение имитационного моделирования в автоматизированном производстве

Построение имитационных моделей является достаточно трудоемкой задачей, которая состоит из нескольких основных этапов:

1. Постановка задачи – на данном этапе формулируются начальные условия и параметры системы, которые необходимо определить.
2. Разбиение системы на составные части – определение основных элементов, из которых состоит система и взаимосвязей, возникающих между ними.
3. Построение алгоритмов протекающих процессов в системе – формулирование логико-алгоритмического описания системы.
4. Создание имитационной модели на ЭВМ – реализация алгоритма из предыдущего пункта с помощью языков программирования.
5. Проведение эксперимента – запуск имитационной модели с определенными параметрами.
6. Получение результатов и оценка их адекватности – сверка результатов с исходными данными или с данными, полученными из других источников.
7. Анализ полученных результатов.

2.1 Первая задача

Для демонстрации возможностей и жизнеспособности GPSS в реализации имитационных моделей автоматизированных производств была выбрана гипотетическая гибкая производственная система [3]. Данная ГПС предназначена для производства трех различных видов продукции, каждая из которых имеет свой собственный производственный алгоритм.

2.1.1 Постановка задачи

ГПС продемонстрирована на рисунке 3 и представлена сеткой блоков и линий. Система состоит из следующих элементов: загрузочные станции, станки, автоматически управляемые транспортные средства (далее AGVs), зоны ожидания, паллеты, крепления, разгрузочные станции. Каждый блок представляет определенный элемент системы, а линия демонстрирует возможное перемещение AGVs.

В системе присутствует станки трех видов. Три станка типа А, два станка типа В и один станок типа С. Так же в системе присутствуют три зоны ожидания. Данная ГПС предназначена для производства трех типов продукции: тип 1, тип 2 и тип 3. Каждый тип продукции имеет свои собственные загрузочную и разгрузочную станции.

Элементы на рисунке 3 пронумерованы от 1 до 15. Элементы 1, 2 и 3 – загрузочные станции для типов продукции 1, 2 и 3 соответственно. Элементы 4, 5, 6, 9, 10 и 12 – станки (элементы 4, 6, 10 – станки типа А, элементы 5, 9 – станки типа В, элемент 12 – станок типа С). Элементы 7, 8 и 11 – зоны ожидания. Элементы 13, 14 и 15 – разгрузочные станции для типов продукции 1, 2 и 3 соответственно.

Другие элементы системы не представлены на рисунке 3 (крепления, паллеты, AGVs). Каждый станок имеет свои крепления, каждая зона ожидания имеет свои паллеты, и каждый тип продукции может воспользоваться любым AGVs, если оно доступно на момент запроса.

Партия типа 1 в процессе производства проходит через станки типа А, В и С с временем производства 180, 120 и 75 минут соответственно. Партия типа 2 в процессе производства проходит через станки типа В и А с временем производства 90 и 150 минут соответственно. Партия типа 3 в процессе производства проходит только через станок типа А с временем производства 300 минут. Перемещение на одну единицу (расстояние между двумя ближайшими элементами) занимает одну минуту. Загрузка/разгрузка продукции на загрузочных/разгрузочных станциях занимает три минуты. Фиксирование продукции в креплениях станка или на паллетах в зонах ожидания занимает пять минут. Новые заготовки для продукции каждого типа поступают на соответствующее загрузочные станции в виде бесконечного потока с временем между поступлением в одну секунду.

Партии последовательно перемещаются от элемента к элементу. Партия, которая только поступила в систему и зафиксировалась на паллете ожидает на загрузочной станции до тех пор, пока AGVs и станок для этого типа не станут доступны. Партия находится в состоянии требования ближайшего AGVs и простаивающего станка определенного типа, AGVs перемещается к загрузочной станции, подбирает партию и отвозит к станку. Затем AGVs переходит в состояние простоя и ожидает, когда станок запросит его заново (другой партией, или этой же партией). Когда этот станок завершает производственный процесс, происходит проверка доступности следующего элемента в алгоритме производства. Происходит запрос ближайшей простаивающего AGVs и ближайшего простаивающего станка определенного типа или зоны ожидания в зависимости от необходимой операции. AGVs перемещается к станку, загружает партию (после чего станок становится доступным для другой партии) и перевозит к следующему станку или зоне ожидания, в зависимости от необходимой операции. После чего AGVs переходит в режим простоя до тех пор, пока станок запросит ее заново (другая партия, или эта же партия). Если партия попадает в зону ожидания, это означает, что она находится в режиме ожидания, пока AGVs и станок необходимого типа не станет доступным, когда условия выполняются процесс повторяется. В итоге, партия завершает производство на разгрузочной станции, принадлежащей определенному типу партии.

В ходе работы необходимо решить следующее задачи:

- 1) Построить имитационную модель гипотетической ГПС.
- 2) Смоделировать работу производства на протяжении 200 часов и определить количество готовой продукции каждого типа на момент завершения производства.
- 3) Определить минимальное и среднее время изготовления одной единицы продукции для каждого типа продукции.
- 4) Определить среднее одновременное и максимальное одновременное количество используемых AGVs. Сравнить результаты для общего использования всеми партиями AGVs и для индивидуального использования каждой партией AGVs.
- 5) Получить коэффициенты загруженности оборудования.

Под средним одновременным количеством используемых AGVs понимается наиболее частое максимальное количество используемых AGVs.

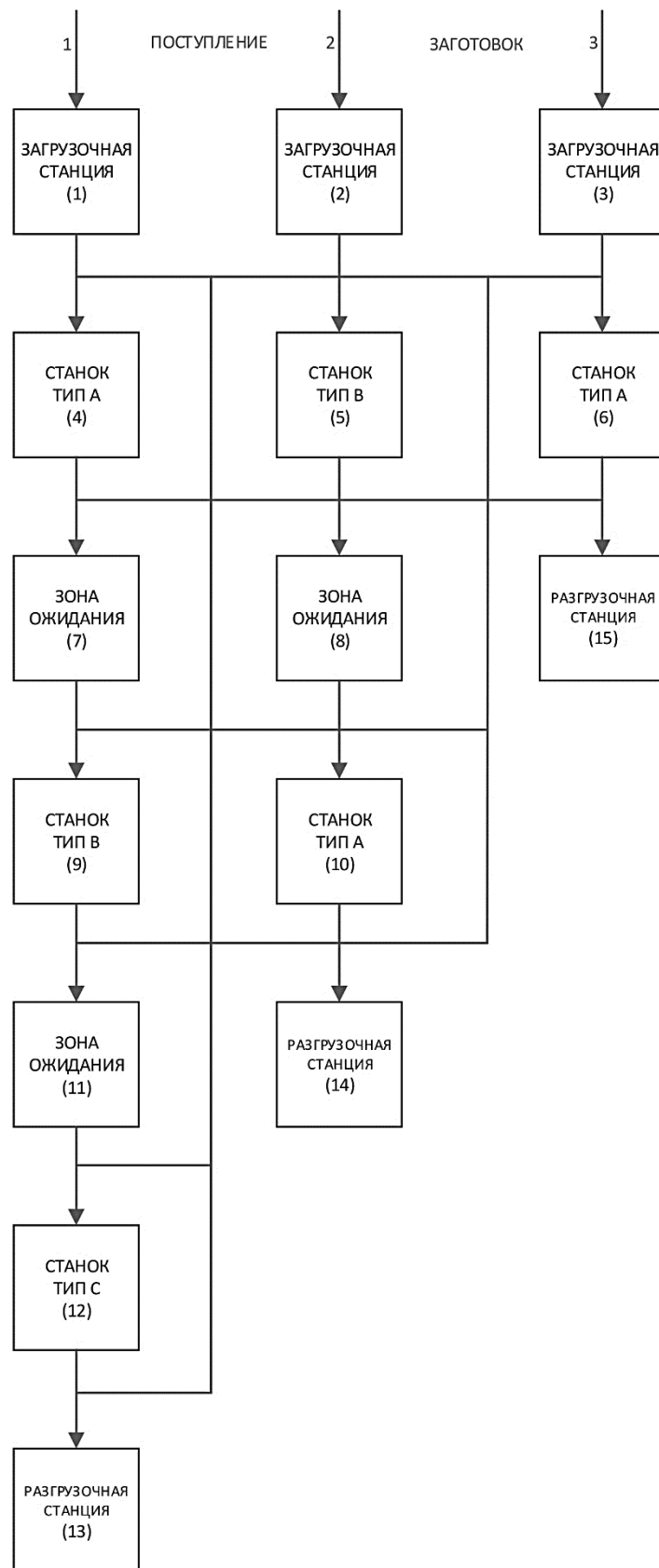


Рисунок 3 – Блок-схема гипотетической гибкой производственной системы

2.1.2 Реализация имитационной модели

Все элементы гипотетической гибкой производственной системы были разделены на три группы:

- 1) Индивидуальные – элементы системы, принадлежащие исключительно одному типу партии: загрузочные и разгрузочные станции, станки, зоны ожидания.
- 2) Общие – элементы системы, которые распределяются между всеми типами партий: автоматически управляемые транспортные средства (AGVs).
- 3) Компоненты – элементы системы, которые являются составными элементами других элементов: паллеты и крепления.

