

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ С ИХ РАСШИФРОВКОЙ

ИМ - Имитационная модель

LGP2 - Автоматизированная производственная система для выпуска строительных панельных плит, внедренная в производство на предприятии Trimò d.d., Республика Словения

УРСТ - Участок по разрезке и сортировке термоизоляции - часть автоматизированной производственной системы для выпуска строительных панельных плит

ГПЛ - Главная производственная линия автоматизированной производственной системы для выпуска строительных панельных плит

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время является необходимым не только автоматизировать технологические этапы производства самым современным образом, но и обеспечить оптимальную работу всех устройств и составных частей уже существующих автоматизированных производственных систем. Чтобы сделать производственный процесс наиболее точным и эффективным необходимо тщательное планирование работы уже существующей системы и в то же время анализ возможных альтернативных решений и предложений по ее модернизации. Одним из самых эффективных способов представления, исследования и анализа производственных систем является написание соответствующей данной системе имитационной модели.

Предмет данного дипломного проекта – разработка имитационной модели и параметрический синтез производственной системы по выпуску панельных плит с целью нахождения наиболее оптимальных параметров ее работы. Рассматриваемый объект – современная, полностью автоматизированная производственная система, которая находится в эксплуатации в предприятии Тримо (Trimo d.d.) в городе Требнье, Республика Словения. При эксплуатации данной системы постоянно происходит процесс модернизации и улучшения параметров ее работы с целью оптимизации производственного процесса. Рассматриваемая в предстоящем проекте задача была предложена Отделом по разработке и передаче новых технологий и заключается в исследовании влияния работы участка УРСТ на работу всей производственной системы LGP2,

Модель производственной системы разрабатывалась в среде имитационного моделирования Arena компании Rockwell International. Для исследования данной системы использовался пакет оптимизации OptQuest.

Работа над созданием имитационной модели началась с детального исследования структуры и работы участка УРСТ производственной системы LGP2, потому что работа данного участка и ее сочетание с работой ГПЛ является одним из ключевых аспектов при работе системы LGP2.

На последующем этапе была разработана имитационная модель в среде ИМ Arena. При разработке имитационной модели была точно отображена работа всех устройств участка УРСТ а также взаимодействие УРСТ и ГПЛ и все условия, соблюдение которых обеспечивает непрерывную работу системы LGP2.

После того, как разработанная модель была проверена на адекватность проводились исследования работы производственной системы при разных параметрах работы ГПЛ и при использовании разных исходных заготовок для участка УРСТ.

В результате всей проведенной работы была получена адекватная имитационная модель а в результате ее исследования были получены результаты (наборы параметров), которые можно использовать в процессе эксплуатации рассматриваемой системы. Благодаря результатам этой работы представляется возможным значительно увеличить эффективность работы производственной системы, поднять уровень ее автоматизации и уменьшить затраты на выпуск продукции путем оптимального планирования производственного процесса.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

1.1. Назначение модели:

Разработанная имитационная модель была разработана в строгом соответствии с рассматриваемой производственной системой и в частности с участком УРСТ этой производственной системы.

Имитационная модель должна адекватно отображать работу производственной системы для исследования ее работы. В рамках данной дипломной работы были также исследованы некоторые отдельные аспекты работы производственной системы.

Предполагается, что разработанной моделью будет пользоваться Отдел по планированию производства и также Отдел по разработке и передаче новых технологий. Разработанная имитационная модель оставляет возможность варьирования всех ее параметров и таким образом допускает производить на ее основе дополнительные исследования.

1.2. Область применения модели:

Рассматриваемая имитационная модель специализированна и отображает работу устройств производственной системы по производстве строительных фасадных панелей LGP2 и подробно ее участка УРСТ.

Строительная фасадная панель – компактное, технологичное изделие, которое служит для создания, облицовки и изоляции стальных монтажных построек передвижного и постоянного (перманентного) типа. В работе рассматривается изготовление фасадных панелей типа FTV Standart 800, производства предприятия TRIMO d.d (рис. 1.2.1., рис. 1.2.2.).

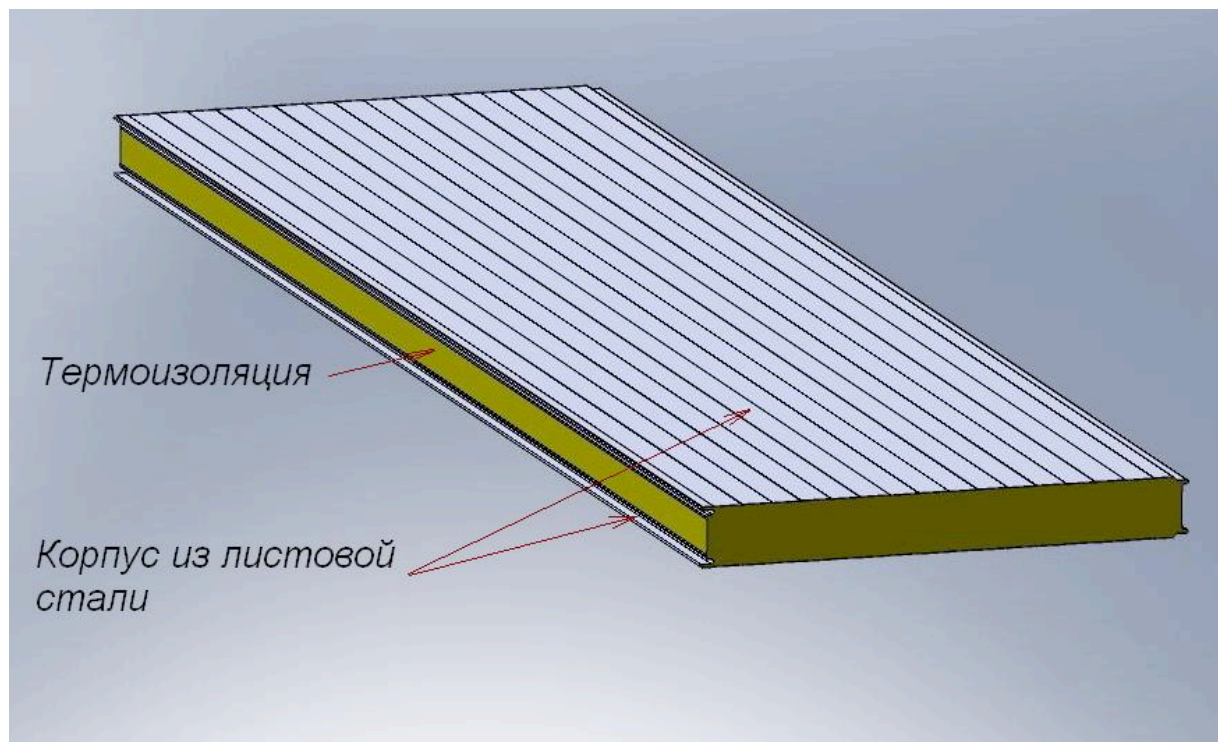


Рис. 1.2.1. – Панельная плита Trimo FTV Standart 800x80 производства компании Тримо, Требнье

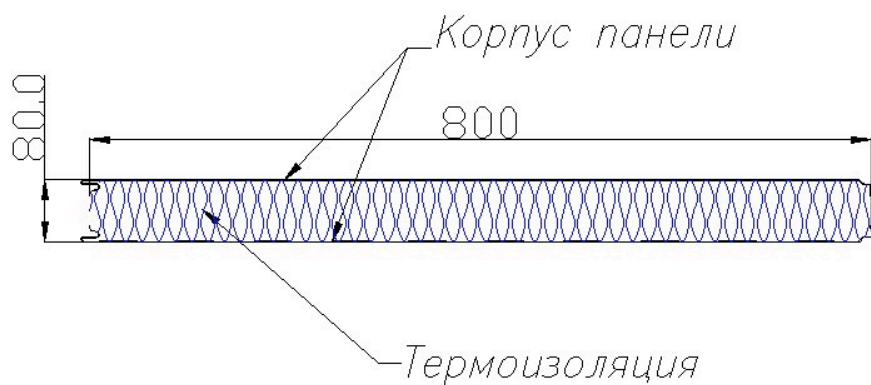


Рис. 1.2.2. - Панельная плита Trimo FTV Standart 800x80 в разрезе

Имитационная модель участка УРСТ будет служить одним из инструментов для исследования работы производственной системы LGP2 и будет использоваться Отделом планирования производства и Отделом по разработке и передаче новых технологий компании Trimo d.d.

В Отделе планирования производства планируется использовать результаты исследования работы имитационной модели для обеспечения более эффективной работы всей производственной системы и более оптимального использования ресурсов.

Отдел по разработке и передаче новых технологий подробно исследует работу имитационной модели с целью выявления недостатков самой производственной системы LGP2.

2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При проведении технологической практики в августе 2007 года была подробно исследована производственная система LGP2 и в частности ее участок УРСТ.

При исследовании были определены все параметры и свойства участка УРСТ, которые необходимы для разработки имитационной модели этого участка. На рис. 2.1. изображена пространственная компоновка первой части производственной системы LGP2 со схемой участка УРСТ.

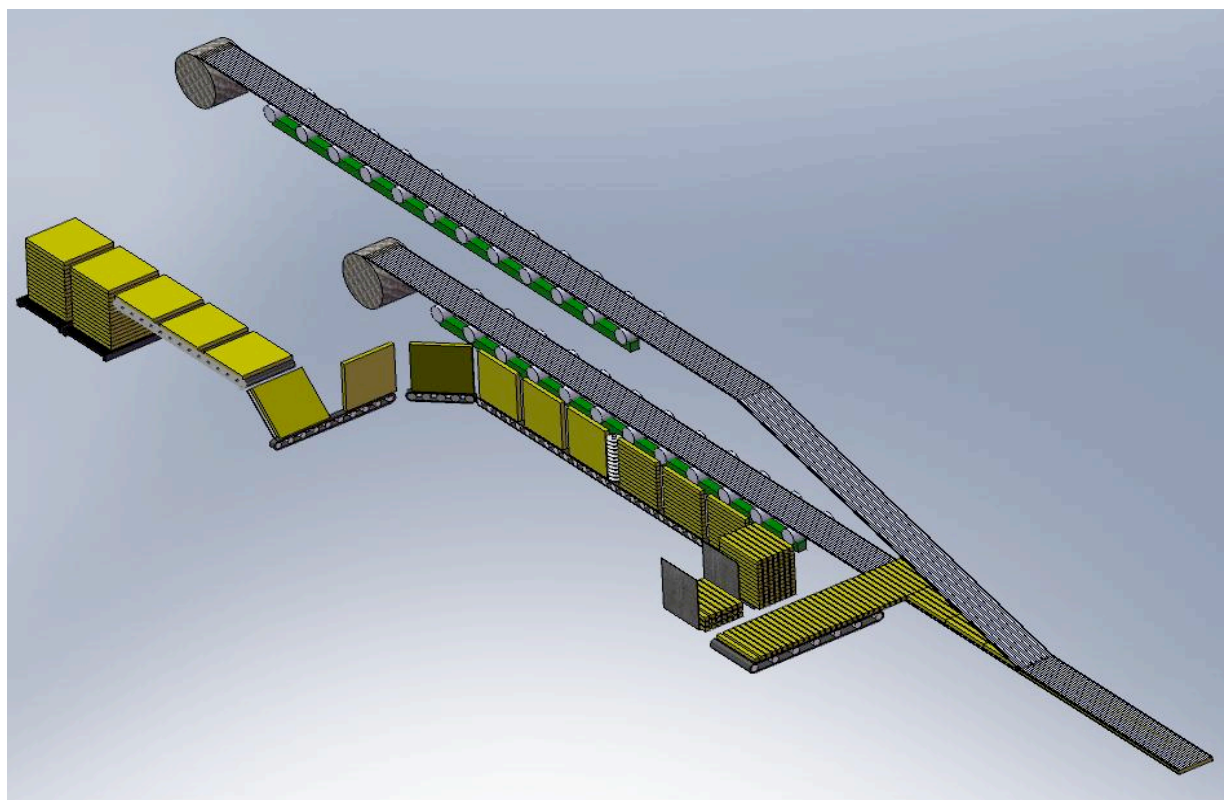


Рис. 2.1. – Схема части производственной системы LGP2 с производственным участком УРСТ и ГПЛ

На участке УРСТ происходит распаковка, приготовление, разрез и транспортировка наполнителя панели – минеральной ваты. На рис. 2.2. изображен поток исходных заготовок – пакетов минеральной ваты и их последующее преобразование на участке УРСТ.

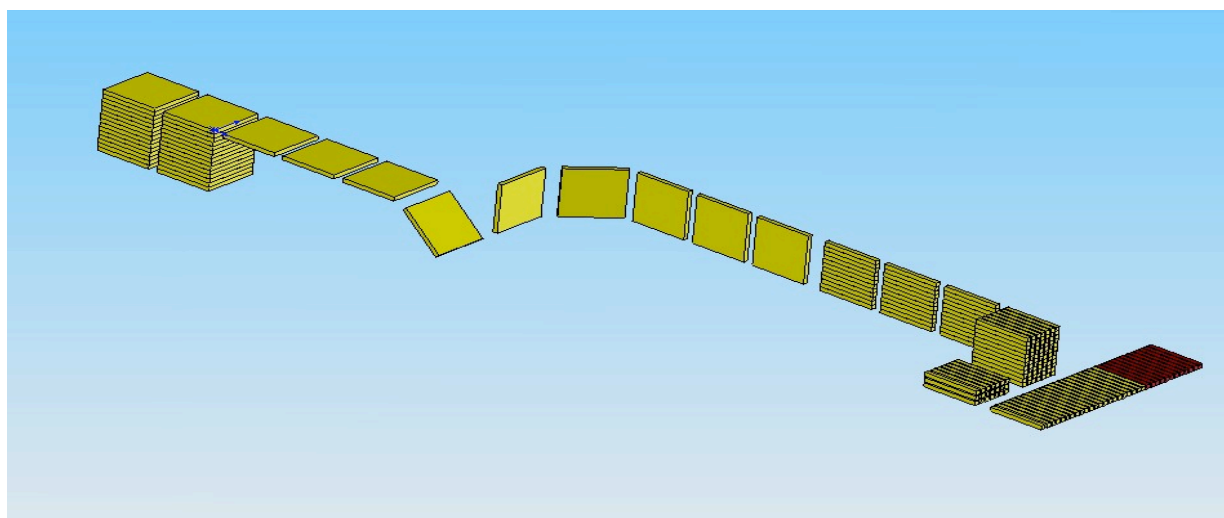


Рис. 2.2. – Поток пакетов термоизоляции и их преобразование на участке УРСТ.

Разрез заготовок осуществляется при помощи составной пилы, вставленной в кассету (рис. 2.3.), которая одновременно разрезает слой термоизоляции на нужное количество кусков, в зависимости от изготавливаемой толщины панельной плиты. При изменении толщины изготавливаемой панельной плиты на другую толщину из номенклатуры изделий необходимо поменять кассету с пилами.

Процесс обмена кассеты с пилами затруднителен, поэтому требуется оптимальное планирование производства, обеспечивающее минимальную потерю времени на переналадку оборудования.

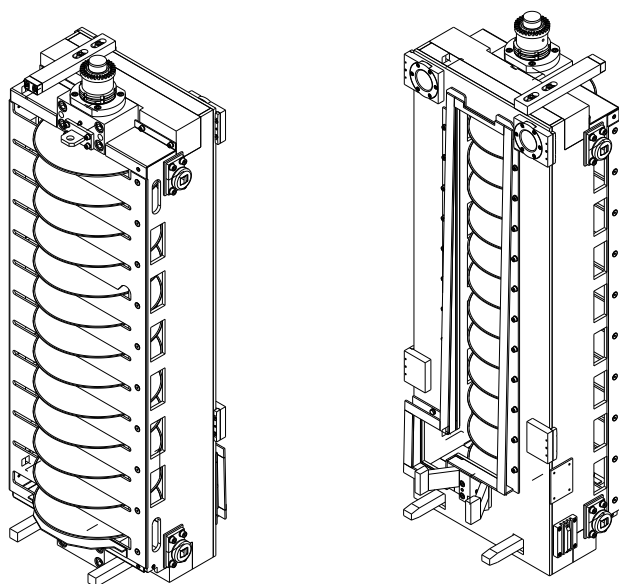


Рис. 2.3. – Кассета с пилами для разреза термоизоляции на участке УРСТ.

На рис 2.4. изображена схема получения кусков высоты 150мм термоизоляции из исходной заготовки – слоя термоизоляции размеров 800х1200х100 мм (маленькая упаковка термоизоляции). Данная схема разреза используется при изготовлении панельной плиты толщины 150мм.

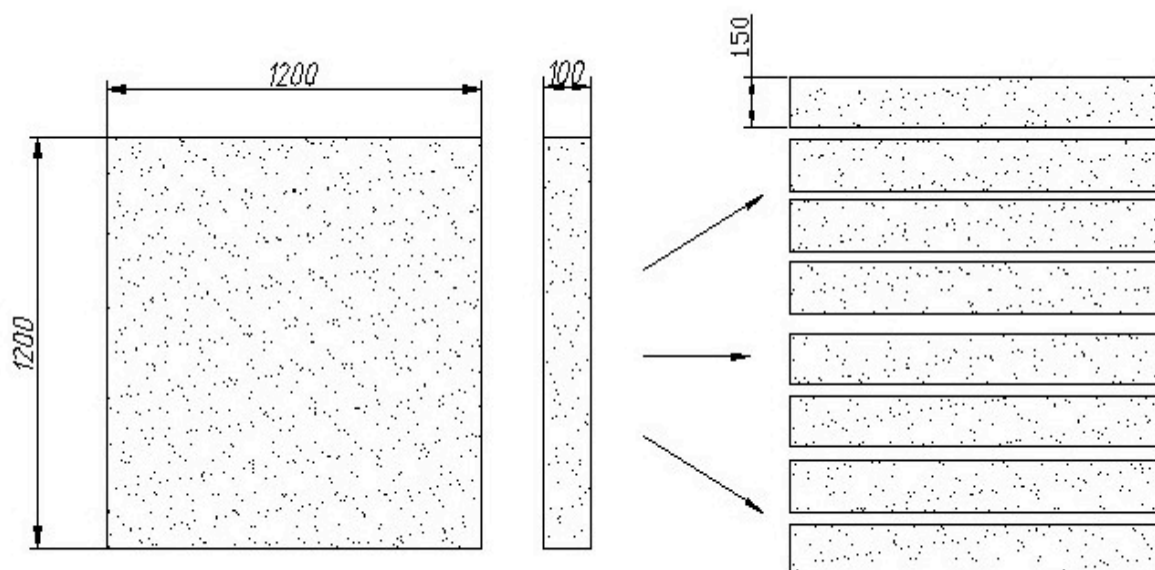


Рис. 2.4. – Схема разреза слоев термоизоляции при изготовлении плит толщины 150мм.

2.1. Перечень устройств производственного участка УРСТ

Все устройства участка УРСТ можно разделить в отдельные классы на основании их роли в производственном процессе.

2.1.1. Устройства транспортировки

Конвейеры:

Таблица 2.1.1.1.

