

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ  
TECNOMATIX PLANT SIMULATION

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования: 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств; 160301.65 Авиационные двигатели и энергетические установки; 80100.62 Экономика

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2014

УДК СГАУ: 004(075)

ББК 22.18я7

И 524

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. Г. З а с к а н о в,  
канд. экон. наук М. А. Б р а ж н и к о в

**Абрамова И.Г.**

И 524 **Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструментальной среде Tecnomatix Plant Simulation: лабораторный практикум / И. Г. Абрамова, Н. Д. Проничев, Д. А. Абрамов, Т. Н. Коротенкова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 80с.**

**ISBN 978-5-7883-0975-0**

В лабораторном практикуме описаны средства инструментальной среды Tecnomatix для разработки виртуального цифрового процесса организации движения деталей во времени и в пространстве на участках машиностроительных предприятий. Раскрыт процесс формирования потоков деталей по рабочим местам с целью создания имитационной модели работы участка, дальнейшего анализа и принятия решения по улучшению организации и управления процессами производства, приведены иллюстрации. Результатом работы служат разработанные 2D и/или 3D модели виртуального участка с визуализацией потоков деталей по рабочим местам и рассчитанными характеристиками организации производственного процесса на участке с механообрабатывающим оборудованием.

Лабораторный практикум предназначен для выполнения лабораторных работ при подготовке специалистов по специальности 160301.65 «Авиационные двигатели и энергетические установки», изучающих дисциплину «Организация инновационного производства» в 10-м семестре; по направлению подготовки бакалавров 151900 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», изучающих дисциплину «Организация машиностроительного производства и его организационно-экономическое моделирование», 080100.62 – «Экономика», изучающих дисциплину «Организация машиностроительного производства» в 7-м семестре (Профессиональный цикл, часть цикла БЗ.В.ОД.9), а также для подготовки магистров по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», изучающих дисциплину «Информационное организационно-экономическое моделирование» в 9-м семестре (цикл М0, часть цикла М0.В.1 Вариативная), дисциплину «Индивидуальная целевая организационно-экономическая подготовка» в семестре В (цикл М1. Общенаучный цикл, часть цикла М1.В.7 Вариативная).

Лабораторный практикум разработан на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

УДК СГАУ: 004(075)

ББК 22.18я7

**ISBN 978-5-7883-0975-0**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	6
2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	7
3 ПОРЯДОК РАБОТЫ В ПРОГРАММЕ PLANT SIMULATION ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	18
3.1 Начало работы в программе Tecnomatix Plant Simulation .....	18
3.2 Разработка схемы обработки деталей .....	20
4 УСТАНОВЛЕНИЕ СУЩНОСТЕЙ ОБЪЕКТНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ .....	21
4.1 Установление связей между объектами - оборудованием .....	21
4.2 Просмотр статистической отчетности процесса обработки на участке .....	23
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ «УЗКОГО МЕСТА» НА УЧАСТКЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА .....	26
5.1 Анализ объектов производства .....	27
5.2 Внесение исходных заданных временных параметров для проведения эксперимента .....	27
5.3 Визуализация изменения пропускной способности оборудования на участке .....	28
5.4 Визуализация процесса накопления деталей в буфере - заделе .....	31
5.5 Визуализация организации движения деталей в пространстве .....	38
5.6 Отображение движения деталей в пространстве в трехмерном изображении .....	40
6 ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА УЧАСТКЕ С СОВРЕМЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В PLANT SIMULATION .....	42
6.1 Исходные данные для моделирования производственного процесса .....	42
6.2 Построение модели участка по исходным данным .....	42
6.3 Установление связей между оборудованием при изготовлении определенного вида продукции .....	46
6.4 Добавление временных характеристик объектов модели .....	49
6.5 Запуск работы модели с точки Start и определение статуса элемента .....	54
6.6 Ввод дополнительных переменных в элементы модели до и после выполнения основной функции элемента .....	55
6.7 Активизация основной схемы и запуск модели .....	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	77

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производство находится в условиях, когда требуется быстрая реакция на изменение технологии изготовления деталей, изменение плановых объемных и календарных показателей.

Tecnomatix Plant Simulation представляет собой инструмент дискретного имитационного моделирования [1], который позволяет создавать цифровые модели логических систем (например, производства) для определения характеристик системы и оптимизации ее производительности. Созданные цифровые модели позволяют проводить эксперименты и прорабатывать сценарии «что если» без вмешательства в работу существующих производственных систем или (при использовании в процессе планирования) задолго до внедрения реальных систем. Обширный набор аналитических инструментов (анализ узких мест, статистические данные и графики) помогает оценить различные сценарии производства. Полученная в результате этого информация необходима для быстрого принятия верных решений на ранних стадиях планирования производства.

Plant Simulation позволяет моделировать и воспроизводить производственные системы и их технологические процессы. Кроме того, обеспечивается возможность оптимизации материалопотоков, использования ресурсов и логистики на всех уровнях планирования производства, от глобальных производственных объектов до региональных заводов и отдельных производственных линий.

Имитационные модели работы участков помогают изучить характеристики производственной системы и улучшить их работу. Цифровые модели позволяют проводить эксперименты по различным сценариям без нарушения работы существующих систем производства. Также они помогают принимать решения в процессе планирования, поскольку имеют обширные средства анализа, такие как анализ «узких мест». Статистика и графики позволяют оценить различные сценарии производственных результатов и предоставить вам необходимую информацию для формирования и принятия быстрых, надежных, взвешенных решений на ранних стадиях планирования производства.

Tecnomatix – комплексный пакет решений для цифрового производства [2], объединяющий все области производства и разработки изделия, от схемы производственного процесса и проектирования, моделирования и проверки процессов до производства. Основанный на принципах управления жизненным циклом изделия (PLM) производственной платформы Teamcenter Tecnomatix предлагает набор легко настраиваемых производственных решений.

Основные возможности пакета Tecnomatix Plant Simulation [3, 4]:

- Планирование и проверка деталей.
- Планирование и проверка сборки.
- Планирование роботизации и автоматизации.
- Проектирование и оптимизация производства.
- Управление качеством.
- Управление производством.
- Управление производственным процессом.

Использование моделирования заводских процессов изготовления деталей позволяет оптимизировать потоки материальных, информационных, кадровых и, наконец, финансовых ресурсов, кроме того производится логистика для всех уровнях планирования: от глобальных производственных мощностей до конкретных линий – участков.

Непоточная и поточная формы организации производственных процессов отрабатываются, анализируются на виртуальных участках и моделируются переходы из одного пограничного состояния в другое, планируя тем самым стратегию развития промышленного предприятия.

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Целью лабораторных работ является изучение функциональных возможностей инструментальной среды Tecnomatix Plant Simulation для разработки виртуального цифрового процесса организации движения деталей во времени и в пространстве на участках машиностроительных предприятий.

Задачи работы:

- рассчитать «вручную» показатели производительности рабочих мест, производственной мощности участка по исходным данным задания, выдаваемого преподавателем индивидуально каждому студенту;
- в соответствии с индивидуальным заданием средствами инструментальной среды Tecnomatix Plant Simulation представить план расположения рабочего оборудования на участке в виде 2D модели;
- каждому рабочему месту придать свойства, соответствующие организационным показателям используемого оборудования по заданию;
- отобразить потоки движения деталей по рабочим местам путем визуализации работы имитационной модели работы участка;
- рассчитать загрузку оборудования на участке, емкости накопителей рабочих мест;
- сопоставить данные, полученные в среде Tecnomatix Plant Simulation с данными, полученными расчетным путем «вручную»;
- изменить исходные данные задания таким образом, чтобы имитационная модель работы участка приобрела улучшенные показатели, представить преподавателю визуальное отображение измененного состояния работы участка;
- по итогам выполненных лабораторных работ сформировать отчет с указанием исходных данных и скрин-шотов этапов выполнения имитационной модели и результатов её деятельности.

Исходные данные для выполнения лабораторных работ предоставляет преподаватель.

## 2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

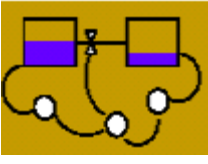
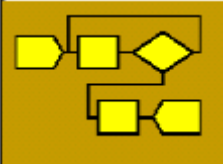

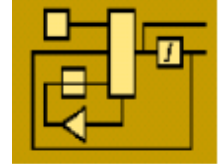
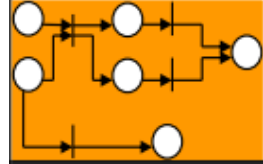
Сегодня на рынке информационных технологий существует порядка 150 программных продуктов аналитического типа, ориентированных на имитационное моделирование. Диапазон и разнообразие такого программного обеспечения продолжает расти, отражая тенденцию устойчивого спроса на него. Ниже представлены основные тенденции в области современных систем моделирования, классификация систем и их характеристики.

В качестве доминирующих базовых концепций формализации и структуризации в современных системах моделирования используются [5]:

- для дискретного моделирования – системы, основанные на описании процессов (process description): процессно-транзактно-ориентированные системы моделирования блочного типа (Extend, Arena, ProModel, Witness, Taylor, Gpss/H-Proof и др.);
- системы, основанные на сетевых концептах (network paradigms). Сетевые парадигмы (сети Петри и их расширения), применяются при структуризации причинных связей и моделировании систем с параллельными процессами, служащие для стратификации и алгоритмизации динамики дискретных и дискретно-непрерывных систем;
- сети кусочно-линейных агрегатов, автоматные схемы, моделирующие дискретные и непрерывно-дискретные системы;
- для систем, ориентированных на непрерывное моделирование – модели и методы системной динамики, – (Powersim, Vensim, Dynamo, Stella, Ithink и др.);
- динамические системы (MATLAB);
- агентное моделирование (AnyLogic);
- и другие.

В табл. 1 представлены среды, ориентированные на разные подходы в имитационном моделировании, из которого видно, что рынок очень неравномерный, дискретные системы наиболее представительны [5].

**Т а б л и ц а 1. Базовые концепции и инструментальные решения имитационного моделирования**

Системная динамика	Дискретные системы	Агентное моделирование	Динамические системы	Сети
				
Vensim, iThink, Powersim, AnyLogic	GPSS, Simula, Arena, AutoMod, AnyLogic, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY II.5, SIMPLE++, eM-Plant, Taylor ED, WITNESS	AnyLogic	MATLAB	ARIS

Технологические возможности современных систем моделирования характеризуются:

1) универсальностью и гибкостью базовой и альтернативной к базовой концепции структуризации и формализации моделируемых динамических процессов, заложенных в систему моделирования. Сегодня популярны среди систем моделирования дискретного типа процессно-ориентированные концепции структуризации, основанные на сетевых парадигмах, автоматном подходе, и некоторые другие; среди систем моделирования непрерывного типа – модели и методы системной динамики;

2) наличием средств проблемной ориентации, когда система моделирования содержит наборы понятий, абстрактных элементов, языковые конструкции из предметной области соответствующего исследования;

3) применением объектно-ориентированных специализированных языков программирования, поддерживающих авторское моделирование и процедуры управления процессом моделирования;

4) наличием удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса, когда блок-схемы дискретных моделей и системные потоковые диаграммы непрерывных реализуются на идеографическом уровне, параметры моделей определяются через подменю;



5) использованием развитой двух- и трехмерной анимации в реальном времени;

6) возможностью для реализации нескольких уровней представления модели, средствами для создания стратифицированных описаний. Современные системы моделирования применяют структурно-функциональный подход, многоуровневые иерархические, вложенные структуры и другие способы представления моделей на разных уровнях описания;

7) наличием линеек и инструментов для проведения и анализа результатов сценарных, вариантных расчетов на имитационной модели;

8) математической и информационной поддержкой процедур анализа входных данных, анализа чувствительности и широкого класса вычислительных процедур, связанных с планированием, организацией и проведением направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели.

9) экспериментальные исследования на имитационной модели информативны, поэтому необходима реализация подхода Simulation Data Base, основанного на доступе к базам данных моделирования. Технологически это решается при помощи собственных специализированных аналитических блоков системы моделирования или за счет интеграции с другими программными средами;

10) исполнительный модуль может функционировать вне среды для разработки модели;

11) применением многопользовательского режима работы, интерактивного распределенного моделирования, разработками в области взаимодействия имитационного моделирования со Всемирной паутиной и др.

Некоторые характеристики для перечисленных выше популярных систем имитационного моделирования приведены ниже в табл. 2-6.

Рассмотренные технологические возможности современных систем моделирования во многом определяют сегодня оживление интереса к имитационному моделированию не только в области государственного, глобального моделирования, но и в коммерческой сфере. Потребителями такого рода аналитической продукции выступают аналитические отделы банков, промышленные компании, финансово-промышленные группы, страховые и инвестиционные компании, консультационные, проектные организации, региональные органы власти, отрасли и др. С помощью имитационного моделирования эффективно решаются

задачи самой широкой проблематики – в области стратегического планирования, бизнес-моделирования и реинжиниринга, менеджмента и управления производством, цепочками поставок.

В настоящее время распространены следующие основные направления, по которым существуют практические наработки:

- Цифровое производство, имитационное моделирование производственных процессов, логистика и т.п.;
- Моделирование бизнес-процессов;
- Компьютерное моделирование социально-экономических процессов на местном, региональном и федеральном уровне.

Классические подходы к имитационному моделированию в рамках концепции *e-Manufacturing* производственных и логистических процессов нашли свое полное воплощение в реализации современного цифрового производства. В конце 90-х годов практически все автомобилестроительные концерны Германии (DaimlerChrysler, Mercedes-Benz Pkw, Opel, BMW, Audi) пришли к выводу о том, что возникли условия для реализации качественно нового уровня автоматизации процессов на всех этапах жизненного цикла изделия: начиная с эскизного проектирования и заканчивая утилизацией отслужившей свой срок техники. Эти условия были обеспечены, с одной стороны, уровнем развития базовых информационных технологий, а с другой – большим положительным опытом применения этих технологий на самих предприятиях. Для производства, существующего в условиях «тотальной информатизации», было предложено несколько различных названий, из которых наиболее прочные позиции завоевал термин *Digitale Fabrik* (цифровая фабрика), но более часто сущность *Digitale Fabrik* сегодня выражают с помощью «интернационального» термина *e-Manufacturing*.

Основным содержанием идеи *e-Manufacturing* является непрерывное (если переводить буквально используемую при этом немецкую терминологию, то – сплошное) применение цифровых моделей в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. При этом в виде цифровых моделей отображаются не только сами изделия (например, в виде двумерных или трёхмерных САД-чертежей), но и все средства производства, а также производственные и логистические процессы.

Т а б л и ц а 2 . Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Производитель	Типовые модули пакета	Области применения пакета	Потребность в ОЗУ	ОС
AnyLogic 5.0	XJ Technologies	Анализ системной динамики, анализ рисков, оптимизация, планирование, поддержка принятия решения, агентный подход	Стратегический менеджмент, производство, обслуживание, логистика, цепочки поставок, медицина, транспорт, IT управление, телекоммуникации, наука	128MB min., 512MB recom	Windows NT, 2000 and XP
Arena	Rockwell Software	Производство, цепочки поставок, бизнес-процессы, медицина, ВПК, складирование и логистика	Производство, цепочки поставок/логистика, управление бизнес-процессами, ВПК, медицина	64MB min., 128MB recom	Windows 95, 98, ME, NT, 2000 and XP
AutoMod	Brooks Automation	Транспортные системы, складирование, линии расфасовки, производство	Автомобильная, аэрокосмическая отрасли, моделирование аэропортов, производство, складирование и сбыт	512MB or higher recom	Windows OS
eM-Plant	Tecnomatix Technologies Inc.	Производство, транспортировка, разгрузочно-погрузочные операции, симуляция бизнес-процессов, логистика, продажи, календарное планирование, выработка ритма производства, верификация процессов, цепочки поставок	Дискретное производство (автомобильная отрасль, электроника, судостроение, станкостроение, сборочные линии и т.д.), логистика, сбыт, консалтинг, здравоохранение, банковский бизнес.	64MB min., 512MB recom.	Windows NT, 2000 and XP
Extend Industry	Imagine That, Inc.	Моделирование крупномасштабных систем с большими нагрузками. Включает внутреннюю реляционную базу данных и модуль для моделирования	СМО, включая сбытовую логистику, call centers с большой нагрузкой, упаковочные линии и т.д.	64MB min., 128MB+ recom.	Windows XP, 2000, NT, ME, 98; Power Macintosh OS X and 9.1+
ProModel	ProModel Solutions	Анализ отклонений, шесть сигм; проектирование и планирование портфеля; оценка мощностей, анализ затрат; моделирование циклических усовершенствований во времени; цепи поставок	Производство и логистика, фармацевтика	64MB min., 128MB recom.	Windows 98 or later
QUEST	Delmia		Производство (автомобилестроение, авиастроение, космонавтика, электроника, судостроение)		
Witness	Lanner Group ltd	Производство, оптимизация, планирование, календарное планирование, моделирование бизнес-процессов	Шесть сигм, call center, ВУЗы, моделирование бизнес-процессов, производство	-	-

Т а б л и ц а 3. Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Построение модели		
	Графическое построение модели (icon or drag-and-drop)	Построение модели с использованием программирования	Пошаговая отладка
AnyLogic 5.0	да	да	да
Arena	да	да	да
AutoMod	да	да	да
eM-Plant	да	да	да
Extend Industry	да	да	да
ProModel	да	да	да
Witness	да	-	да

Т а б л и ц а 4. Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Построение модели		
	Input Distribution Fitting (Specify)	Поддержка анализа выходной информации	Пакетный ввод и разработка эксперимента
AnyLogic 5.0	Stat::Fit поддерживает более 40 математических распределений /да	Сбор данных и статистическая обработка (отклонение от средней, вероятностные распределения и т.д.), представление (графики Ганнта, гистограммы и т.д.) /да	Поддерживаемые типы эксперимента: симуляция, оптимизация, Монте Карло, анализ чувствительности, пользовательский алгоритм /да
Arena	- да	Output Analazer (отклонение от средней, Аноva, гистограммы, графики ) да	- да

Окончание табл. 4

AutoMod	С использованием ExpertFit да	Модуль AutoStat обеспечивает увеличенный статистический анализ в течение всей фазы экспериментирования над моделируемым объектом да	Пакетный ввод при использовании AutoStat; AutoMod позволяет планировать эксперимент да
eM-Plant	Включен стандартный инструмент анализа данных (DataFit) да	Стандартный включенный инструмент анализа данных DataFit (Доверительный интервал, средние и т.д.) да	Система управления экспериментом, поддержка пакетного режима работы, расчет доверительных интервалов, нейронные сети да
Extend Industry	- да	Доверительные интервалы и т.д. да	Автоматическое выполнение различных сценариев, поддерживаемых системой да
ProModel	Определенные пользователем распределения, 15 предопределенных распределений, плюс распределения, поставляемые с Stat::Fit (включенное программное обеспечение) /да	Полный анализ выходных данных, использование диаграмм; также экспорт в Excel и Access для последующего анализа /да	Неограниченные сценарии могут быть предопределены параметрами эксперимента /да
QUEST	- да	осуществляет комбинированный анализ, стохастический анализ совместных вероятностей всех событий	- да
Witness	Содержит около 10 математических распределений. Помимо этого возможно программирование собственного распределения / да	- да	- да

Т а б л и ц а 5. Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Построение модели (продолжение)			
	Оптимизация	Повторное использование кода (напр., объекты, шаблоны)	Передача модели (напр., может ли готовая модель быть передана тем, у кого нет ПО для разработки собственной?)	Инструменты поддержки передачи
AnyLogic 5.0	Встроенный механизм OptQuest может работать как с классическими, так и очень объёмными задачами, включая структурную оптимизацию	да	да	Дополнительные средства не нужны
Arena	-	да	да	-
AutoMod	Оптимизация основана на алгоритме эволюционной стратегии	да	да	Рабочий модуль (платный) или проигрыватель AutoView (бесплатный)
eM-Plant	Генетические алгоритмы, нейросети	да	да	Различные виды пакетов: библиотеки (простое моделирование), модели (изменение параметров), просмотр (только имитация)
Extend Industry	Эволюционный оптимизатор с открытым кодом включен во все версии Extend	да	да	Скачиваемые бесплатно проигрыватель и демоверсия позволяют открывать, просматривать и выполнять модели
ProModel	Доступна оптимизация с использованием OptQuest и/или SimRunner	да	да	ПО упаковывает модели, затем модели и выходные данные могут просматриваться бесплатным проигрывателем ProModel
QUEST	-	да	-	да
Witness	Специальный модуль WITNESS Optimizer	да	да	да

Т а б л и ц а 6. Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Анимация			Совместимое анимационное ПО	Основные новые функции (с февраля 2001 года)
	Анимация	Просмотр в режиме реального времени	Экспорт анимации (напр., MPEG-версия, которая может запускаться отдельно от модели для презентации)		
AnyLogic 5.0	да	да	да	-	Встроенная анимация и создание апплетов, оптимизатор OptQuest, более быстрый механизм, планирование экспериментов, просмотр системной динамики, связь с БД, XML, библиотеки
Arena	да	да	нет	да	Несколько новых особенностей в областях интеграции данных, манипуляции данных, визуализации и мультипликации
AutoMod	да	да	да	да	Сложные модели позволяют Вам импортировать обычно используемые прототипы в новые модели, а также позволяют многократное аналитическое моделирование, включающее обработку данных различных подмоделей главной модели
eM-Plant	да	да	да	да	Легкая настройка интерфейса, менеджер экспериментов, расширенная 3D анимация, интеграция с программами Tecnomatix eMPower, XML, AutoCAD, SDX interfaces, layout oriented modeling
Extend Industry	да	да	нет	да	Полностью интегрированный эволюционный оптимизатор, интерактивный отладчик исходных кодов, COM/ActiveX, навигатор в стиле Проводника, диаграммы Гантта, обмен данными в web, выполнение нескольких моделей
ProModel	да	да	нет	-	графики Ганнта, формат xls для загрузки внешних файлов, дополнительных функций
QUEST	да	да	да	да	Расширенная 3D анимация. Интеграция с CAD, "спиральное" построение модели
Witness	да	да	да	-	Расширенная 3D анимация

Специальные способы хранения всех относящихся к сфере e-Manufacturing данных и средства управления этими данными создают условия для информационной интеграции всех видов деятельности, которые связаны с подготовкой и реализацией процесса производства. Сами люди, участвующие в этой деятельности, получают возможность наблюдать статические объекты или динамические процессы, как правило, в виде трёхмерных изображений, создаваемых с помощью методов VR (виртуальной реальности). Ставится цель достичь с помощью e-Manufacturing такого уровня моделирования объектов и процессов, при котором реальный процесс производства будет начинаться только тогда, когда абсолютно все его элементы будут изучены и оптимизированы с помощью моделей. Для специалистов на производстве главным должен стать принцип: «Буду делать только то, что я уже наблюдал на экране компьютера».