Для каждого отдельного типа партии был составлен отдельный алгоритм производства, таким образом общий вид имитационной модели представляет следующую блок-схему:

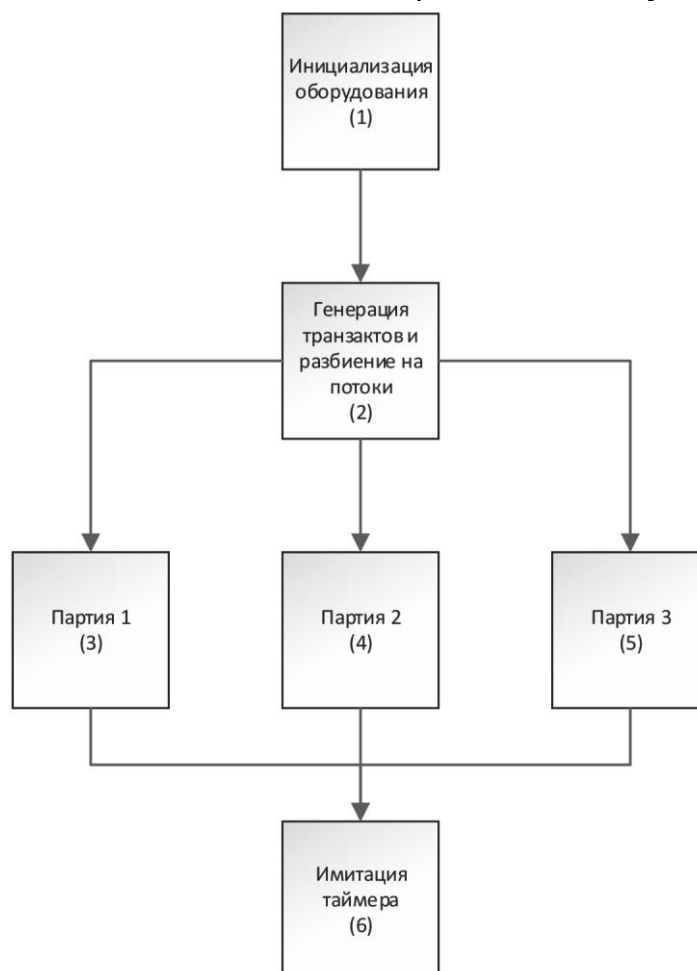


Рисунок 4 – Блок-схема общего вида имитационной модели гипотетической ГПС

На рисунке 4 можно выделить 6 основных элементов имитационной модели: инициализация оборудования (1), генерация транзактов и разбиение на потоки (2), алгоритмы партий 1, 2 и 3 – элементы (3), (4) и (5) соответственно, имитация таймера (6).

Элемент инициализации оборудования (1) предназначен для введения в имитационную модель оборудования и разбиения его на общее и индивидуальное для каждой отдельной партии. Разбиение на индивидуальное и общее оборудование осуществляется в соответствии с введенным выше разбиением, за исключением группы 3 – компоненты. Данная группа не вносит какого-либо влияния на результаты, так как элементы данной группы входят в состав других элементов из групп 1 и 2.

Элемент генерации транзактов и разбиение их на потоки (2) соответственно предназначен для генерации транзактов, что имитирует поступления партий на производство. И для распределения данных транзактов на три партии – партия 1, 2 и 3 соответственно.

В результате распределения транзактов на три отдельных партии получаем три параллельных потока (элементы 4, 5 и 6), которые имитируют алгоритмы производства для каждой отдельной партии продукции. Каждый из потоков может использовать свое

индивидуальное оборудование, а также имеет доступ к общему оборудованию, если оно находится в состоянии простоя.

После составления общего вида имитационной модели необходимо выделить сложные и/или повторяющиеся части алгоритмов для каждой партии. Такими частями алгоритмов являются переход транзакта между станками с учетом и без учета захода в зону ожидания. Данные части алгоритмов повторяются с учетом зоны ожидания три раза для партий типа 1 и 2, и шесть раз без учета зоны ожидания для всех типов партий. Сложность данных частей алгоритмов состоит в том, что без правильной реализации возможно возникновение «тупиков» в алгоритмах. Под «тупиком» следует понимать ситуацию во время моделирования, когда один транзакт блокирует возможность передвижения по алгоритму другому транзакта в следствие того, что один из транзактов занимает одно из устройств и переходит в режим ожидания еще одного устройства, тем самым блокирует возможность доступа к занятому устройству другими транзактами.

Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма перехода транзакта между двумя станками с учетом
возможного захода в зону ожидания

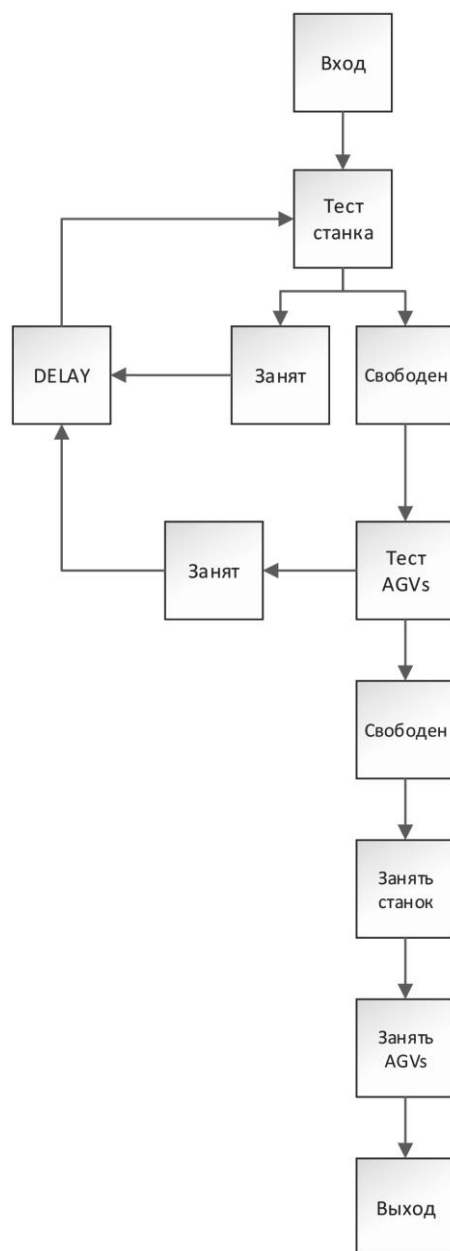


Рисунок 6 — Блок-схема алгоритма перехода транзакта между загрузочной станцией и станком или двумя станками, или зоной ожидания и станком без учета возможного захода в зону ожидания

Для решения задачи с возможным возникновением «тупика» были разработаны два алгоритма, приведенные на рисунках 5 и 6.

На рисунке 5 продемонстрирован алгоритм для случая перемещения транзакта между двумя станками с учетом зоны ожидания. Ключевыми элементами являются наличие двух возможных выходов и блока Delay. Два возможных выхода подразумевают возможность ветвления в процессе моделирования в зависимости от выполнения нескольких условий. Такими условиями являются состояния на момент запроса для таких единиц оборудования, как станок определенного типа, AGVs, зоны ожидания. В случае, когда станок определенного типа и AGVs находятся в состоянии простоя, данный алгоритм задействует первый выход (рисунок 5). В случае, когда станок занят, а AGVs и зона ожидания свободны, данный алгоритм задействует второй выход. В случае, когда не выполняются приведенные выше два условия, данный алгоритм переходит в блок Delay, тем самым имитируя задержку во времени и повторяет прохождение всего алгоритма заново.