Конвейеры на участке УРСТ

| Наименование устройства | Кол. | Емкость | Скорость движения | Примечание |
|--------------------------|------|---------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Конвейер 1 *conveyor1 | 1 | 3 ячейки, вмещающие 3 слоя минеральной ваты | 19 – 35 м /мин | Служит для транспортировки неразрезанных слоев минеральной ваты |

Продолжение табл. 2.1.1.1.

| | | | | |
|------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конвейер 2 *conveyor2 | 1 | 5 ячеек, вмещающих 5 слоев минеральной ваты | 19 – 35 м /мин | Служит для транспортировки неразрезанных слоев минеральной ваты |
| Конвейер 3 *conveyor3 | 1 | 3 ячейки, вмещающие 3 слоя минеральной ваты | 19 – 35 м /мин | Служит для транспортировки разрезанных слоев минеральной ваты |

Другие устройства транспортировки:

Таблица 2.1.1.2

Другие устройства транспортировки на участке УРСТ

| Наименование устройства | Кол. | Емкость | Время на транспортировку, с | Примечание |
|-------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Промежуточный накопитель * wool storage intermediate | 1 | 7 ячеек, вмещающих 7 разрезанных слоев минеральной ваты | 30 с | Служит для транспортировки разрезанных слоев минеральной ваты до цепного транспортера |
| Цепной транспортер * last chain conveyor | 1 | 18 ячеек, вмещающих 18 кусков минеральной ваты | 3.5 с для транспортировки каждого куска наполнителя | Служит для транспортировки кусков минеральной ваты до главной производственной линии |

2.1.2. Устройства обработки и вспомогательные устройства

Таблица 2.1.1.3

Устройства для операций технологического процесса на участке УРСТ

| Наименование устройства | Емкость или количество ресурсов | Время на выполнение операции, с | Примечание |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Устройство замена паллетов * changing pallets | 1 | 28 с | Служит для обмена паллетов исходного вещества - термоизоляции в начале производственного участка |
| Устройство распределения слоев * layering the mineral wool | 1 | | Служит для выделения отдельных слоев исходного вещества – термоизоляции - в начале производственного участка |
| Устройство поворота слоев * turning the wool | 1 | 5.8 с | Служит для поворота слоев термоизоляции перед началом транспортировки на конвейере 2 |
| Пила для разреза слоев * cutting the wool | 1 | 2.8 с | Пила для разреза слоев минеральной ваты на куски нужной толщины |
| Механизм заполнения накопителя * filling process delay | 1 | 2 с | Механизм заполнения промежуточного накопителя разрезанными слоями минеральной ваты |

Продолжение табл. 2.1.1.3.

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------|---|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Устройство разгрузки накопителя * final woolpiece layering | 1 | 3 с | Служит для разгрузки промежуточного накопителя и распределения кусков минеральной ваты на цепной транспортер |
|-------------------------------------------------------------------|---|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

ПРИМЕЧАНИЕ: обозначения с ‘*’ в названиях устройств означают название устройства в имитационной модели. Из-за невозможности применения русских названий были использованы английские аналоги.

2.2. Исходные заготовки для производственной системы LGP2

На линии ГПЛ исходными заготовками являются пакеты – рулоны листовой нержавеющей стали.

На участке УРСТ исходными заготовками являются упаковки термоизоляции на стандартных евро паллетах двух разновидностей:

1. Большие упаковки – в данных упаковках на каждой паллете помещается 12 слоев минеральной ваты (рис. 2.2.1). Габариты каждого слоя равны 1200мм х 1200мм х 100мм.

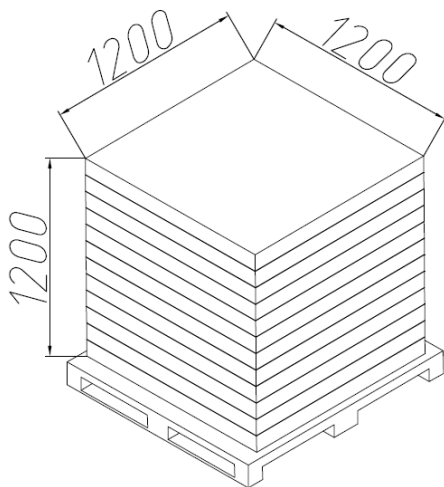
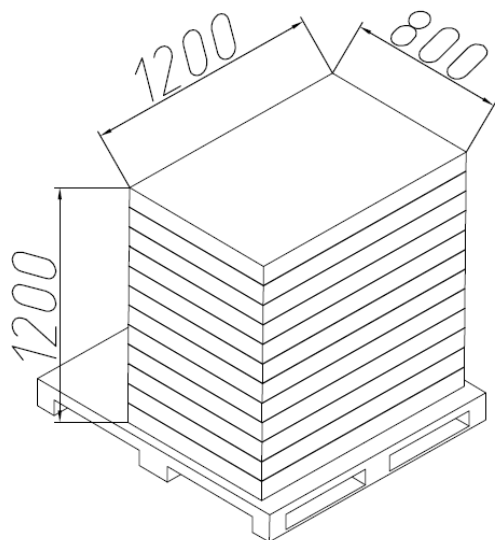


Рис. 2.2.1 – Упаковки слоев термоизоляции с габаритами 1200мм х 1200мм х 100мм

2. Маленькие упаковки – в данных упаковках на каждой паллете помещается 12 слоев минеральной ваты (рис. 2.2.2.) Габариты каждого слоя равны 800мм x 1200мм x 100мм



с

Рис. 2.2.2. – Упаковки слоев термоизоляции с габаритами 800мм x 1200мм x 100мм

Отдел планирования производства всегда заказывает одинаковое количество пакетов обеих типов – таковы условия поставщика. В предстоящей работе была проанализирована работа участка УРСТ при использовании обеих типов упаковок термоизоляции.

Использование заготовок

В зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты слои минеральной ваты разрезаться на куски разной толщины. При использовании маленьких упаковок (рис. 2.2.2.) некоторое количество материала выбрасывается как отход (табл. 2.2.1), так как ширина слоя (800мм) не может быть целочисленно поделена на параметр толщины панельной плиты.

Материал, который идет в отход выбрасывается и не может быть повторно использован.

Таблица 2.2.1.

Использование слоев термоизоляции (в зависимости от применяемого пакета исходных заготовок) на участке УРСТ

| Габариты слоя минеральной ваты | Толщина панельной плиты | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|----|-----|-----|------|-----|-----|
| | 60 | 80 | 100 | 120 | 150 | 200 | 240 |
| | Количество кусков, нарезаемых из одного слоя | | | | | | |
| 1200x1200x100 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| 800x1200x100 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| | | | | | | | |
| Количество отхода, % | 2.5 | - | - | 10 | 6.25 | - | 10 |

Количество отхода в % вычисляется по следующей формуле:

$$O = \frac{k - n \cdot d}{k} \cdot 100\%$$

где k – ширина слоев термоизоляции

n – количество кусков, нарезаемых из одного слоя термоизоляции

d – тольшина изготавливаемой панельной плиты

Для плит толщины 60мм количество отхода равно:

$$O = \frac{k - n \cdot d}{k} \cdot 100\% = \frac{800 - 13 \cdot 60}{800} \cdot 100\% = \frac{20}{800} \cdot 100\% = 2,5\%$$

2.3. Анализ работы ГПЛ и синхронизации с участком УРСТ

Работа ГПЛ должна быть непрерывной и работа участка УРСТ должна подчиняться этому условию.

Стандартные скорости движения линии ГПЛ при производстве фасадных панелей типа FTV Standart, шириной 800 мм, варьируются в диапазоне от 4 до 12 м/мин с постоянным шагом в 0,5м/мин. Скорость линии ГПЛ зависит от других условий работы линии и определяется заранее Отделом планирования производства.

Стандартные скорости движения конвейеров УРСТ находятся в диапазоне 19-35 м/мин с постоянным шагом в 2м/мин.

При проведении технологической практики были собраны данные о работе конвейеров УРСТ (табл. 2.3.1.) и линии ГПЛ, которые будут в дальнейшем использованы для проверки модели на адекватность.

В таблице 2.3.1 приведены данные о работе участка УРСТ и линии ГПЛ при использовании упаковок исходного материала для УРСТ типа 1 (больших заготовок, рис. 2.2.1).

Таблица 2.3.1.

Данные о значениях параметров производственной системы LGP2 при ее работе

| | | | | | |
|---------------------------------|----|------|------|-----|-----|
| Толщина панельной плиты, мм | 80 | 100 | 120 | 150 | 200 |
| Скорость конвейеров УРСТ, м/мин | 21 | 23 | 31 | 35 | 29 |
| Скорость ГПЛ, м/мин | 10 | 10,5 | 11,5 | 9,5 | 7 |

3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

При разработке имитационной модели использовались исходные данные, полученные на Технологической практике, руководящий материал по системе ИМ Arena, стандартах IDEF0 I IDEF3 и [1].

3.1. Текущее состояние производственной системы

В настоящий момент производственная система в полностью исправном состоянии и работает непрерывно с обязательными регламентированными ремонтами.

Работа участка УРСТ и скорость конвейеров регулируется и контролируется оператором при помощи автоматизированной системы управления производством SCADA.

Полученная модель должна дать адекватную и точную картину о состоянии производственного участка и системы в целом, выявить возможные недостатки в ее компоновке и предоставить отчет о загрузке оборудования всего участка УРСТ.

Модель должна позволять варьирование ее параметров с целью дополнительного исследования работы всей производственной системы LGP2.

3.2. Техническое задание

Техническое задание на создание, развитие и модернизацию Автоматизированной системы по ГОСТ 34.601-98 [2].

3.2.1. Общие сведения

Объектом исследования является современная производственная система по выпуску строительных панельных плит.

Полностью автоматизированная производственная система внедрена в производство на предприятии Тримо в городе Требье, Республики Словении (Trimo d.d., Trebnje, Republika Slovenija) и выступает в заводской документации под обозначением LGP2.

Более подробно исследуется участок данной производственной системы под названием УРСТ.

Сведения о работе данной производственной системы были получены в ходе проведения на предприятии Trimo d.d. производственной практики. В качестве источников сведений о данной производственной системе была использована заводская техническая документация, экспериментальные данные и сведения сотрудников Отдела по разработке и передаче новых технологий.

Работу по исследовании данной производственной системы требуется завершить до окончания 2. семестра 2007/2008 учебного года. Как результат работ по исследованию данной системы требуется предъявить комплект документации в стандарте IDEF0, IDEF3, а также разработанную на языке имитационного моделирования модель, оставляющую возможность варьирования, коррекции и адаптации всех без исключения ее параметров.

3.2.2. Назначение и цели создания имитационной модели

Требуется разработать адекватную модель Участка для разреза и сортировки термоизоляции производственной системы LGP2 и затем провести ее исследование и параметрический синтез, варьируя некоторые из параметров модели. Данная модель должна также адекватно отображать состояние и загрузку устройств участка УРСТ при непрерывной работе производственной системы.

В модели УРСТ требуется учитывать влияние всех устройств и приспособлений реального производственного участка.

Главные цели, для которых проводится разработка и исследование модели данного производственного участка:

- Определение оптимальных параметров работы всей производственной системы LGP2 при выпуске разных типов изделий
- Определение предельных возможностей производственной системы LGP2 при выпуске разных типов изделий
- Выявление оптимальных параметров работы системы LGP2 и участка

УРСТ в зависимости от использования разных исходных материалов. Эти данные предположительно будут использоваться в Отделе по планированию производства предприятия Тримо

- Качественная оценка работы производственного участка УРСТ

Основным требованием, предъявляемым к работе производственного участка по разрезке и сортировке термоизоляции (УРСТ) является непрерывная, бесперебойная работа всей производственной системы по выпуску строительных панельных плит LGP2.

Возможная максимальная скорость работы всей производственной системы LGP2 зависит от ее внутренних параметров и от вида выпускаемого изделия. За счет подбора оптимальных параметров работы участка УРСТ требуется обеспечить бесперебойную работу LGP2 и выявить теоретическую максимальную возможную скорость производственной системы в зависимости от вида выпускаемых изделий.

В результате необходимо получить перечень параметров работы участка УРСТ, которые обеспечивают непрерывную работу линии LGP2, для каждого из видов выпускаемых изделий.

Требуется также прогнозировать влияние использования разных типов исходных материалов на работу производственной системы.

Необходимо выявить возможные недостатки, связанные с устройством данного участка, а также производственной системы в целом и предложить возможный план модернизации.

3.2.3. Характеристика объектов исследования при разработке модели

Рассматриваемая производственная система LPGA2 и ее участок УРСТ являются полностью автоматизированными системами по выпуску панельных строительных плит.

Структура выпускаемого изделия “панельная плита” приводится на рис. 1.2.1. и рис. 1.2.2.

Данное изделие применяется при монтажных постройках всех типов. В данном случае рассматриваются фасадные панельные плиты.

Структуру производственной системы LPG2 можно условно разделить на 2 части:

- главную производственную линию
- участок по разрезке и сортировке термоизоляции (УРСТ)

На главной производственной линии происходит последовательно образование корпуса панельной плиты, вставка термоизоляции, окончательная обработка изделия, склеивание и разрез панельной плиты.

Схема первой части производственной системы – участка УРСТ и первой части производственной линии приводиться на рис. 2.1. и 2.2.

Контроль за параметры всей производственной системы и их изменение обеспечивает централизована система управления процессами SCADA. На участке УРСТ скорость конвейеров является единственным изменяемым параметром. Работа остальных устройств регулируется автоматически.

3.2.4. Требования к производственно системе, которые должна отображать имитационная модель

Требования к функционированию рассматриваемой производственной системы:

Работа обеих частей производственной системы должна быть синхронизированной. Это означает, что главная производственная линия должна работать с константной, ранее определенной скоростью без перебоев.

Бесперебойная работа и постоянный поток термоизоляции обеспечивается за счет изменения скоростей конвейеров на участке УРСТ. В данной дипломной работе определяются оптимальные скорости работы конвейеров участка УРСТ. Остановка главной производственной линии и всей производственной системы, из-за перебоя в доставке потока термоизоляции недопустима.

Требования и функции частей производственной системы, которые должна отображать создаваемая имитационная модель:

Функции главной производственной линии:

1. Изготовление корпуса изделия
2. Вставка в корпус изделия термоизоляции
3. Окончательная обработка и сборка изделия (склеивание)
4. Разрез изделия, упаковка и складирование

Функции Участка по разрезе и сортировке термоизоляции (УРСТ)

1. распаковка исходного материала – пакетов термоизоляции
2. разрез слоев термоизоляции на куски нужной толщины
3. сортировка разрезанной термоизоляции
4. вставка термоизоляции на главную производственную линию

Требования к производственному участку УРСТ:

1. Своевременное обеспечение производственной линии нужным количеством термоизоляции.
2. Точный разрез слоев термоизоляции на куски нужной толщины

3.2.5. Состав и содержание работ по созданию имитационной модели

В процессе создания модели и ее исследовании требуется получить следующий список документов:

а) Документы, описывающие работу производственной системы:

- Процессно-ориентирована диаграмма или комплекс диаграмм по стандарту IDEF3, отображающая общие черты главной производственной линии и детально описывающая работу участка УРСТ с учетом всех устройств данного участка.

Данная диаграмма необходима для создания имитационной модели производственного участка УРСТ и производственной системы в целом.

- Диаграмма IDEF0, описывающая процесс создания модели производственного участка и процедуры проведения эксперимента и исследования созданной модели.

Данная диаграмма используется в качестве инструкции по создании функциональной модели производственного участка и составляется с точки зрения технолога в отделе по планировании производства.

б) Модель производственной системы

Требуется создать модель производственной системы на одном из языков имитационного моделирования, проверить данную модель на адекватность и исследовать работу модели.

с) Результаты исследовательской части работы

Требуется привести результаты исследовательской части в наглядной форме (в виде графиков, таблиц и смещенных графиков)

3.2.6. Порядок контроля и приемки модели системы

Полученную модель требуется проверить на адекватность путем сравнения полученных результатов работы модели системы с данными о работе исследуемой производственной системы а также общепринятыми методами проверки имитационных моделей на адекватность.

После выявления адекватности модели требуется провести исследовательскую часть.

3.2.7. Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие

Разработанная модель системы должна позволять варьирование всех ее параметров и свойств, если в силу изменения параметров исходной производственной системы появится такая необходимость.

При вводе модели в действие, по необходимости, изменяются значения ее параметров.

3.2.8. Источники разработки

Источники о работе действительной производственной системы:

- данные из Отдела по планированию производства и Отдела по разработке и внедрению новых технологий предприятия Trimo d.d.
- экспериментальные данные, полученные в процессе исследования системы
- данные, полученные от операторов производственной системы

3.3. Разработка диаграммы IDEF3

IDEF3 является стандартом документирования технологических процессов, происходящих на предприятии [4, с. 252]. и предоставляет инструментарий для наглядного исследования и моделирования изменений свойств объекта в рамках рассматриваемого производственного процесса.

Для описании данного производственного процесса используется разновидность диаграммы IDEF3, Диаграмма Последовательности Этапов Процесса (Process Flow Description Diagram, PFDD) [3]. В данной диаграмме была описана часть технологического процесса изготовления панельных плит. С большей степенью детализации были описаны процессы, происходящие на участке УРСТ для облегчения составления имитационной модели.

Прямоугольники на разработанной диаграмме PFDD называются функциональными элементами или элементами поведения (Unit of Behavior, UOB) и обозначают стадию производственного процесса.

Стрелки на диаграмме обозначают направление производственного процесса, а элемент J1 диаграммы “Асинхронный И”, Asynchronous AND, означает, что все предшествующие этому блоку процессы должны быть завершены до данной точки производственного процесса перед выполнением последующих стадий производственного процесса .

Данная диаграмма является основой для разработки имитационной модели.

3.4. Разработка диаграммы IDEF0

Диаграмма IDEF0 должна описывать процесс и последовательность создания модели производственного участка [4, с. 243] и процедуры проведения эксперимента и исследования созданной модели.

На диаграмме должны быть отмечены главные этапы разработки ИМ производственной системы, а также порядок проведения эксперимента,

последовательность обработки результатов и правила проверки модели на адекватность.

Данная диаграмма является главной инструкцией для создания функциональной модели производственного участка [5], а также для проведения эксперимента и обработки результатов эксперимента. Диаграмма должна описывает действия на всех этапах разработки и анализа модели.

3.5. Разработка имитационной модели

Имитационная модель производственной системы LGP2 и участка УРСТ разрабатывалась в системе ИМ Arena.

При разработке модели принималось во внимание, что участок УРСТ требует тщательного исследования, в то время как работа ГПЛ смоделирована только как непрерывно работающая система (непрерывный поток транзактов, [6]), без детального описания ее компонентов.

Такое построение ИМ всей производственной системы LGP2 вполне допустимо, так как главным объектом исследования является участок УРСТ. Работа ГПЛ в данном проекте подробно не рассматривается и не является предметом углубленного исследования.

Для облегчения написания ИМ все устройства производственного участка были систематизированы в разные группы. Каждому из устройств был сопоставлен блок системы ИМ Arena [7].

Написание имитационной модели сводиться к следующим этапам:

3.5.1. Описание появления транзактов на модели УРСТ

Транзакты [6], которые появляются на модели УРСТ представляют собой совокупность паллетов исходных заготовок – пакетов термоизоляции.