Для реализации концепции *e-Manufacturing* необходимо иметь три группы программных продуктов:

- средства для «интеллектуального» хранения разнообразных текстовых и графических данных, первоначально представленных в самых различных форматах;
- средства для компьютерного моделирования объектов и процессов;
- средства для визуализации результатов моделирования методами VR.

Иногда всю суть концепции *e-Manufacturing* с точки зрения моделирования описывают формулой: «*Simulation + Virtual Reality*».

На предприятии, внедрившем концепцию *e-Manufacturing*, можно встретить очень разные виды имитационных моделей, как, например:

- модели систем транспортировки грузов по территории предприятия с помощью мобильных средств (погрузчиков, трейлеров и т. п.);
- сборочные конвейеры;
- модели складских процессов (прём грузов, перемещение грузов в зоны хранения и обратно, отбор, комплектация, упаковка и отправка грузов);
- и др., в т.ч. внешняя логистика предприятия (цепи поставок).

Реализация таких моделей осуществляется с помощью коммерческих симуляторов для процессов с дискретными событиями: GPSS, Simula, Arena, AutoMod, eM-Plant, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY II.5, Taylor ED и WITNESS.



Сутью моделируемых процессов в таких моделях является перемещение во времени и в пространстве, как правило, большого количества объектов, образующих в совокупности некие «потоки». Такие модели поэтому и в пределах *e-Manufacturing* часто называют *Material Flow Models (Materialfluss-Modelle)*.

VR-модели могут создаваться как в среде самих пакетов моделирования, так и с помощью таких универсальных средств, как язык VRML, который фактически стал стандартным средством представления трёхмерных графических моделей в промышленных приложениях.

На европейском рынке программных продуктов две фирмы заявили, что готовы предложить полные наборы взаимно совместимых продуктов для поддержки внедрения концепции *e-Manufacturing*. Таковыми являются фирмы *Tecnomatix (www.tecnomatix.com)* и *DELMIA (www.delmia.com)*. Ядром каждой системы является специальный банк данных, в котором представлены три базовые структуры данных производственного назначения, называемые «*Product, Process and Resources*» (сокращенно – *PPR*). У *Tecnomatix* этот банк данных называется *e-Manufacturing Server (eMS)*, а у *DELMIA* – *PPR Hub*. В качестве инструмента для решения задач моделирования материальных потоков *Tecnomatix* предлагает симулятор *eM-Plant*, а *DELMIA* – симулятор *QUEST*.

### 3 ПОРЯДОК РАБОТЫ В ПРОГРАММЕ PLANT SIMULATION ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

#### 3.1 Начало работы в программе Tecnomatix Plant Simulation

Начало работы производится запуском программы: запуск *Plant Simulation*: Пуск -> Все программы -> *Plant Simulation* и в открывшемся окне создаем новую модель: *File* -> *New Model*. Либо переходим на вкладку стартовой страницы *Create New Model* (рис. 1).

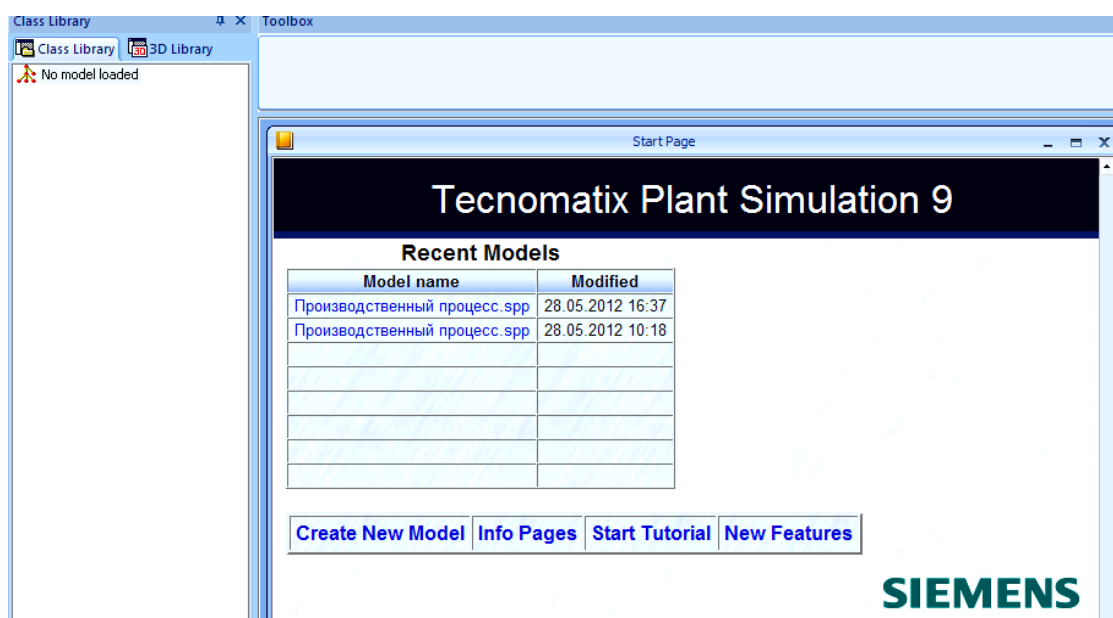


Рисунок 1 – Стартовая страница

Файл содержит Class Library (Библиотеку стандартных 2D элементов) и 3D Library (Библиотеку элементов для построения 3D модели).

Выбираем базовые объекты материального потока Basic Objects (рис. 2), выбираем все объекты материального потока – Material Flow, т.к. они являются необходимыми базовыми элементами для построения схемы.

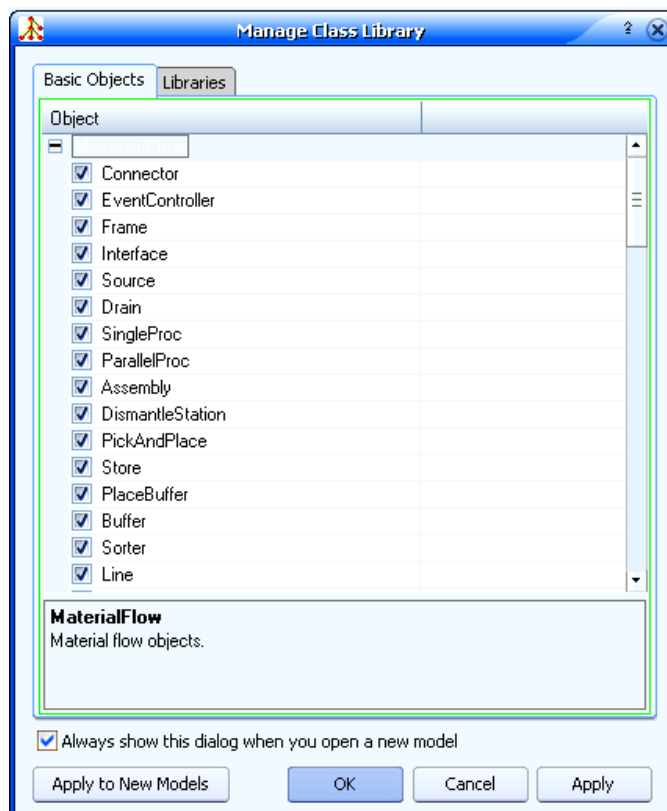


Рисунок 2 – Объекты материального потока

Далее переходим на вкладку Libraries и ставим отметку в строке Machines 3D для активации объёмных моделей оборудования (рис. 3).

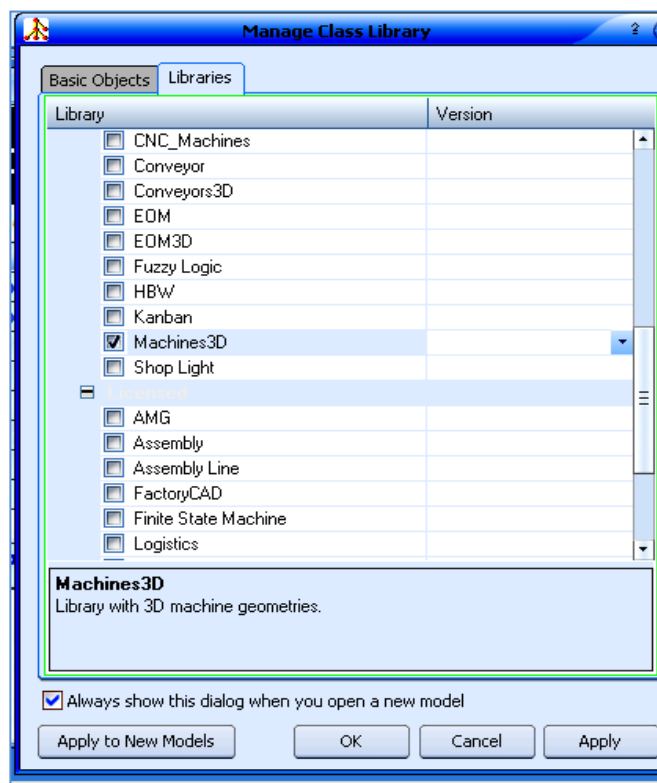


Рисунок 3 – Активации объёмных моделей оборудования

Apply -> OK. Новая модель создана и открыта (рис. 4).

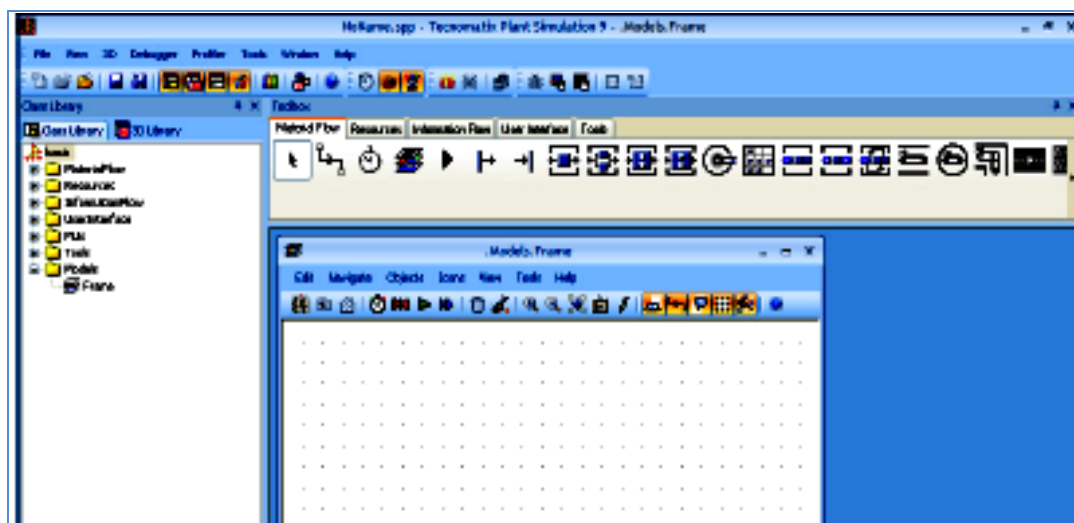


Рисунок 4 – Основное окно Plant Simulation

### 3.2 Разработка схемы обработки деталей

Создаем схему обработки деталей с помощью панели инструментов Toolbox, используя вкладку Material Flow.

Для добавления объекта выбираем сам объект, устанавливаем курсор мыши в то положение, в которое необходимо вставить данные элементы.


В модель добавляем следующие элементы:

Source: Toolbox -> Material Flow -> ;

Drain: Toolbox -> Material Flow -> ,


которые обозначают входной поток грузов, товаров, пассажиров или транспортных средств, поток заявок на выполнение транспортных операций и граничный объект в структуре, через который динамические объекты покидают модель, соответственно.

Далее добавляем к схеме необходимый набор моделей оборудования в 2D или 3D (в соответствии с заданием):

Single Proc: Toolbox -> Material Flow -> .

## 4 УСТАНОВЛЕНИЕ СУЩНОСТЕЙ ОБЪЕКТНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ

### 4.1 Установление связей между объектами – оборудованием

- Установим связи между объектами: Connector: Toolbox -> Material Flow -> . Нажав Ctrl, щелчком левой кнопки мыши устанавливаем связи от элемента к элементу (рис. 5).

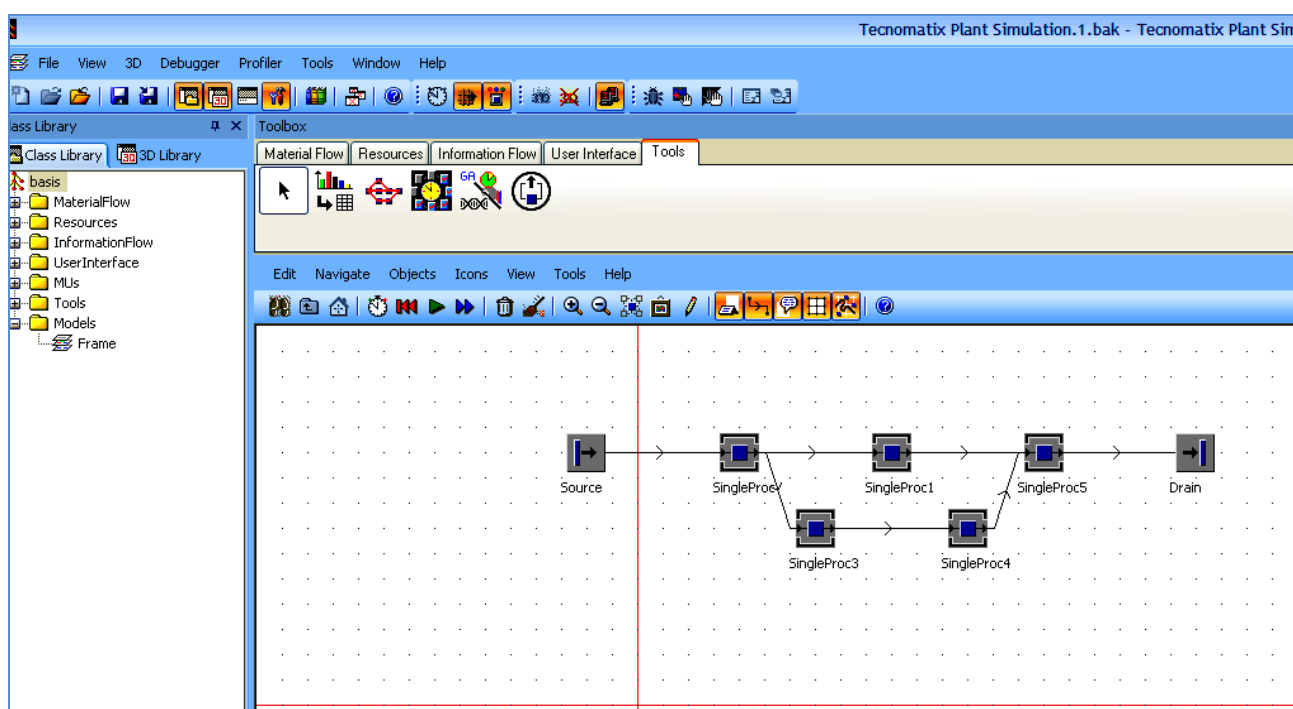



Рисунок 5 – Установление связей между объектами

- Для учета времени работы добавим в схему Event Controller. Эта функция позволяет координировать все события при работе схемы: Toolbox -> Material Flow ->  (рис. 6).

Щелкая дважды по Event Controller, открываем диалоговое окно MaterialFlow.EventController (рис. 7).

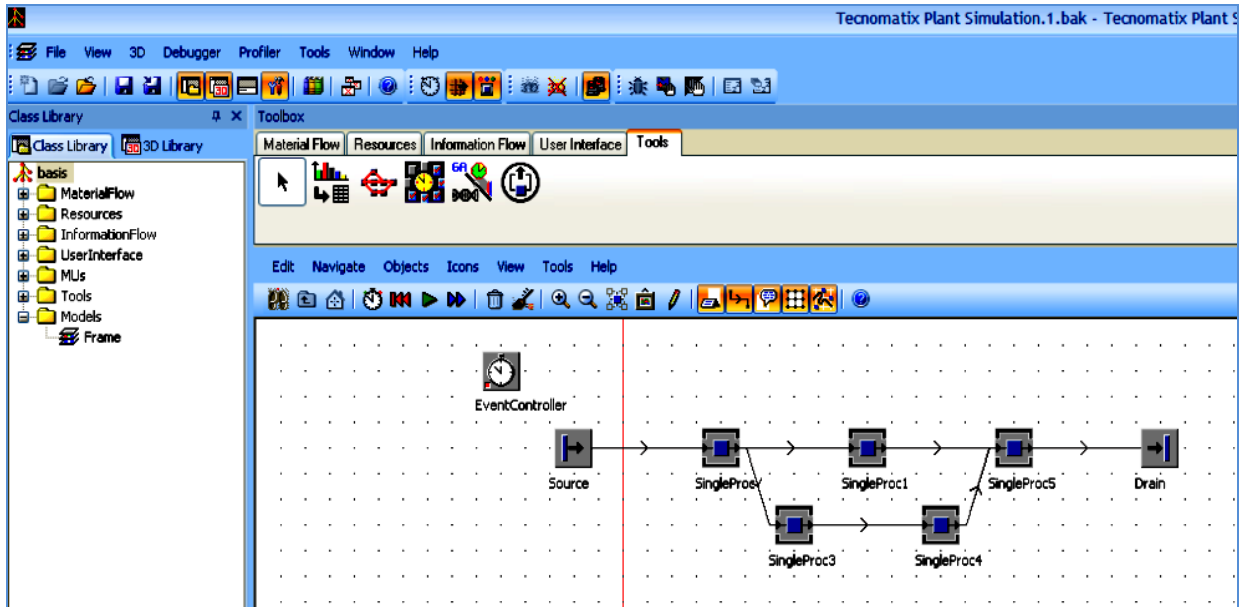


Рисунок 6 – Добавление Event Controller в схему

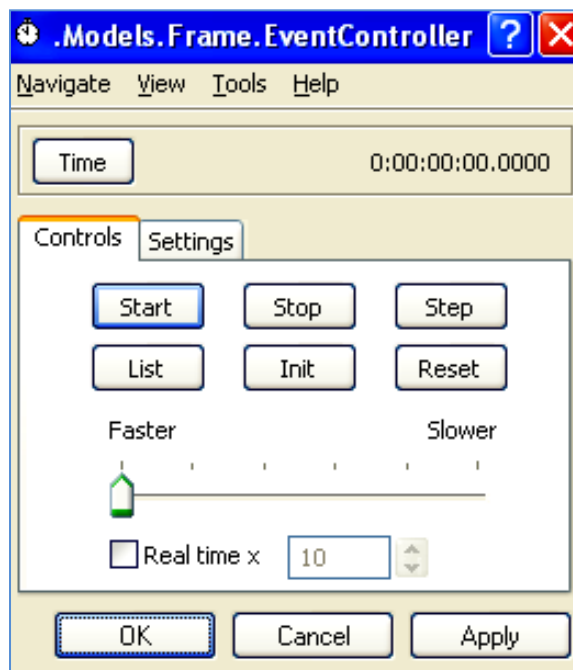


Рисунок 7 – Диалоговое окно MaterialFlow.EventController

Нажимаем Reset для сброса, при этом обнуляются время, статистика, количество изготовленных деталей. Запускаем модель нажатием Start, при этом можно снизить скорость, двигая рычаг вправо. После завершения процесса в данном диалоговом окне будет отображена длительность производственного цикла (рис. 8;9).

## 4.2 Просмотр статистической отчетности процесса обработки на участке

- Посмотрим статистику путем нажатия кнопки Start/Stop.

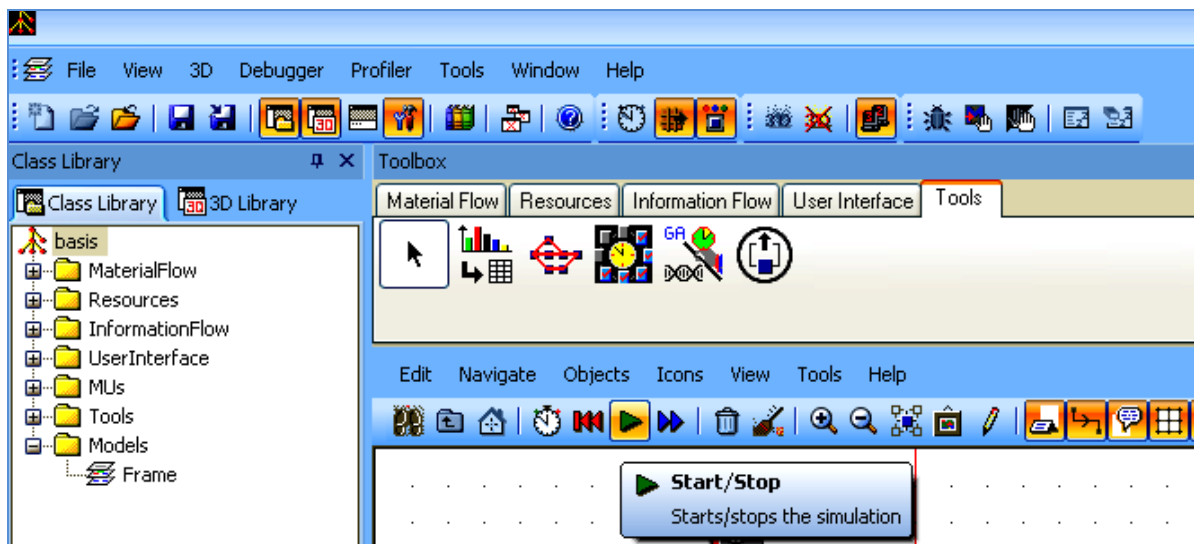


Рисунок 8 – Запуск процесса

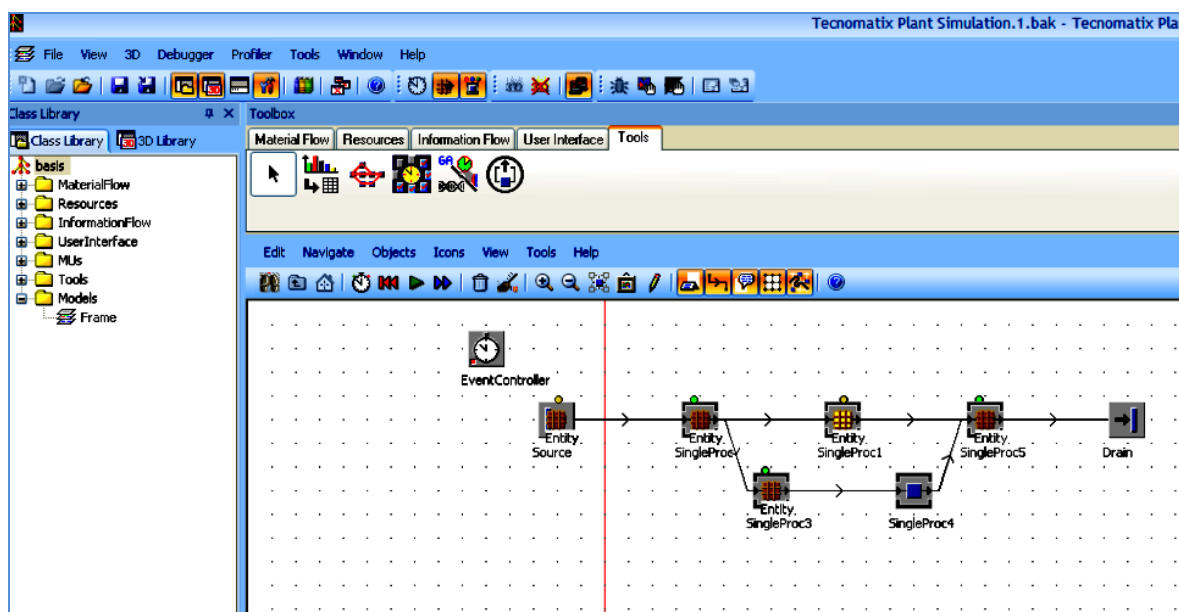


Рисунок 9 – Просмотр статуса объектов после остановки процесса

При симуляции объекты материального потока имеют определенный статус, который отображается над элементами точками:

Красная точка – объект сломан;

Синяя – перерыв в работе;

Зеленая – объект находится в работе;

Желтая – объект заблокирован;

- После завершения производственного цикла появляется возможность оценить эффективность использования оборудования и рабочих. Для этого двойным щелчком по рабочему либо по станку открываем диалоговое окно и заходим на вкладку Statistics (рис. 10).