На рисунке 6 продемонстрирован вариант решения задачи возможного возникновения «тупика» для перехода транзакта между загрузочной станцией и станком или двумя станками, или зоной ожидания и станком без учета возможного захода в зону ожидания. Данный алгоритм подобно предыдущему решает проблему с возможным возникновением «тупика». Однако, в данном случае имеется лишь один выход. Для перехода транзакта на данный выход необходимо выполнения условия нахождения станка и AGVs в состоянии простоя. Если данное условие не выполняется, то алгоритм задействует блок Delay, тем самым имитируя задержку во времени и повторяет прохождение всего алгоритма заново.

В каждом из алгоритмов, приведенных на рисунках 5 и 6, первым устройством для запроса является не AGVs. Это связано с упрощением алгоритма и тем, что в системе присутствует больше AGVs чем другого типа оборудования. Тем самым алгоритм исключает возможность запроса на временную блокировку AGVs, когда доступа к другому необходимому оборудованию нет.

С учетом разделения всего оборудования на три группы, общего вида имитационной модели и созданных алгоритмов перехода транзактов между элементами системы была разработана имитационная модель в среде GPSS WORLD. Ниже приведена часть кода имитационной модели, имитирующая производство партии типа 2. Полный код имитационной модели приведен в приложении А.

Таблица 2 – Инициализация устройств и транзактов

Текст программы	Комментарии
Блок инициализации устройств	
Инициализация общих устройств	
AGV STORAGE 10	Инициализация AGVs
DL STORAGE 10	Инициализация Delay
Инициализация индивидуальных устройств	
LDG1 STORAGE 1	Загрузочная станция (1)
LDG2 STORAGE 1	Загрузочная станция (2)
LDG3 STORAGE 1	Загрузочная станция (3)
TPA4 STORAGE 1	Станок типа А (4)
TPB5 STORAGE 1	Станок типа В (5)
TPA6 STORAGE 1	Станок типа А (6)
WS7 STORAGE 1	Зона ожидания (7)
WS8 STORAGE 1	Зона ожидания (8)
TPB9 STORAGE 1	Станок типа В (9)
TPA10 STORAGE 1	Станок типа А (10)
WS11 STORAGE 1	Зона ожидания (11)
TPC12 STORAGE 1	Станок типа С (12)
Инициализация транзактов и разбиение на потоки	
GENERATE 1	Генерация транзактов каждую секунду
ASSIGN 1,JOB1	Привязка транзакта к партии типа 1
TRANSFER ,JOB1	Перемещение транзакта в алгоритм партии типа 1
GENERATE 1	Генерация транзактов каждую секунду
ASSIGN 1,JOB2	Привязка транзакта к партии типа 2
TRANSFER ,JOB2	Перемещение транзакта в алгоритм партии типа 2
GENERATE 1	Генерация транзактов каждую секунду
ASSIGN 1,JOB3	Привязка транзакта к партии типа 3
TRANSFER ,JOB3	Перемещение транзакта в алгоритм партии типа 3

Таблица 3 – Реализация алгоритма партии типа 2 в среде GPSS WORLD

Текст программы		Комментарии
JOB2	QUEUE PART2	Очередь для оценки общего количества транзактов партии 2
	ENTER LDG2,1	Блокировка загрузочной станции (2)
Первый станок типа В (5)		
TM3	GATE SNF TPB5,DL3	Тест станка типа В (5)
	GATE SNF AGV,DL3	Тест AGVs
	TRANSFER ,SCS3	Выход из алгоритма
DL3	ENTER DL,1	Задержка во времени 10 секунд
	ADVANCE 10	
	LEAVE DL,1	
	TRANSFER ,TM3	Возвращение в начало алгоритма
SCS3	ENTER TPB5,1	Блокировка станка типа В (5)
	ENTER AGV,1	Блокировка одного AGVs
	ADVANCE 180	Загрузка продукции
	LEAVE LDG2,1	Освобождение загрузочной станции (2)
	ADVANCE 60	Перемещение продукции к станку
	ADVANCE 300	Фиксирование продукции в захватах
	LEAVE AGV,1	Освобождение AGVs
	ADVANCE 5400	Работа станка на протяжении 5400 секунд
Второй станок типа А (10)		
TM4	GATE SNF TPA10,TS4	Тест станка типа А (10)
	GATE SNF AGV,DL4	Тест AGVs
	LEAVE TPB5,1	Освобождение станка типа В (5)
	TRANSFER ,SCS4	Первый выход из алгоритма
TS4	GATE SNF WS8,DL4	Тест зоны ожидания (8)
	GATE SNF AGV,DL4	Тест AGVs
	LEAVE TPB5,1	Освобождение станка типа В (5)
	TRANSFER ,SCSS4	Второй выход из алгоритма

DL4	ENTER DL,1	Задержка во времени 10 секунд
	ADVANCE 10	
	LEAVE DL,1	
	TRANSFER ,TM4	Возвращение в начало алгоритма
SCSS4	ENTER WS8,1	Блокировка зоны ожидания (8)
	ENTER AGV,1	Блокировка AGVs
	ADVANCE 60	Перемещение в зону ожидания
	ADVANCE 300	Фиксирование продукции в захватах
	LEAVE AGV,1	Освобождение AGVs
TM41	GATE SNF TPA10,DL41	Тест станка типа А (10)
	GATE SND AGV,DL41	Тест AGVs
	LEAVE WS8,1	Освобождение зоны ожидания (8)
	ADVANCE 60	Перемещение к станку
	TRANSFER ,SCS4	Выход из алгоритма
DL41	ENTER DL,1	Задержка во времени 10 секунд
	ADVANCE 10	
	LEAVE DL,1	
	TRANSFER ,TM41	Возвращение в начало алгоритма
SCS4	ENTER TPA10,1	Блокировка станка типа А (10)
	ENTER AGV,1	Блокировка AGVs
	ADVANCE 300	Фиксирование продукции в захватах
	LEAVE AGV,1	Освобождение AGVs
	ADVANCE 9000	Работа станка на протяжении 9000 секунд
	ENTER AGV,1	Попытка блокировки AGVs
	LEAVE TPA10,1	Освобождение станка типа А (10)
	ADVANCE 60	Перемещение к разгрузочной станции
	ADVANCE 180	Разгрузка
	QUEUE PRODUCTION2	Очередь для оценки общего количества готовой продукции
	LEAVE AGV,1	Освобождение AGVs
	TERMINATE 1	Завершение потока

2.1.3 Результаты моделирования

В результате моделирования работы гипотетической гибкой производственной системы на протяжении 200 часов модельного времени было получено количество готовой продукции для партий каждого типа, приведенное в таблице 4.

Таблица 4 – Количество готовой продукции

Тип партии	Количество готовой продукции, шт
Тип 1	63
Тип 2	76
Тип 3	38

Так же были выявлены минимальное и среднее время изготовления одной единицы продукции, приведенные в таблице 5. Минимальное время определяется путем сложения всех временных характеристик для алгоритма каждой партии по наименьшему возможному пути прохождения продукции.

Таблица 5 – Минимальное и среднее время изготовления продукции

Тип партии	Минимальное время изготовления, секунды	Среднее время изготовления, секунды
Тип 1	24120	34014.877
Тип 2	15600	36750.7
Тип 3	18780	36047.2

Экспериментальным путем определены среднее одновременное и максимальное одновременное количество используемых AGVs.

Таблица 6 – Среднее и максимальное одновременное количество используемых AGVs

		Среднее одновременное количество, шт	Общее среднее количество, шт	Максимальное одновременное количество, шт	Общее максимальное количество, шт
Общее		3	3	5	5
Индивидуальное	Тип 1	3	7	4	9
	Тип 2	2		3	
	Тип 3	2		2	

В таблице 7 представлены коэффициенты использования оборудования, характеризующие отношение времени, в течение которого оборудование находилось в состоянии использования к всему времени наблюдения.

Таблица 7 – Коэффициенты использования оборудования.