Транзакты появляются с константным интервалом t_2 равным 1,5 минуты, так как по регламентам завода это требуемое время для доставки одной паллеты термоизоляции со склада исходных заготовок.

3.5.2. Описание устройств транспортировки на участке УРСТ

Описание конвейеров: Конвейер 1, Конвейер 2, Конвейер 3

Все три конвейера в модели описываются сведущими блоками языка Arena: Convey, Access, Station, Exit [7].

Блоки нужны для описания работы конвейеров и означают начало и конец конвейера, а также процесс загрузки ячеек конвейера и их последующей разгрузки.

В закладке Conveyor module и Segment описываются следующие параметры конвейеров:

- Длина конвейера между двумя станциями

Длина описывается в единицах длины конвейера.

За единицу длины принята длина одного слоя минеральной ваты $l = 1200$ мм

Длина каждого из конвейеров в программе приводиться в табл. 3.5.2.1.

Таблица 3.5.2.1

Длина конвейеров участка УРСТ в единицах длины l

| Наименование | Конвейер 1 | Конвейер 2 | Конвейер 3 |
|---------------------------|------------|------------|------------|
| Наименование в программе | Conveyor 1 | Conveyor 2 | Conveyor 3 |
| Длина в ячейках конвейера | 3 | 5 | 3 |

- Скорость конвейеров

Скорость конвейеров для всех конвейеров УРСТ одинаковая. В программе она описывается следующим выражением:

$$V_c = Conveyor_speed \cdot \frac{1000}{l}$$

где: V_c - переменная, описывающая скорость конвейеров в программе, л/мин

$Conveyor_speed$ – внешняя переменная, задающая скорость конвейеров, м/мин

l – ячейка конвейера, равна длине слоя минеральной ваты. $l=1200$ мм

При скорости конвейеров УРСТ равной 25м/мин - $Conveyor_speed = 25$ м/мин

$$V_c = Conveyor_speed \cdot \frac{1000}{l} = 25 \cdot \frac{1000}{1200} = 20,833 \frac{l}{мин}$$

Скорость конвейеров задается блоком Adjust conveyor speed в начале модели.

Описание цепного транспортера:

Цепной транспортер в модели описан как процесс, требующий некоторое время на выполнение. Время выполнения равно времени на транспортировку одного куска изоляции при работе конвейера.

Данные для блока Process:

Время выполнения определяется по нормальному закону с следующими параметрами:

Математическое ожидание: 3.5с

Среднеквадратичное отклонение: 0.3с

Транспортер описан как процесс, имеющий в распоряжении 18 ресурсов – 18 ячеек цепного транспортера.

Описание промежуточного накопителя:

промежуточный накопитель описывается блоками Batch и Process.

Данные для блока Process:

Время выполнения процесса транспортировки накопителя определяется по нормальному закону со следующими параметрами:

Математическое ожидание: 30с

Среднеквадратичное отклонение: 3с

Накопитель описан как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

Оператор Batch симулирует работу накопителя, собирающего 7 разрезанных слоев термоизоляции.

3.5.3. Описание устройств и этапов технологического процесса на УРСТ

Описание устройства обмена паллетов исходной заготовки:

Устройство обмена паллетов описывается блоками Separate и Process.

Данные для блока Process:

Время выполнения замена паллета определяется по нормальному закону со следующими параметрами:

Математическое ожидание: 28с

Среднеквадратичное отклонение: 2с

Устройство описано как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

Оператор Separate описывает разделение паллета термоизоляции на 12 отдельных слоев.

Описание устройства поворота слоев минеральной ваты :

Устройство поворота слоев описывается блоком Process.

Данные для блока Process:

Время на поворот одного слоя термоизоляции:

Математическое ожидание: 5.8с

Среднеквадратичное отклонение: 0.7с

Устройство описано как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

Описание пилы для разреза минеральной ваты :

Пила для разреза термоизоляции описывается блоком Process.

Данные для блока Process:

Время на разрез одного слоя термоизоляции:

Математическое ожидание: 2.8с

Среднеквадратичное отклонение: 0.2с

Пила описана как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

Описание механизма заполнения промежуточного накопителя:

Механизм заполнения накопителя описывается блоком Process.

Данные для блока Process:

Время на загрузку одного слоя термоизоляции:

Математическое ожидание: 2с

Среднеквадратичное отклонение: 0.2с

Механизм описан как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

Описание устройства разгрузки промежуточного накопителя:

Устройство разгрузки промежуточного накопителя описывается блоком Process.

Данные для блока Process:

Время на разгрузку:

Математическое ожидание: 3с

Среднеквадратичное отклонение: 0.5с

Устройство описано как процесс, имеющий в распоряжении один ресурс.

ПРИМЕЧАНИЕ:

При исследовании участка УРСТ было сделано несколько измерений времени, которое необходимо на выполнения процессов или операций на данном участке.

Количество данных измерений изменялось в диапазоне от 4 до 8.

Эти измерения были впоследствии сравнены и выяснилось, что они отличаются очень незначительно. Было вычислено среднее значение каждого из измерений.

При описании работы участка УРСТ в некоторых местах используется нормальный закон распределения случайной величины – средние значения выше упомянутых измерений используются при описании нормального закона как математическое ожидание. Среднеквадратичное отклонение было задано как очень маленькая величина.

Использование нормального закона распределения при описании работы производственной системы целесообразно, так как время на выполнение каждого процесса может не быть постоянным. Однако для точного определения параметров описания случайной переменной нужно более длительное исследование производственной системы.

На изменения времени выполнения процессов в производственной системе могут влиять перебои или нестабильность напряжения в сети, перебои в сигналах управления, случайные события, износ оборудования ИТД.

3.5.4. Вспомогательные блоки языка Arena

В имитационной модели используются вспомогательные блоки для точного отображения работы всей системы.

Это блоки Hold, Station, Assign, PickStation и Separate [7]. Они регулируют поток транзактов в модели и способствуют более точной работы самой симуляции.

3.5.5. Описание работы ГПЛ

Работа ГПЛ в данной имитационной модели не описывается подробно. Описание ограничивается описанием потока преобразованных заготовок корпусов детали и описанием условия непрерывной работы производственной системы LGP2.

Поток заготовок для корпуса изделия описывается потоком транзактов, названных “1m panel plate”

Скорость главной производственной линии Р варьируется в диапазоне 4-12 м/мин

В модели транзакты, описывающие работу ГПЛ приходят с постоянным интервалом, равным t .

$$t = \frac{l \cdot 60}{1000 \cdot \text{main_line_speed}}$$

где: t – время между появлениями транзактов, с

l – длина кусков термоизоляции, поступающих на ГПЛ, мм

main_line_speed – скорость главной производственной линии, м/мин

При скорости ГПЛ равной 12м/мин - $\text{main_line_speed} = 12\text{м/мин}$

$$t = \frac{l \cdot 60}{1000 \cdot \text{main_line_speed}} = \frac{1200 \cdot 60}{1000 \cdot 12} = 6\text{с}$$

Согласно условию задания, работа ГПЛ должна быть непрерывной. В ИМ это условие реализовалось оператором Match [7], который синхронизировал потоки транзактов ГПЛ и УРСТ. По условию задания требовалось, что бы на потоке транзактов ГПЛ не появлялись очереди.

После синхронизации потоков были использованы операторы Batch [7] для описания сборки изделия и блок Record для сбора статистики о работе модели.

3.5.6. Описание глобальных переменных в модели

В модели используются следующие глобальные [8] переменные.

Таблица 3.5.6.1

Переменные в имитационной модели системы LGP2

| Наименование переменной | Наименование в модели | Диапазон изменения | Единица |
|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------|
| Скорость ГПЛ | Main_line_speed | 4 - 12 | м/мин |
| Скорость конвейеров УРСТ | Conveyor_speed | 19-35 | м/мин |
| Толщина панельной плиты | Panel_thickness | 60-240 | мм |

Толщина изготавливаемого изделия влияет на толщину разрезанных кусков термоизоляции.

3.5.7. Дополнительные этапы создания имитационной модели

Исходная версия модели может использоваться для разных целей исследования работы исходной системы. С помощью настройки количества транзактов в модели можно использовать разработанную имитационную модель

в разных целях. Путем изменения количества транзактов в системе получаются две версии модели:

1. Модель для исследования возможностей системы LGP2 – Модель 1

Данная модель, не предусматривает возможности непрерывной работы системы. В данной модели ограниченное количество транзактов, данная модель служит для исследования возможностей производственной системы.

2. Модель для исследования загрузки устройств и работы системы LGP2 - Модель 2

Данная модель предусматривает возможность непрерывной работы системы, количество транзактов у нее не ограничено. В данную модель, включены также графики, описывающие работ и загруженность устройств участка УРСТ. Данная модель служит для подробного исследования работы устройств и возможностей оптимизации их работы.

Отличие между моделями заключается в том, что в модели 1 ограниченное количество транзактов всех типов, а в модели 2 количество транзактов неограниченно.

4. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Разработанная имитационная модель производственной системы LGP2 была исследована в системе для оптимизации OptQuest.

Исследование системы в среде OptQuest дает уникальную возможность решать многокритериальную задачу исследования системы с варьированием нескольких ее параметров в произвольных диапазонах. Данный способ исследования имитационной модели в языке Arena является самым эффективным, точным и простым в применении.

Согласно требованиям в техническом задании проводились исследования работы производственной системы LGP2 на имитационной модели в зависимости от изменения ее параметров.

Результаты были приведены в форме графиков и диаграмм и дополнительно исследованы. На основании анализа графиков были выбраны оптимальные решения из области допустимых решений. Это окончательные результаты данного исследования, которые могут быть применены при эксплуатации реальной производственной системы LGP2.

4.1. Описание функции пригодности

Для оценки решений, полученных в процессе исследования имитационной модели, определяется функция пригодности F .

$$F(P, v,)$$

где $F(P, v,)$ - функция пригодности; совокупность оптимальных параметров работы производственной системы LGP2 (рис. 4.1.1.)

P - скорость работы главной производственной (ГПЛ), м/мин

v - скорость движения конвейеров участка УРСТ, м/мин

функция пригодности увеличивается с увеличением P и уменьшается при увеличении скорости конвейеров УРСТ v (см. рис. 4.1.1.)

Это объясняется спецификой работы производственного участка и задачей на проектирование. Требуется определить максимальную возможную скорость работы ГПЛ, но при этом из возможных решений выбрать такое, которое предусматривает минимальную скорость движения конвейеров на участке

УРСТ. Меньшая скорость движения конвейеров означает меньшие затраты энергии и уменьшает износ оборудования.

В отдельных случаях на производстве, когда скорость линии ГПЛ задана другими, внешними параметрами производственной системы, функция пригодности F зависит только от переменной v и переменная P при этом остается постоянной. Возможные варианты решений в таком случае выбираются только среди решений с постоянным, заданным значением P .

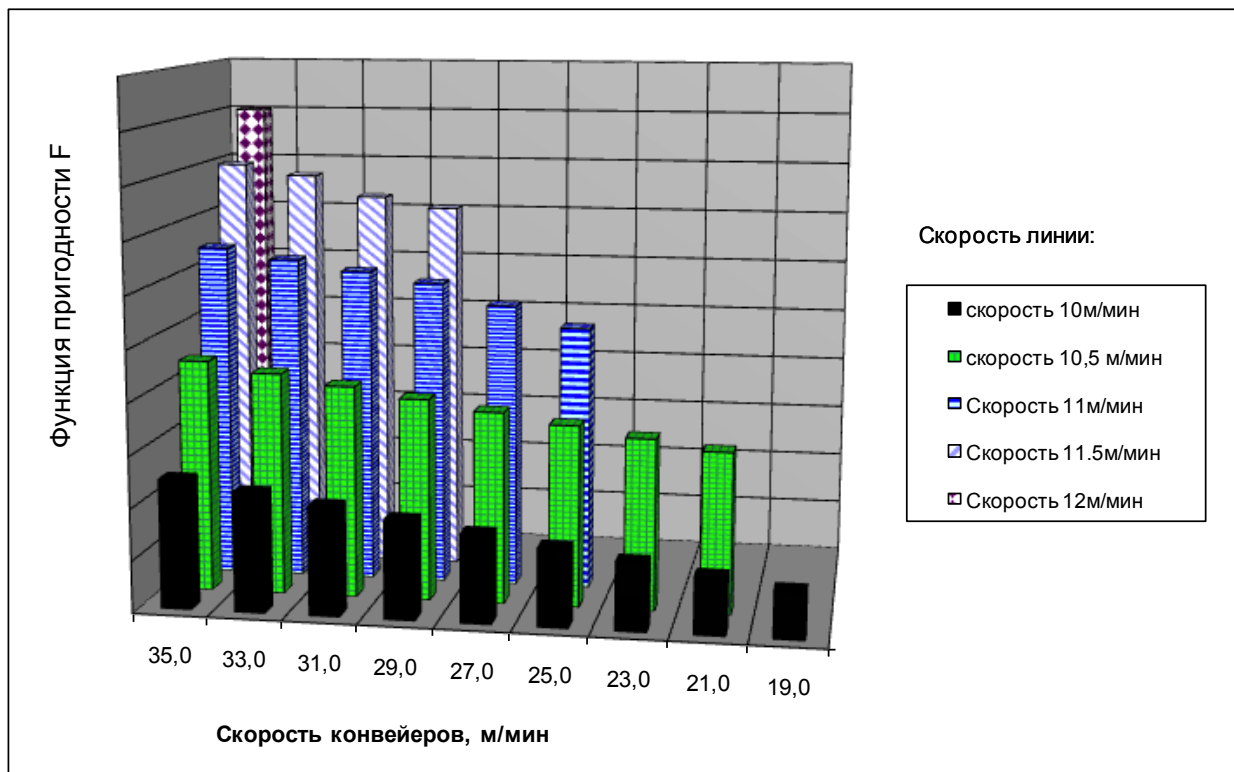


Рис. 4.1.1. – Функция пригодности $F(P, v)$

На рис. 4.1.1 показаны результаты эксперимента из серии экспериментов 1, где исследовался процесс изготовления плит толщины 120мм. Из рис. следует, что функция пригодности F всегда возрастает с увеличением скорости P ГПЛ.

На рис. 4.1.1 также показано, что значение функция пригодности F в первую очередь зависит от значения P ГПЛ и поэтому всегда, за исключением оговоренного выше случая предпочтительные решения с большей скоростью P , не зависимо от скорости конвейеров v .

4.2. План эксперимента

Экспериментальная часть состоит из двух серий экспериментов:

- Первая серия экспериментов – исследование работы линии ГПЛ при использовании пакетов исходных заготовок для УРСТ первого типа (большие заготовки).

Исследуется работа производственной системы при выпуске панельных плит разной толщины – для каждой толщины в отдельности.

- Вторая серия экспериментов - исследование работы ГПЛ при использовании пакетов исходных заготовок для УРСТ второго типа (маленькие заготовки).

Исследуется работа производственной системы при выпуске панельных плит разной толщины – для каждой толщины в отдельности.

Этапы проведения обеих серий экспериментов и все условия одинаковые.

Варьируемые параметры [9] при проведении эксперимента следующие:

1. Толщина изготавливаемой панельной плиты.

Толщина изготавливаемой панельной плиты в имитационной модели обозначается переменной `panel_thickness`.

Диапазон изменения переменной: 60мм – 240 мм

Шаг варьирования: неравномерный, переменная принимает значения: 60мм, 80мм, 100мм, 120мм, 150мм, 200мм, 240мм

2. Скорость ГПЛ

В имитационной модели скорость ГПЛ обозначается системной переменной `main_line_speed`.

Эта переменная учитывается в функции пригодности $F(P, v)$, где она обозначается как P .

Диапазон изменения переменной: 4 – 12 м/мин

Шаг варьирования: 0.5 м/мин

Диапазон варьирования и шаг варьирования переменной соответствуют данным реальной системы.

3. Скорость конвейеров УРСТ

В имитационной модели скорость ГПЛ обозначается системной переменной `conveyor_speed`.

В выражении для функции пригодности $F(P, v)$ эта переменная называется v .

Диапазон изменения переменной: 19 – 35 м/мин

Шаг варьирования: 2 м/мин

Диапазон варьирования и шаг варьирования переменной соответствуют данным реальной системы.

Главное условие для оценки решений и работы системы OptQuest:

Длина очереди на блоке First stages of production.

При бесперебойной работе системы длина очереди на этом блоке должна быть равна 0.

4.3. Этапы проведения эксперимента

1. Создание варианта имитационной модели для исследования в системе OptQuest.

Вариант имитационной модели для исследования (Модель 1) отличается тем, что не предусматривает бесконечной работы модели и ограничен во времени конечным числом транзактов. При работе системы OptQuest используется версия имитационной модели Модель 1. (см. стр. 33)

Для каждой части эксперимента создается свой подвариант имитационной модели с своими исходными данными.

2. Настройка модели для работы с конкретными начальными условиями.

Перед запуском системы OptQuest необходимо в модели настроить толщину панельной плиты, процесс изготовления которой исследуется в модели. Этот параметр остается постоянным при работе системы OptQuest.

3. Настройка системы OptQuest для работы с моделью.

Требуется настроить значения шага варьирования и диапазона для переменных `conveyor_speed`, `main_line_speed`. Точкой начала исследования назначалось точку, в которой значение всех параметров минимальное

4. Запуск модели и работа программы до естественной остановки
5. Запись результатов работы модели в файл для дальнейшего исследования

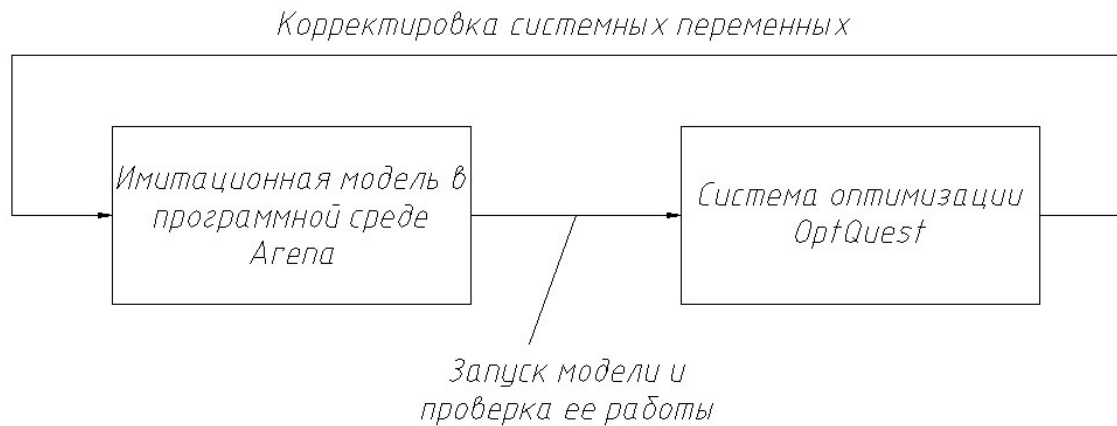


Рис. 4.3.1. – Принцип работы системы OptQuest.

Схема работы и взаимодействия системы оптимизации OptQuest и системы имитационного моделирования Агента

4.4. Результаты эксперимента:

Полученные в программном комплексе OptQuest значения были записаны в отдельные файлы и затем обработаны в программах Excel и Word. Результаты исследования представлены в виде диаграмм, в которых скорость ГПЛ, P , откладывается вертикально по оси ординат и скорость конвейеров УРСТ, v , откладывается горизонтально по оси абсцисс.