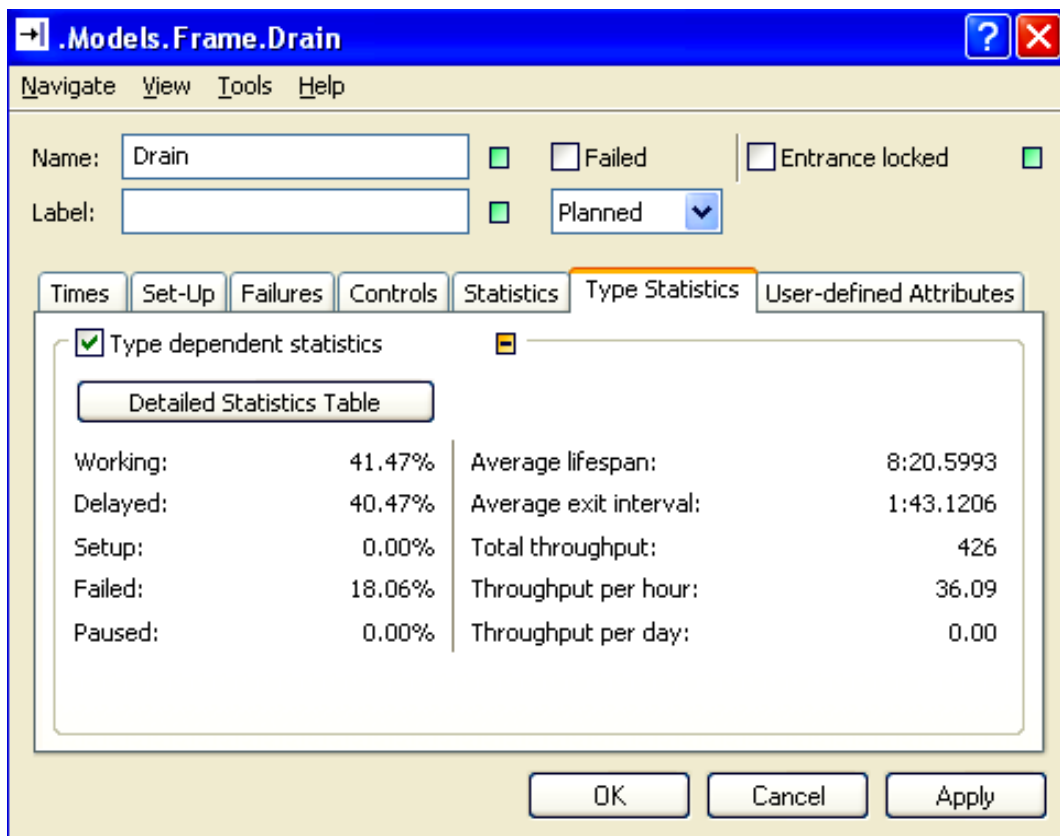


Рисунок 10 – Оценка эффективности использования оборудования

- Посмотрим характеристики объектов. Щелкаем дважды на любой из объектов процесса, и на экране появится диалоговое окно (рис. 11).

Во вкладках могут быть заданы:

- время обработки, время выполнения операции – Processing time;
- время на установку – Set-up time;
- время восстановления – Recovery time;
- время цикла – Cycle time.

Для каждого из объектов можно задать свои характеристики, соответствующие техпроцессу и журналу норм, в котором отражается время обработки на каждом конкретном станке.



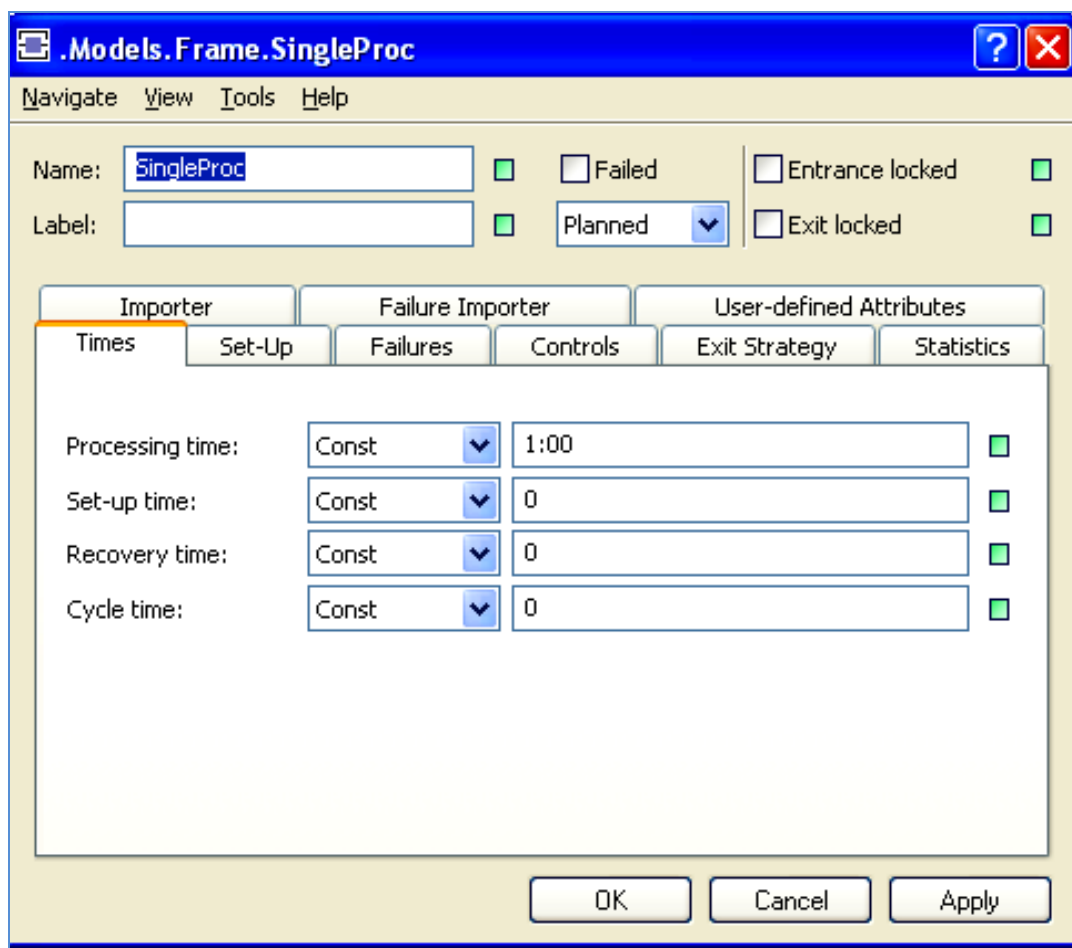


Рисунок 11 – Диалоговое окно Models.Flame.SingleProc

Для простоты мы возьмем время обработки на каждом из объектов, равное 1. Однако в реальном производстве данное время может колебаться в широком диапазоне.

Также можно задать загруженность объекта в %. Например, как в нашем случае: 80%. Для этого напротив характеристики Availability зададим значение 80 и MTTR 1.8:00.

Меняя данные параметры, можно добиться различных выходных характеристик.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ «УЗКОГО МЕСТА» НА УЧАСТКЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Добавим такой объект, который позволит нам наглядно определить узкое место на нашем производстве (рис. 12). Таким объектом является -Bottleneck Analyzer:Toolbox->Tool-> Bottleneck Analyzer.

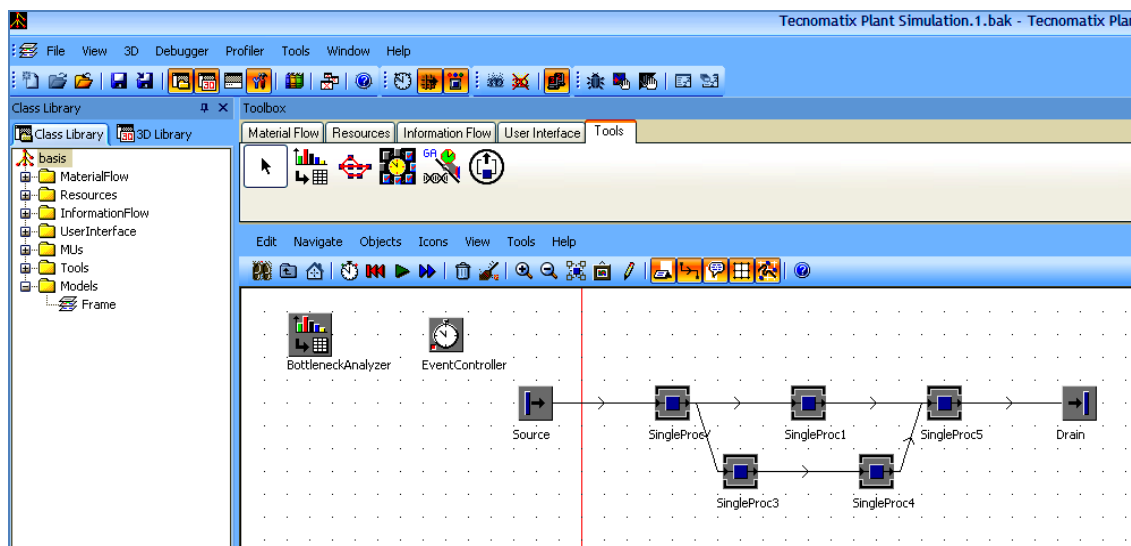


Рисунок 12 – Добавление Bottleneck Analyzer

Для того чтобы наглядно увидеть принцип работы Bottleneck Analyzer, необходимо:Щелчок правой кнопкой мыши по Bottleneck Analyzer-> Analyze (рис. 13).

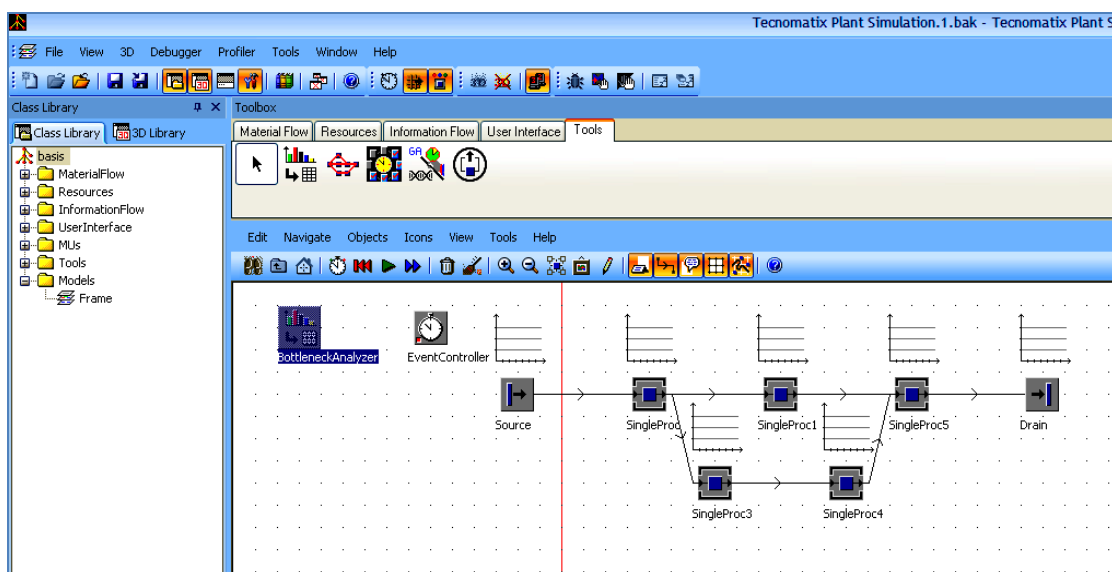


Рисунок 13 – Включение функции Analyze

## 5.1 Анализ объектов производства

Далее проанализируем работу каждого объекта при помощи визуализации процесса. Для этого: нажатие кнопки Start/Stop (рис. 14).

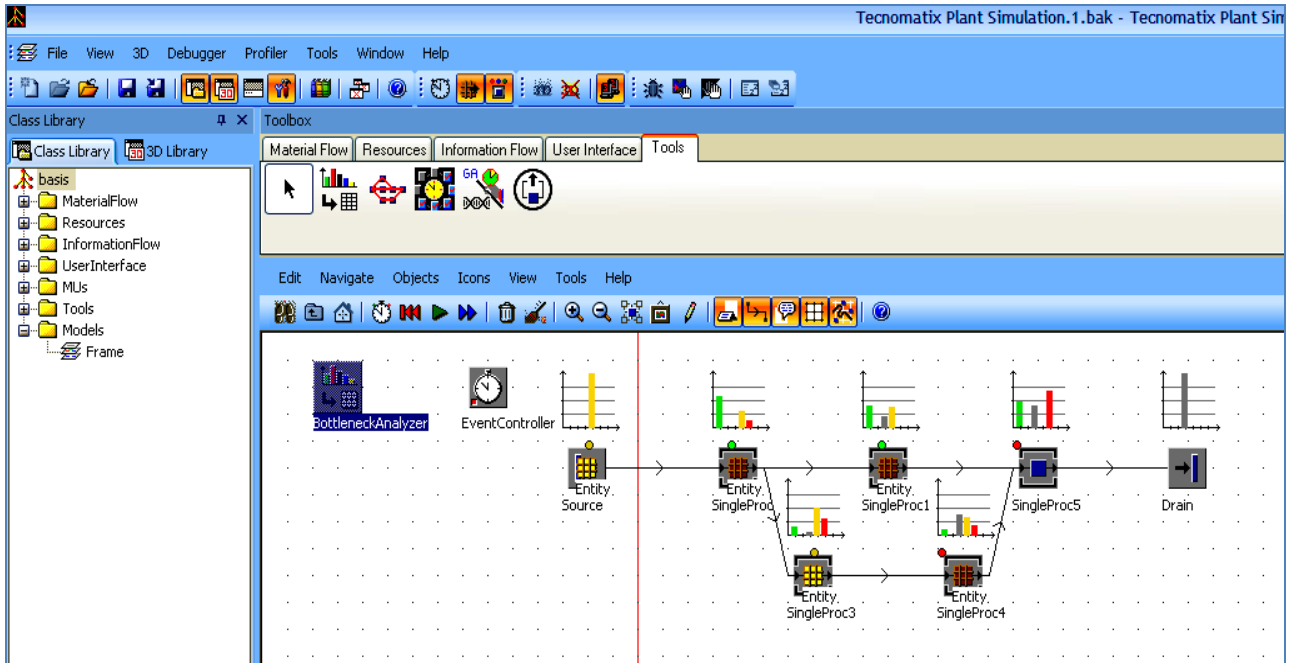


Рисунок 14 – Визуализация процесса

Из анализа видно, что самое узкое место – это объект SingleProc5. Для ликвидации данной проблемы необходимо, например, поставить накопители или попробовать изменить связи между объектами, т.е. скорректировать процесс.

## 5.2 Внесение исходных заданных временных параметров для проведения эксперимента

Зададим время работы данной линии. Для этого: двойной щелчок по Event Controller->Settings.

Задаем дату начала обработки деталей, например 12.10.2012 00:00:00 и задаем время конца обработки, в нашем случае пусть будет 1 сутки, т.е. 1:00:00:00.

Теперь запустим процесс с учетом новых заданных параметров: щелчок по Reset-для сброса предыдущих результатов->Start. По истечении времени 1:00:00:00 процесс будет остановлен.

Теперь можно посмотреть выходные параметры (рис. 15), полученные за заданный промежуток времени. Для этого: двойной щелчок по Drain->Type Statistics.

Особое внимание нужно обратить на такую характеристику как Throughput (пропускная способность). Она будет меняться в зависимости от заданных параметров.

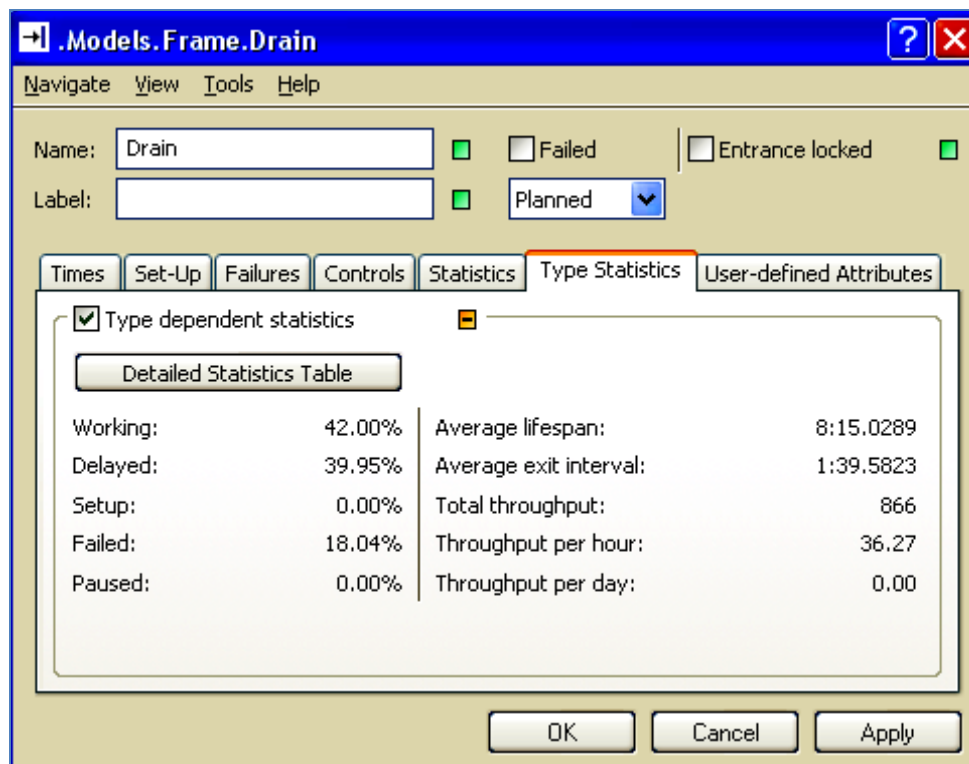


Рисунок 15 – Полученные выходные характеристики

### 5.3 Визуализация изменения пропускной способности оборудования на участке

Для того чтобы видеть, как меняется пропускная способность, построим еще две схемы компоновки объектов, участвующих в производстве (рис. 16).

Во второй схеме были добавлены дополнительные объекты для разгрузки узких мест предыдущей схемы и изменены связи между ними. Нужно проанализировать, как это отразилось на пропускной способности, характеристики указаны на рис. 17.

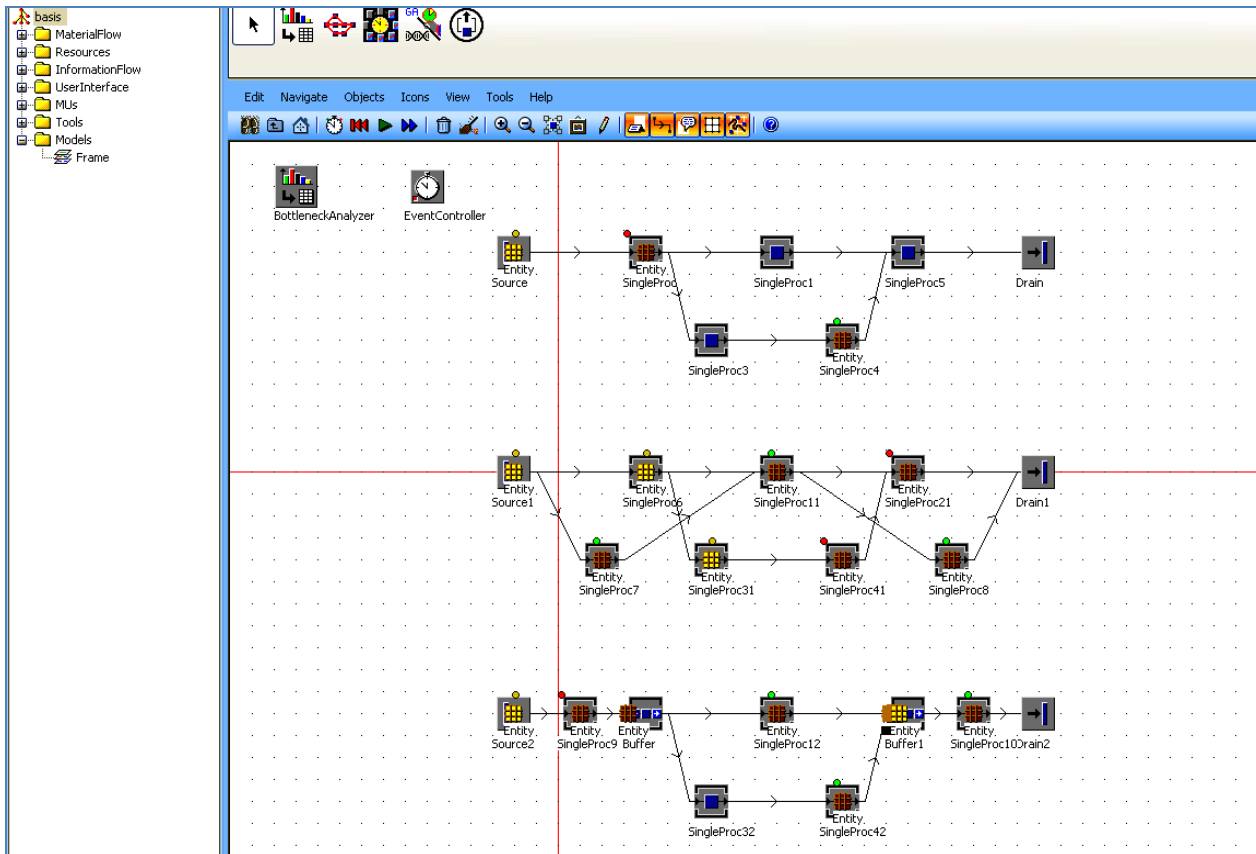


Рисунок 16 – Дополнительные схемы

**.Models.Frame.Drain1**

Navigate View Tools Help

Name: Drain1  Failed  Entrance locked

Label:   Planned

Times Set-Up Failures Controls Statistics **Type Statistics** User-defined Attributes

Type dependent statistics

Detailed Statistics Table

Working:	50.10%	Average lifespan:	6:41.7393
Delayed:	32.26%	Average exit interval:	1:01.3627
Setup:	0.00%	Total throughput:	1405
Failed:	17.64%	Throughput per hour:	58.73
Paused:	0.00%	Throughput per day:	0.00

OK Cancel Apply

Рисунок 17 – Характеристики по 2-й схеме

В третьей схеме были добавлены Entity Buffer (буфер, накопитель) для разгрузки узких мест. Нужно проанализировать, как это отразилось на пропускной способности (рис. 18).