Оборудование	Коэффициент использования
AGVs	0.029
Загрузочная станция (1)	1.000
Загрузочная станция (2)	1.000
Загрузочная станция (3)	1.000
Станок типа А (4)	1.000
Станок типа В (5)	0.999
Станок типа А (6)	1.000
Зона ожидания (7)	0.000

Продолжение таблицы 7

Зона ожидания (8)	0.773
Станок типа В (9)	0.653
Станок типа А (10)	0.991
Зона ожидания (11)	0.000
Станок типа С (12)	0.413

2.1.4 Верификация полученных результатов

Для проверки на адекватность полученных результатов можно прибегнуть к двум способам: сравнить полученные результаты с исходными данными, если имеется такая возможность или получить данные из других источников с целью дальнейшего сравнения с ними. В данной работе выбран второй способ проверки. Источником данных является альтернативная GPSS WORLD среда для создания имитационных моделей производств Autodesk Process Analysis. С помощью средств Autodesk Process Analysis была разработана подобная имитационная модель (без учета загруженности AGVs) и получены результаты для сравнения.

В таблице 8 продемонстрировано количество готовой продукции для имитационной модели реализованной, в GPSS WORLD и для имитационной модели, реализованной в Autodesk Process Analysis.

Таблица 8 – Верификация количества готовой продукции

Тип партии	Количество готовой продукции, шт	
	GPSS WORLD	Autodesk Process Analysis
Тип 1	63	65
Тип 2	76	79
Тип 3	38	39

Результаты для верификации коэффициентов загруженности оборудования продемонстрированы в таблице 9.

Таблица 9 – верификация коэффициентов загруженности

Оборудование	Коэффициент использования	
	GPSS WORLD	Autodesk Process Analysis
AGVs	0.029	-
Загрузочная станция (1)	1.000	1.00
Загрузочная станция (2)	1.000	1.00
Загрузочная станция (3)	1.000	1.00
Станок типа А (4)	1.000	1.00
Станок типа В (5)	0.999	0.66+0.33
Станок типа А (6)	1.000	0.99
Зона ожидания (7)	0.000	0.00
Зона ожидания (8)	0.773	0.77
Станок типа В (9)	0.653	0.66
Станок типа А (10)	0.991	0.99
Зона ожидания (11)	0.000	0.00
Станок типа С (12)	0.413	0.41

При сравнении были выявлены отличия в количестве готовой продукции. Это вызвано тем, что имитационная модель, построенная в Autodesk Process Analysis, не учитывает состояние AGVs. Тем самым игнорируя возможные ситуации, когда AGVs недоступна. Это означает, что модель, реализованная в GPSS WORLD, имеет более высокую степень точности.

Различия в значениях коэффициентов использования минимальны и присутствуют вследствие округления данных. Помимо сравнения верификации данных удалось установить,

что из 99% времени использования станка типа В (5) 33% уходят на блокировку оборудования из-за того, что следующие элементы заняты.

Таким образом можно сделать вывод, что построенная имитационная модель в среде моделирования GPSS WORLD является правдоподобной и имеет право на существование.

2.1.5 Анализ полученных результатов.

В ходе решения поставленной задачи с помощью построенной имитационной модели были получены результаты, приведенные в таблицах 4 – 7.

Таблицы 4 и 5 наглядно демонстрируют возможности производства. А также отличия непрерывной подачи новой продукции в производство, по сравнению с подходом, когда последующая единица продукции поступает на производство, только тогда, когда предыдущая покидает его. Для сравнения различия в данных подходах рассмотрим партию типа 1. Для случая последовательной подачи из соотношения всего времени производства к минимальному времени производства одной единицы только 29 единиц готовой продукции будут произведены к концу моделирования. В то время как в непрерывном случае имеем 63 единицы готовой продукции на момент завершения производства, несмотря на то, что среднее время изготовления одной единицы продукции в 1.41 раза превышает минимальное время.

Из таблицы 6 видно, что общее использование производством всех AGVs позволяет сократить их суммарное количество на производстве с 7 штук до 3 в среднем и с 9 до 5 в максимальном одновременном использовании. Также стоит заметить, что для производства достаточно 3 штуки AGVs, так как в результате наблюдения было замечено только 2 случая превышения этого количества одновременно используемых AGVs. Таким образом использование 3 AGVs на производстве никак не скажется на конечном количестве готовой продукции.

Также было определено, что станки для партий типов 2 и 3 практически постоянно находятся в состоянии использования, в то время как для партии типа 1 станок типа В (9) (рисунок 3) и станок типа С (12) загружены меньше. Это происходит из-за того, что время выполнения технологического процесса на станке типа А (4) намного больше чем на станке типа В (9), а время выполнения технологического процесса на станке типа В (9) намного больше чем на станке типа С (12). Таким образом станок типа С (12) 0.587 (около 117 часов) всего времени находится в состоянии простоя. По той же причине при таких значениях времени выполнения технологических процессов нет необходимости в использовании зон ожидания (7) и (11).

2.2 Вторая задача

2.2.1 Постановка задачи

Вторая задача необходима для демонстрации применения метода имитационного моделирования к реально существующему автоматизированному производству. Для этого необходимо провести анализ автоматизированного производства с целью выявления элементов исследуемой системы, непосредственно участвующих и влияющих на производство; построить алгоритм производства и определить известные характеристики системы. Конечным результатом работы является построение имитационной модели и получение результатов моделирования, которые выражают следующие характеристики производства:

1. Процент продуктивной работы отдельных постов производства.
2. Общая стоимость производства.
3. Общее энергопотребление производства.
4. Коэффициент использования отдельных постов производства за период моделирования.

В качестве реально существующего производства была выбрана линия сварки брызговика правого переднего крыла с лонжероном в сборе автомобиля ВАЗ-1118 (рисунок 7) [7].

Производственная линия состоит из восьми постов. Загрузка свариваемых деталей осуществляется на постах 1 и 3, там же производится их прихватка. Доварка производится на постах 4-7. Выгрузка готовой продукции на посту 8, на которой предусмотрено место для ручной дуговой сварки. Сварка и передача брызговика между постами осуществляется промышленными роботами напольного исполнения. Формирование геометрии брызговика осуществляется на постах 1 и 3 автоматическими группами фиксации. Оснастки этих постов сконструированы с учетом их проверки контрольно-измерительной машиной «FARO» или ей аналогичной. В линии предусмотрены зонты для отсоса сварочного аэрозоля, ограждение, защитный экран, рабочие зоны операторов линии оснащены фотобарьерами. Системы управления размещены на полу [7].

Ниже приведено описание алгоритма автоматизированного производства (рисунок 7).

Пост 1 (рисунок 8) предназначен для сборки брызговика переднего крыла 1118-8403262 со стойкой передней подвески 1118-8403380 и их прихватки.

Порядок работы.

1. Оператор 1А загружает свариваемые детали в оснастку 1В и фиксирует их.
2. Оснастка поворачивается от оператора в зону сварки.
3. Роботы 010R1 и 010R2 осуществляет прихватку; после сварки робот 010R2 переносит деталь с фиксирующей оснастки на накопитель поста 2.
4. Оснастка разворачивается из зоны сварки в зону загрузки (к оператору).

Пост 2 (рисунок 8) предназначен для передачи свариваемой детали с поста 1 к оператору поста 3.

Пост 3 (рисунок 8) предназначен для сборки брызговика переднего крыла вместе со стойкой передней подвески с передним лонжероном 1118-8403280 и их прихватки.

Порядок работы.

1. Оператор 3В загружает свариваемые детали в оснастку 3А и фиксирует их.
2. Оснастка поворачивается от оператора в зону сварки.
3. Роботы 030R1 и 030R2 осуществляют прихватку.
4. После сварки робот 030R2 переносит деталь с фиксирующей оснастки по очереди на оснастку 4А поста 4.
5. Оснастка разворачивается из зоны сварки в зону загрузки (к оператору).

Пост 4 (рисунок 9) предназначен для доварки изделия.

Порядок работы – каждый робот (041R1, 042R2) берет свариваемую деталь со стойки 4А, доваривает ее в стационарных сварочных клещах и кладет на свою стойку 5А поста 5. Для определения возможного брака (по сварке) на правой части поста (на стойке) предусмотрен специальный механизм, делающий метку на детали.

Посты 5-7 (рисунок 9) предназначены для доварки изделия.