Возможные скорости работы ГПЛ и соответствующие им скорости движения конвейеров УРСТ закрашены серым цветом. Оптимальные из полученных допустимых решений были выбраны с помощью целевой функции и закрашены черным цветом. На каждой из диаграмм было выбрано одно оптимальное решение.

На диаграммах описаны только режимы работы производственной системы при граничных, случаях, когда скорость линии ГПЛ может зависит от скорости конвейеров УРСТ. Для всех остальных значений скорости ГПЛ, которые ниже рассмотренных на диаграммах считается, что они возможны и осуществимы при любой скорости УРСТ из диапазона возможных значений.

На диаграммах отображены следующие переменные:

- Скорость ГПЛ, Р
(Диапазон изменения переменной: 4 – 12 м/мин)
- Скорость конвейеров УРСТ, v
(Диапазон изменения переменной: 19 – 35 м/мин)

4.4.1. Результаты первой серии экспериментов:

В первой серии экспериментов была исследована работа производственной системы LPG2 при использовании исходных заготовок первого типа (больших пакетов с габаритами слоев термоизоляции 1200ммх1200ммх100мм) для участка УРСТ.

По условию задания была исследована работа системы при выпуске плит толщинами 60мм, 80мм, 100мм, 120мм, 150мм, 200мм, 240мм.

Р,

м/мин

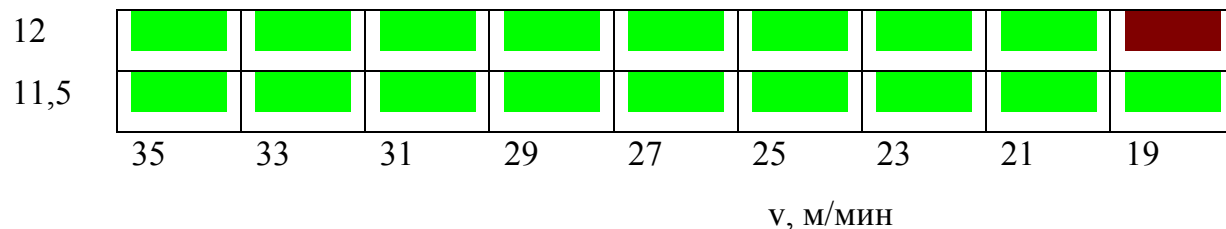


Рис. 4.4.1.1. Максимальная возможная скорость ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 60мм.

Р,

м/мин

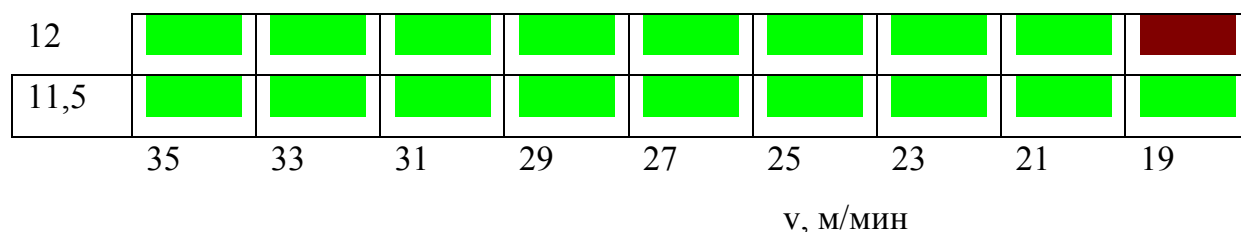


Рис. 4.4.1.2. Максимальная возможная скорость ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 80мм.

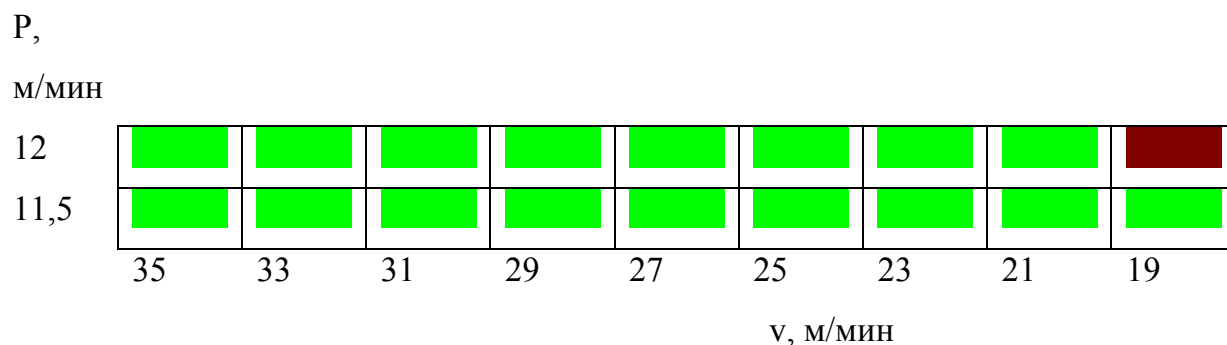


Рис. 4.4.1.3. Максимальная возможная скорость ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 100мм.

Из рис. 4.4.1.1., 4.4.1.2. и 4.4.1.3. видно, что при данных толщинах панельных плит скорость линии может лежат в диапазоне 4 – 12 м/мин, скорость конвейеров УРСТ также может принимать любое значение в диапазоне 19-35 м/мин. При изготовлении плит данных толщин и использовании слоев термоизоляции размерами 1200х1200х100мм работа участка УРСТ никак не влияет на скорость ГПЛ.

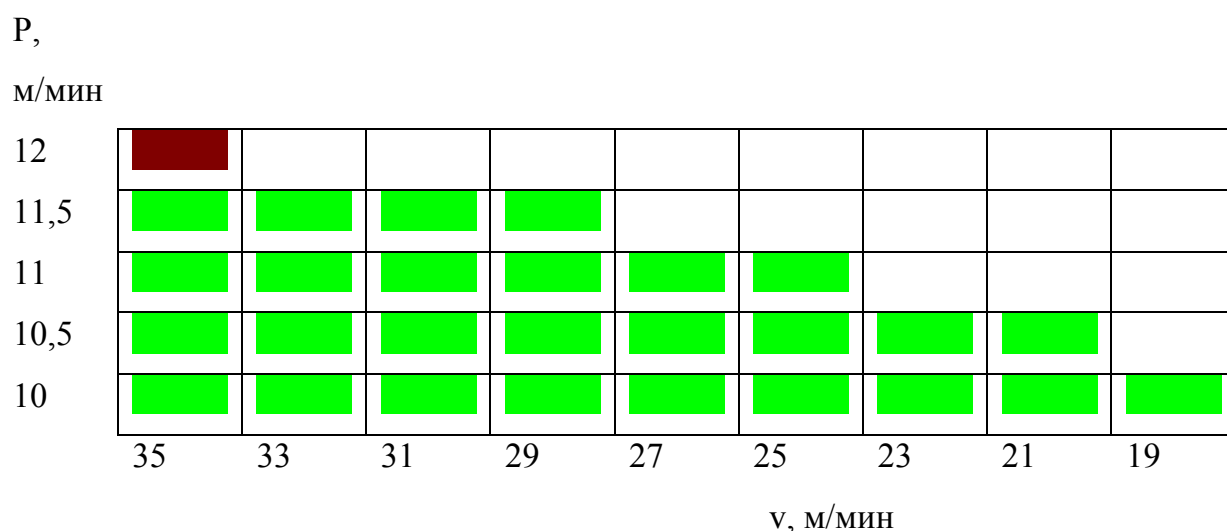


Рис. 4.4.1.4. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 120мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ

Видно, что максимальная скорость работы ГПЛ осуществима только при максимальной скорости работы УРСТ. Скорость ГПЛ в диапазоне 10,5 -11,5

м/мин также накладывает ограничения на скорость конвейеров УРСТ. При скорости ГПЛ ниже или равной 10 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

P,

м/мин

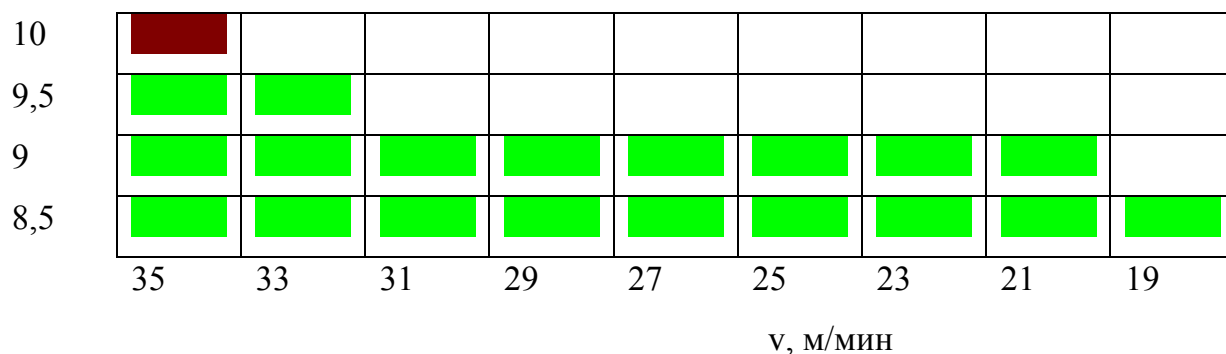


Рис. 4.4.1.5. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 150мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Максимальная скорость работы ГПЛ равна 10м/мин и осуществима только при максимальной скорости работы УРСТ. Скорость ГПЛ в диапазоне 9,5 -9 м/мин также накладывает ограничения на скорость конвейеров УРСТ. При скорости ГПЛ ниже или равной 8,5 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

P,

м/мин

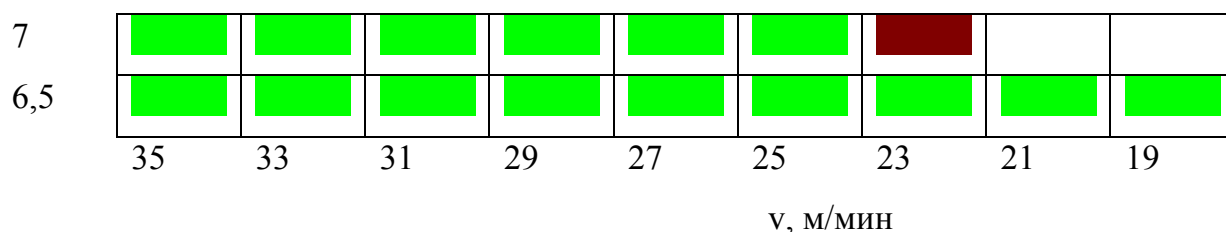


Рис. 4.4.1.6. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 200мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из рис. 4.4.1.6 видно, что максимальная возможная скорость ГПЛ равна 7м/мин.

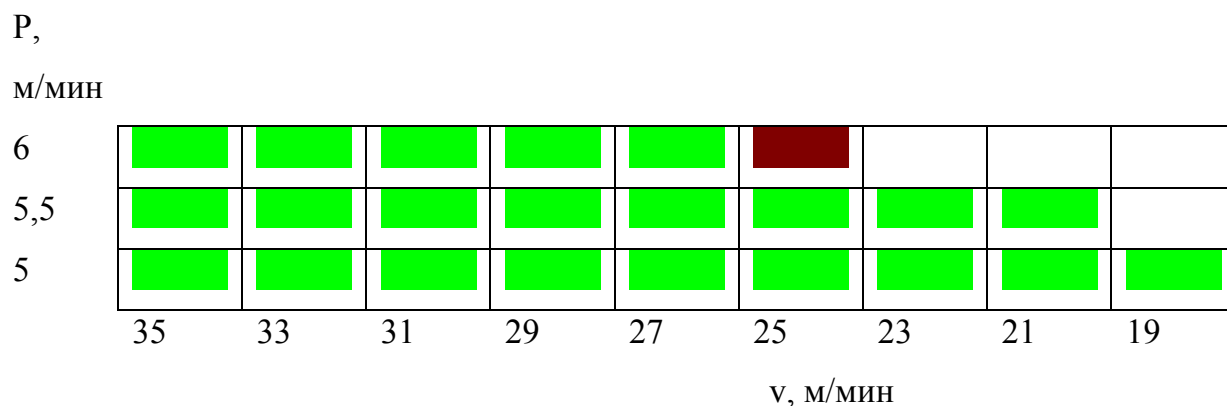


Рис. 4.4.1.7. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 240мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из рис. 4.4.1.7 видно, что максимальная возможная скорость ГПЛ равна 6м/мин.

4.4.2. Результаты второй серии экспериментов

Во второй серии экспериментов была исследована работа производственной системы LPG2 при использовании исходных заготовок второго типа (маленьких пакетов со габаритами слоев термоизоляции 800ммх1200ммх100мм) для участка УРСТ.

По условию задания была исследована работа системы при выпуске плит толщинами 60мм, 80мм, 100мм, 120мм, 150мм, 200мм, 240.

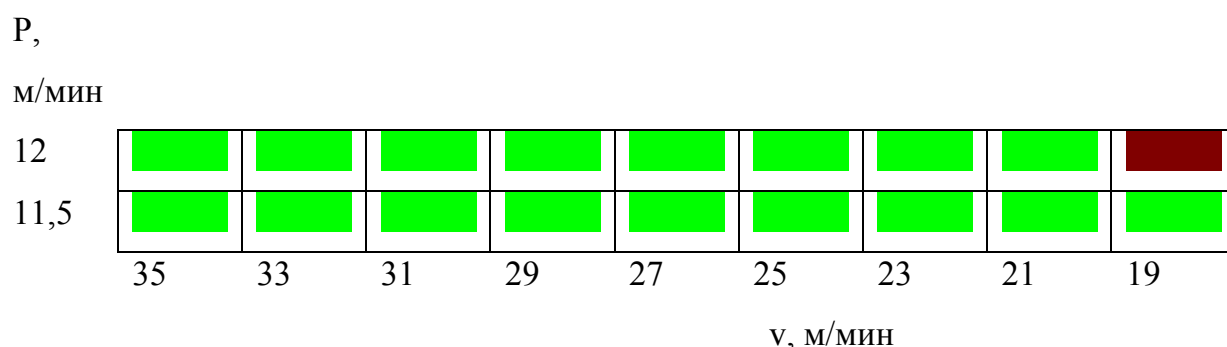


Рис. 4.4.1.8. Максимальная возможная скорость ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 60мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из рис. 4.4.1.8. видно, что при данной толщине панельных плит и использовании слоев термоизоляции размерами 1200x1200x100мм скорость линии может лежат в диапазоне 4 – 12 м/мин и скорость конвейеров УРСТ также может принимать любое значение в диапазоне 19-35 м/мин.

При изготовлении плит данных толщин работа участка УРСТ никак не влияет на скорость ГПЛ.

P,

м/мин

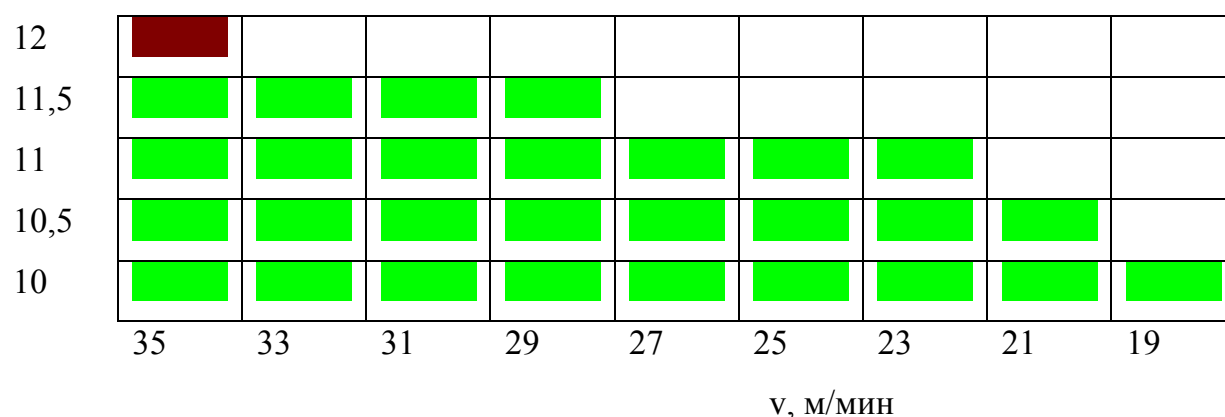


Рис. 4.4.1.9. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 80мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из диаграммы рис. 4.4.1.9. следует, что максимальная скорость работы ГПЛ осуществима только при максимальной скорости работы УРСТ. Скорость ГПЛ в диапазоне 10,5 -11,5 м/мин также накладывает ограничения на скорость конвейеров УРСТ. При скорости ГПЛ ниже или равной 10 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет

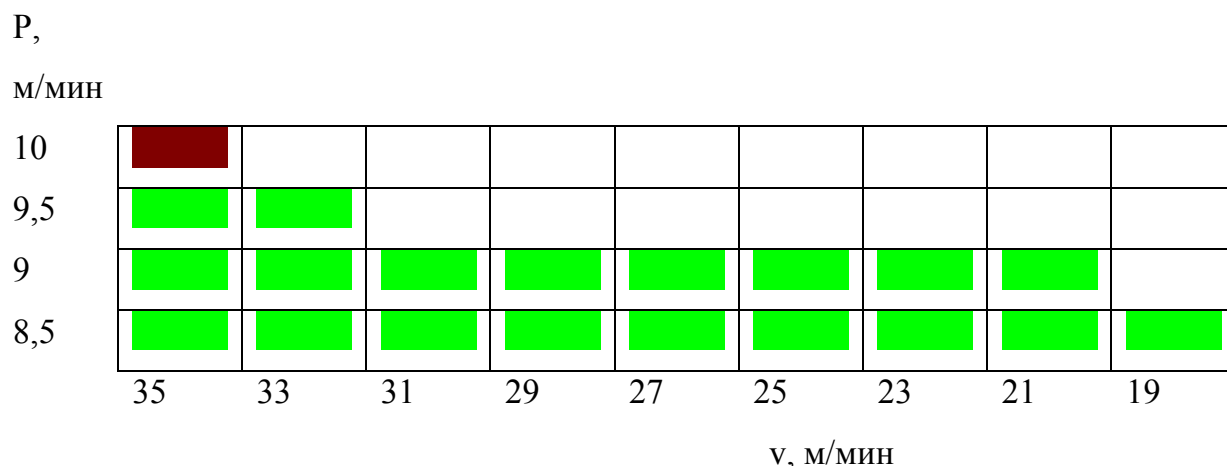


Рис. 4.4.1.10. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 100мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Максимальная скорость работы ГПЛ равна 10м/мин и осуществима только при максимальной скорости работы УРСТ. Скорость ГПЛ в диапазоне 9,5 -9 м/мин также накладывает ограничения на скорость конвейеров УРСТ. При скорости ГПЛ ниже или равной 8,5 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