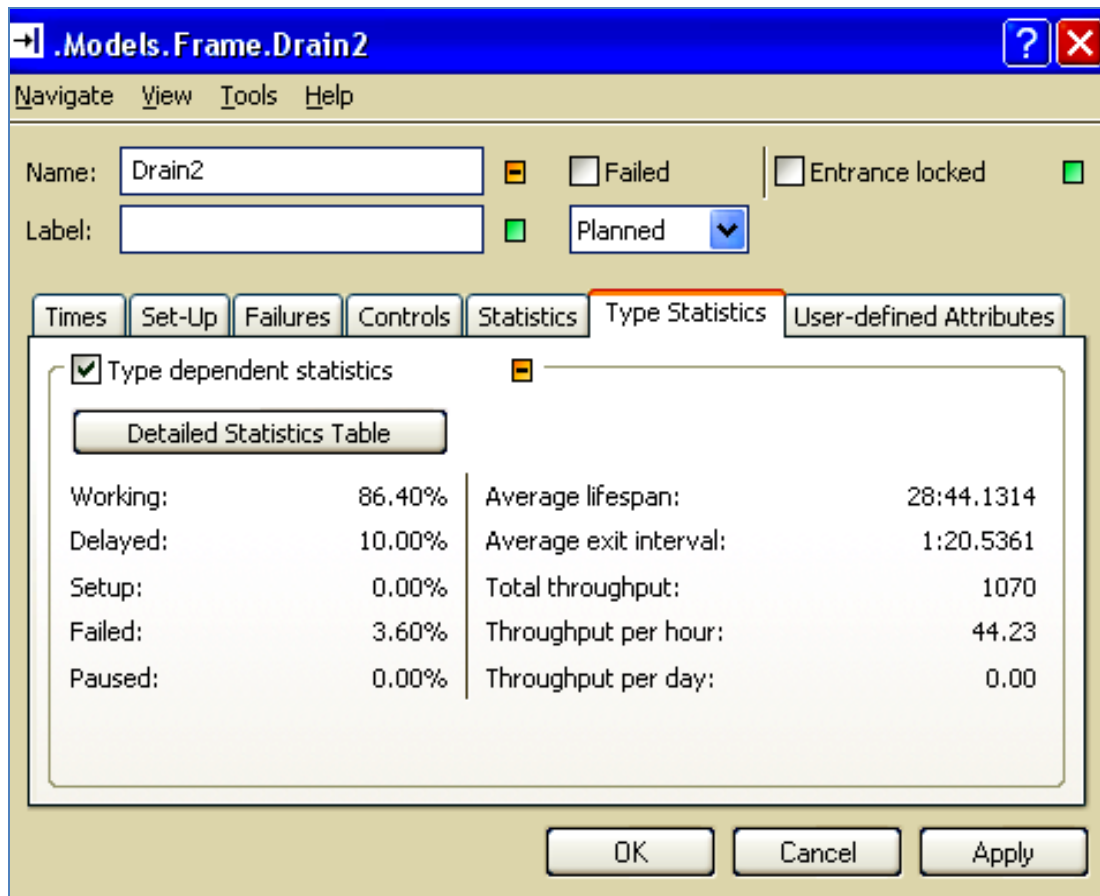


Рисунок 18 – Характеристики по 3-й схеме

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективной схемой является вторая, т.к. пропускная способность выше, чем в двух других ( $1405 > 1070 > 866$ ). Это получено благодаря введению дополнительного оборудования и изменению связей между ними – разгружаются узкие места.

Однако здесь нужно произвести экономический расчет эффективности введения дополнительного оборудования, т.е. если затраты на введение дополнительного оборудования будут превышать получаемое преимущество по пропускной способности, то эффективнее будет использовать третью схему. Третья схема является компромиссным решением данной проблемы, т.к. она не требует

введения дополнительного оборудования и вводятся только два накопителя, а значит, требует меньших затрат по сравнению со второй схемой.

#### 5.4 Визуализация процесса накопления деталей в буфере – заделе

Рассмотрим третью схему. Для того чтобы посмотреть процесс накопления в буфере, добавим объект Chart(диаграмма) для первого и второго буферов: User Interface->Chart (рис. 19).

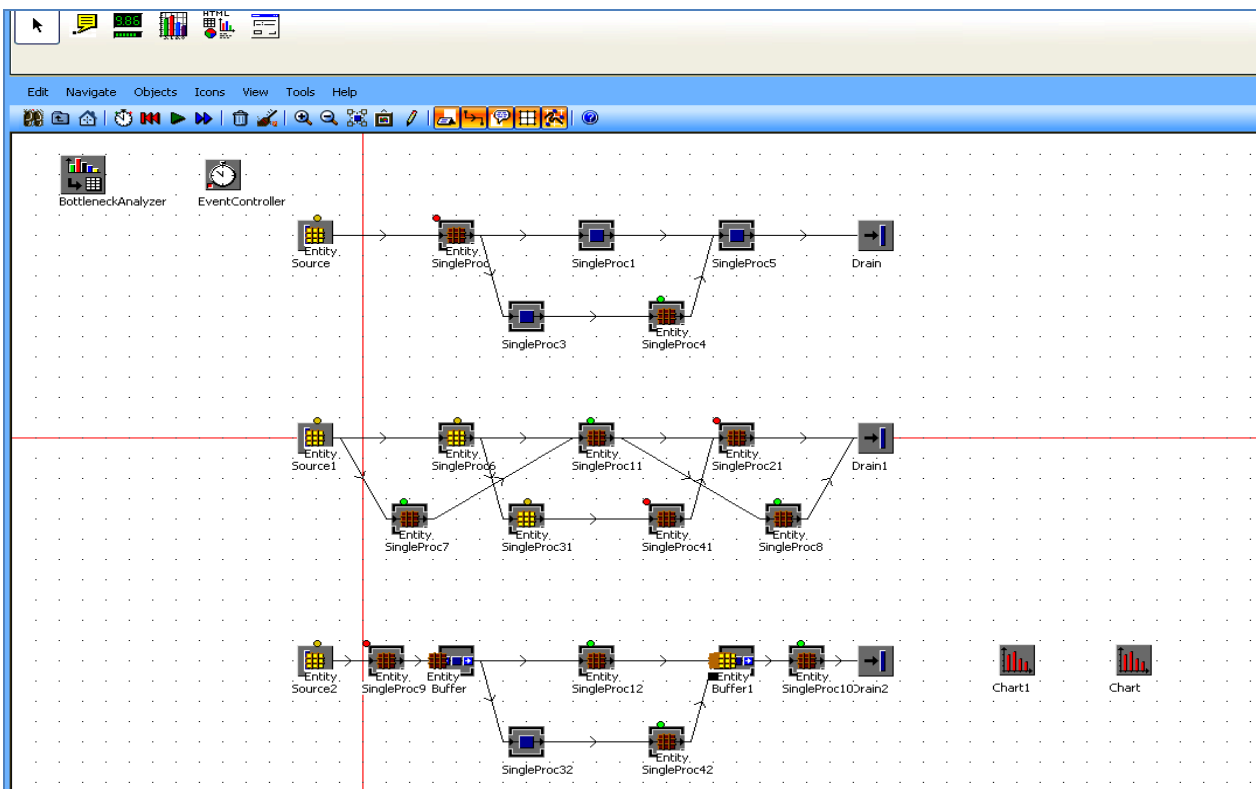


Рисунок 19 – Введение объекта Chart

Затем левой кнопкой мыши нажимаем на Buffer1 и Buffer2 и перетаскиваем каждый из них на свой Chart. При выполнении данного действия должны появиться две диаграммы (рис. 20).

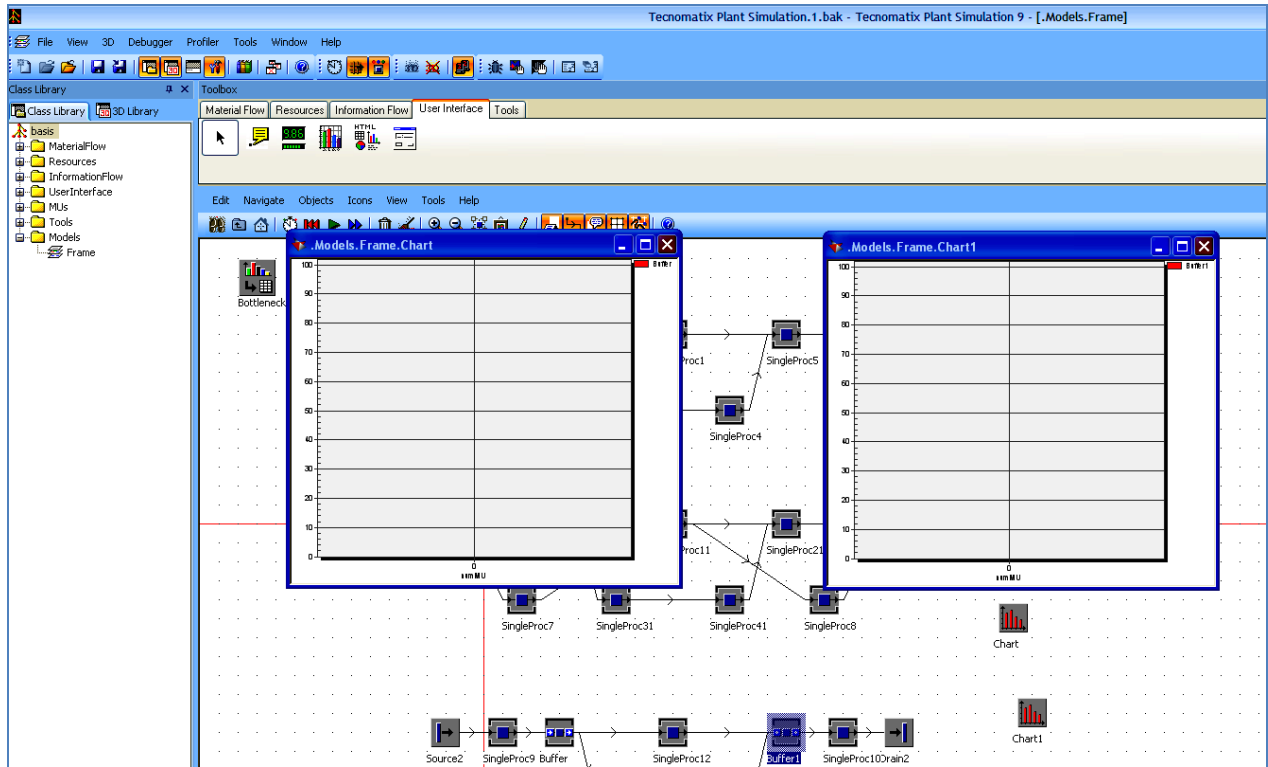


Рисунок 20 – Диаграммы Chart

Затем можно посмотреть процесс накопления в буфере во время производства (рис. 21). Для этого: Нажать Start:

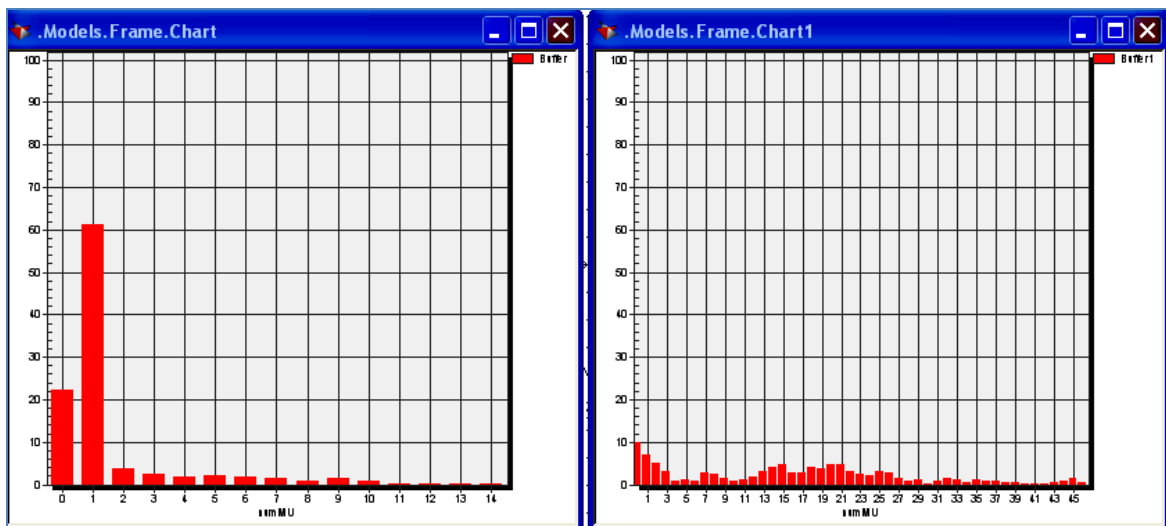


Рисунок 21 – Визуализация процесса накопления в буфере

- Ведем Experiment manager: Tools-> Experiment manager.



Затем двойным щелчком по *Experiment manager* открываем характеристики (рис. 22).

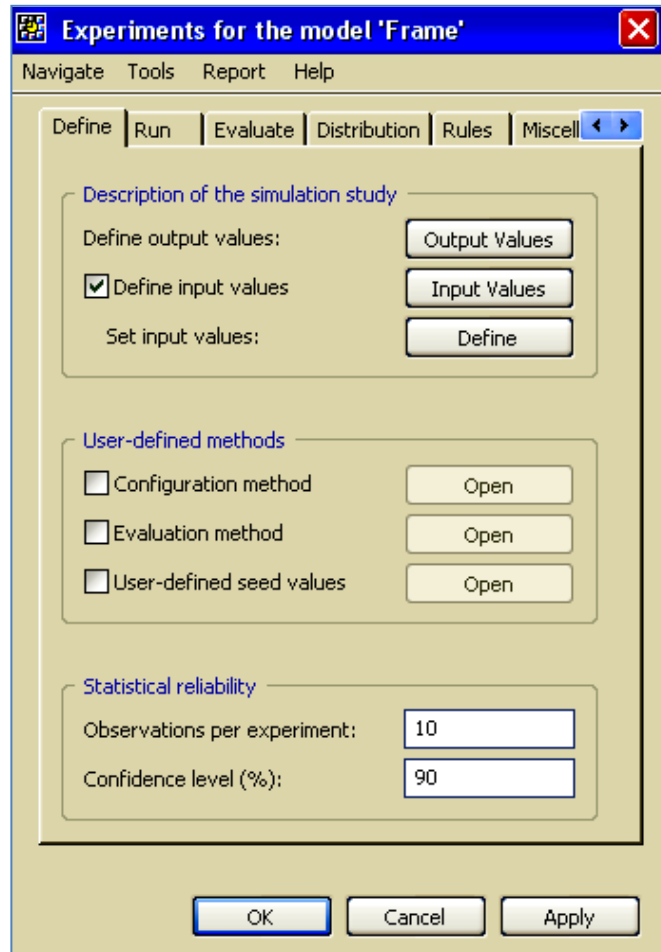


Рисунок 22 – Характеристики *Experiment manager*

Затем открываем вкладку Output values (выходные значения) (рис. 23).

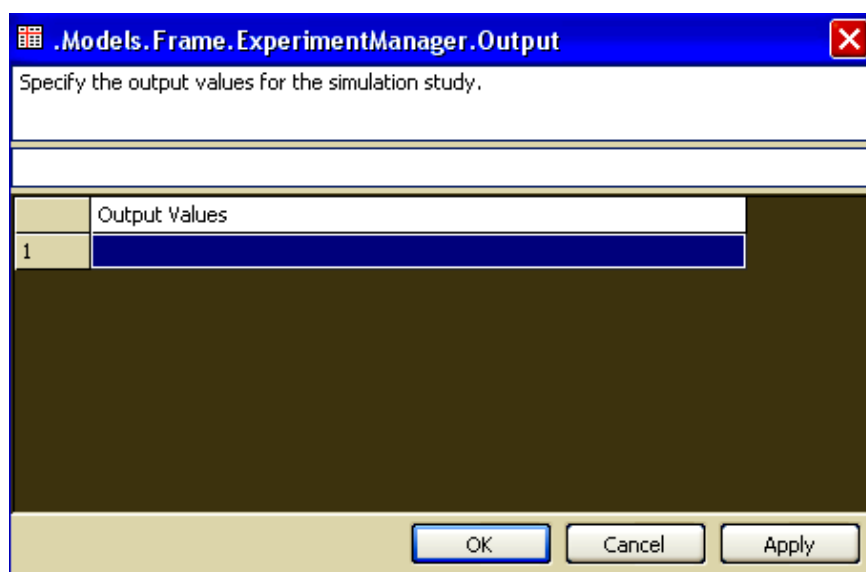


Рисунок 23 – Output values

Левой кнопкой мыши перетаскиваем Drain в пустую строчку. Затем двойным щелчком по Drain открываем вкладку Type Statistics (рис. 24).

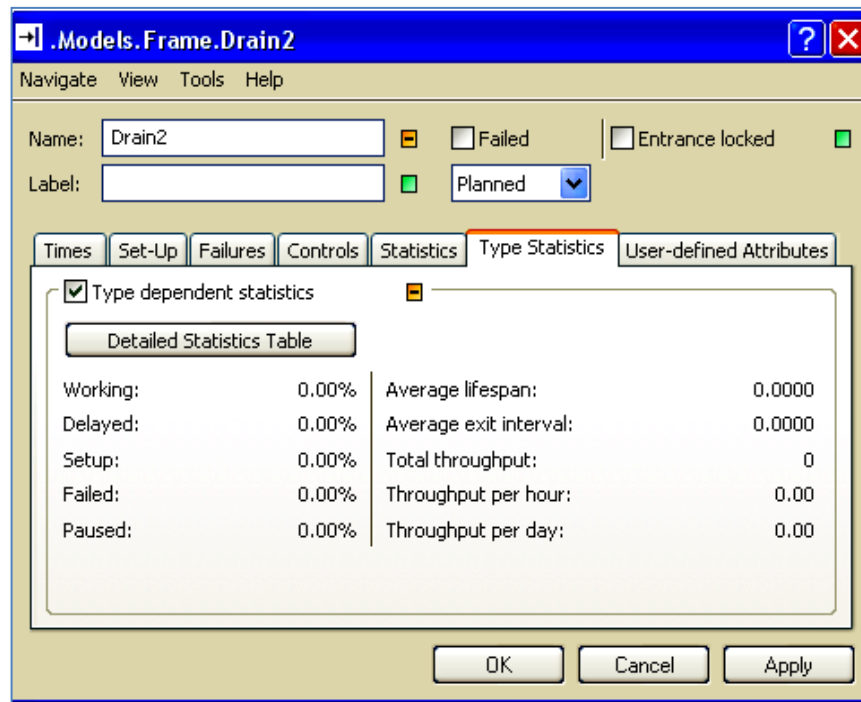


Рисунок 24 – Type Statistics

Мы видим, что все характеристики равны 0. Нажимаем знак вопроса в верхнем правом углу вкладки Type Statistics (рис. 25).