Порядок работы – каждый робот (051R1 – 072R2) берет свариваемую деталь со стойки, доваривает ее в стационарных сварочных клещах и кладет на свою стойку (6А, 7А) следующего поста.

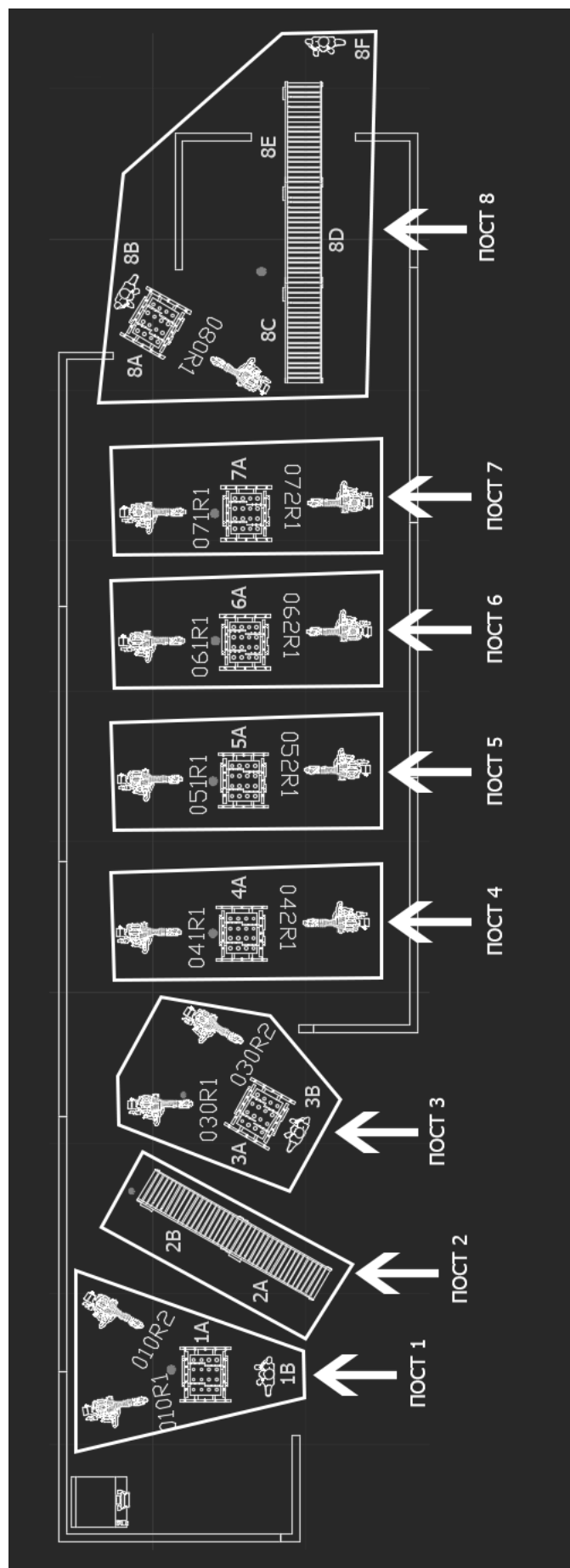
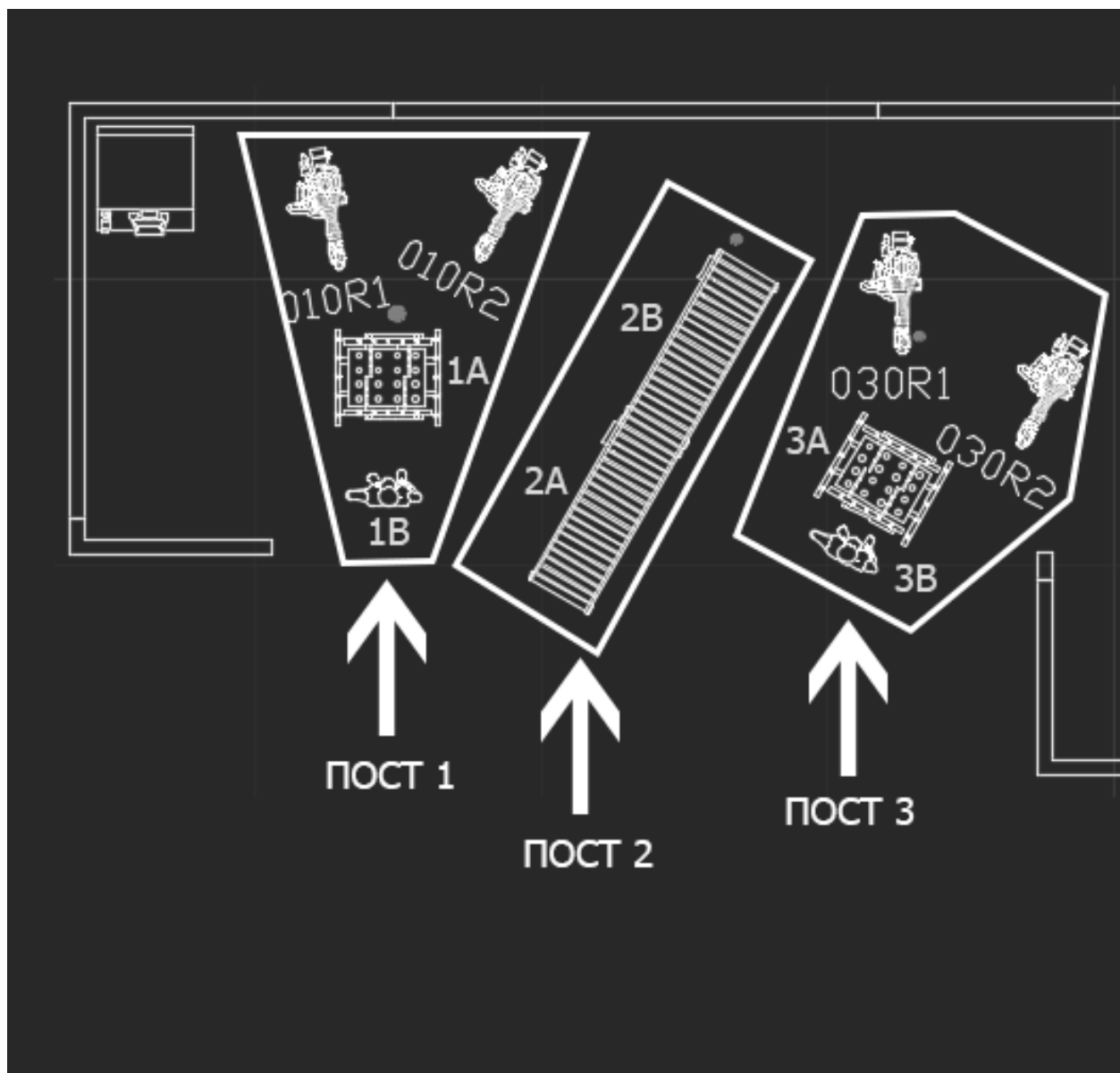


Рисунок 7 – Линия сварки брызговика правого переднего крыла с лонжероном в сборе ВАЗ-1118



Пост 1: 1А – оператор, 1В – оснастка, 010R1, 010R2 – роботы; Пост 2: 2А, 2В – линия из двух конвейеров; Пост 3: 3А – оснастка, 3В – оператор, 030R1, 030R2 – роботы

Рисунок 8 – Схема постов 1–3

Пост 8 (рисунок 9) предназначен для выгрузки готового изделия из линии и доварки вручную в среде углекислого газа.