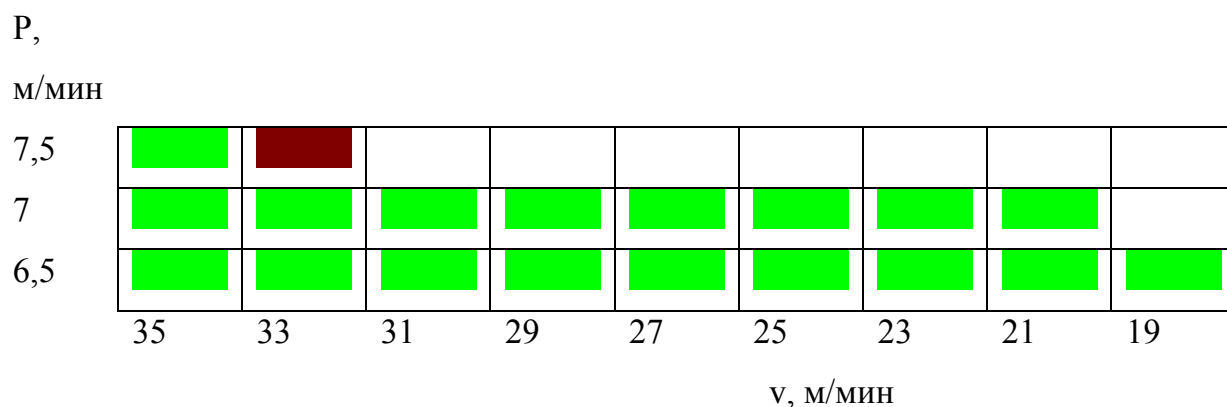


Рис. 4.4.1.11. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 120мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Максимальная скорость работы ГПЛ равна 7,5м/мин. При скорости ГПЛ ниже или равной 6,5 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

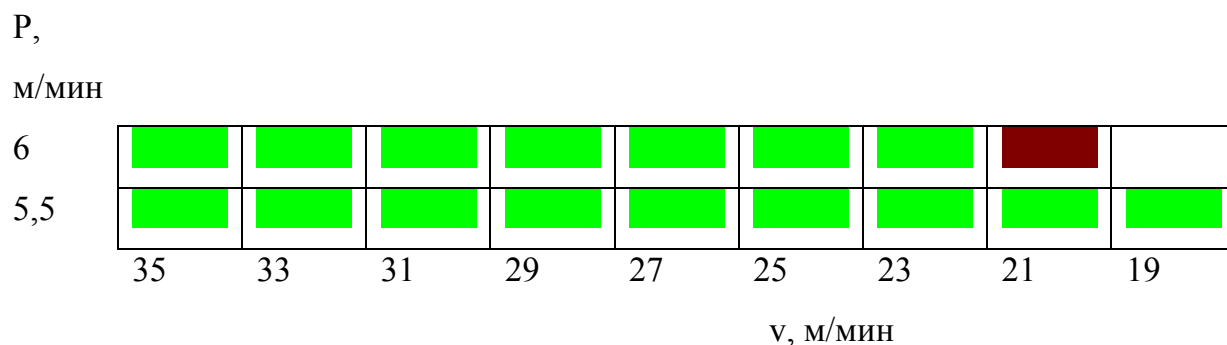


Рис. 4.4.1.12. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 150мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из диаграммы рис. 4.4.1.12. следует, что максимальная скорость работы ГПЛ равна всего 6м/мин. При скорости ГПЛ ниже или равной 5,5 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

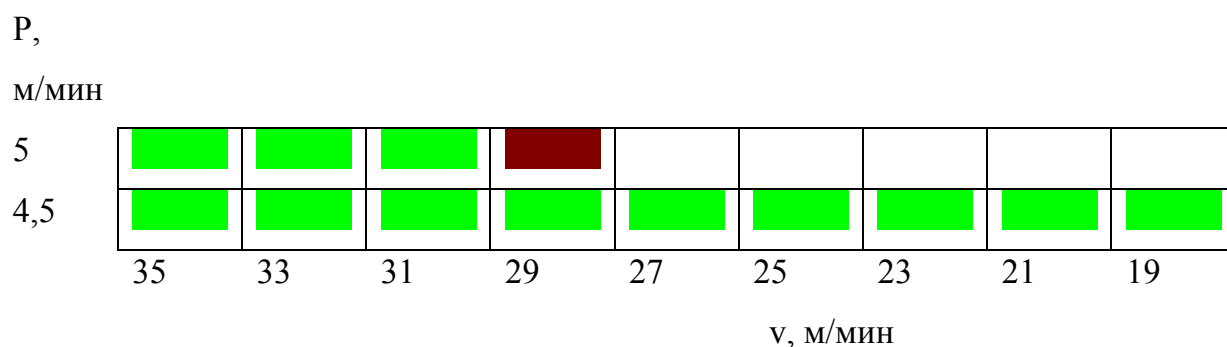


Рис. 4.4.1.13. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 200мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из диаграммы рис. 4.4.1.13. следует, что максимальная скорость работы ГПЛ равна всего 5м/мин и этим самым уже приближаться нижней границе диапазона Р. При скорости ГПЛ равной 4, или 4,5 м/мин ограничений на скорость конвейеров УРСТ больше нет.

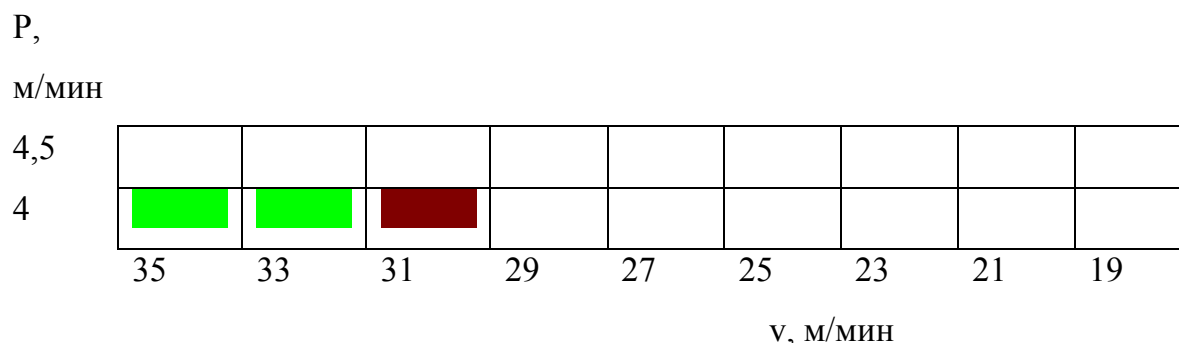


Рис. 4.4.1.14. Максимальные возможные скорости ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины 240мм в зависимости от скорости конвейеров УРСТ.

Из рис. 4.4.1.14. следует, что работа линии ГПЛ осуществима лишь при скорости 4м/мин, что на нижней границе интервала возможных скоростей. Даже при таком низком значении Р скорость конвейеров не должна быть ниже 31м/мин.

4.5. Анализ и сравнение результатов экспериментов:

4.5.1. Анализ результатов первой серии экспериментов

В первой серии экспериментов исследовалась на имитационной модели работа LPG2 при использовании пакетов термоизоляции первого типа (слои термоизоляции с габаритами 1200мм x1200мм x100мм).

На рис. 4.5.1.1. изображена максимальная возможная скорость ГПЛ в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты при использовании пакетов термоизоляции первого типа.

Данные результаты показывают снижение максимальной допустимой скорости ГПЛ при изготовлении плит толщиной больше чем 120мм. Наиболее заметно изменение возможной максимальной скорости в диапазоне толщин от 120мм до 200мм (см. рис. 4.5.1.1.).

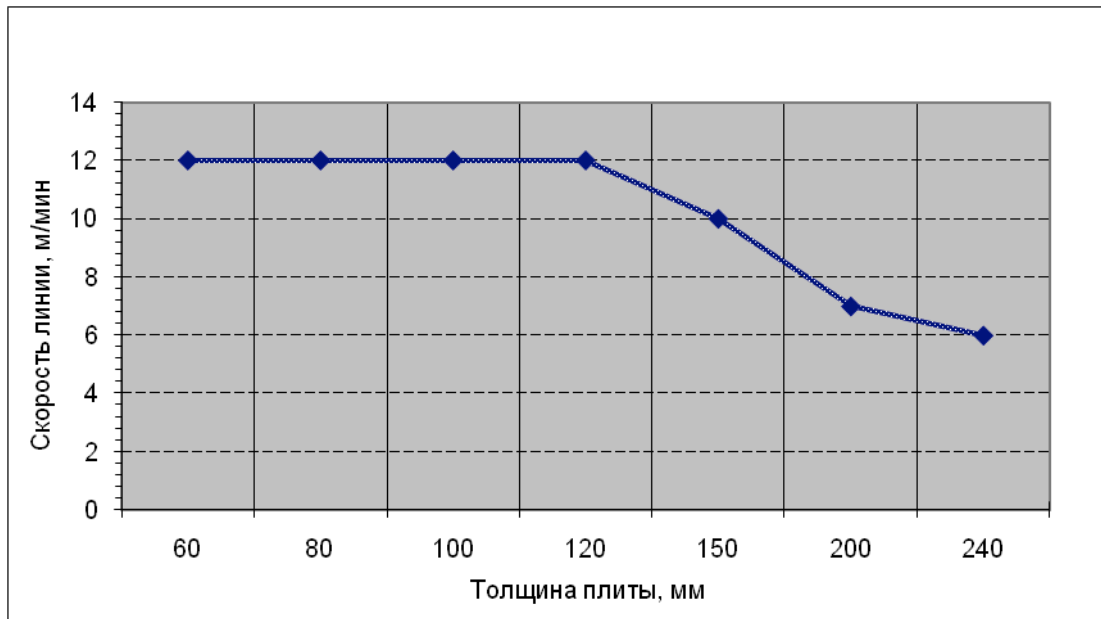


Рис. 4.5.1.1. - Значение максимальной возможной скорости ГПЛ в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты.

На рис. 4.5.1.2. совмещены максимальные допустимые значения скорости ГПЛ и минимальные допустимые скорости конвейеров УРСТ в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты. Из рис. Следует, что при толщинах плит, равных 120, 150 мм конвейеры УРСТ работают на пределе своих возможности, во то время как при толщине плит меньше 120мм или больше или равной 200мм ограничения на скорость конвейеров менее жестки.

Из перечисленных фактов и рис. 4.5.1.2. следует, что для работы ГПЛ на максимальной возможной скорости наименее благоприятные условия при изготовлении панельных плит толщины 120мм и 150мм. В данном случае невозможно изменение (понижение) скорости движения конвейеров УРСТ и система фактически работает на пределе.

При изготовлении плит толщиной 200мм или больше максимальная скорость ГПЛ еще снижается, но не требуется максимальной скорости работы конвейеров УРСТ.

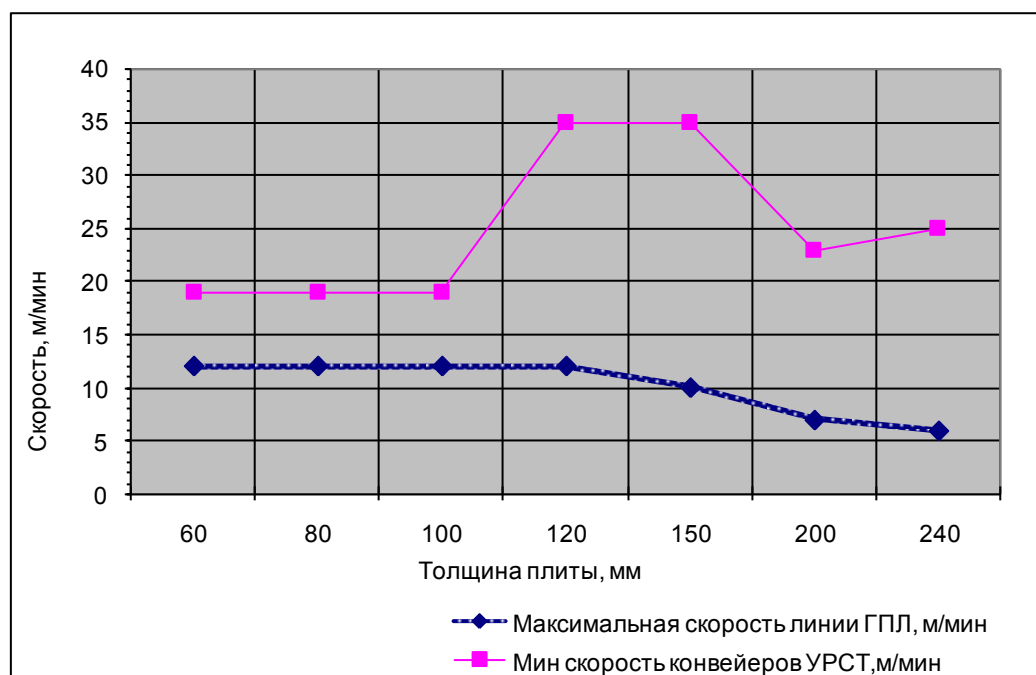


Рис. 4.5.1.2. - Зависимость минимальной скорости конвейеров УРСТ и максимальной скорости ГПЛ в зависимости от толщины панельной плиты.

4.5.2. Анализ результатов второй серии экспериментов

Во второй серии экспериментов исследовалась на имитационной модели работа LPG2 при использовании пакетов термоизоляции второго типа (слои термоизоляции с габаритами 800мм x1200мм x100мм).

На рис. 4.5.2.1. изображена максимальная возможная скорость ГПЛ в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты при использовании пакетов термоизоляции второго типа.

Данные результаты показывают резкое снижение максимальной допустимой скорости ГПЛ при изготовлении плит толщиной больше чем 80мм. Наиболее резкое изменение возможной максимальной скорости ГПЛ наблюдается в диапазоне толщин от 120мм до 200мм (см. рис. 4.5.2.1.).

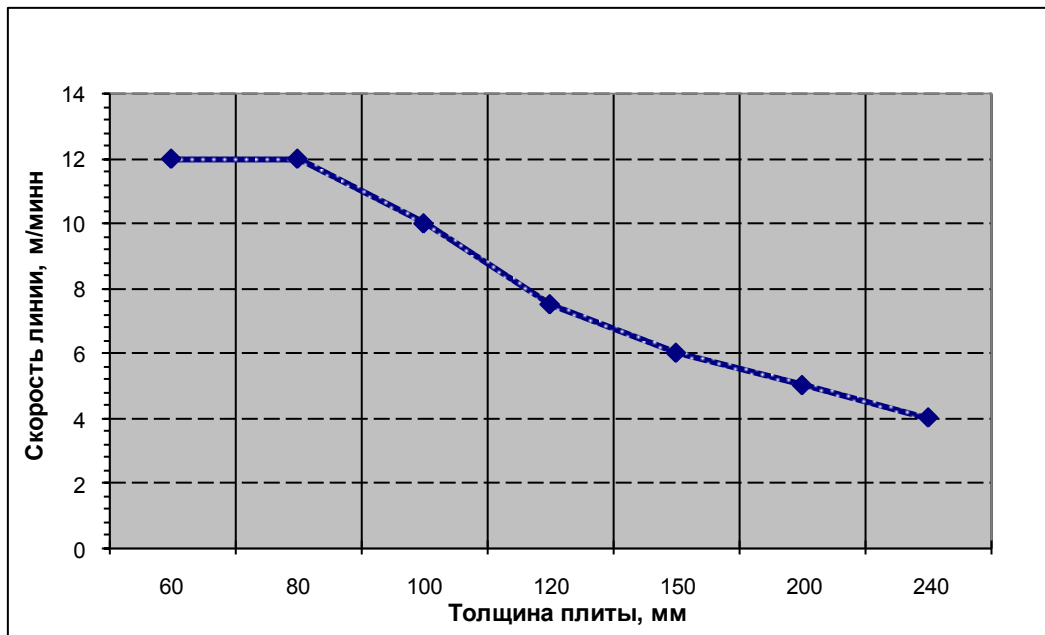


Рис. 4.5.2.1. - Значение максимальной скорости ГПЛ в зависимости от толщины плит.

На рис. 4.5.2.1 совмещены максимальные допустимые значения скорости ГПЛ и минимальные допустимые скорости конвейеров УРСТ в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты. Из рис. следует, что при толщинах плит, равных 80, 100 мм конвейеры УРСТ работают на пределе своих возможностей, а при толщинах 120мм и 240мм близко к пределу.

При изготовлении плит толщиной 150мм заметно резкое снижение минимальной возможной скорости конвейеров УРСТ, в то время как на диапазоне от 120мм до 150мм скорость ГПЛ продолжает снижаться с одинаковой тенденцией.

Из перечисленных фактов и рис. 4.5.2.1 следует, что для работы ГПЛ на максимальной возможной скорости наименее благоприятные условия при изготовлении панельных плит толщины 80мм и 100мм. В данном случае невозможно изменение (понижение) скорости движения конвейеров УРСТ и система фактически работает на пределе.

При изготовлении плит толщиной 120мм и 240мм скорость работы конвейеров УРСТ близка к пределу, но не максимальная.

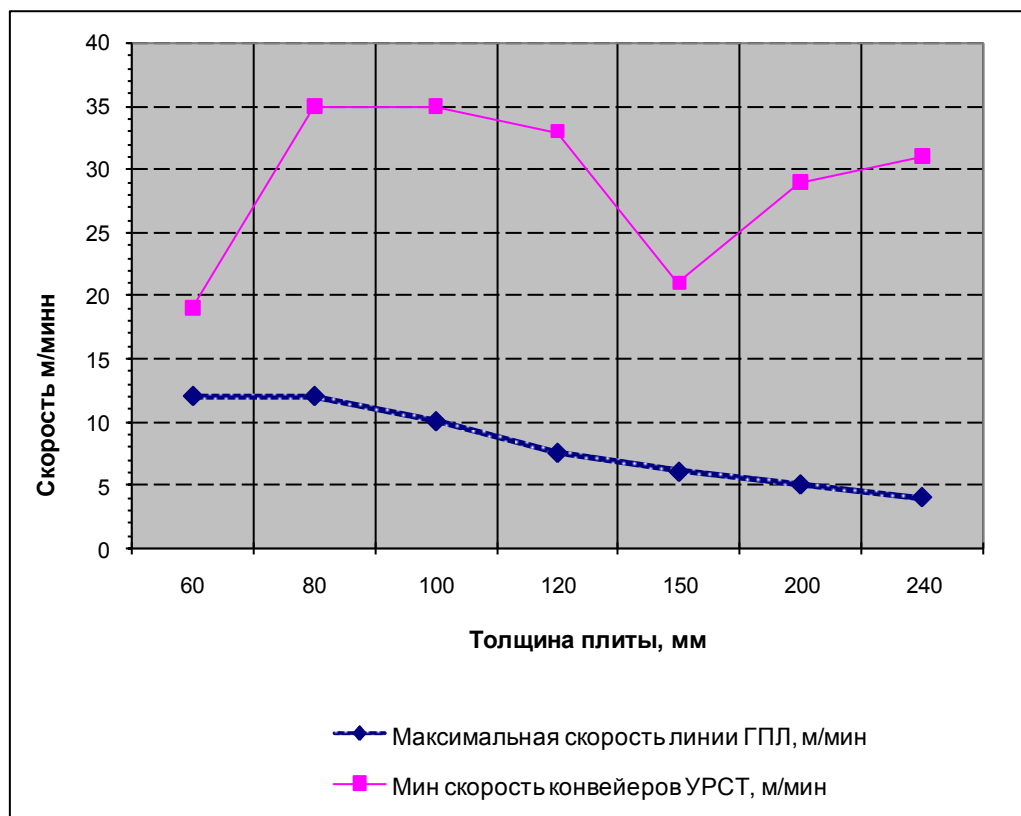


Рис. 4.5.2.2. - Зависимость минимальной скорости конвейеров УРСТ и максимальной скорости ГПЛ в зависимости от толщины панельной плиты.