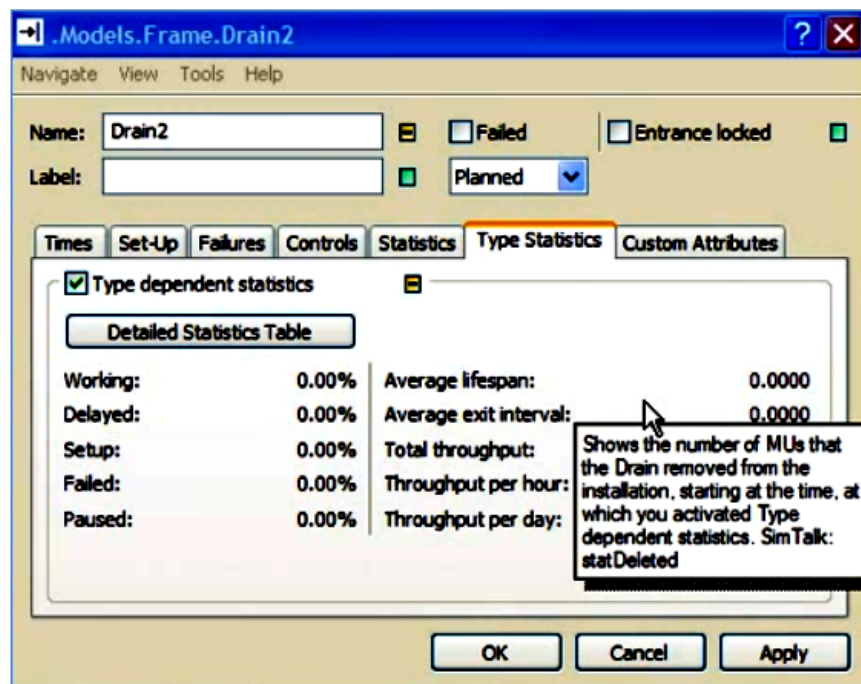


Рисунок 25 – Type Statistics

В диалоге дается рекомендация: stat Deleted. Эту фразу мы записываем в строчку рис. 26, подтверждая нажатием Apply и Ок:

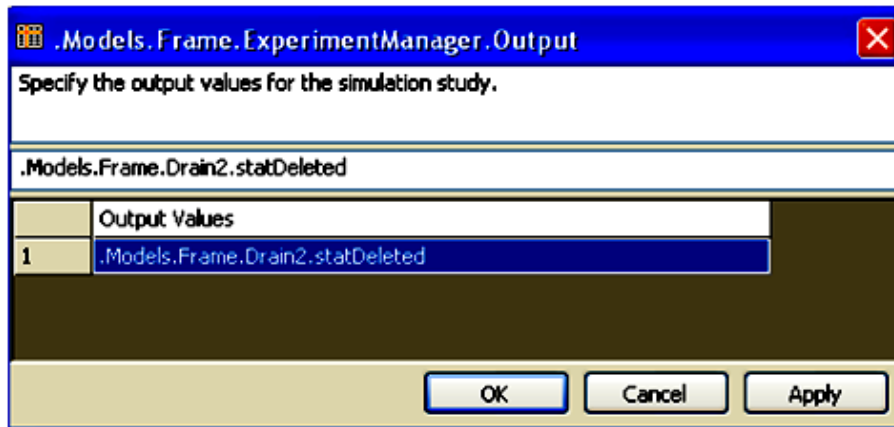


Рисунок 26 – Output Values «измененное»

В строке *Observations per experiment* (наблюдение за экспериментом) введем любое значение, например 3, а в строке *Confidence level* (уровень безотказности) -90%. Откроем вкладку *Tools->Multi-level experimental* (рис. 27). Зададим следующие параметры для каждого из буферов : *Lower level* (низший предел) –5, *Upper level* (высший предел) – 50, *Increment* (приращение) – 5, подтвердим нажатием *Apply* и *Ок*:

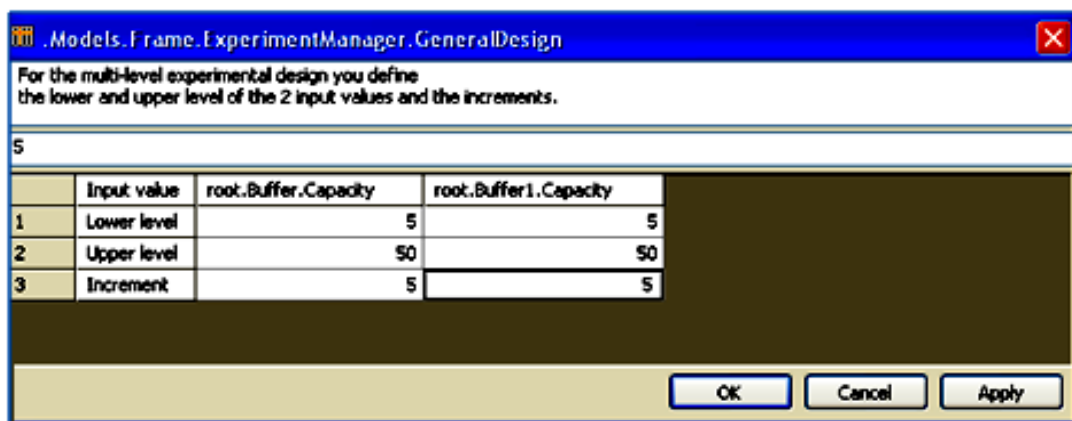


Рисунок 27 – Multi-level experimental.

После нажатия Ок появится диалоговое окно (рис. 28) и окно характеристик сгенерированного процесса (рис. 29).

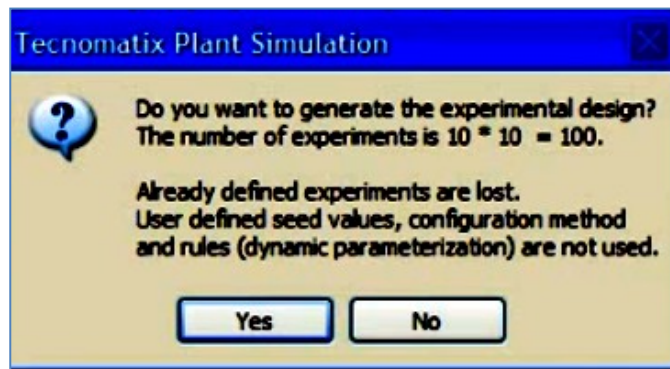


Рисунок 28 – Диалоговое окно

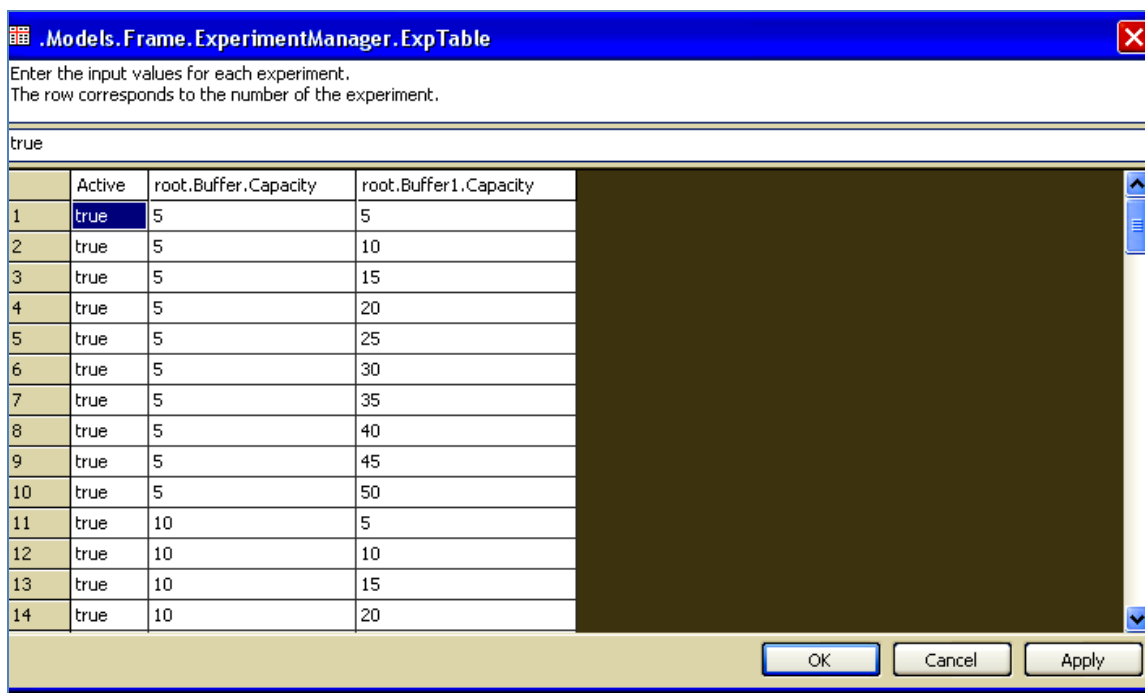


Рисунок 29 – Окно характеристик сгенерированного процесса

Затем закрываем диалоговое окно-Ок. Щелчком правой кнопки мыши по Experiment manager->Start и ждем пока процесс будет закончен. Появится диалоговое окно (рис. 30).



Рисунок 30 – Диалоговое окно

Появится новое диалоговое окно, в котором можно увидеть размеры емкости буфера – накопителя (или задела) в зависимости от экспериментальных величин партий деталей (рис. 31).

Откроем вкладку Output values и посмотрим результаты проведенных экспериментов (рис. 32).

Можно наглядно определить, в каком из экспериментов получился наибольший результат, а открыв вкладку Input values, можно посмотреть, при каких сочетаниях это произошло.

Control value	root.Buffer.Capacity	root.Buffer1.Capacity
Exp 001	5	5
Exp 002	5	10
Exp 003	5	15
Exp 004	5	20
Exp 005	5	25
Exp 006	5	30
Exp 007	5	35
Exp 008	5	40
Exp 009	5	45
Exp 010	5	50
Exp 011	10	5
Exp 012	10	10
Exp 013	10	15
Exp 014	10	20
Exp 015	10	25
Exp 016	10	30
Exp 017	10	35
Exp 018	10	40
Exp 019	10	45
Exp 020	10	50
Exp 021	15	5
Exp 022	15	10
Exp 023	15	15
Exp 024	15	20
Exp 025	15	25
Exp 026	15	30
Exp 027	15	35
Exp 028	15	40
Exp 029	15	45
Exp 030	15	50
Exp 031	20	5
Exp 032	20	10
Exp 033	20	15

Рисунок 31 – Показатели емкости накопителя в буфере – заделе

Target value	root.Drain2.statDeleted
Exp 001	962
Exp 002	996
Exp 003	1015
Exp 004	1026
Exp 005	1031
Exp 006	1036
Exp 007	1038
Exp 008	1038
Exp 009	1038
Exp 010	1038
Exp 011	993
Exp 012	1020
Exp 013	1031
Exp 014	1036
Exp 015	1041
Exp 016	1043
Exp 017	1045
Exp 018	1047
Exp 019	1047
Exp 020	1047
Exp 021	1011
Exp 022	1031
Exp 023	1038
Exp 024	1042
Exp 025	1045
Exp 026	1046
Exp 027	1048
Exp 028	1050
Exp 029	1050
Exp 030	1050
Exp 031	1018

Рисунок 32 – Output values

Откроем вкладку Confidence intervals of selected result values (доверительные интервалы выбранных значений результата) (рис. 33).

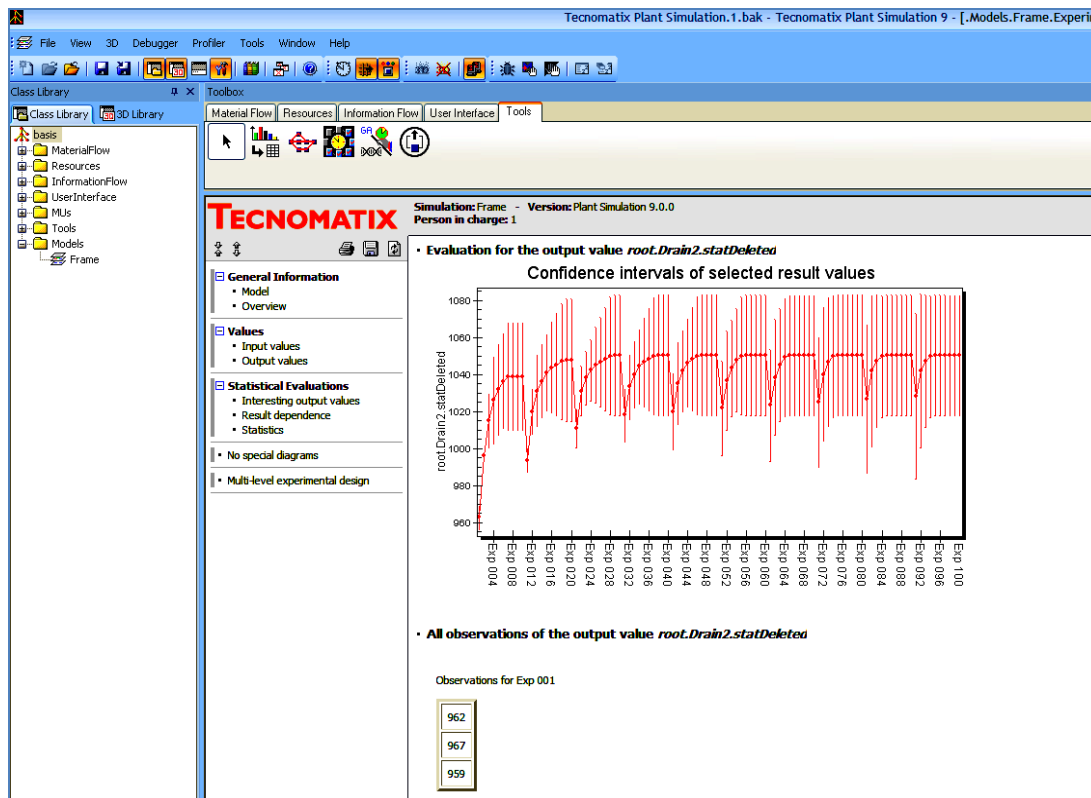


Рисунок 33 – Confidence intervals of selected result values

## 5.5 Визуализация организации движения деталей в пространстве

Введем объект Sankey Diagram (диаграмма потока), которая визуализирует поток материалов. Для этого: Tools->Sankey Diagram (рис. 34).

Затем левой кнопкой мыши перетаскиваем любой из объектов на Sankey Diagram (например, взять объект SingleProc12). Затем двойной щелчок по Sankey Diagram, для того чтобы посмотреть основные параметры.

В строке *Maximum width of the flows* (максимальная ширина потока) можно изменить значение, например возьмем 20. Чем больше ширина, тем больше пропускная способность. Т.е. иначе говоря, мы видим, как распределяется нагрузка между объектами.

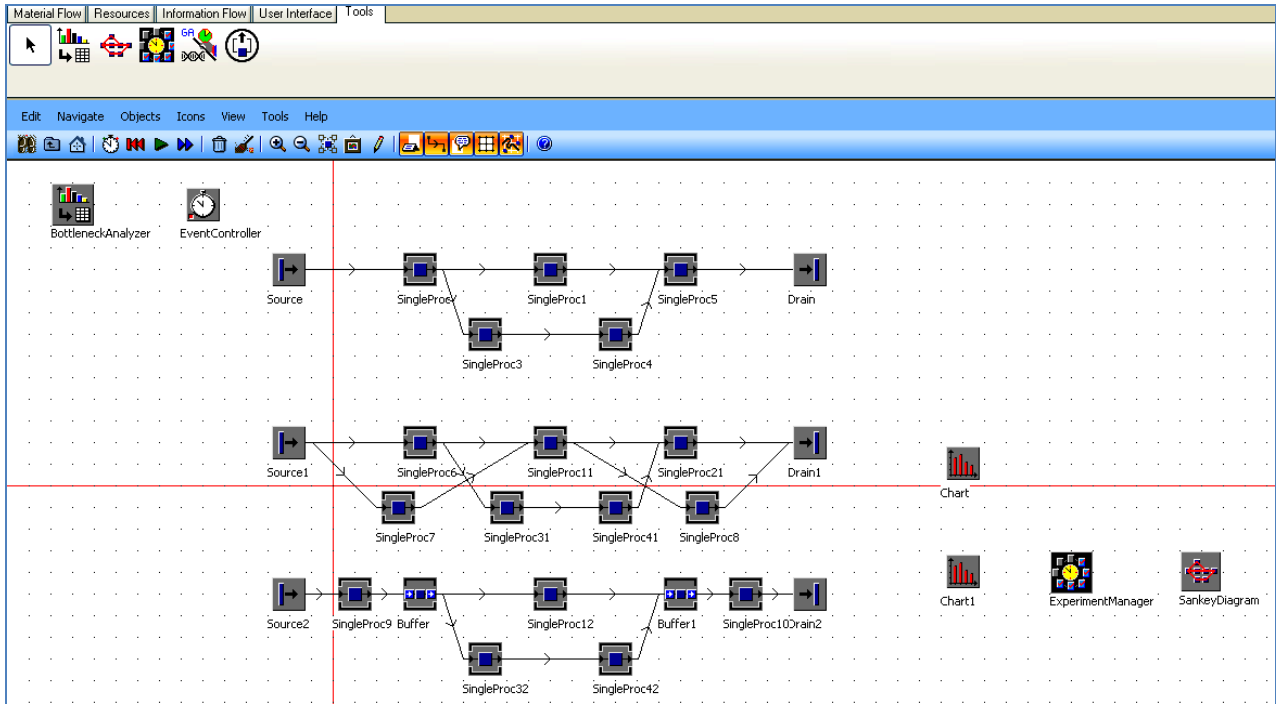


Рисунок 34 – Ввод Sankey Diagram

Щелчок правой кнопкой по Sankey Diagram->Display Sankey Diagram->кнопка Start/Stop (рис. 35).

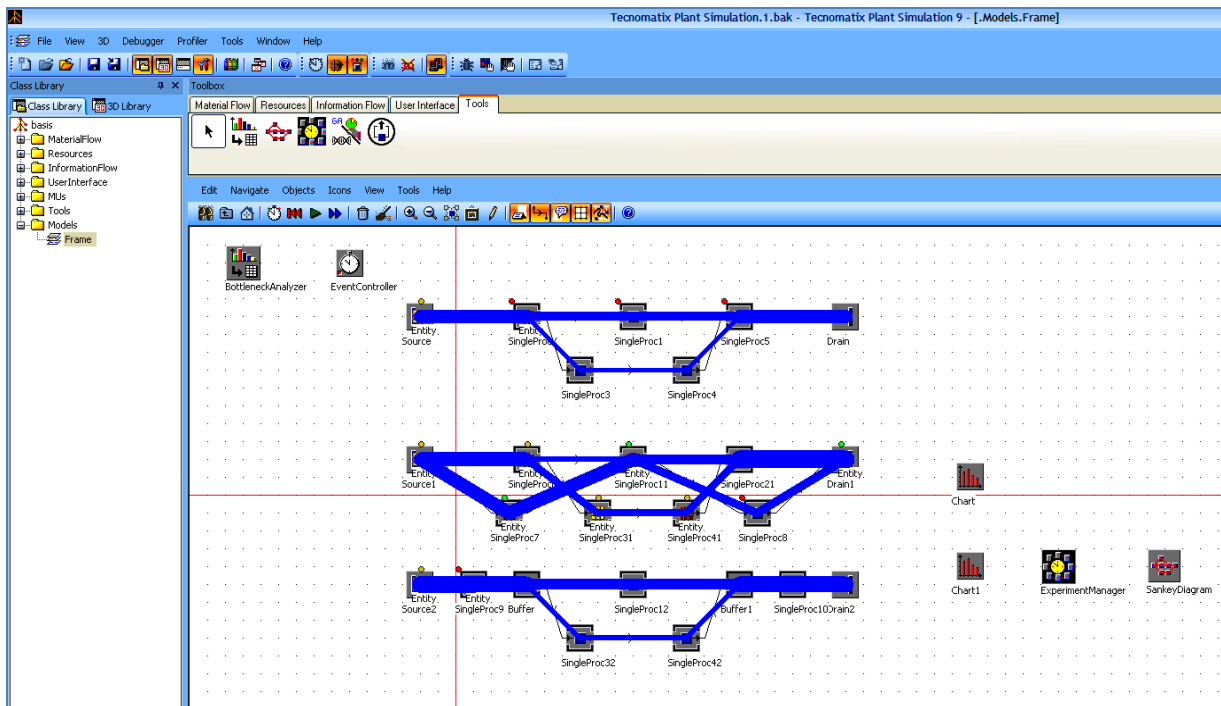


Рисунок 35 – Визуализация процесса с помощью Sankey Diagram

На рис. 35 наглядно видно, как распределяется нагрузка между объектами.

Далее выполняем щелчок правой кнопкой по кнопке *Sankey Diagram*-> *Delete Sankey Diagram* (Сброс визуализации диаграммы потока) и визуализация потока исчезнет.

## 5.6 Отображение движения деталей в пространстве в трехмерном изображении

Для отображения всех объектов в трехмерном изображении на панели нажимаем на значок *3D* и появится следующее предупреждающее окно (рис. 36).

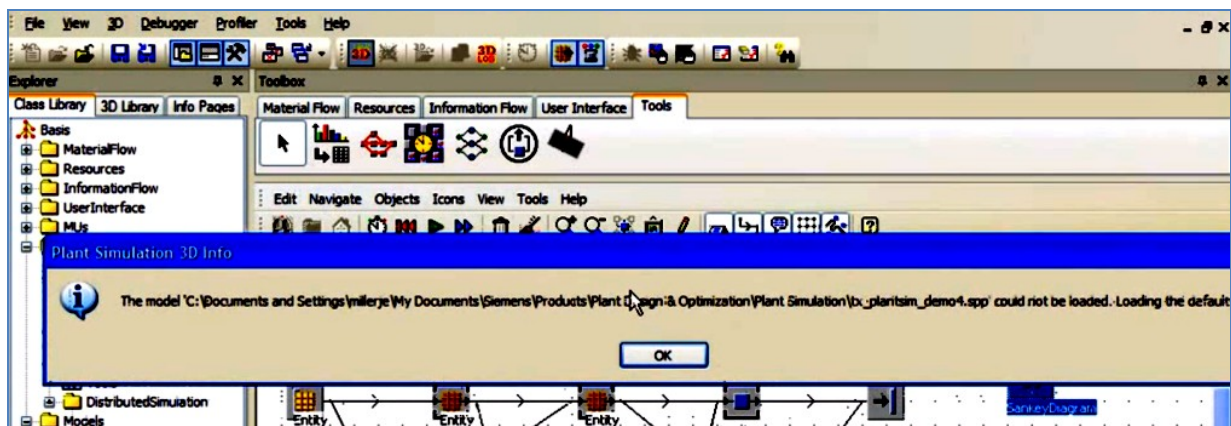


Рисунок 36 – Предупреждающее окно

Далее подтверждаем «OK» и производим перевод объектов процесса из двухмерного моделирования в трёхмерное (рис. 37).

Переведем все объекты в 3D: «2D->2D→3D->All», на рис. 38 представлена визуализация потока движения деталей по всем единицам оборудования, задействованного на участке по исходным данным, которые были заложены в ходе эксперимента.

На основании исходных данных, которые закладываются в модуль Tecnomatix plant simulation, можно представлять организацию производственного процесса в пространстве в соответствии с требуемой технологией и плановыми характеристиками производства.