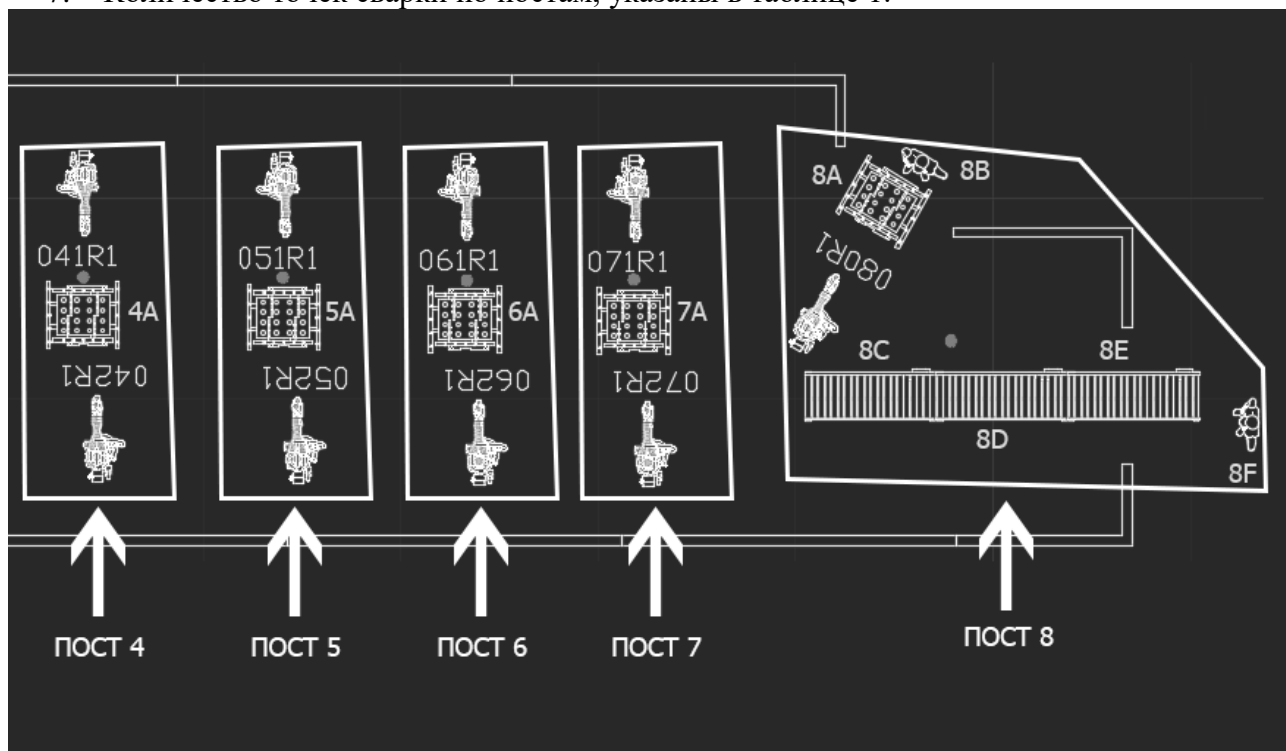
Порядок работы.

1. Робот 080R1 снимает изделие, проваренное в углекислом газе в предыдущем цикле с оснастки 7А и кладет его на ленточный транспортер 8С, который подает изделие на разгрузку.
2. Робот 080R1 (по очереди) переносит изделие со стоек на одну из двух оснасток.
3. Поворотное устройство разворачивает оснастку к оператору.
4. Оператор 8В доваривает изделие.

Технические характеристики автоматизированной линии:

1. Тип линии – автоматическая линия контактной точечной сварки.
2. Производительность при Кисп. = 100%, дет. /ч – 80.
3. Цикл, с – 45.
4. Количество постов, шт. – 8.
5. Количество операторов – 4.
6. Количество роботов, шт. – 13.

7. Количество точек сварки по постам, указаны в таблице 1.



Пост 4: 4А – оснастка, 041R1, 042R1 – роботы; Пост 5: 5А – оснастка, 051R1, 052R1 – роботы; Пост 6: 6А – оснастка, 061R1, 062R1 – роботы; Пост 7: 7А – оснастка, 071R1, 072R1 – роботы; Пост 8: 8А – оснастка, 8В, 8F – операторы, 8С, 8D, 8Е – линия из трех конвейеров, 041R1, 042R1 – роботы

Рисунок 9 – Схема постов 4–8

Таблица 10 – Номера сварочных точек для постов 1, 3–7

Номер операции	Робот	Номер свариваемых точек	Количество точек, шт.
10	010R1	15, 22, 23, 24, 25, 26, 27	7
	010R2	1, 9, 10, 11, 12, 13, 14	7
30	030R1	44, 48, 54, 69, 75, 80, 85, 86	8
	030R2	8, 29, 32, 40, 67, 84	6
40	041R1	55, 56, 57, 58, 59, 60, 61	14
	042R1	62, 63, 64, 65, 66, 68, 83	
50	051R1	45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53	17
	052R1	70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79	
60	061R1	30, 31, 33, 34, 35, 36, 37	14
	062R1	38, 39, 41, 42, 43, 81, 82	
70	071R	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 16, 17,	13
	072R1	18, 19, 20, 21	
Всего свариваемых точек			86

8. Время, затрачиваемое на загрузку, осуществление технологических операций и разгрузку, указаны в таблице 11.

Таблица 11 – Время, затрачиваемое на технологические операции каждым постом

Номер поста	1	2	3	4	5	6	7	8
Время, с	7.67	3	7.67	5.78	6.59	5.78	5.51	3

9. Энергоемкость постов показана в таблице 12.

Таблица 12 – Энергоемкость постов

Номер поста	1	2	3	4	5	6	7	8
Энергоемкость, кВт	30	10	30	30	30	30	30	30

2.2.2 Реализация имитационных моделей

Для решения поставленной задачи необходимо определить следующие характеристики исследуемого автоматизированного производства:

1. Процент продуктивной работы отдельных постов производства.
2. Общая стоимость производства.
3. Общее энергопотребление производства.
4. Коэффициент использования отдельных постов производства за период моделирования.

Под процентом продуктивной работы отдельных постов производства следует понимать отношение всего времени продуктивной работы поста к всему времени, когда пост был занят в процессе производства умноженному на 100%.

Общая стоимость производства состоит из общей стоимости транспортировки и общих затрат на производство. В свою очередь общие затраты на производство соответствуют следующему выражению – (время настройки*стоимость настройки + время выполнения технологических операций*стоимость выполнения технологических операций) * количество произведенной продукции за время моделирования [8].

Общее энергопотребление производства соответствует следующему выражению – (время настройки + время, затрачиваемое на выполнение технологических операций) * количество произведенной продукции за время моделирования * энергопотребление производства [8].

Коэффициент использования отдельных постов производства за период моделирования соответствует следующему выражению – (время настройки (минуты) + время, затрачиваемое на выполнение технологических операций (минуты)) * требуемая производительность в день для всего производства / (количество смен * время смены (часы) * 60 * относительное время рабочего состояния)) * 100% [8].

2.2.3 Реализация имитационной модели с помощью средств GPSS

Определим коэффициенты продуктивной работы отдельных постов производства. Это можно сделать с помощью средств GPSS WORLD. Ниже приведен код имитационной модели реализованный в среде моделирования GPSS WORLD.

Таблица 13 – Реализация имитационной модели работы автоматизированной сварочной линии в среде GPSS WORLD

Текст программы	Комментарии
Имитация алгоритма производства	
GENERATE 7	Генерация транзактов каждые 7 секунд
QUEUE STORAGE_1	Работа первого поста на протяжении 7.67 секунд
SEIZE POST_1	
DEPART STORAGE_1	
ADVANCE 7.67	
SEIZE POST_2	Работа второго поста на протяжении 3 секунд
RELEASE POST_1	
ADVANCE 3	
QUEUE STORAGE_2	
RELEASE POST_2	Работа третьего поста на протяжении 7.67 секунд
SEIZE POST_3	

DEPART STORAGE_2	Работа четвертого поста на протяжении 5.78 секунд
ADVANCE 7.67	
SEIZE POST_4	
RELEASE POST_3	
ADVANCE 5.78	Работа пятого поста на протяжении 6.59 секунд
SEIZE POST_5	
RELEASE POST_4	
ADVANCE 6.59	
SEIZE POST_6	Работа шестого поста на протяжении 5.78 секунд
RELEASE POST_5	
ADVANCE 5.78	
SEIZE POST_7	
RELEASE POST_6	Работа седьмого поста на протяжении 5.51 секунд
ADVANCE 5.51	
SEIZE POST_8	
RELEASE POST_7	
ADVANCE 3	Работа восьмого поста на протяжении 3 секунд. Завершение производства
QUEUE STORAGE_3	
RELEASE POST_8	
TERMINATE 0	
Завершение блока производства	
Таймер	
GENERATE 3600	Имитация работы таймера на протяжении одного часа
TERMINATE 1	
START 1	

В результате имитационного моделирования были получены коэффициенты продуктивной работы, приведенные в таблице 14.