При использовании исходных заготовок термоизоляции 2. типа возникают случаи, когда часть исходных заготовок термоизоляции отбрасывается как отход (см. пункт.). На основании табл. 2.2.1. была нарисована диаграмма рис. 4.5.2.3., которая показывает количество отхода в %, в зависимости от толщины изготавливаемой панельной плиты.

Из рис. 4.5.2.3 видно, что количество отхода в большой степени зависит от толщины изготавливаемых панельных плит и может варьировать в диапазоне от 0 до 10%. Количество отхода при изготовлении каждого от изделий оказывает влияние на сам технологический процесс и замедляет работу ГПЛ, так как количество термоизоляции, которое выходит из участка УРСТ уменьшается.

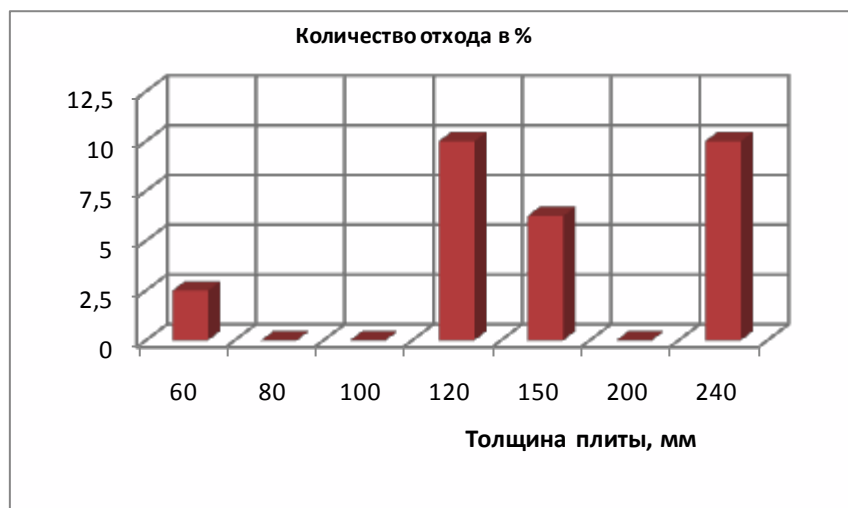


Рис. 4.5.2.3. - Количество отхода при использовании пакетов исходных заготовок 2. типа.

4.5.3. Сравнительный анализ серий экспериментов.

Использование разных типов заготовок оказывает сильное влияние на работу УРСТ и ГПЛ. На рис. видно, что максимальная возможная скорость ГПЛ при изготовлении панельных плит толщины от 100мм до 240мм зависит от типа используемых пакетов заготовок для участка УРСТ.

При изготовлении панельных плит толщины 60мм или 80мм максимальная возможная скорость ГПЛ равна 12м/мин независимо от типа используемых пакетов заготовок.

При изготовлении плит толщины 100мм, 200мм и 240 мм максимальная возможная скорость ГПЛ ниже в случае использования пакетов термоизоляции второго типа (рис. 4.5.3.1.).

Однако самые заметные изменения в максимальной скорости линии ГПЛ появляются при изготовлении плит толщины 120мм и 150мм. из рис. следует, что при данных значениях толщины изделия и использовании пакетов заготовок 2. типа в отход уходит 10% или 6,25% исходного материала соответственно

(рис. 4.5.2.3) . Это обстоятельство еще дополнительно снижает максимальную возможную скорость линии ГПЛ при условии использования заготовок 2. типа.

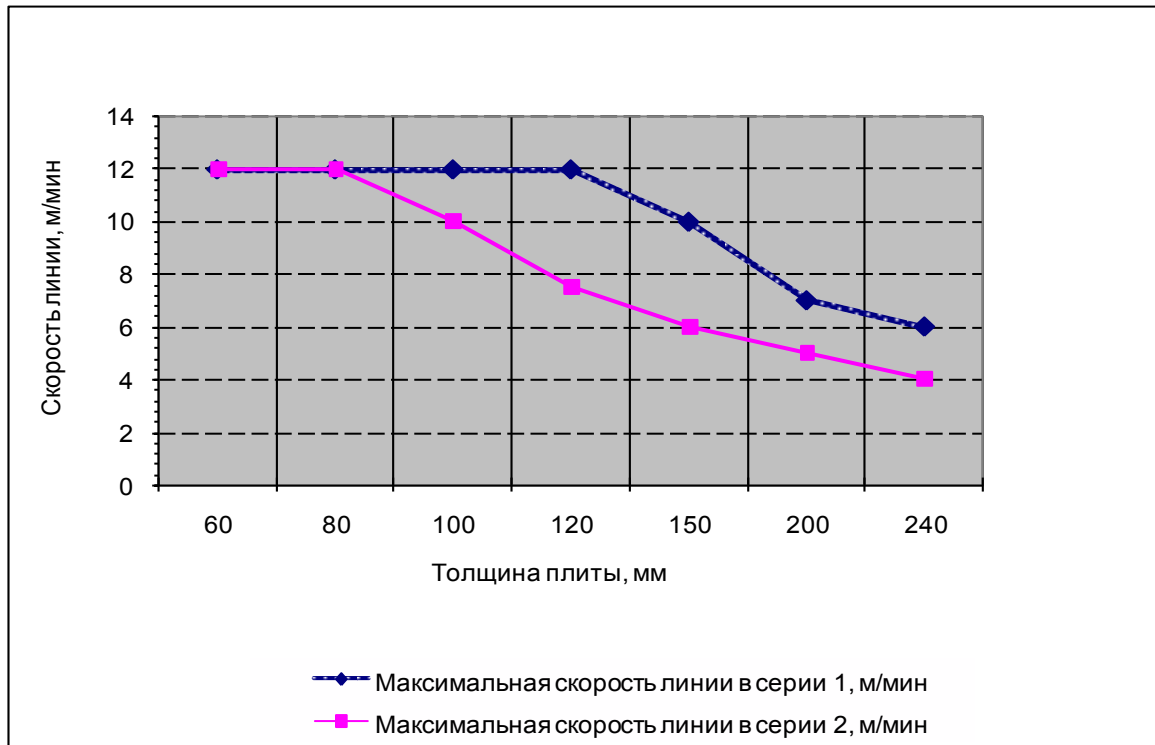


Рис. 4.5.3.1. - Максимальные скорости ГПЛ при использовании пакетов заготовок 1. и 2. типов

На рис. 4.5.3.2 видно, что использование пакетов исходного материала второго типа также оказывает влияние на работу конвейеров участка УРСТ.

Скорость конвейеров участка УРСТ при изготовлении панельных плит толщин 80мм, 100мм, 200мм и 240мм выше при использовании пакетов исходного материала второго типа.

При изготовлении панельных плит толщины 150мм минимальная допустимая скорость конвейеров УРСТ на много ниже при использовании заготовок второго типа. Это объясняется на много ниже максимальной возможной скоростью ГПЛ при изготовлении плит данной толщины (см рис. 4.5.3.1).

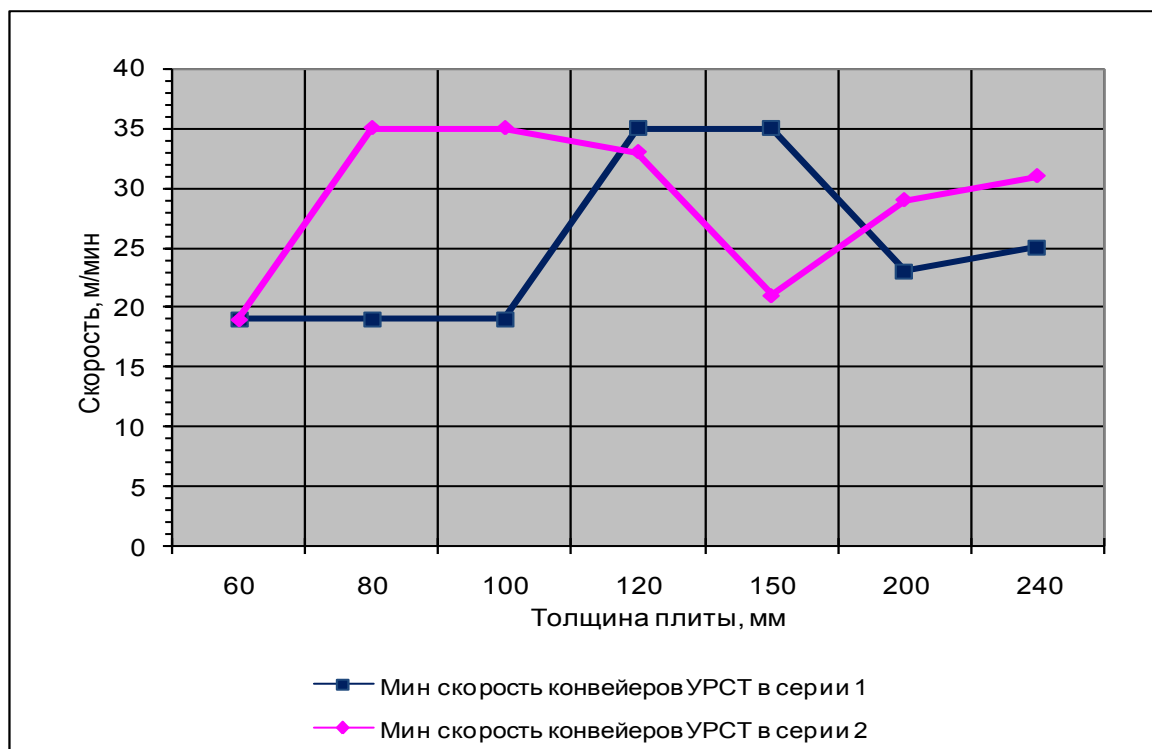


Рис. 4.5.3.2 - Минимальные возможные скорости конвейеров УРСТ при использовании пакетов исходного материала первого и второго типов.

Из рис. 4.5.3.2 также видно, что при четырех из семи возможных толщин панельной плиты минимальная возможная скорость конвейеров УРСТ выше при использовании пакетов исходных заготовок второго типа. В двух случаях минимальная возможная скорость конвейеров УРСТ одинакова или отличается лишь в 3м/мин при использовании разных типов заготовок.

4.5.4. Выводы на основе экспериментальных данных

Из рис. 4.5.3.1. и 4.5.3.2. очевидно, что использование заготовок 1. или 2. типа существенно влияет на возможности производственной системы LGP2. На данной производственной линии производятся панельные плиты разной толщины и правильное планирование производства позволит существенно увеличить уровень его эффективности. На скорость ГПЛ влияет много разных факторов и ее значения выбираются в рамках ограничений, накладываемых работой участка УРСТ, а также факторами других этапов технологического процесса.

В связи с ограничениями данной системы и на основании результатов исследовательской части были составлены следующие рекомендации по эксплуатации системы LGP2:

1. При изготовлении плит толщины 60мм, 80мм, 100мм следует применять преимущественно упаковки 2. типа, если возможно обеспечить требуемую (определяемую другими параметрами) скорость ГПЛ при их изготовлении (см. рис. 4.1.1.8, 4.1.1.9, 4.1.1.10).
2. Применять упаковки 2. типа при изготовлении плит толщины 120мм, 150мм не следует из-за большого количества отхода.
3. При выборе скорости ГПЛ следует назначать минимальную допустимую скорость конвейеров УРСТ с целью уменьшения износа оборудования.
4. Для изготовления плит толщиной 120мм, 150мм, 200мм, 240мм следует применять упаковки 1. типа, так как при этом обеспечиваются значительно выше максимальные скорости ГПЛ (см. рис. 4.5.3.1).
5. Если это возможно не рекомендуется изготавливать плиты при таких значениях скорости ГПЛ, которые требуют максимальных значений скорости конвейеров УРСТ. При таком режиме работы увеличивается возможность сбоя из-за непредусмотренных событий на участке УРСТ а также износ оборудования (см. рис. 4.5.1.2, 4.5.2.2).

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

5.1. Проверка модели на адекватность

После разработки имитационной модели и перед ее практическим применением необходимо проверить данную модель на адекватность [10]. Понятие адекватности отвечает на вопрос, является ли имитационная модель точным представлением реальной системы, то есть, адекватна ли имитационная модель системе. Полностью адекватным моделей не существует, поэтому необходимо уточнить соответствует ли модель требуемому уровню детализации модели.

Если модель адекватна, то это означает, что ее можно использовать для принятия решений относительно реальной системы, которую она представляет, как если бы решения принимались на основании экспериментов с реальной системой.

Процесс оценки адекватности модели состоит из несколько этапов, которые должны быть проведены в ходе оценки модели.

5.2.1. Верификация имитационной модели

При верификации имитационной модели определяется, правильно ли имитационная модель преобразованная в компьютерную программу. На данном этапе выполнялась отладка моделирующей компьютерной программы, данный этап также являлся проверкой достоверности модели.

Процесс верификации модели проводился последовательно в нескольких шагах:

1. Отладка имитационной модели

Процесс разработки имитационной проводился поэтапно. Отдельно были смоделированы разные части участка УРСТ и затем последовательно соединены

в общую модель. Отдельно были смоделированы конвейеры 1, 2, 3, выбраны были блоки для описания устройств участка УРСТ, на последнем этапе была смоделирована работа цепного транспортера и промежуточного накопителя. Каждая из частей модели была отдельно отлажена.

Особое внимание выделялось операторам для разделения и объединения транзактов, которые использовались при моделировании устройства для распределения слоев изоляции, пилы для разреза слоев и промежуточного накопителя. Работа данных устройств была отлажена в процессе разработки модели.

Отдельным шагом проверки модели являлась проверка работы подмодели ГПЛ и проверка правильного взаимодействия моделей участка УРСТ и ГПЛ. Согласно условиям задачи требуется синхронная работа данных двух подмоделей.

Отладка модели в среде имитационного моделирования заключается в запуске имитационной модели; при этом среда имитационного моделирования выявляет возможные ошибки в структуре модели или неправильное использование блоков языка имитационного моделирования

2. Запуск и прогон модели

Вторым шагом верификации является запуск и прогон имитационной модели с различными входными параметрами. Входные параметры изменялись в назначенном при постановке задачи диапазоне, при работе модели было исследовано ее поведение и сравнены результаты прогонов. Этот этап проверки был проведен до начала исследования и результаты проверки служили лишь для установления правильности работы модели.

При прогоне модели с разными входными параметрами ожидается изменение режима работы всей имитационной модели,

3. Проверка работы модели и проверка анимации

Эффективный способ проверки достоверности модели является проверка анимации и работы самой модели.

Разработанная модель была запущена с назначенными входными параметрами. Проверялась правильность работы модели с использованием анимации при разных значениях скорости работы анимации. Главным смыслом данного шага – проверка правильности работы модели и проверка потока транзактов, который должен соответствовать потоку пакетов термоизоляции истинной модели. Особое внимание выделялось операторам объединения и разделения транзактов.

При разработке имитационной модели большое внимание уделялось наглядности имитационной модели, которая в максимальной степени похожа на действующую систему. Этот факт помог на этапе верификации модели эффективно воспользоваться анимацией, чтобы установить правильность работы модели.

5.2.2. Валидация имитационной модели

Этап валидации [10, с. 316] имитационной модели должен установить, является ли имитационная модель точным представлением реальной системы для конкретных целей исследования. Чем точнее исходные данные для моделирования, тем точнее уровень доверия к модели и ее валидация.

При исследовании системы LGP2 и участка УРСТ в частности было проведено детальное исследование работы всех устройств участка УРСТ и изучен способ взаимодействия УРСТ и LGP2. На основании данных предпроектного исследования утверждается, что имитационная модель является в нужной степени точным представлением реальной системы, так как она моделирует работу всех участков УРСТ а также взаимодействия УРСТ и ГПЛ.

При валидации особо большое внимание выделяется отображению функций самой модели. При исследовании и проверки разработанной модели выяснилось, что она соответствует требуемому уровню детализации, так как адекватно представляет следующие важные аспекты работы производственной системы LGP2:

- синхронизацию работы ГПЛ и УРСТ
- поток заготовок термоизоляции, их последующее преобразование и разрезку, а также сортировку и вставку в ГПЛ
- возможность изменения всех исходных параметров участка УРСТ а также ГПЛ
- позволяет проводить исследование модели путем варьирования исходным параметров системы
- предоставляет данные о загрузке и работе всех устройств производственной системы и позволяет судить об их загруженности
- позволяет детально исследовать работу системы при непрерывной работы и выявить возможные недостатки

В последующих этапах практического применения имитационной модели возможно дополнительное улучшение валидации модели путем сбора и обработки большого количества статистических данных о работе системы. Данные, собранные таки образом могут дополнительно увеличить степень доверия к модели.

5.2.3. Валидация выходных данных всей имитационной модели

Это самая последняя стадия проверки имитационной модели и заключается в сравнении выходных данных реальной системы и выходных данных имитационной модели.

Если выходные данные имитационной модели и реальной системы идентичны, то можно судить об адекватности имитационной модели.

Сравнение модельных и системных выходных данных можно назвать *валидацией результатов*.

В рассматриваемом случае разрабатывается имитационная модель уже существующей производственной системы, поэтому имеется возможность сравнить некоторые результаты работы системы с результатами работы имитационной модели.

При исследовании производственной системы обслуживающий персонал приводил следующие данные о работе производственной системы; параметры работы системы в настоящий момент получены путем ручного управления конвейерами УРСТ, однако они точно отображают возможности производственной системы LGP2.

Таблица 5.2.3.1.

Данные о значениях параметров производственной системы LGP2 при ее работе

| | | | | | |
|------------------------------------|----|------|------|-----|-----|
| Толщина панельной плиты, мм | 80 | 100 | 120 | 150 | 200 |
| Скорость конвейеров УРСТ, м/мин | 21 | 23 | 31 | 35 | 29 |
| Скорость ГПЛ, м/мин | 10 | 10,5 | 11,5 | 9,5 | 7 |

В процессе сравнения данных таблицы с данными диаграмм можно установить следующее:

1. Данные о работе существующей производственной системы ни в чем не противоречат экспериментальным данным, полученным в процессе исследования модели.

Значения скоростей конвейеров УРСТ и участка ГПЛ из таблицы совпадают с допустимыми значениями скоростей из диаграмм 4.4.1.1 – 4.4.1.7

2. значения параметров системы LGP2 из таблицы 5.2.3.1 соответствуют значениям результатов из диаграмм, которые имеют высокие или даже максимальные значения функции пригодности F.

Это говорить об эффективной эксплуатации производственной системы LGP2 и участка УРСТ в частности, а также о высокой точности адекватности модели.

5.2.4. Выводы об адекватности модели

На основании выше перечисленных результатов и свойств систему утверждается, что имитационная модель производственной системы LGP2 является адекватной.

Повышение точности модели возможно путем сбора и последующей статистической обработки данных о работе существующей производственной системы и внесением необходимых корректировок в имитационную модель.