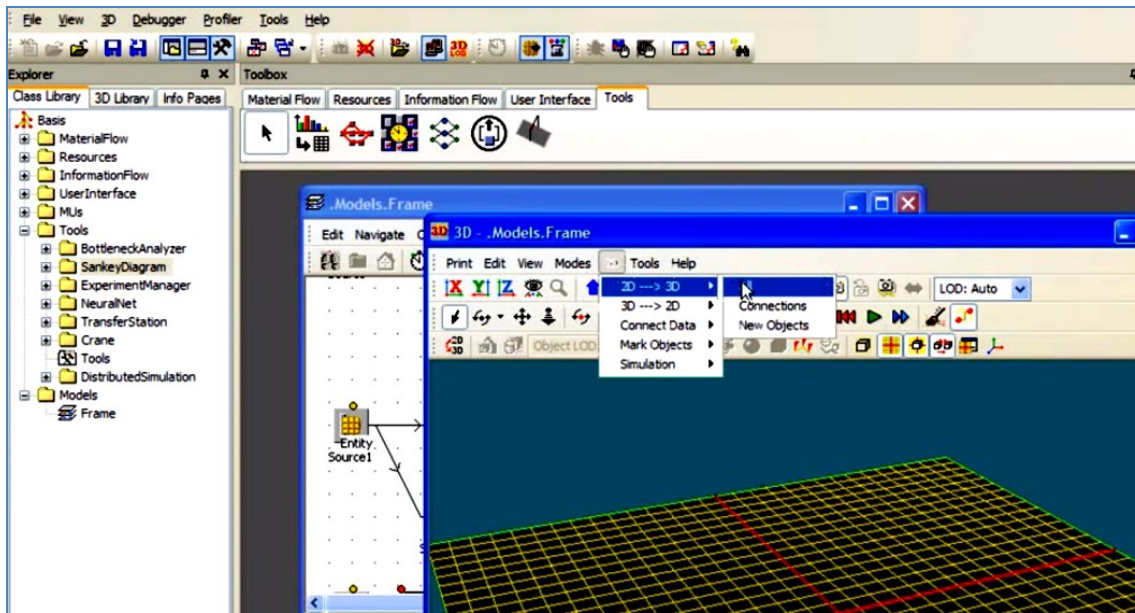


Рисунок 37 – Перевод из 2D в 3D всех объектов процесса

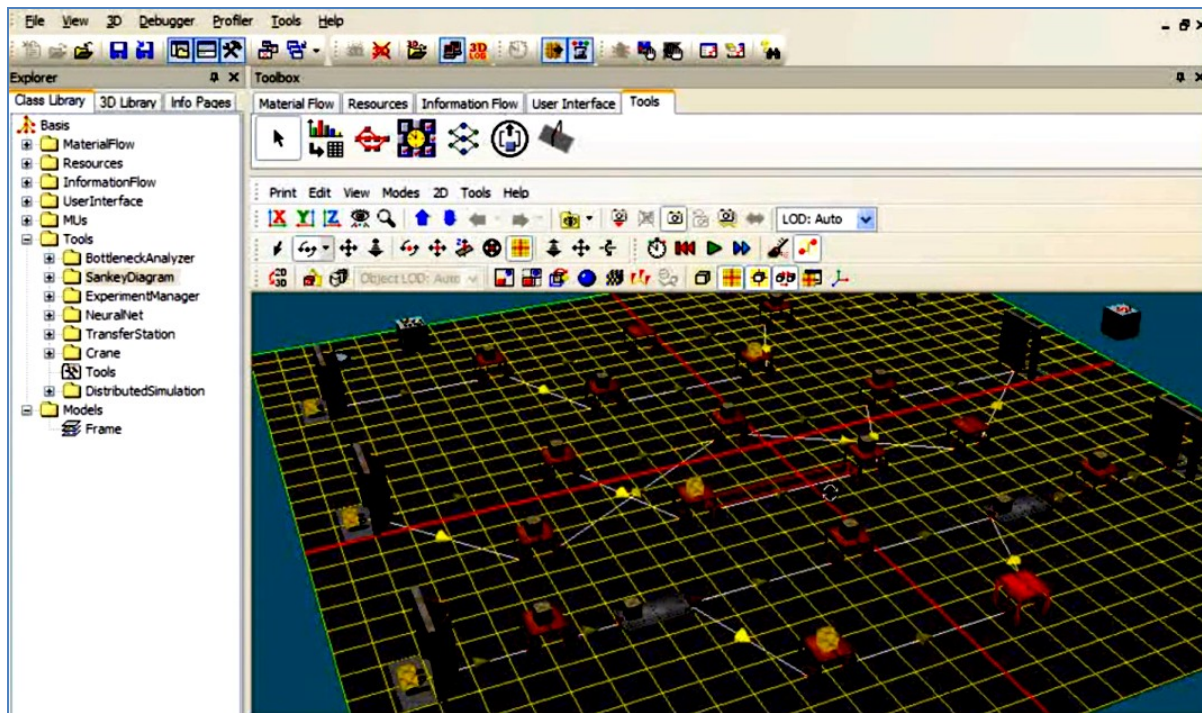


Рисунок 38 – Имитация процесса в 3D

## 6 ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА УЧАСТКЕ С СОВРЕМЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ В PLANT SIMULATION

### 6.1 Исходные данные для моделирования производственного процесса

Рассмотрим моделирование производственного процесса на участке механического цеха в условиях использования нового оборудования на примере изготовления деталей трех типов в период времени с октября по декабрь 2012 г.

На модернизированном оборудовании изготавливается 3 типа деталей: корпус - трудоемкость 6,6 н-ч, переходник – 5,8 н-ч, фланец - 9,8 н-ч.

Годовая производственная программа деталей:

Нг корпуса = 600,

Нг фланцев = 1300,

Нг переходников = 1400 деталей.

Суммарная трудоемкость изготовления деталей 24820 н-ч.

Используемое оборудование приведено в табл.7.

Т а б л и ц а 7. Оборудование на операциях

Операция	Наименование оборудования	Количество оборудования на операции
Токарно-фрезерная	M40-G	6
Слесарная	Верстак	1
Полировальная	Полировальный станок	1

Моделирование производственного процесса позволит определить загрузку оборудования, а также определить дату выпуска готовой годовой производственной продукции.

### 6.2 Построение модели участка по исходным данным

Запускаем Plant Simulation и выполняем процедуры, указанные в п. 2.1 – 2.3.

После того как новая модель создана и открыта (рис.39), начинается построение модели участка.

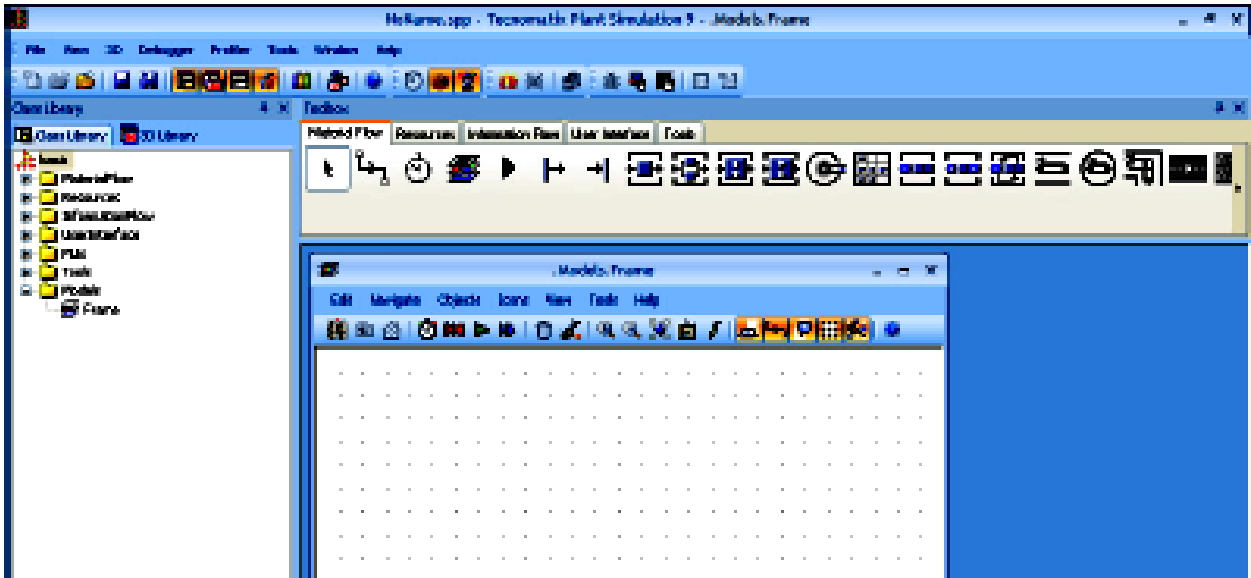


Рисунок 39 – Основное окно Plant Simulation

В интерфейсе Plant Simulation имеются панели инструментов, основные из которых:

- Menu bar: расположена сверху основного окна программы и включает в себя следующие элементы: File, View (вид), 3D, Debugger (отладчик), Profiler, Tools, Window, Help.
- Toolbars (настройки). Панель расположена ниже основной панели инструментов.

Основное окно включает дерево построения (рис. 40).

При создании новой модели автоматически в дереве модели во вкладке *Models* создается новая модель с названием *Frame*. Название модели можно переименовать, вызвав диалоговое окно нажатием F2.

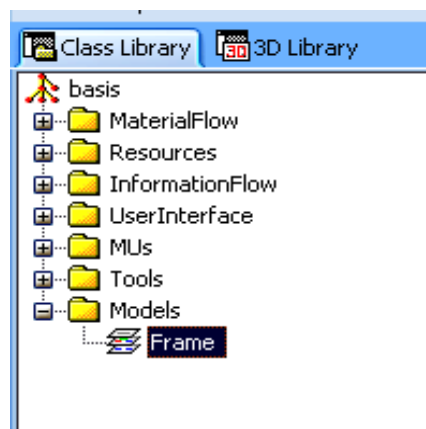


Рисунок 40 – Дерево построения модели

В одном файле можно создавать несколько моделей, это отобразится в дереве построения моделей, во вкладке Models.

Окна моделей можно расположить вертикально, горизонтально, по каскаду. Окно настроек (Toolbox Viewer) включает следующие основные компоненты: Material Flow, Resources, Information Flow, User Interface, Tools.

Объекты, которые будем использовать в базовой модели:

- Entity – подвижный элемент (заготовка, деталь);
- Source – входной поток (склад заготовок);
- Drain – выходной поток (склад готовой продукции);
- Single Prog – операция техпроцесса;
- Event Controller – учитывает время обработки.

Создаем схему обработки деталей с помощью панели инструментов Toolbox, используя вкладку Material Flow. В модель добавляем элементы SingleProg: Toolbox -> Material Flow, выбираем объект, устанавливаем курсор мыши в то положение, в которое необходимо вставить элементы, которые будут обозначать одну операцию технологического процесса.

Токарно-фрезерных обрабатывающих центров для производства годовой программы необходимо 6 штук, поэтому для наглядности простые операции в схеме расположим в 6 рядов (рис. 42).

Каждый элемент SingleProg переименуем, как показано на рис. 41, заполняем окно Rename, которое может быть вызвано нажатием F2, двойным щелчком по элементу, нажатием правой клавиши мыши -> Rename.

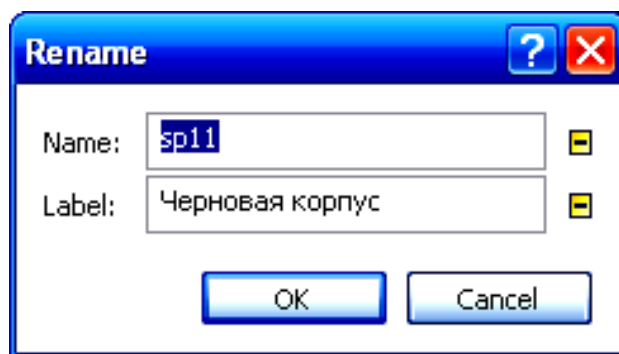


Рисунок 41 – Наименование SingleProg

Созданные элементы могут быть выровнены по горизонтали, вертикали. Для этого выделяем элементы, правой кнопкой мыши -> Arrange Icons(выравнивание элементов) -> Align Horizontally (Align Vertically).

Схема участка представлена на рис. 42.

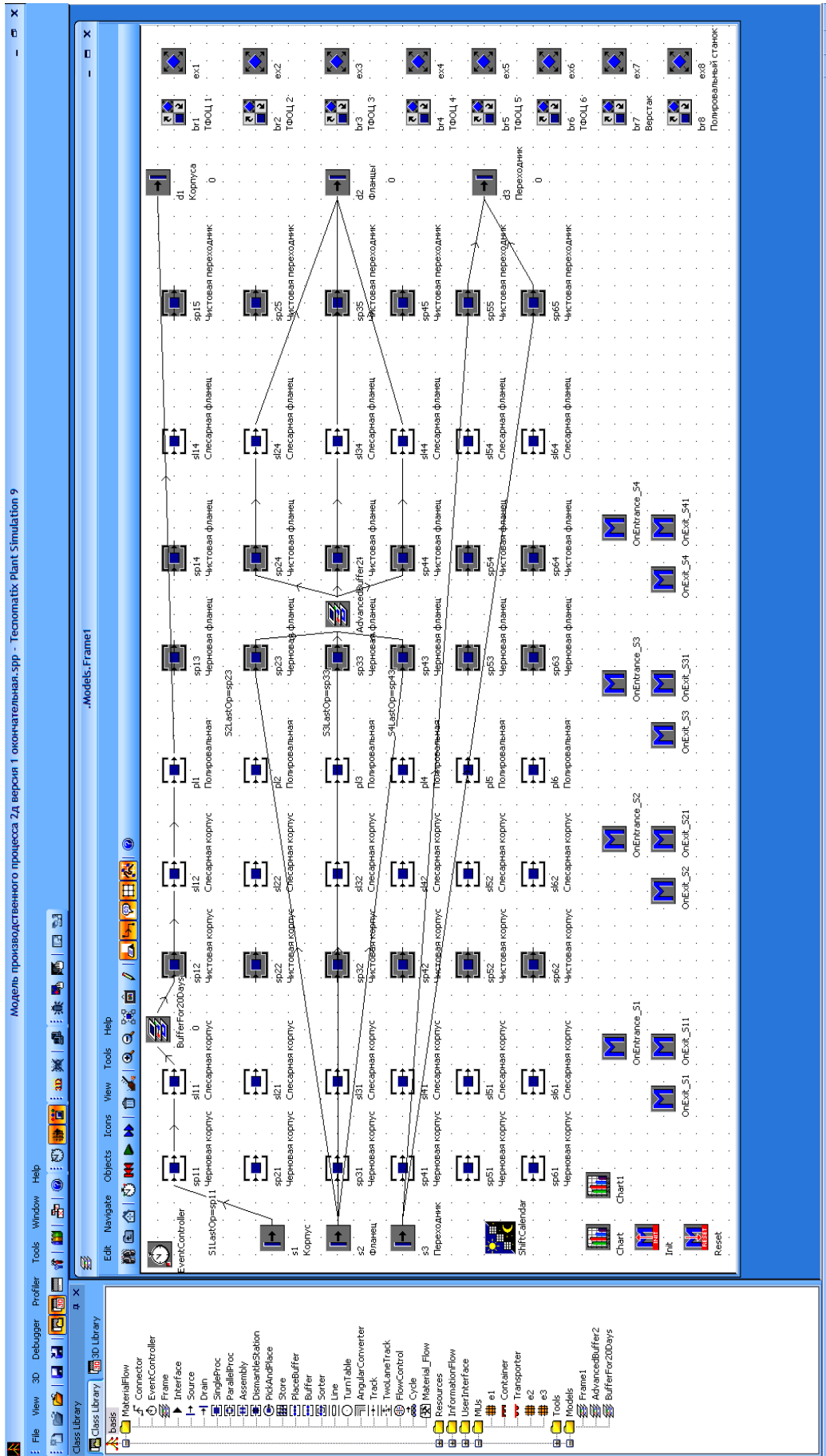


Рисунок 42 – Модель производственного процесса на участке с новым оборудованием

### 6.3 Установление связей между оборудованием при изготовлении определенного вида продукции

Нам необходимо изготовить три типа деталей, поэтому добавляем в схему три объекта Source и Drain (рис. 44).

Каждый элемент Source необходимо связать с определенным типом детали. Для этого в дереве построения во вкладке MUs добавляем три типа деталей (Entity): *Правой кнопкой мыши -> Duplicate*, и переименовываем их с помощью вкладки Rename в e1 – корпус, e2 – фланец, e3 – переходник.

В диалоговом окне Source для каждого типа деталей необходимо указать количество и связать детали (рис. 43).

В строке *Time of creation* выбираем *Number Adjustable*. В графе *Amount* (количество) указываем годовую программу выпуска деталей. В графе *MU selection* указываем *Constant*, т.к. в качестве MU имеем в виду детали. В графе *MU* указываем связь с определенным типом детали. Заполнение диалогового окна для детали типа «корпус» приведено на рис. 43.

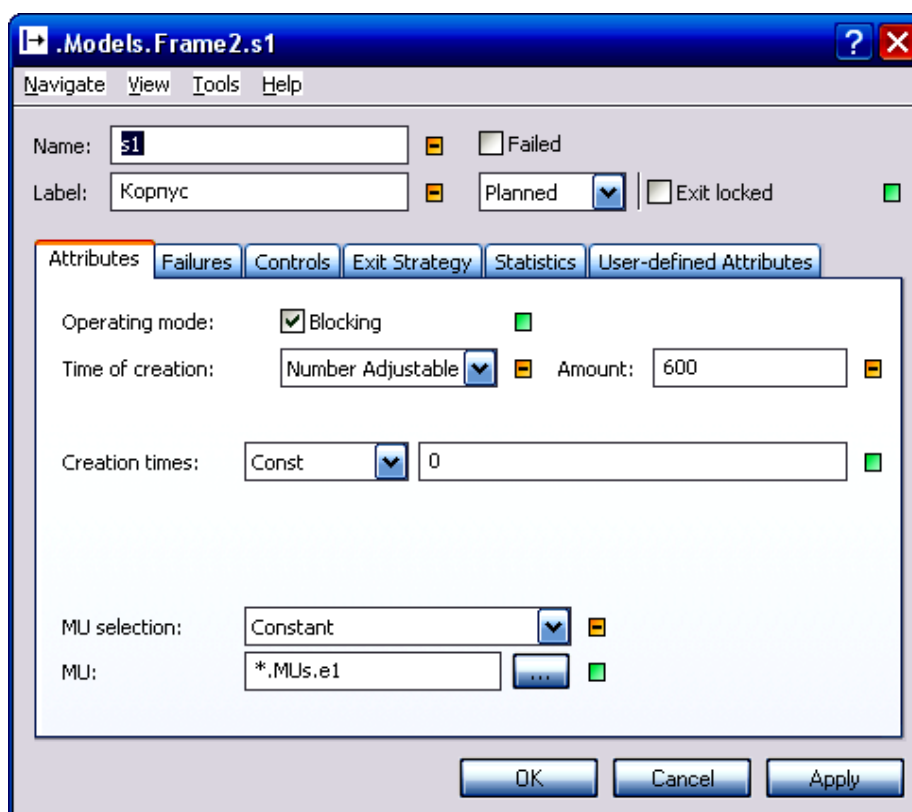


Рисунок 43 – Диалоговое окно Source для детали типа «корпус»

Программа выпуска деталей, напомним, для корпусов – 600, для фланцев – 1300, для переходников – 1400.

После черновой обработки корпуса необходимо произвести операцию естественное старение длительностью 20 суток, а после черновой обработки фланца необходимо произвести отжиг, для этого в схему добавим еще две подмодели: диалоговое окно *Toolbox* -> *Frame*.

Рисунок стандартных элементов можно изменить: Выделить элемент -> Правой кнопкой -> *Edit Icons*. Для схемы это изменение не принципиально, поэтому вид иконок изменять не будем.

Известно, что для производства деталей различных деталей потребность в оборудовании разная, а именно:

- для деталей типа «корпус» необходим 1 токарно-фрезерный обрабатывающий центр (M40-G),
- для деталей типа «фланец» – 3 центра,
- а для деталей типа «переходник» – 2 центра.

Исходя из этих данных, соединим между собой элементы:

1) Для корпуса:

*Source (s1)*, черновая корпус (*sp11*), слесарная корпус (*sl11*), *buffer*, чистовая корпус (*sp12*), слесарная корпус (*sl12*), полировальная (*pl1*), *Drain (d1)*, как показано на рисунке – схема 1 (рис. 44), используя диалоговое окно *Toolbox* -> *Connector*;

2) Для фланца:

*Source (s2)*, черновая фланца (*sp23*), *Advanced Buffer*, чистовая фланца (*sp24*), слесарная фланца (*sl24*), *Drain (d2)*;

*Source (s2)*, черновая фланца (*sp33*), *Advanced Buffer*, чистовая фланца (*sp34*), слесарная фланца (*sl34*), *Drain (d2)*;

*Source (s2)*, черновая фланца (*sp43*), *Advanced Buffer*, чистовая фланца (*sp44*), слесарная фланца (*sl44*), *Drain (d2)*;

3) Для переходника:

*Source (s3)*, чистовая переходника (*sp55*), *Drain (d3)*;

*Source (s3)*, чистовая переходника (*sp65*), *Drain (d3)*.

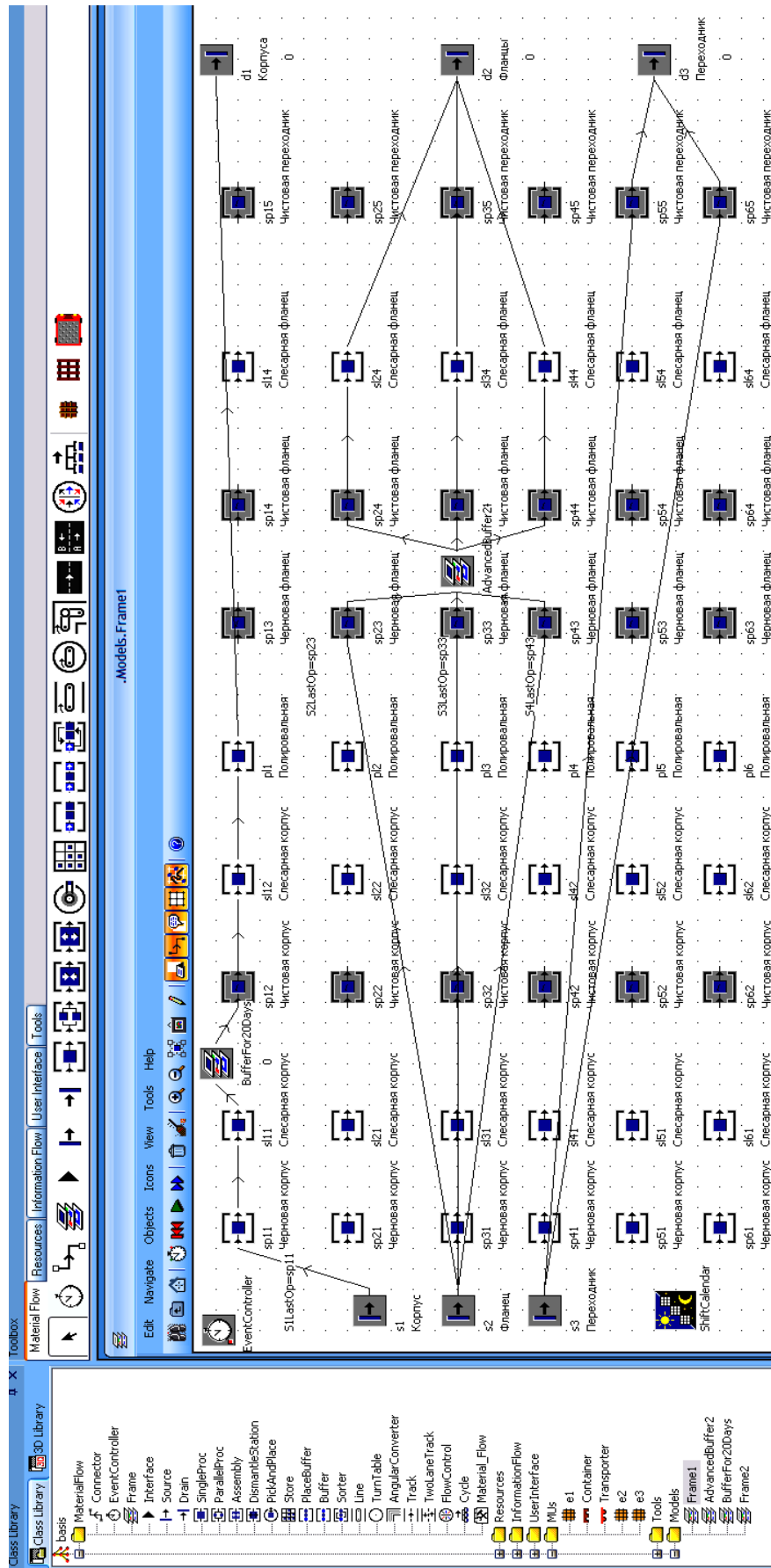


Рисунок 44 – Схема 1 производственного процесса



## 6.4 Добавление временных характеристик объектов модели

Для учета времени работы в модель добавляем ShiftCalendar, на вкладке Resources -> ShiftCalendar. Двойным нажатием по элементу ShiftCalendar открывается диалоговое окно (рис. 45). Заполняем данное окно, режим работы двусменный при пятидневной рабочей неделе.