Таблица 14 – Коэффициенты продуктивной работы

Номер поста	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент	0.988	0.384	0.971	0.722	0.815	0.707	0.668	0.360

2.2.4 Реализация имитационной модели с помощью средств Autodesk Factory Design Suite

Полученные коэффициенты продуктивной работы позволяют построить имитационную модель в пакете 3D-проектирования промышленных предприятий – Autodesk Factory Design Suite. В результате построения имитационной модели были определены следующие характеристики исследуемого производства:

1. Стоимость транспортировки.
2. Общая стоимость производства.
3. Суммарная энергия, потребляемая производством в час.
4. Коэффициенты использования постов за время моделирования.

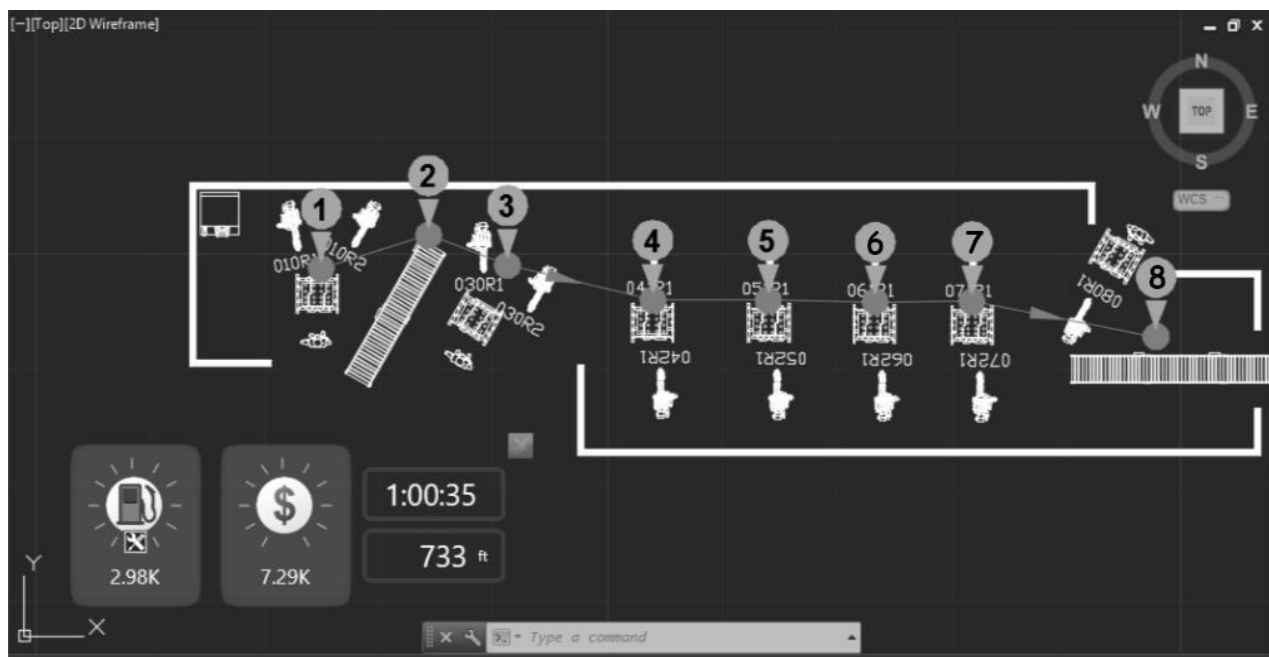


Рисунок 10 – Общая стоимость производства

На рисунке 10 показаны результаты расчетов стоимости транспортировки и общей стоимости производства:

1. Стоимость транспортировки составляет 2.98 тыс. условных единиц.
2. Общая стоимость производства – 7.29 тыс. условных единиц.



Рисунок 11 – Загруженность и потребляемая энергия

На рисунке 11 показаны результаты расчетов суммарной энергии, потребляемой производством и коэффициенты использования постов за время моделирования:

1. Суммарная энергия, потребляемая производством в час, составляет 85.7 киловатт-час.
2. Коэффициенты использования постов за время моделирования приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Коэффициенты использования постов

Номер поста	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент, %	45	17	45	43	44	42	42	17

2.2.5 Верификация полученных результатов

Для верификации полученных результатов воспользуемся таким же способом, как и для первой задачи. Для этого была построена имитационная модель в среде Autodesk Process Analysis. В ходе моделирования сравнивались коэффициенты продуктивной работы постов. Результаты приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Верификация коэффициентов продуктивной работы постов

Номер поста		1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент	1	0.988	0.384	0.971	0.722	0.815	0.707	0.668	0.360
	2	1.00	0.38	0.98	0.72	0.81	0.70	0.66	0.36

Под номером 1 в таблице 16 представлены результаты для имитационной модели реализованной в среде GPSS WORLD, результаты, представленные под номером 2 – Autodesk Process Analysis.

Результаты полученные в ходе моделирования в среде Autodesk Process Analysis близки к результатам, полученным в среде моделирования GPSS WORLD, максимальное отклонение составляет 1.2%. Таким образом имитационную модель, реализованную в среде GPSS WORLD, можно считать адекватной.

2.2.6 Анализ полученных результатов

Из результатов, полученных при создании имитационной модели с помощью средств GPSS, а именно из значений коэффициентов продуктивной работы, можно сделать вывод, что все посты, предназначенные для сборки, прихватки и доварки (посты 1, 3, 4-7) приближены к максимальному значению продуктивной работы, а посты 2 и 8, предназначение которых заключается в транспортировке изготавливаемой продукции, имеют более низкие значения (таблица 14). Эти результаты напрямую влияют и на коэффициенты использования оборудования за время моделирования (таблица 15), что является логичной закономерностью.

Также были получены результаты расчетов затрат на производство, стоимости транспортировки и значения энергопотребления. Данные значения относятся к экономическим критериям и для их оценки необходимо провести дальнейшее изучение рассматриваемого производственного процесса с целью выявления более экономически выгодной конфигурации расположения оборудования и значения денежных и временных затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен метод имитационного моделирования и его применение в автоматизированном производстве. В ходе работы были построены имитационные модели для гипотетической гибкой производственной системы и для автоматизированной сварочной линии. Для построения имитационных моделей использовалась среда разработки GPSS WORLD, для визуализации – AUTODESK FACTORY DESIGN SUITE и для верификации данных – AUTODESK PROCESS ANALYSIS.

С помощью построенной имитационной модели гипотетической гибкой производственной системы определены производственные возможности: количество готовой продукции, количество автоматически управляемых транспортных средств, среднее время производства и коэффициенты загрузки оборудования. На основе этих данных был проведен анализ, по результатам которого показана разница в непрерывной и очереди подаче продукции на производство, а также разница между индивидуальным и общим использованием автоматически управляемых транспортных средств.

В ходе решения второй задачи было продемонстрировано применение метода имитационного моделирования для реальных возможных задач. Для этого была выбрана автоматизированная сварочная линия по производству брызговика правого переднего крыла с лонжероном в сборе автомобиля ВАЗ-1118. В результате определены коэффициенты использования постов и стоимость производства.