5.2. Пример использования имитационной модели

5.2.1. Пример использования модели

В качестве примера использования Модели 2 – модели непрерывной работы производственной системы LGP2 – рассматривается запуск модели и исследование работы ее устройств после истечения переходного режима.

Переходным режимом называется время от запуска модели до момента, когда первые куски термоизоляции достигают точку объединения участка УРСТ и линии ГПЛ.

При запуске модели можно на анимации рассматривать работу всей системы, преобразование транзактов и текущую и вредную загрузку всех устройств участка УРСТ.

На основании данных из пользовательского интерфейса модели можно сделать следующие выводы:

- загрузка всех устройств участка УРСТ не меняется существенно после окончания переходного режима работы
- средняя загрузка оборудования УРСТ ниже 50% процентов, за исключением устройства поворота слоев термоизоляции
- Средняя загрузка конвейеров колеблется в диапазоне 50% – 90%
- Временная загрузка конвейеров колеблется в диапазоне от 0% до 100%
- Система работает без перебоев при данных значениях исходных параметров

5.2.2. Руководство пользователя имитационной модели.

Разработанная имитационная модель описывает работу участка УРСТ и ГПЛ производственной системы LGP2. Все устройства УРСТ в модели описаны детально, в то время как ГПЛ представлена лишь в взаимодействии с участком УРСТ.

Названия всех устройств УРСТ приведена на английском языке из-за требований программной среды, которая не воспринимает надписей в кириллице. Перевод всех названий в пункте данной пояснительной записки.

1. Начальные значения параметров

Перед исследованием и запуском модели необходимо ввести в модель исходные данные – начальные значения системных переменных. Эти переменные `main_line_speed`, `conveyor_speed`, `panel_thickness` (см. пункт). Значения переменных вводятся в модель вручную с закладки `Variables` панели `Basic Process`.

2. Тонкая настройка модели

Значения остальных параметров устройств можно изменять путем изменения параметров блоков, которые описывают данные устройства. Таких блоков может быть несколько.

3. Запуск модели

После ввода параметров требуется нажать кнопку `Start` для запуска имитационной модели.

4. Потоки транзактов

При работе имитационной модели можно наблюдать непрерывный поток транзактов. На блоке `Wool pallet container` возникают транзакты, представляющие паллеты термоизоляции, на блоке `Main Line Start` возникают транзакты описывающие поток заготовок ГПЛ. Транзакты в последствии объединяться в один транзакт и уходят из системы.

5. Анимация в имитационной модели

Модель оснащена графиками, счетчиками и дисплеями для исследования работы модели и состояния ее элементов.

На диаграммах в правой части модели приведенная средняя загрузка устройств участка УРСТ, а также средняя и временная загрузка конвейеров 1,2,3. Данные приводятся на диаграммах и на счетчиках под диаграммами

Счетчики над устройствами УРСТ показывают время на обработку одного транзакта (слоя термоизоляции). Счетчики под блоком changing pallets, Number of pallets показывают количество паллет, израсходованных системой и количество паллет на складе соответственно.

В модели **2 графика**, которые показывают длину очереди на точке объединения УРСТ и ГПЛ и суммарную длину выпущенной панельной плиты с момента начала работы системы (в единице длины “l”).

В нижней части модели находится **счетчик** и **горизонтальная гистограмма** – Эти два элемента анимации показывают нарушение основного требования о работе LGP2 – непрерывной работы ГПЛ. Если значение счетчика больше 0 и на гистограмме наблюдается одна или несколько горизонтальных линий, то это означает, что при работе имитационной модели произошел недопустимый случай, когда работа УРСТ отстает или на момент отстала от работы ГПЛ. Это означает, что работа производственной системы с введенными параметрами невозможна. При работе имитационной модели также видна основная модельная анимация, в которой можно проследить поток транзактов, их последующее изменение и преобразование; эти действия соответствуют преобразованию заготовок на участке УРСТ.

6. Остановка модели

Работу имитационной модели можно прекратить нажатием на кнопку Stop в интерфейсе программы Arena.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предстоящей квалификационной работе описана и впоследствии проанализирована имитационная модель производственного участка по выпуску строительных панельных плит.

Разработанная имитационная модель является в нужной степени адекватным отображением действующей производственной системы и позволяет детально проследить за работой производственного участка УРСТ рассматриваемой системы, проверить загрузку оборудования этого участка, проанализировать его предельные возможности и выявить возможные недостатки в его работе. Данная имитационная модель позволяет также проводить исследования работы производственной системы при изменениях параметров работы участка УРСТ и самой производственной линии ГПЛ.

В результатах исследовательской части квалификационной работы приведены диаграммы возможных скоростей конвейеров участка УРСТ и ГПЛ, которые могут быть применены при планировании выпуска изделий из номенклатуры, выпускаемой на данной производственной системе. При помощи этих диаграмм и вспомогательных графов оператору производственной системы предоставляется возможность использовать возможности данной системы более эффективно, а также уменьшить затраты на изготовление продукции путем оптимального выбора пакетов исходных заготовок и таких параметров системы, как скорость конвейеров УРСТ и скорость ГПЛ.

Результаты предстоящей квалификационной работы следует внедрять в производственный процесс, а разработанная имитационная модель позволить проводить на ней дополнительные исследования, если появится такая необходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

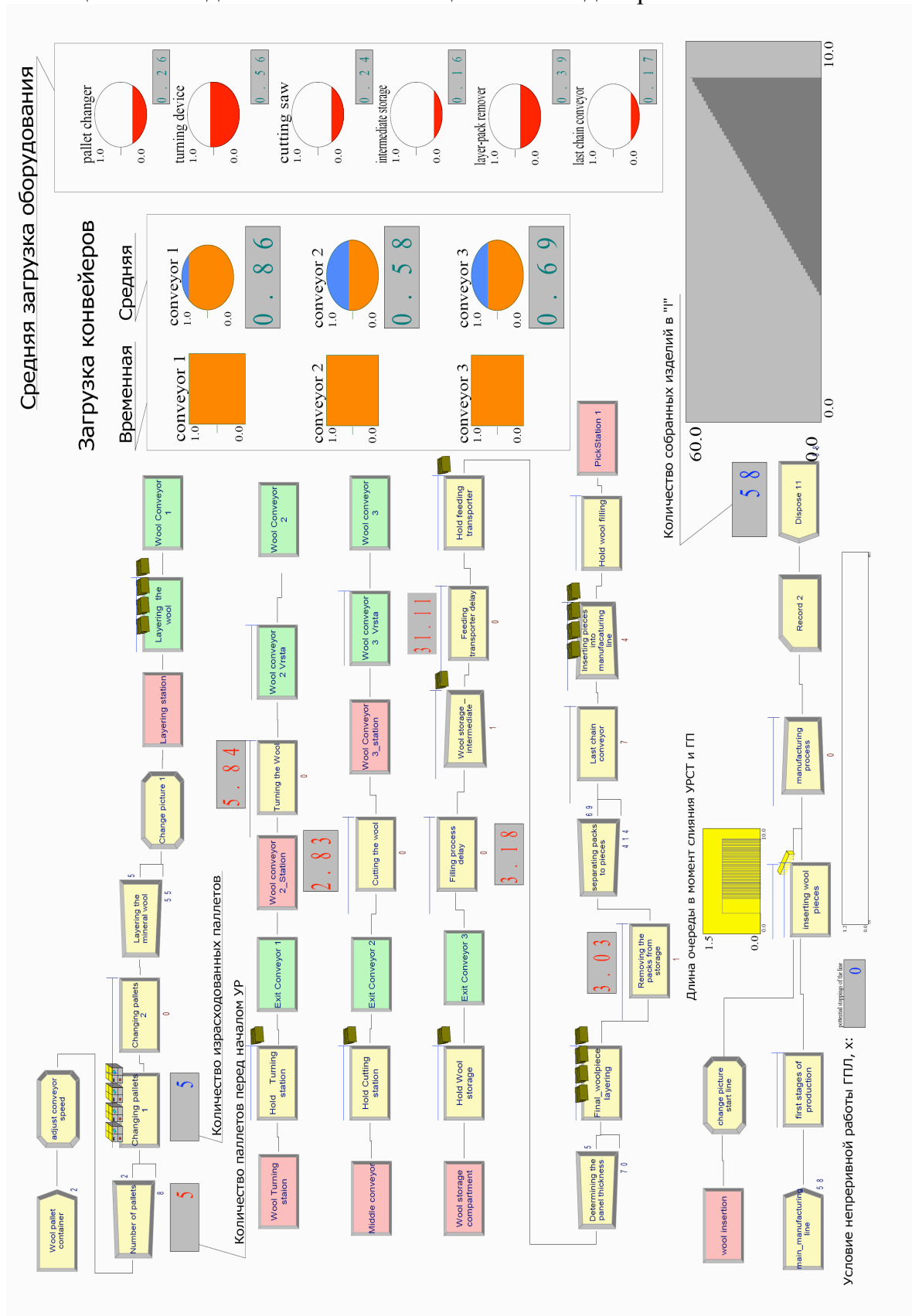
1. ГОСТ 34.601-98. Техническое задание на создание автоматизированной системы [текст] - Введ 1990-01-01 . – М.: Изд-во стандартов, 1989.
2. ГОСТ 19.201-78. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению [текст] - Введ 1980-01-01 . – М.: Изд-во стандартов, 1978.
3. Information integration for concurrent engineering (IICE) IDEF3 process description capture method report [текст] / Richard J. Mayer, Ph.D. ; Human resource directorate logistics research division. College station, Texas 77840-2335, 1995 – 236 p – Approved for public release, distribution is unlimited. AL-TR-1995-XXXX
4. Норенков, И.И. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учеб. для вузов / И. И. Норенков ; 3-е изд., перераб. и доп. –М. : Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006. -448с. : ил. – (Информатика в техническом университете) – 2000 экз. - ISBN 5-7038-282-9
5. Методология функционального моделирования IDEF0 [текст]: руководящий документ. Издание официальное / Разработан Научно-исследовательским Центром CALS – технологий «Прикладная логистика» ; Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России 2000г. –М. : Госстандарт России. ИПК Издательство стандартов, 2000 – 68с. Ил
6. Arena Basic User's Guide [электронный ресурс] / Rockwell Software ; Arena 9.0. Online books. Rockwell Automation, 2004 - 88p. Doc ID ARENAB-UM001E-EN-P
7. Arena User's Guide [электронный ресурс] / Rockwell Software ; Arena 9.0. Online books. Rockwell Automation, 2004 - 150p. Doc ID ARENA-UM001A-EN-P

8. Arena variables Guide [электронный ресурс] / Rockwell Software ; Arena 9.0. Online books. Rockwell Automation, 2004 - 76p. Doc ID ARENA-RM001E-EN-P
9. OptQuest for Arena User's Guide [электронный ресурс] / Rockwell Software ; Arena 9.0. Online books. Rockwell Automation, 2004 - 52p. Doc ID ARENAO-UM001C-EN-P
10. Имитационное моделирование [текст] / Б. Кельтон., А. Лоу ; Питер.: 3-е изд. -СПб. : Издательская группа BHV, 2004— 847 с. ил. – (Классика CS) - 3000 экз. - ISBN 5-94723-981-7
11. ГОСТ 19.404-79. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению [текст] - Введ 1981–01– 01 . – М.: Изд-во стандартов, 1978.
12. Горнев В. Ф., Грибанов Н.Г., Овсянников М.В. Методические указания к дипломному проектированию для студентов кафедры РК-9 “Компьютерные системы автоматизации производства” [Текст] : методические указания / В. Ф Горнев., Н.Г. Грибанов, М.В. Овсянников ; –М. : Каф. РК-9 МГТУ им Н. Э. Баумана , 2005 - 34с

ПРИЛОЖЕНИЯ

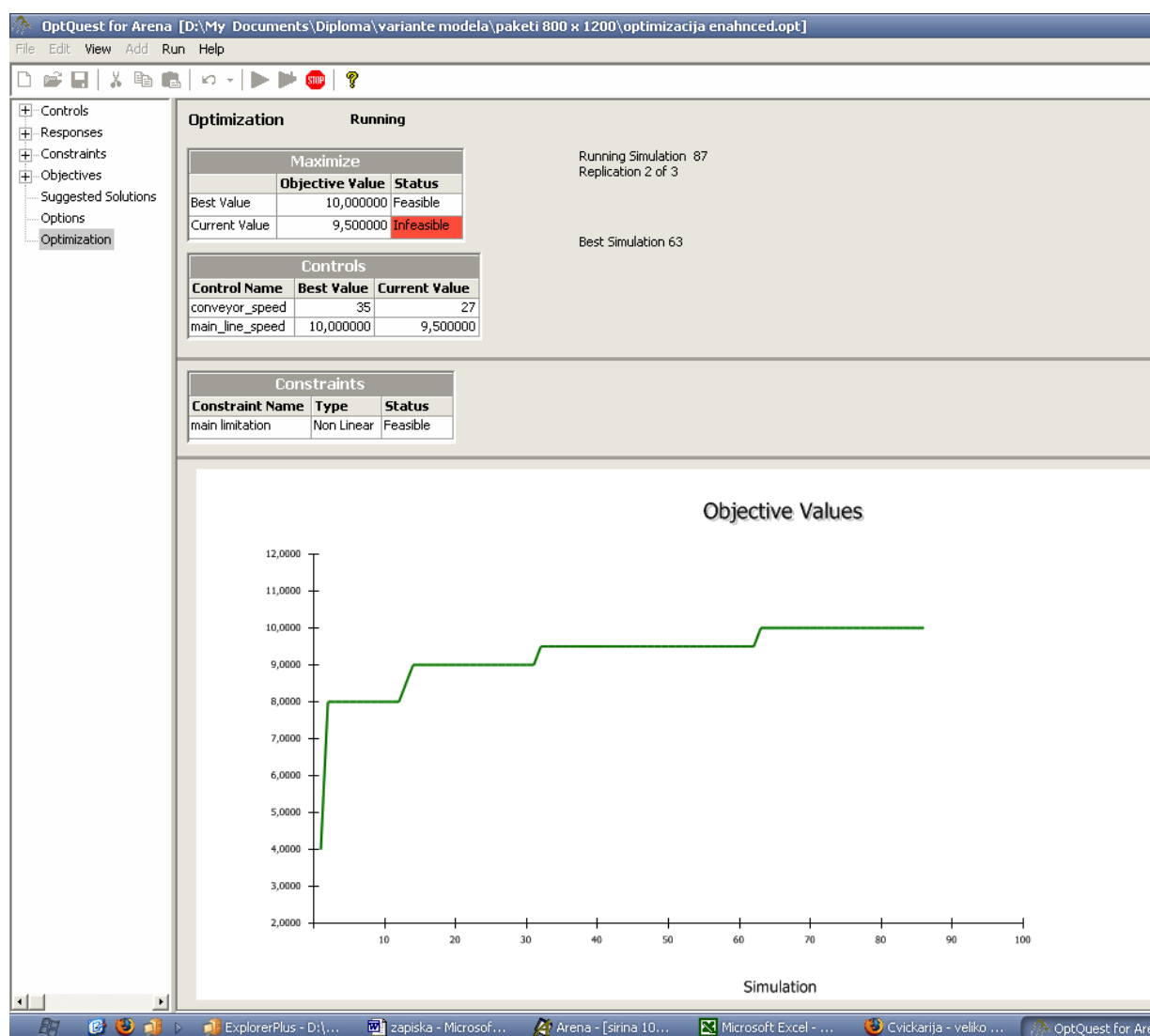
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Имитационная модель на языке имитационного моделирования Arena.



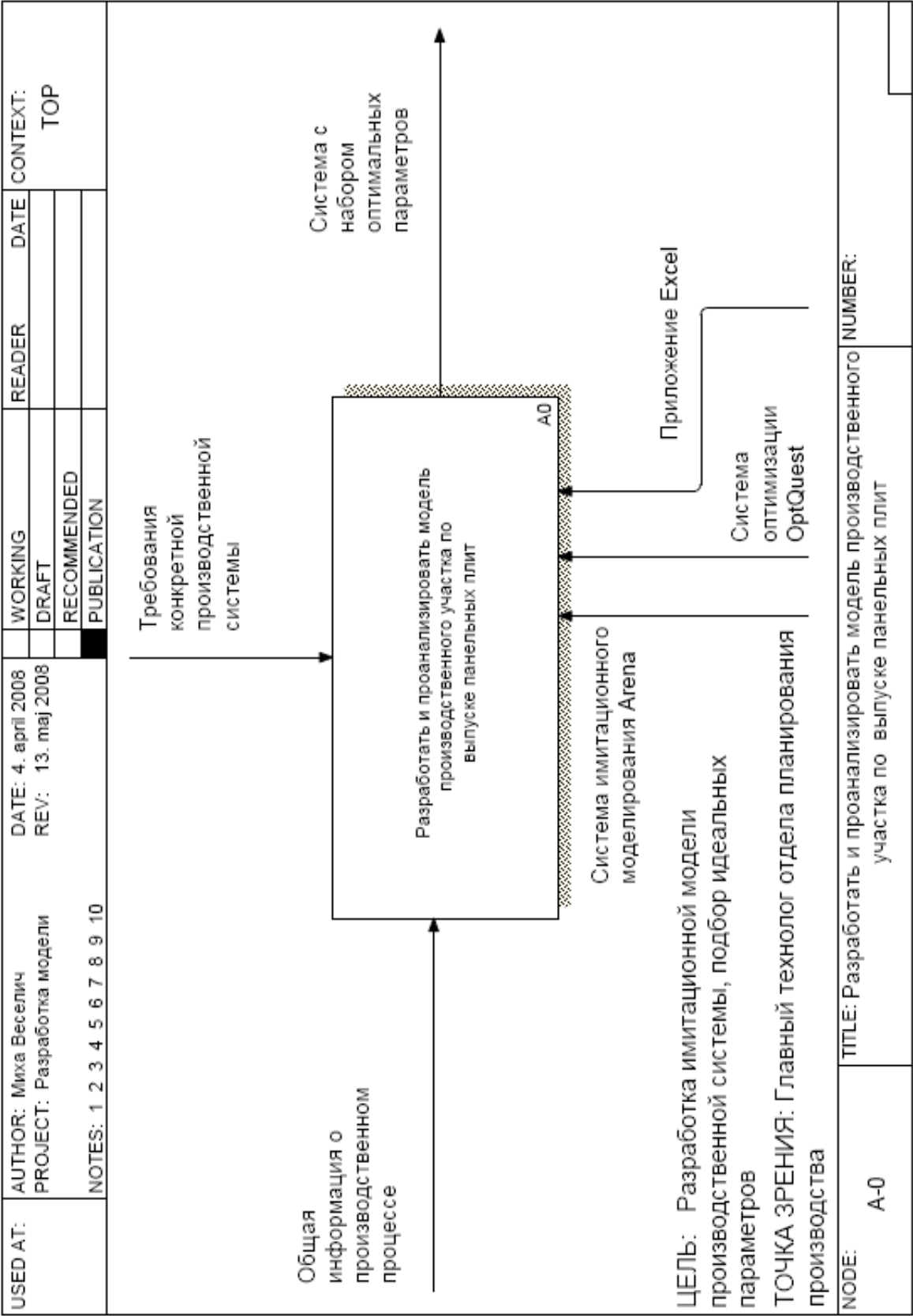
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Работа системы оптимизации OptQuest при анализе работы производственной системы LGP2 в процессе выпуска панельных плит Trimo Standart FTV толщины 100мм и ширины 800мм. Нахождение максимальной возможной скорости ГПЛ.