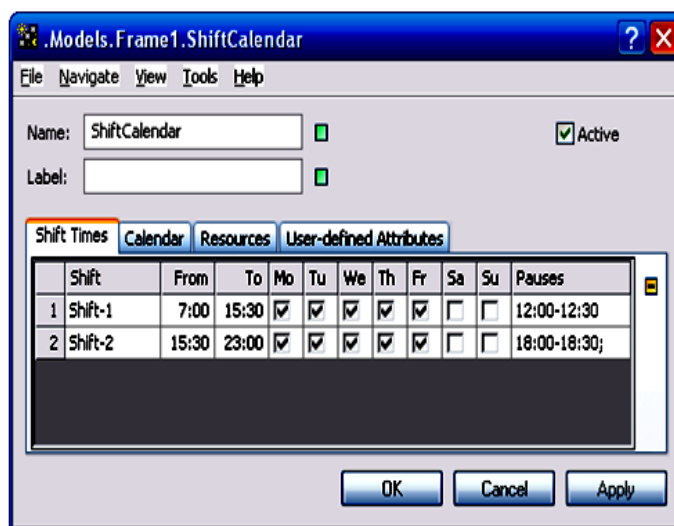


Рисунок 45 – Диалоговое окно ShiftCalendar

В диалоговом окне ProgSingle во вкладке Times добавляем время обработки и подготовительно-заключительное время, которое указано при нормировании операций нового технологического процесса. Для черновой обработки корпуса заполнение диалогового окна представлено на рис. 46.

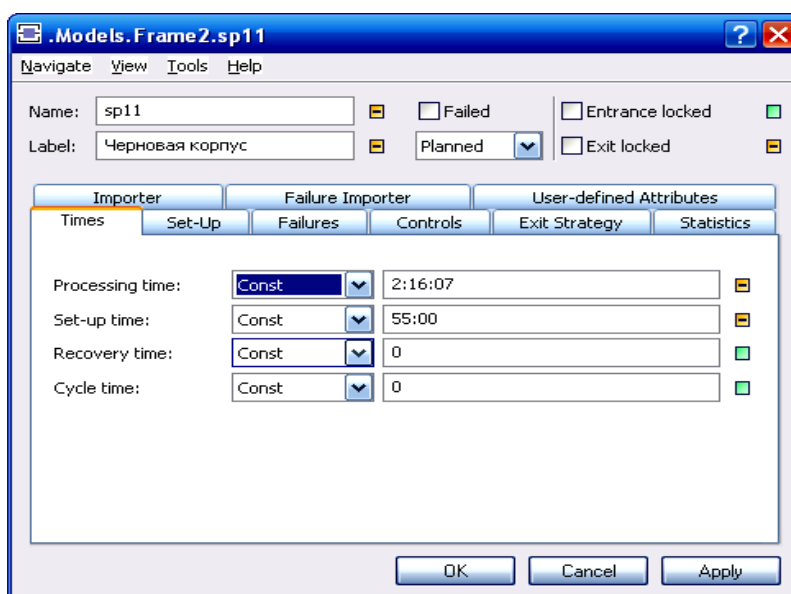


Рисунок 46 – Добавление времени в операции

Для черновой обработки фланца машинное время  $t_{\text{маш}} = 1 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ , подготовительно-заключительное время  $t_{\text{П.З}} = 45 \text{ мин}$ , для чистовой обработки фланца:  $t_{\text{маш}} = 5 \text{ ч } 40 \text{ мин}$ ,  $t_{\text{П.З}} = 60 \text{ мин}$ .

Слесарная обработка фланца: 35 мин.

Слесарная обработка корпуса после черновой обработки: 14,3 мин.

Чистовая обработка корпуса:  $t_{\text{маш}} = 3 \text{ ч } 10 \text{ мин}$ ,  $t_{\text{П.З}} = 60 \text{ мин}$ .

Слесарная обработка корпуса после чистовой обработки: 41,5 мин.

Полировальная обработка корпуса: 22 мин.

Чистовая обработка переходника:  $t_{\text{маш}} = 5 \text{ ч } 17 \text{ мин}$ ,  $t_{\text{П.З}} = 60 \text{ мин}$ .

Также можно указать время на ремонт и осмотр оборудования *Recovery Time* и время цикла *Cycle Time*. В нашем случае данное время принимаем равным нулю. Принимаем, что осмотр и ремонт оборудования происходят во вне-рабочее время.

Заполнение вкладки Set-Up диалогового окна черновой обработки корпуса приведено на рис. 47.

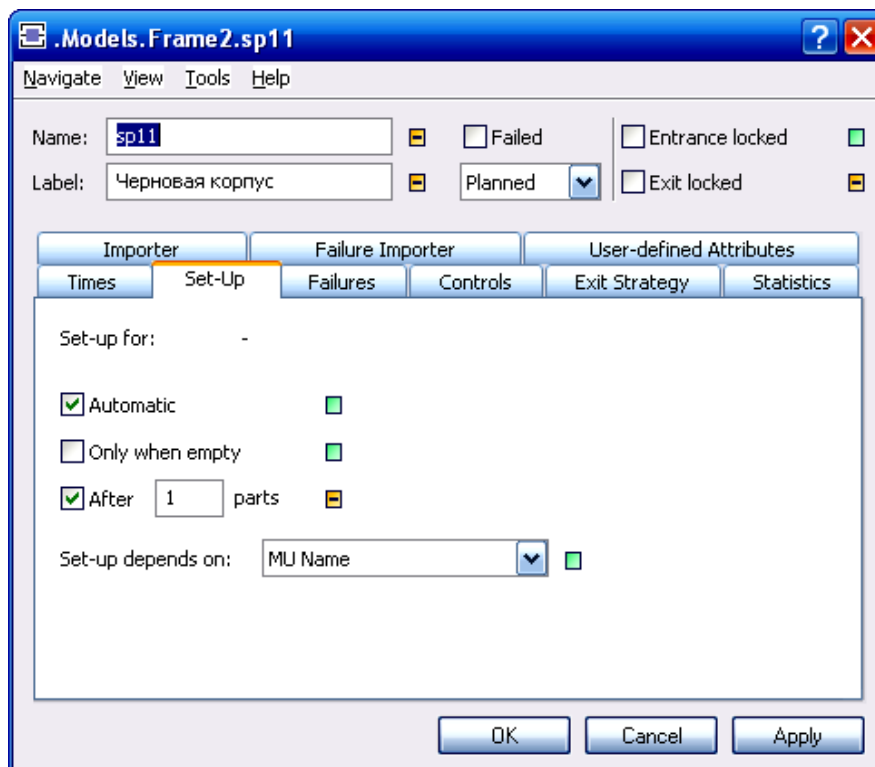


Рисунок 47 – Заполнение вкладки Set-Up

В диалоговом окне ставим галочку *Automatic*, для автоматической передачи партий деталей между станками.

Принимаем партию деталей  $n=20$  штук, такой размер партии принят на заводе. Ставим галочку *After 1 parts*, т.е. детали будут передаваться между станками по одной партии. Аналогично заполняем вкладку Set-Up элементов: чистовой обработки корпуса, черновой, чистовой обработки фланца, чистовой обработки переходника, слесарной и полировальной обработки.

Каждый элемент SingleProg представляет собой технологическую операцию. В определенный момент времени станок должен выполнять одну операцию, поэтому в схему необходимо ввести блокировку с помощью элементов Broker и Exporter, которые находятся на панели инструментов Resources. Добавляем в схему по 8 элементов Broker и Exporter, т.к. мы используем 8 станков (рис. 49). Переименуем элементы Broker – br1..br8 и Exporter ex1..ex8 с помощью F2.

Необходимо связать между собой Exporter и Broker. Для Ex1 в диалоговом окне в строке Broker выбираем из списка br1 (рис. 48).

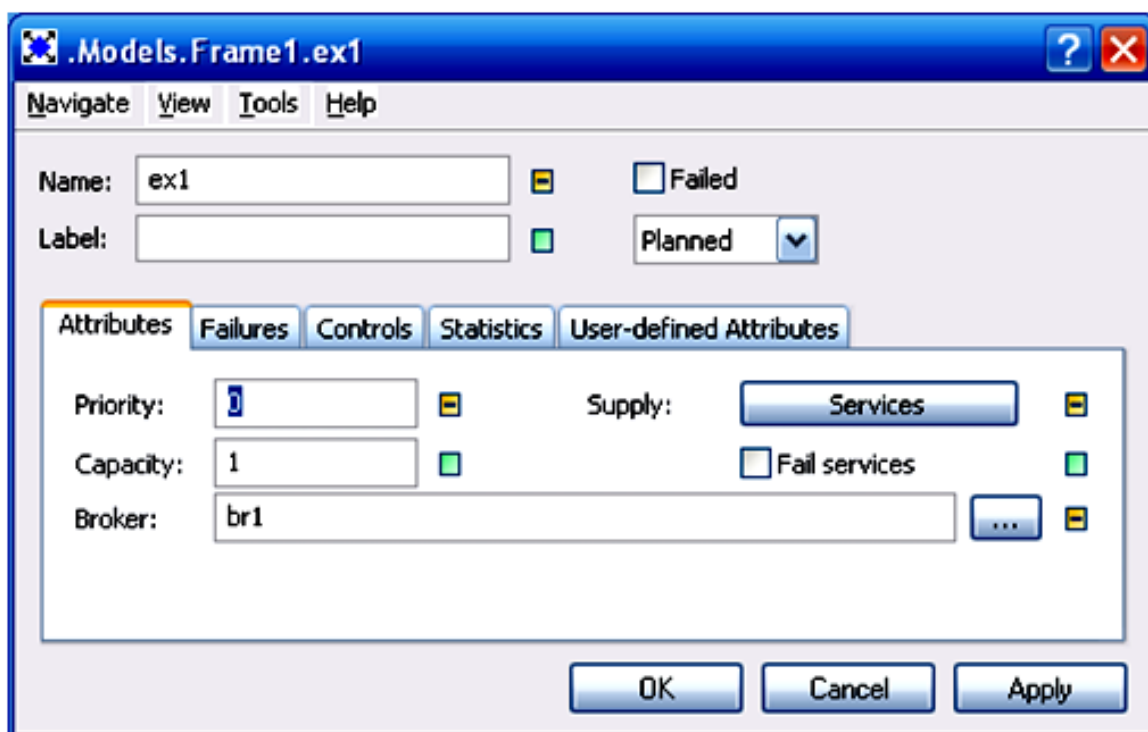


Рисунок 48 – Диалоговое окно Ex1

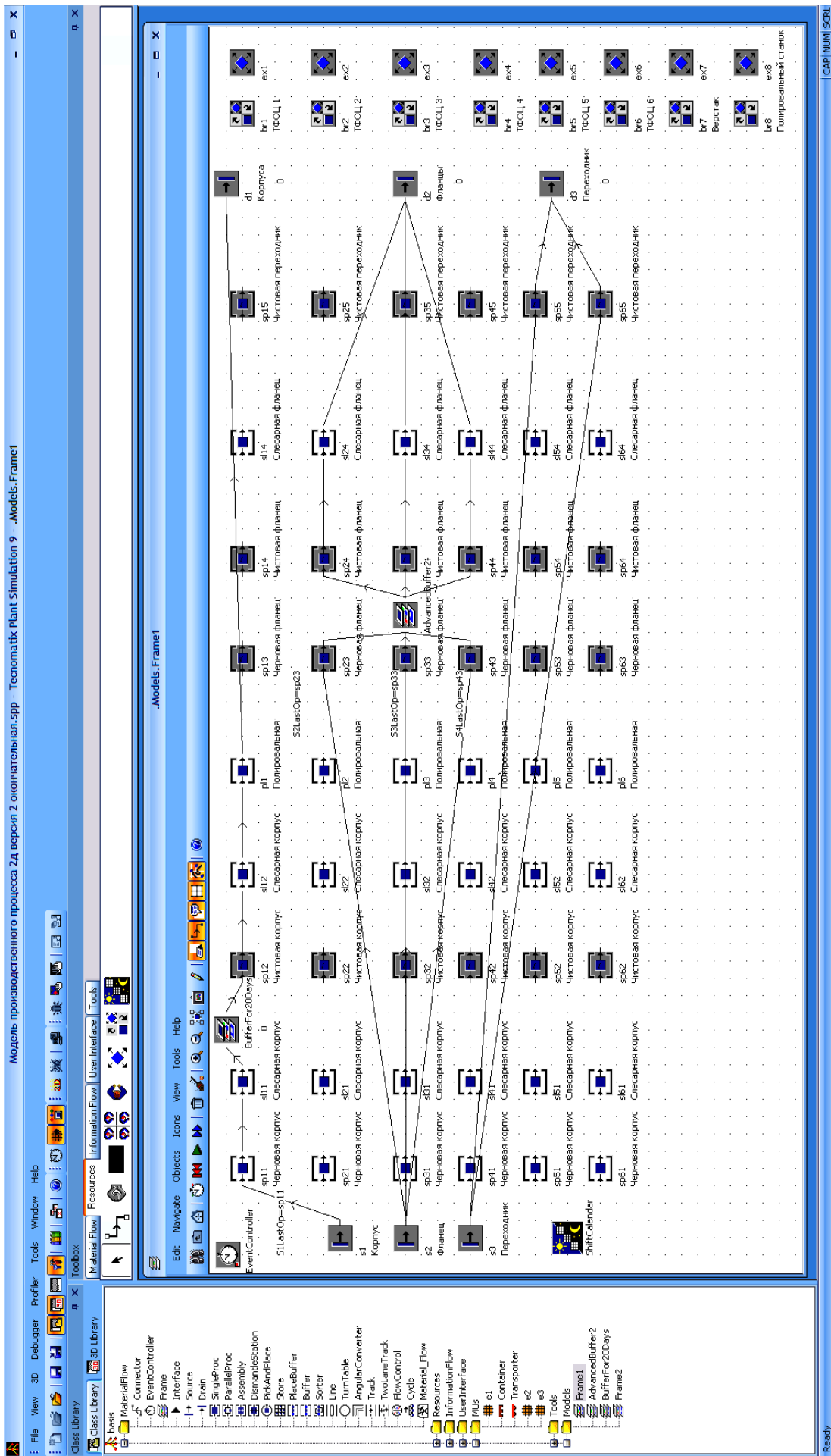


Рисунок 49 – Схема производственного процесса с блокировкой

Во вкладке Services добавляем элемент, который будет осуществлять связь операции со станком (рис. 50).

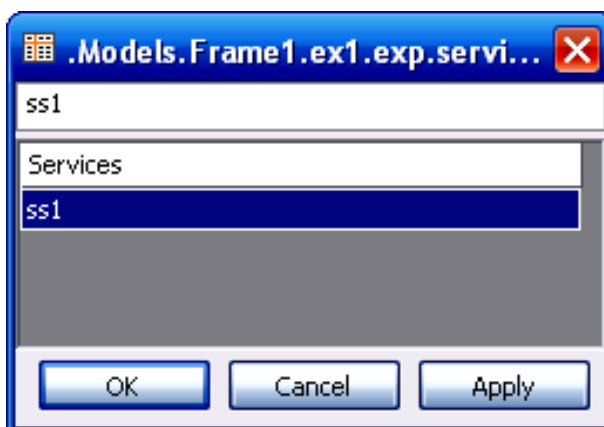


Рисунок 50 – Диалоговое окно Services

Свяжем ProgSingle с Брокер (рис. 51). Для этого во вкладке диалогового окна ProgSingle Importer указываем *Services for Setting-Up Processing* и в строке Broker выбираем необходимый элемент, для черновой обработки корпуса это *br1*.

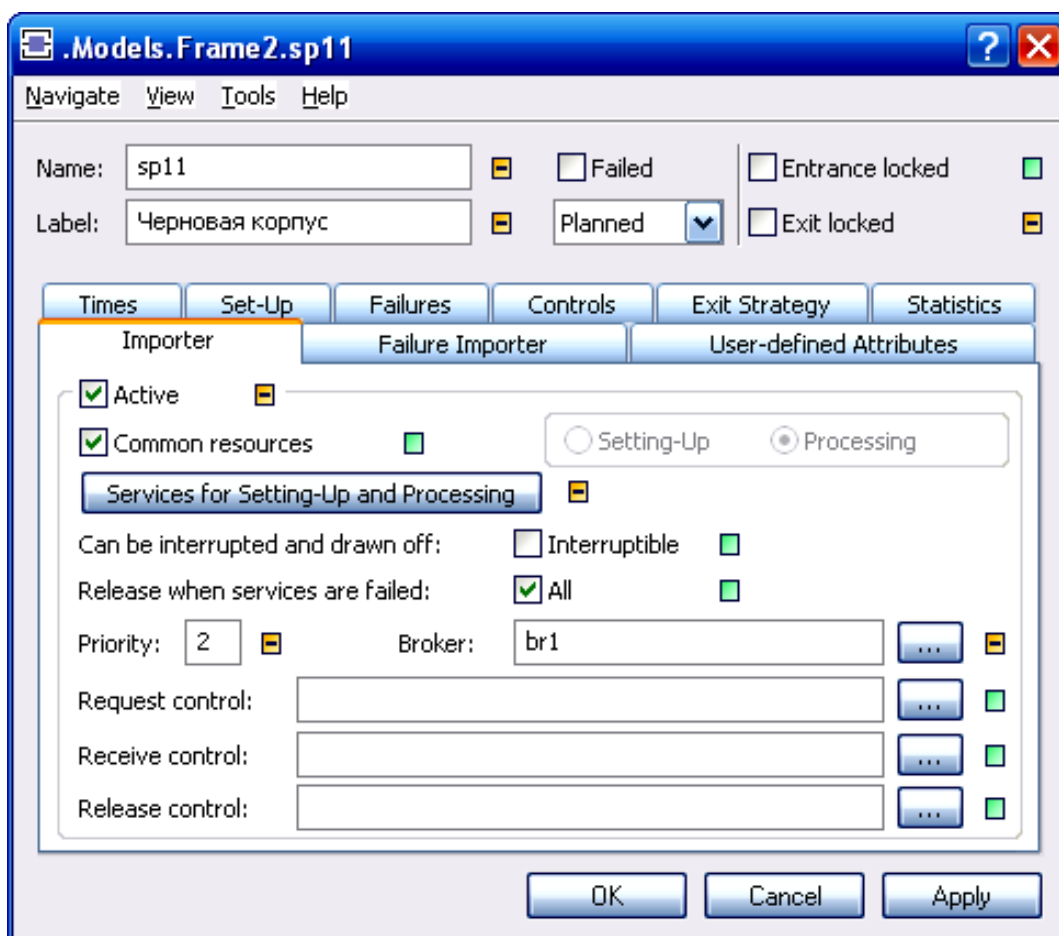


Рисунок 51 – Диалоговое окно параметров объекта, вкладка Importer

Аналогично производим связь других элементов Exporter и Broker между собой, а также с операциями технологического процесса ProgSingle.

Для учета времени работы добавим в схему *Event Controller*. Эта функция позволяет координировать все события при работе схемы.

Щелкая дважды по *Event Controller*, открываем диалоговое окно MaterialFlow.EventController (рис. 52).



Рисунок 52 – Диалоговое окно MaterialFlow.EventController

## 6.5 Запуск работы модели с точки Start и определение статуса элемента

Нажимаем Reset для сброса, при этом обнуляется время, статистика, количество изготовленных деталей. Запускаем модель, нажимаем Start, при этом можно снизить скорость, двигая рычаг вправо.

При симуляции объекты материального потока имеют определенный статус, который отображается над элементами точками (рис. 53):

- Красная точка – объект сломан;
- Синяя – перерыв в работе;
- Зеленая – объект находится в работе;
- Желтая – объект заблокирован;
- Серая – производится настройка объекта.



Рисунок 53 – Отображение статуса элемента

Базовый функционал программы не позволяет в полной мере реализовать моделирование производственного процесса. Для гибкого моделирования (передачи деталей партиями, настройки оборудования между партиями, а также передачи деталей на термообработку) можно использовать дополнительные функции программы – объектно-ориентированное программирование – Method.

## 6.6 Ввод дополнительных переменных в элементы модели до и после выполнения основной функции элемента

Рассмотрим вкладку Controls элемента ProgSingle для черновой обработки корпусов (рис. 54). На этой вкладке можно указать методы, которые выполняются при поступлении детали на обработку и при завершении обработки детали, Entrance, Exit соответственно.