Применение имитационного моделирования для решения этой задачи позволило продемонстрировать возможности данного метода для создания моделей автоматизированного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронов С. А. Имитационное моделирование: учеб. пособие / С. А. Бронов. – Красноярск: СФУ, 2007. – 82 с.
2. Духанов А. В. Имитационное моделирование сложных систем / А. В. Духанов, О. Н. Медведева. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 115 с.
3. Schriber T.J. A GPSS/H model for a hypothetical flexible manufacturing system // Annals of Operations Research. – 1985. – Vol. 3, Iss. 4. – pp 169–188.
4. Minutemansoftware [Электронный ресурс]: Current GPSS World version. URL: <http://www.minutemansoftware.com/downloads.asp>
5. Алтаев А.А. Имитационное моделирование на языке GPSS / А. А. Алтаев. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2001. – 122 с.
6. Шевченко Д. Н. Имитационное моделирование на GPSS / Д. Н. Шевченко, И. Н. Кравченя.. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 97 с.
7. Климов Л. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке / Л. С. Климов. –СПБ.: Издательство «Лань», 2011. – 240 с.
8. Фролов О.Ю., Борзенко Е.И. Моделирование автоматизированного производства: учебно-методическое пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 32 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг имитационной модели гипотетической гибкой производственной системы

<pre> ;ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ОБЩИХ УСТРОЙСТВ AGV STORAGE 10; КАРЫ DL STORAGE 10; DELAY ;ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ LDG1 STORAGE 1; ЗАГРУЗОЧНАЯ СТАНЦИЯ 1 1 ПОЗИЦИЯ LDG2 STORAGE 1; ЗАГРУЗОЧНАЯ СТАНЦИЯ 2 2 ПОЗИЦИЯ LDG3 STORAGE 1; ЗАГРУЗОЧНАЯ СТАНЦИЯ 3 3 ПОЗИЦИЯ TPA4 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА А 4 ПОЗИЦИЯ TPB5 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА В 5 ПОЗИЦИЯ TPA6 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА А 6 ПОЗИЦИЯ WS7 STORAGE 1; ЗОНА ОЖИДАНИЯ 7 WS8 STORAGE 1; ЗОНА ОЖИДАНИЯ 8 TPB9 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА В 9 ПОЗИЦИЯ TPA10 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА А 10 ПОЗИЦИЯ WS11 STORAGE 1; ЗОНА ОЖИДАНИЯ 11 TPC12 STORAGE 1; СТАНОК ТИПА С 12 ПОЗИЦИЯ ;ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ТРАНЗАКТОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПАРТИЯМ GENERATE 1 ASSIGN 1,JOB1 TRANSFER ,JOB1 GENERATE 1 ASSIGN 1,JOB2 TRANSFER ,JOB2 GENERATE 1 ASSIGN 1,JOB3 TRANSFER ,JOB3 ;АЛГОРИТМ ПАРТИИ ТИПА 1 JOB1 QUEUE PART1 ENTER LDG1,1 ;QUEUE TIME1 TM0 GATE SNF TPA4,DL0 GATE SNF AGV,DL0 TRANSFER ,SCS0 DL0 ENTER DL,1 ADVANCE 10; DELAY LEAVE DL,1 TRANSFER ,TM0 SCS0 ENTER TPA4,1 ENTER AGV,1 ADVANCE 180 LEAVE LDG1,1 ADVANCE 60 ADVANCE 300 LEAVE AGV,1 ADVANCE 10800 ;ВТОРОЙ СТАНОК TM1 GATE SNF TPB9,TS1 GATE SNF AGV,DL1 </pre>	<pre> LEAVE TPA4,1 TRANSFER ,SCS1 TS1 GATE SNF WS7,DL1 GATE SNF AGV,DL1 LEAVE TPA4,1 TRANSFER ,SCSS1 DL1 ENTER DL,1 ADVANCE 10; DELAY LEAVE DL,1 TRANSFER ,TM1 SCSS1 ENTER WS7,1 ENTER AGV,1 ADVANCE 60 ADVANCE 300 LEAVE AGV,1 TM11 GATE SNF TPB9,DL11 GATE SNF AGV,DL11 LEAVE WS7,1 ADVANCE 60 TRANSFER ,SCS1 DL11 ENTER DL,1 ADVANCE 10; DELAY LEAVE DL,1 TRANSFER ,TM11 SCS1 ENTER TPB9,1 ENTER AGV,1 ADVANCE 300 LEAVE AGV,1 ADVANCE 7200 ;ТРЕТИЙ СТАНОК TM2 GATE SNF TPC12,TS2 GATE SNF AGV,DL2 LEAVE TPB9,1 TRANSFER ,SCS2 TS2 GATE SNF WS11,DL2 GATE SNF AGV,DL2 LEAVE TPB9,1 TRANSFER ,SCSS2 DL2 ENTER DL,1 ADVANCE 10; DELAY LEAVE DL,1 TRANSFER ,TM2 SCSS2 ENTER WS11,1 ENTER AGV,1 ADVANCE 60 ADVANCE 300 LEAVE AGV,1 TM21 GATE SNF TPC12,DL21 GATE SNF AGV,DL21 LEAVE WS11,1 ADVANCE 60 TRANSFER ,SCS2 DL21 ENTER DL,1 ADVANCE 10; DELAY </pre>
---	--

```

LEAVE DL,1
TRANSFER ,TM21

SCS2 ENTER TPC12,1
ENTER AGV,1
ADVANCE 300
LEAVE AGV,1
ADVANCE 4500

ENTER AGV,1
LEAVE TPC12,1
ADVANCE 60
ADVANCE 180
;DEPART TIME1
QUEUE PRODUCTION1
LEAVE AGV,1

NDG TERMINATE 0

;АЛГОРИТМ ПАРТИИ ТИПА 2
JOB2 QUEUE PART2

ENTER LDG2,1
;QUEUE TIME2

TM3 GATE SNF TPB5,DL3
GATE SNF AGV,DL3
TRANSFER ,SCS3
DL3 ENTER DL,1
ADVANCE 10; DELAY
LEAVE DL,1
TRANSFER ,TM3

SCS3 ENTER TPB5,1
ENTER AGV,1
ADVANCE 180
LEAVE LDG2,1
ADVANCE 60
ADVANCE 300
LEAVE AGV,1
ADVANCE 5400

;ВТОРОЙ СТАНОК
TM4 GATE SNF TPA10,TS4
GATE SNF AGV,DL4
LEAVE TPB5,1
TRANSFER ,SCS4
TS4 GATE SNF WS8,DL4
GATE SNF AGV,DL4
LEAVE TPB5,1
TRANSFER ,SCSS4
DL4 ENTER DL,1
ADVANCE 10; DELAY
LEAVE DL,1
TRANSFER ,TM4

SCSS4 ENTER WS8,1
ENTER AGV,1
ADVANCE 60
ADVANCE 300
LEAVE AGV,1

```

```

TM41 GATE SNF TPA10,DL41
GATE SNF AGV,DL41
LEAVE WS8,1
ADVANCE 60
TRANSFER ,SCS4
DL41 ENTER DL,1
ADVANCE 10; DELAY
LEAVE DL,1
TRANSFER ,TM41

SCS4 ENTER TPA10,1
ENTER AGV,1
ADVANCE 300
LEAVE AGV,1
ADVANCE 9000

ENTER AGV,1
LEAVE TPA10,1
ADVANCE 60
ADVANCE 180
;DEPART TIME2
QUEUE PRODUCTION2
LEAVE AGV,1
TRANSFER ,NDG

;АЛГОРИТМ ПАРТИИ ТИПА 3
JOB3 QUEUE PART3

ENTER LDG3,1
;QUEUE TIME3

TM5 GATE SNF TPA6,DL5
GATE SNF AGV,DL5
TRANSFER ,SCS5
DL5 ENTER DL,1
ADVANCE 10; DELAY
LEAVE DL,1
TRANSFER ,TM5

SCS5 ENTER TPA6,1
ENTER AGV,1
ADVANCE 180
LEAVE LDG3,1
ADVANCE 60
ADVANCE 300
LEAVE AGV,1
ADVANCE 18000

ENTER AGV,1
LEAVE TPA6,1
ADVANCE 60
ADVANCE 180
;DEPART TIME3
QUEUE PRODUCTION3
LEAVE AGV,1
TRANSFER ,NDG

;ТАЙМЕР
GENERATE 720000
TERMINATE 1
START 1

```

Оценка оригинальности документа - 99.24%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 0.76%

Просмотр заимствований в документе

Время выполнения: 22 с.

Документы из базы



Источники заимствования

1. Имитационное моделирование экономических систем: программные средства и направления их совершенствования

Авторы: Скородумов Павел Валерьевич.

Год публикации: 2015. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-ekonomicheskikh-sistem-programmnye-sredstva-i-napravleniya-ih-sovershenstvovaniya>

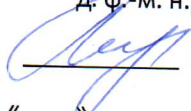
[Показать заимствования \(3\)](#)

Источники
В списке литературы Заимствования

0.76%

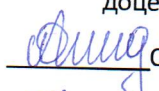
Руководитель ООП,

д. ф.-м. н., профессор

 Г.Р. Шрагер
«___» _____ 2017 г.

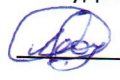
Руководитель:

доцент, к. ф.-м. н.

 О.Ю. Фролов
«07» июня 2017г.

Автор работы:

студент группы № 10301

 В.С. Леонтьев