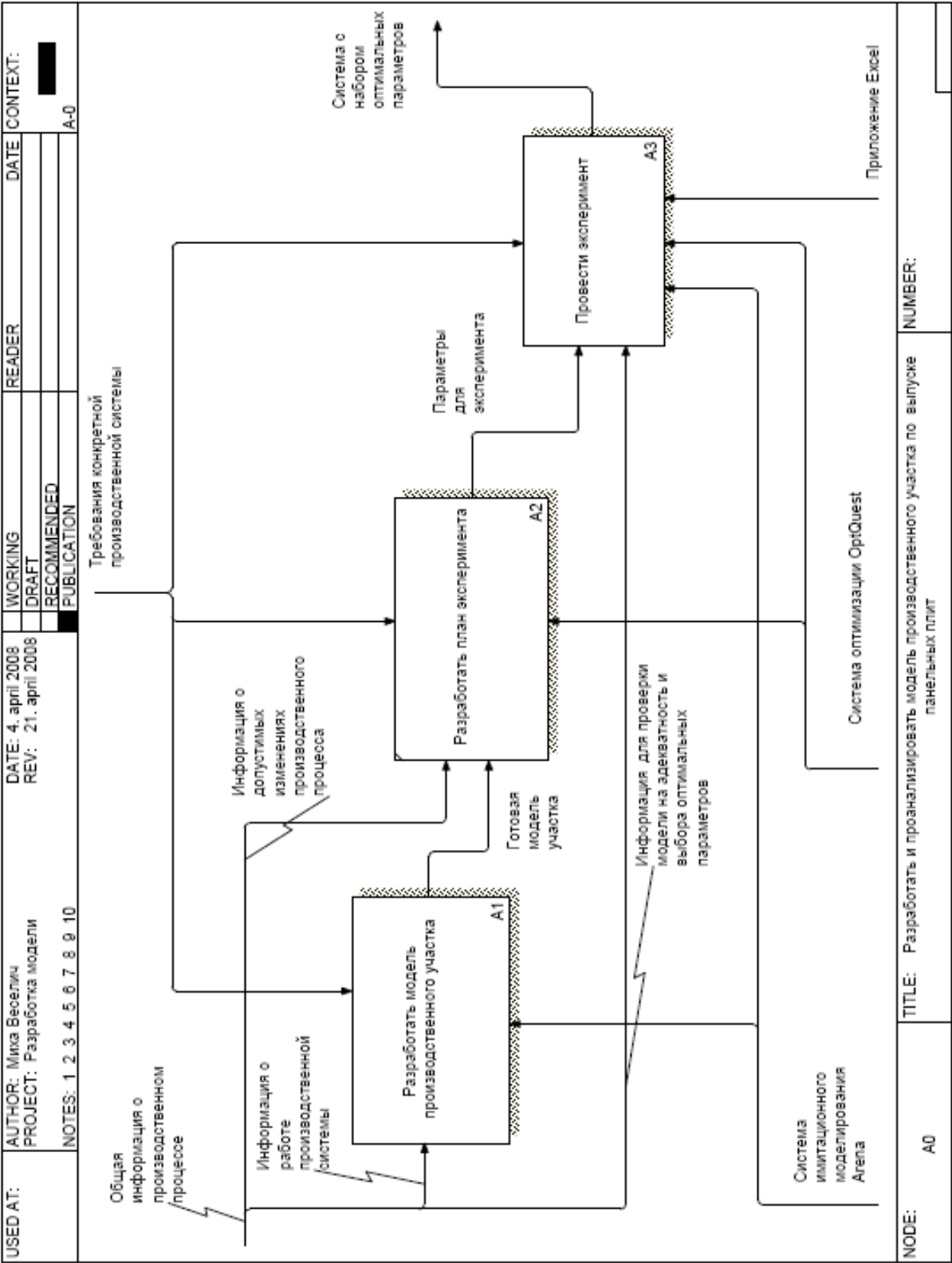
ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Контекстная диаграмма А-0. Разработка и анализ модели
производственного участка по выпуску панельных плит.



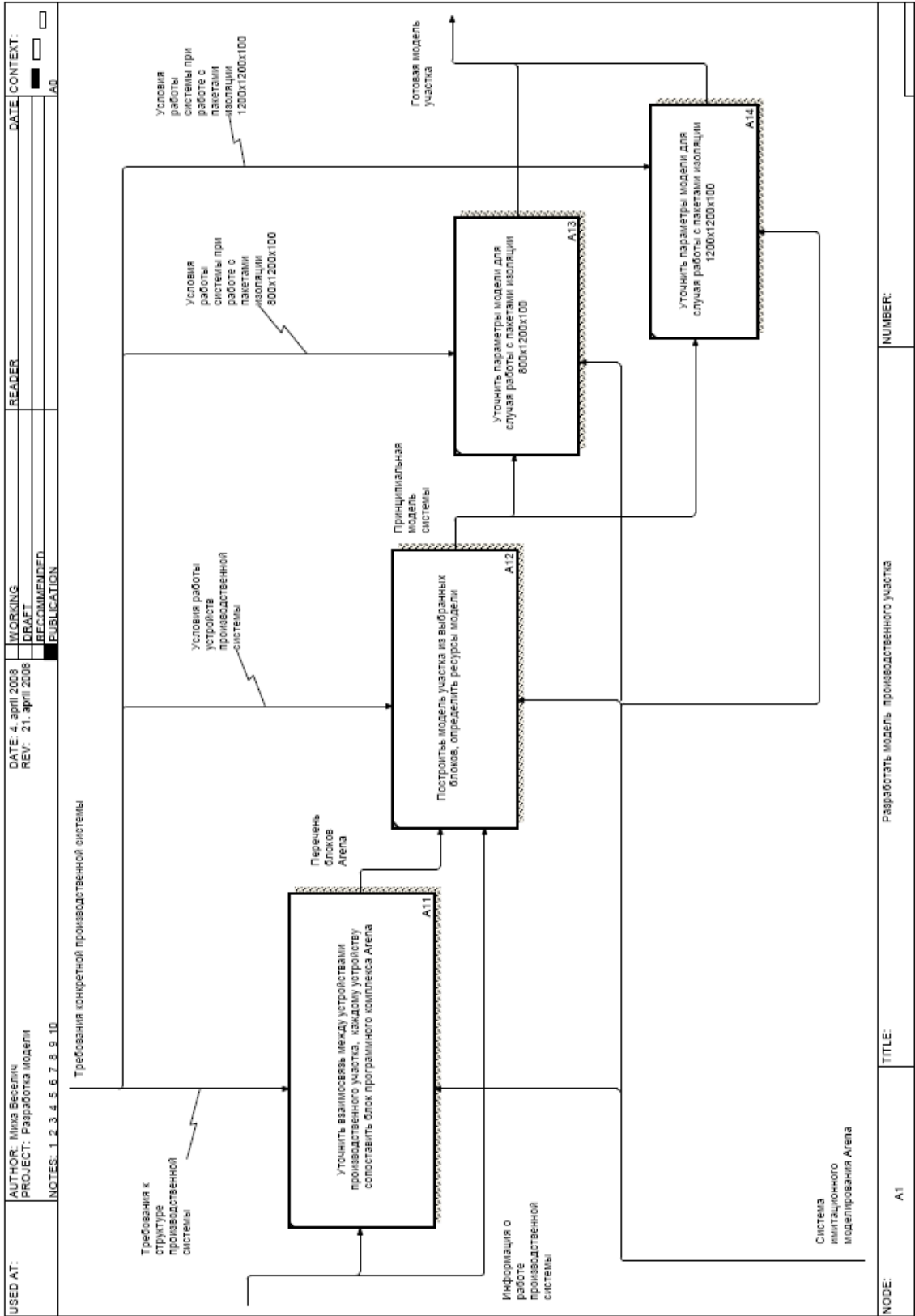
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Диаграмма контекстного уровня A0



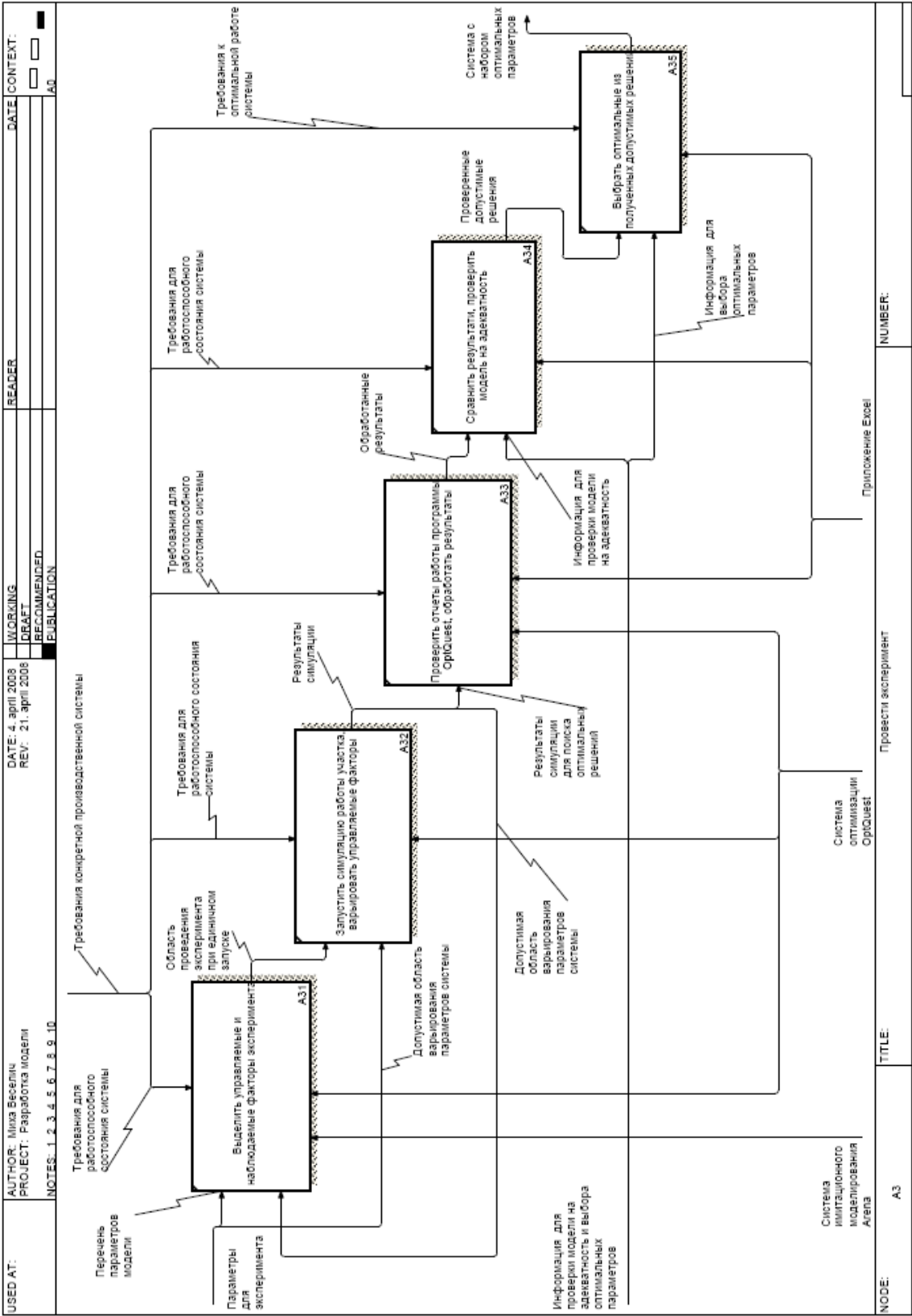
ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Диаграмма контекстного уровня A1



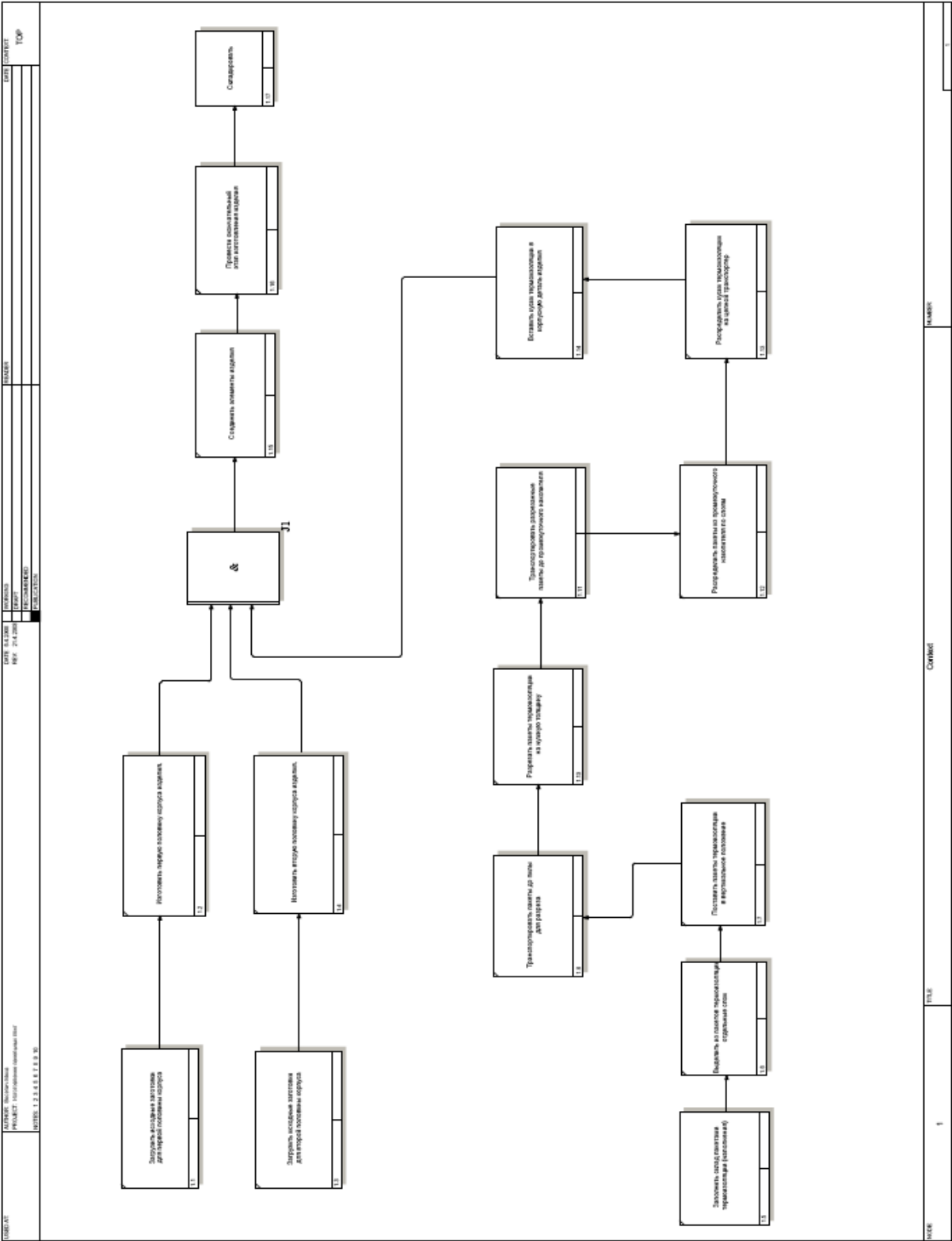
ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Диаграмма контекстного уровня A3



ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Диаграмма IDEF3



ОГЛАВЛЕНИЕ:

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ С ИХ РАСШИФРОВКОЙ..... | 4 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ..... | 6 |
| 1.1. Назначение модели:..... | 6 |
| 1.2. Область применения модели: | 7 |
| 2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ | 8 |
| 2.1. Перечень устройств производственного участка УРСТ | 11 |
| 2.1.1. Устройства транспортировки | 11 |
| 2.1.2. Устройства обработки и вспомогательные устройства | 13 |
| 2.2. Исходные заготовки для производственной системы LGP2 | 14 |
| 2.3. Анализ работы ГПЛ и синхронизации с участком УРСТ..... | 16 |
| 3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ | 17 |
| 3.1. Текущее состояние производственной системы | 18 |
| 3.2. Техническое задание | 18 |
| 3.2.1. Общие сведения..... | 18 |
| 3.2.2. Назначение и цели создания имитационной модели | 19 |
| 3.2.3. Характеристика объектов исследования при разработке модели..... | 20 |
| 3.2.4. Требования к производственной системе, которые должна отображать имитационная модель..... | 21 |
| 3.2.5. Состав и содержание работ по созданию имитационной модели | 23 |
| 3.2.6. Порядок контроля и приемки модели системы | 24 |
| 3.2.7. Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие | 24 |
| 3.2.8. Источники разработки | 24 |
| 3.3. Разработка диаграммы IDEF3 | 25 |
| 3.4. Разработка диаграммы IDEF0 | 25 |
| 3.5. Разработка имитационной модели | 26 |
| 3.5.1. Описание появления транзактов на модели УРСТ..... | 26 |
| 3.5.2. Описание устройств транспортировки на участке УРСТ | 27 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.3. | Описание устройств и этапов технологического процесса на УРСТ | 29 |
| 3.5.4. | Вспомогательные блоки языка Arena | 32 |
| 3.5.5. | Описание работы ГПЛ | 32 |
| 3.5.6. | Описание глобальных переменных в модели | 33 |
| 3.5.7. | Дополнительные этапы создания имитационной модели | 33 |
| 4. | ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ..... | 34 |
| 4.1. | Описание функции пригодности..... | 35 |
| 4.2. | План эксперимента | 37 |
| 4.3. | Этапы проведения эксперимента | 39 |
| 4.4. | Результаты эксперимента: | 40 |
| 4.4.1. | Результаты первой серии экспериментов: | 41 |
| 4.4.2. | Результаты второй серии экспериментов..... | 44 |
| 4.5. | Анализ и сравнение результатов экспериментов: | 48 |
| 4.5.1. | Анализ результатов первой серии экспериментов | 48 |
| 4.5.2. | Анализ результатов второй серии экспериментов | 50 |
| 4.5.3. | Сравнительный анализ серий экспериментов..... | 53 |
| 4.5.4. | Выводы на основе экспериментальных данных | 55 |
| 5. | ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ..... | 57 |
| 5.1. | Проверка модели на адекватность | 57 |
| 5.2.1. | Верификация имитационной модели..... | 57 |
| 5.2.2. | Валидация имитационной модели | 59 |
| 5.2.3. | Валидация выходных данных всей имитационной модели | 60 |
| 5.2.4. | Выводы об адекватности модели | 62 |
| 5.2. | Пример использования имитационной модели | 62 |
| 5.2.1. | Пример использования модели | 62 |
| 5.2.2. | Руководство пользователя имитационной модели..... | 63 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 66 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 67 |
| | ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 69 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 1 | 69 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 2 | 70 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 3 | 71 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 4 | 72 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 5 | 74 |

| | |
|--------------------|----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ 6 | 75 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 7 | 76 |