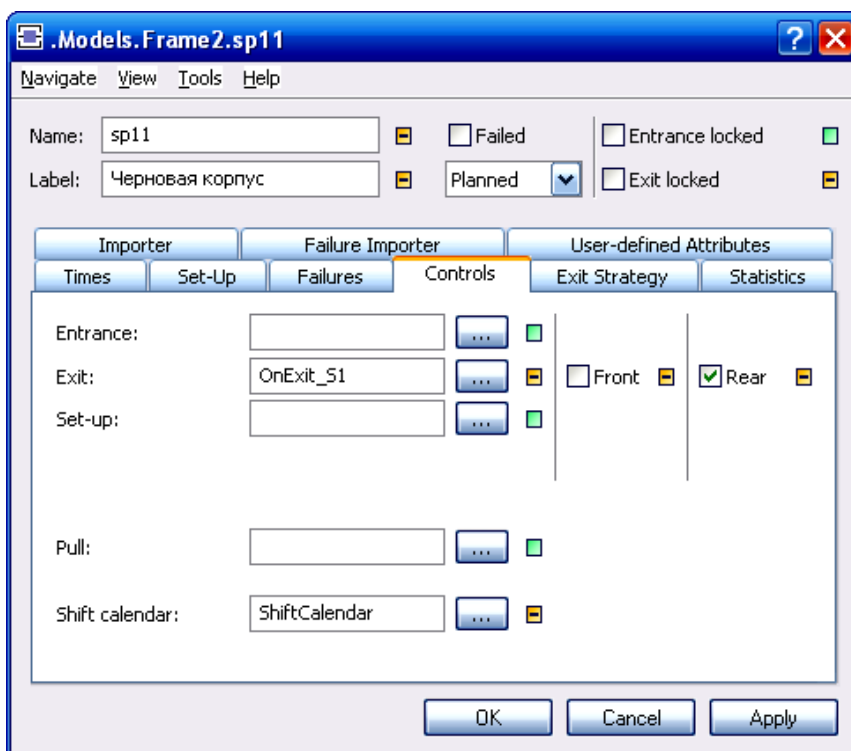


Рисунок 54 – Вкладка Controls черновой обработки корпуса

Для написания метода необходимо ввести дополнительную переменную: *Information Flow* -> *Variable*. В диалоговом окне дополнительной переменной (рис. 55) указываем *Name*, *Data type* -> *string*. В графе *Value* указываем SingleProg, к которой относится данная переменная, для черновой обработки корпуса – это sp11.

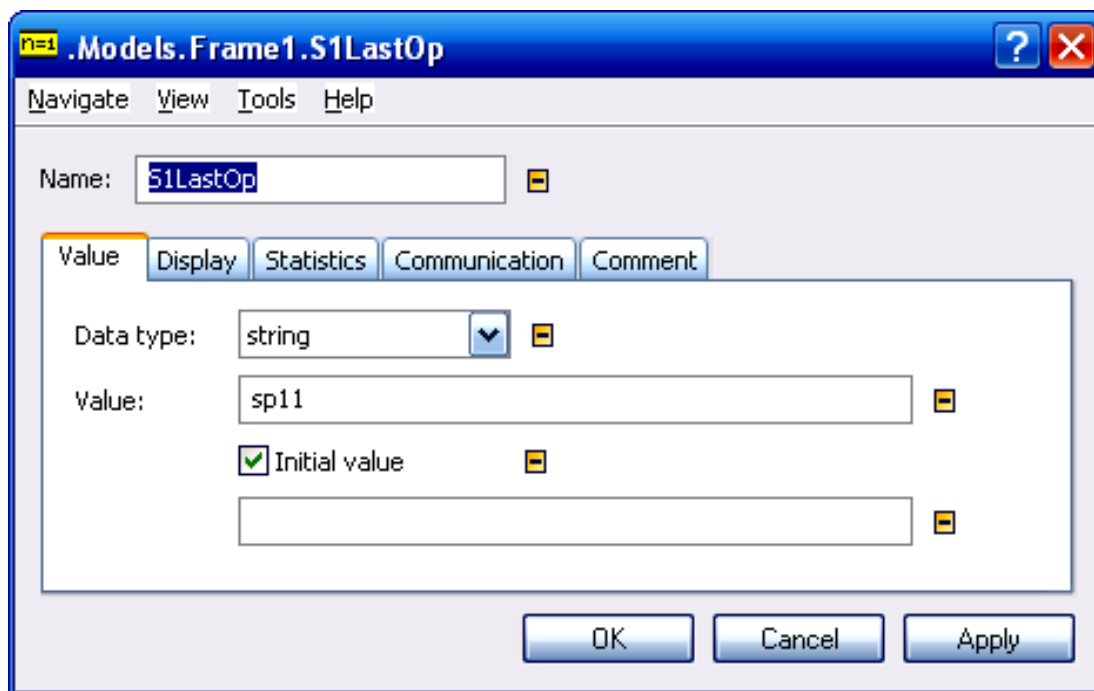


Рисунок 55 – Диалоговое окно дополнительной переменной для sp11

Дополнительные переменные необходимо ввести для операций sp11, sp23, sp33, sp43.

В строке *Data type* выбираем *string*. Данные переменные обозначают последнюю операцию, которая выполнялась на данном станке.

Для нормальной работы методов в схеме необходимо ввести методы инициализации (Init) и метод сброса (Reset): *Information Flow* -> *Method*. Программа данных методов представлена на рис. 56.

Для переменной  $s1LastOp=sp11$  добавляем в схему модели три метода OnEntrance\_S1, OnExit\_S1, OnExit\_S11: *Information Flow* -> *Method*. Программы данных методов представлены на рис. 57.



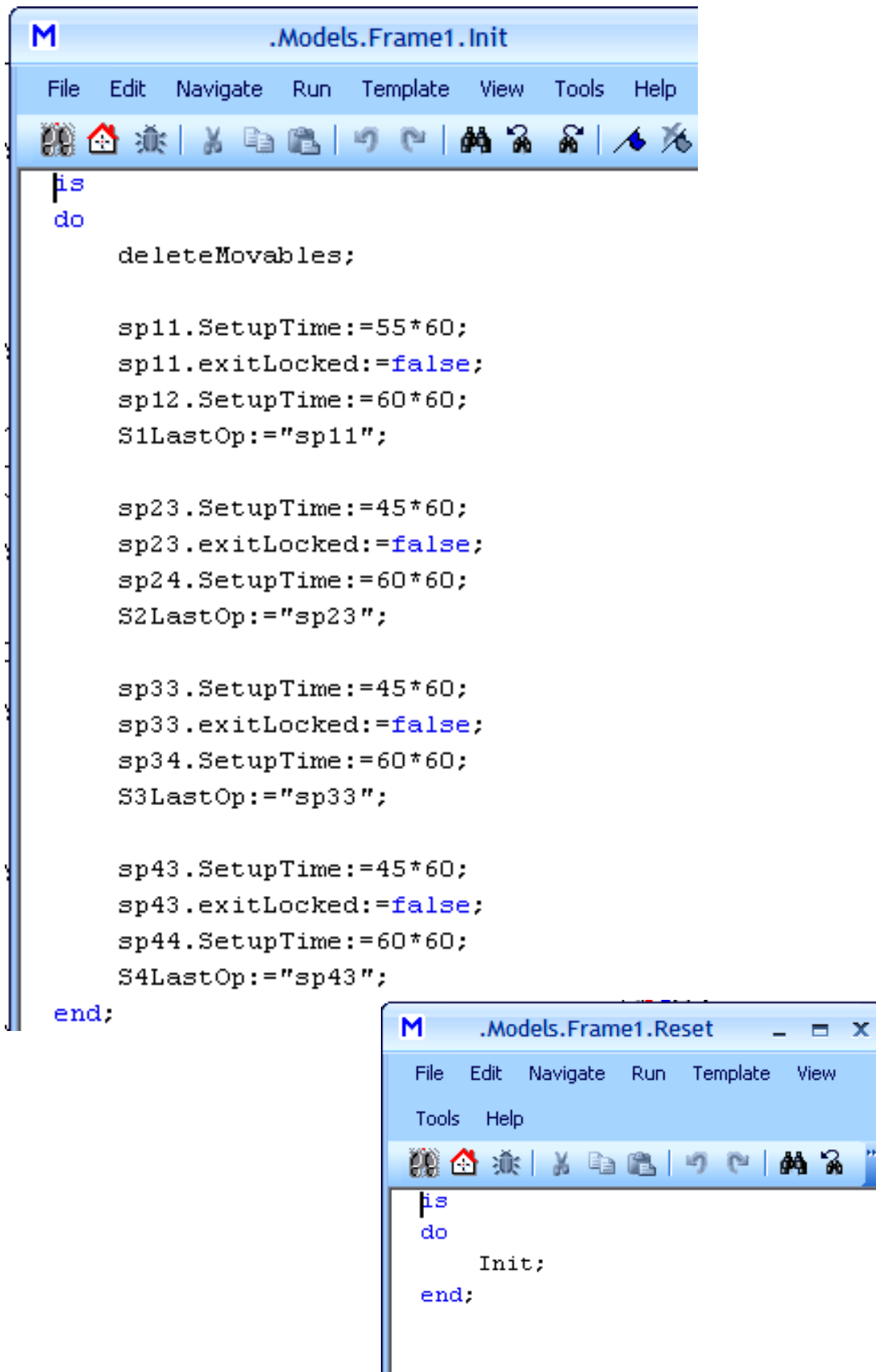


Рисунок 56 – Метод Init и Reset

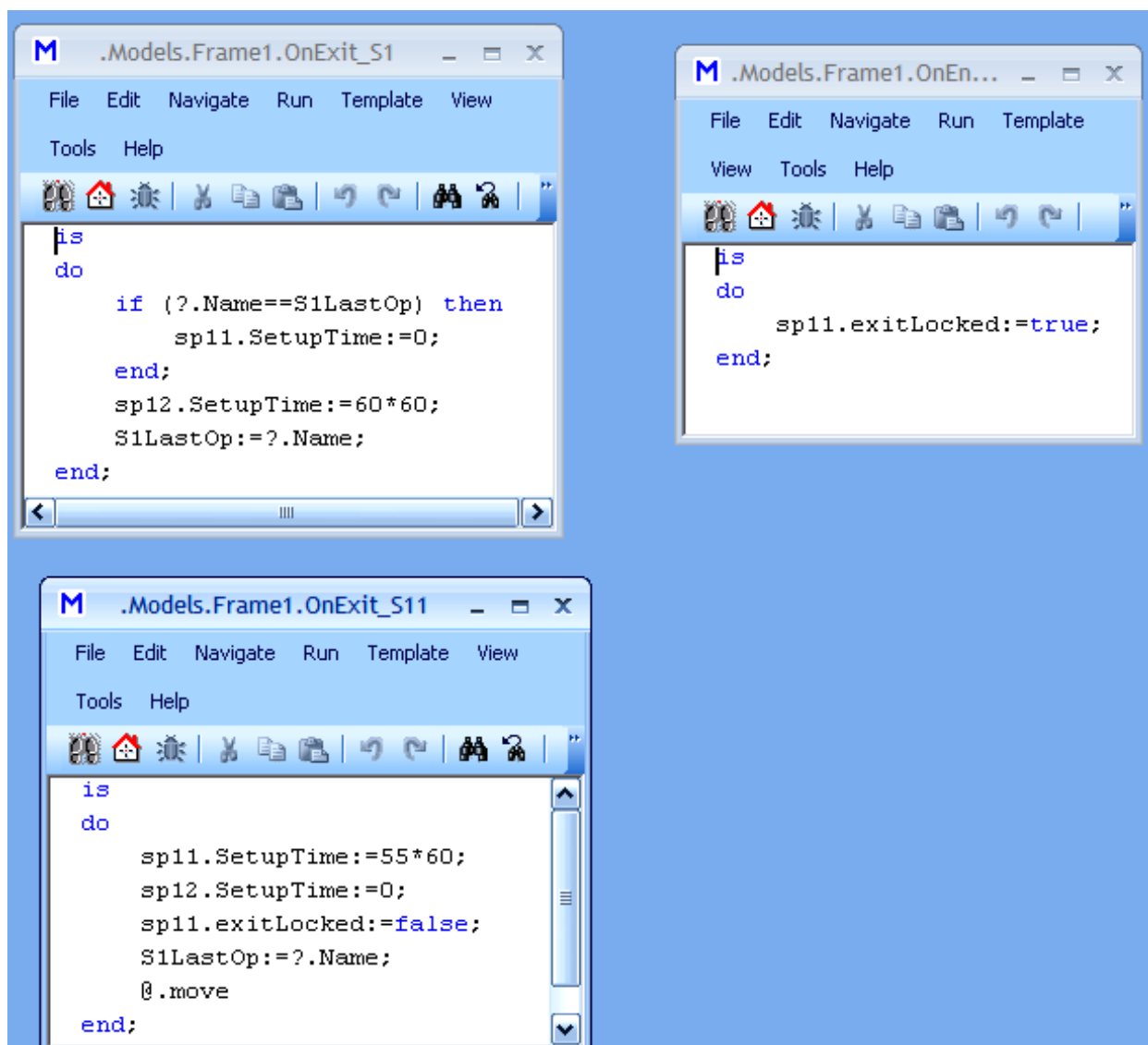


Рисунок 57 – OnEntrance\_S1, OnExit\_S1, OnExit\_S11

Свяжем методы с sp11. Связь осуществим во вкладке Controls диалогового окна sp11, рис. 57, *Exit* -> *OnExit\_S1*.

Введение дополнительных переменных:

- s2LastOp=sp23,
- s3LastOp=sp33,
- s4LastOp=sp43

и заполнение диалоговых окон для них представлены на рис. 58, 59, 60.

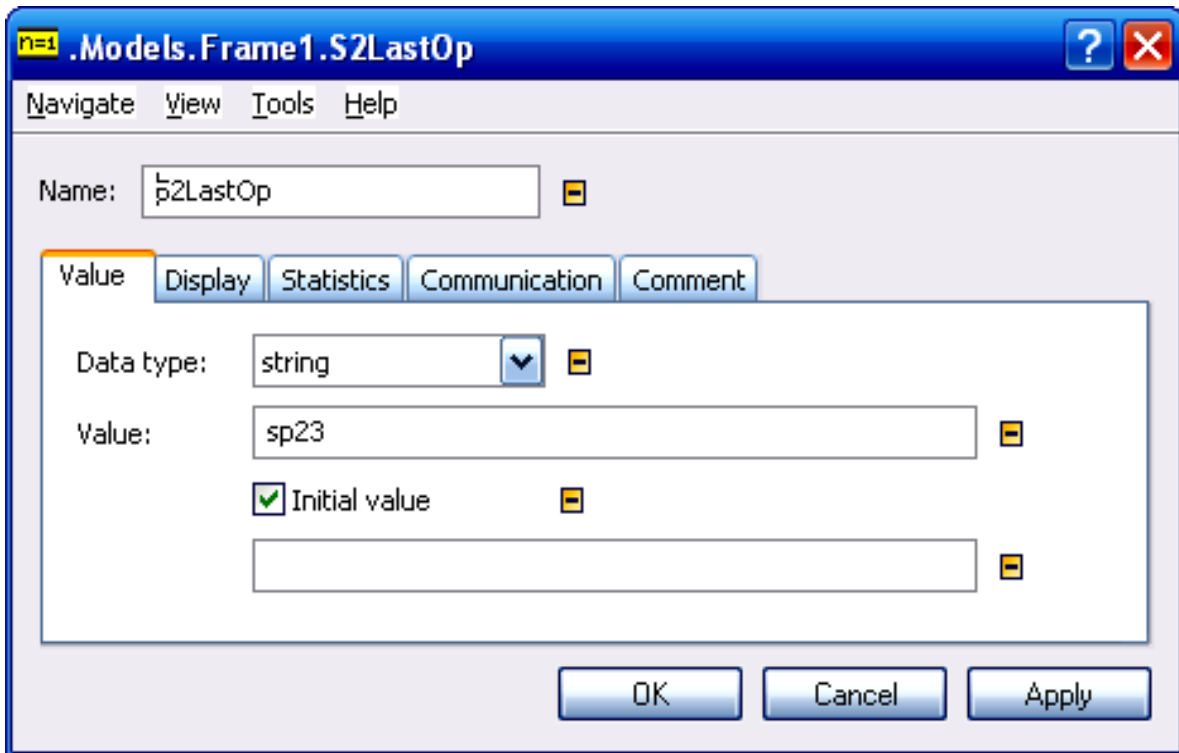


Рисунок 58 – Диалоговое окно дополнительной переменной S2LastOp для sp23

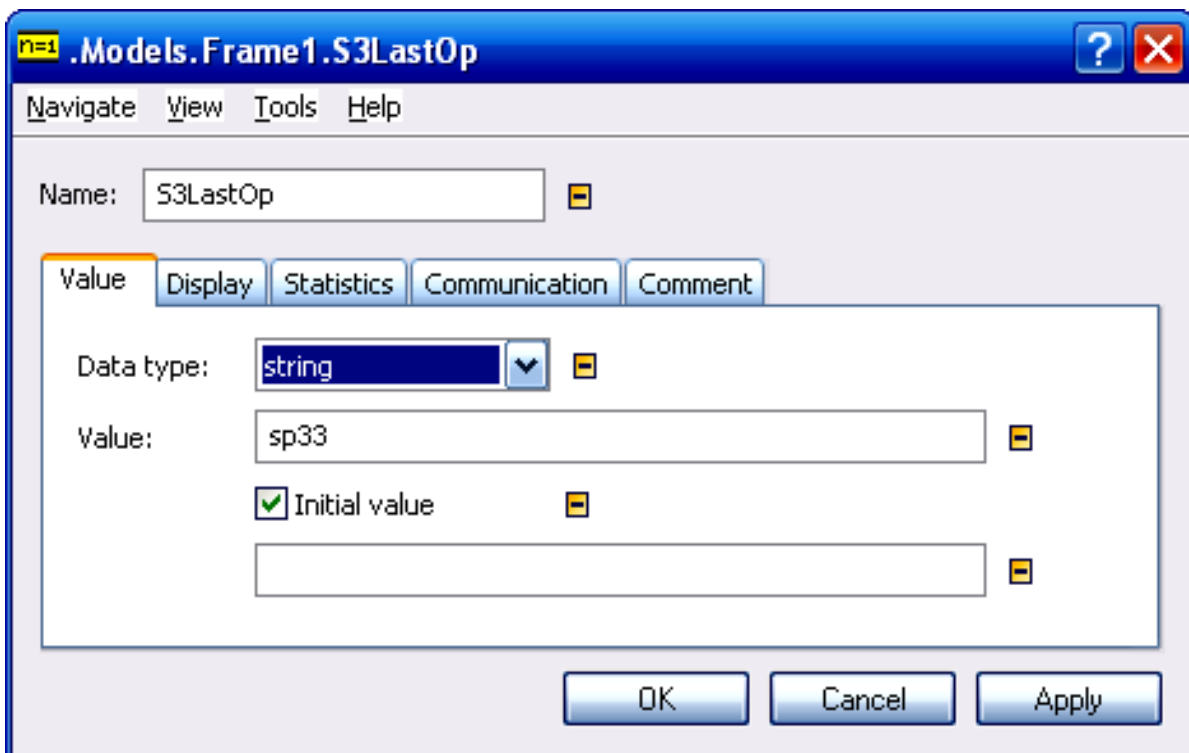


Рисунок 59 – Диалоговое окно дополнительной переменной S3LastOp для sp33

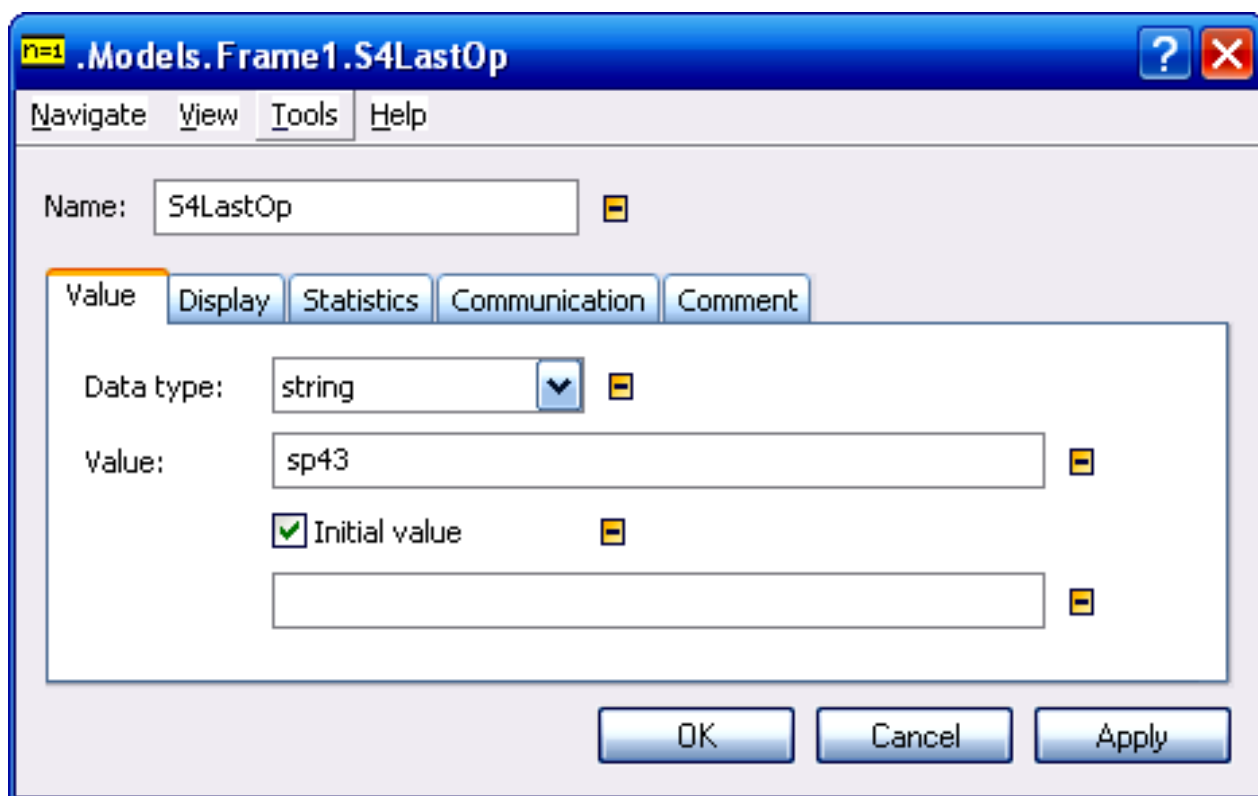


Рисунок 60 – Диалоговое окно дополнительной переменной S4LastOp для sp43

Для переменной  $s2LastOp=sp23$  добавляем в схему модели три метода  $OnEntrance\_S2$ ,  $OnExit\_S2$ ,  $OnExit\_S21$ : *Information Flow -> Method*. Программы данных методов представлены на рис. 61.

Для переменной  $s3LastOp=sp33$  добавляем в схему модели три метода  $OnEntrance\_S3$ ,  $OnExit\_S3$ ,  $OnExit\_S31$ : *Information Flow -> Method*. Программы данных методов представлены на рис. 62.

Для переменной  $s4LastOp=sp43$  добавляем в схему модели три метода  $OnEntrance\_S4$ ,  $OnExit\_S4$ ,  $OnExit\_S41$ : *Information Flow -> Method*. Программы данных методов представлены на рис. 63.

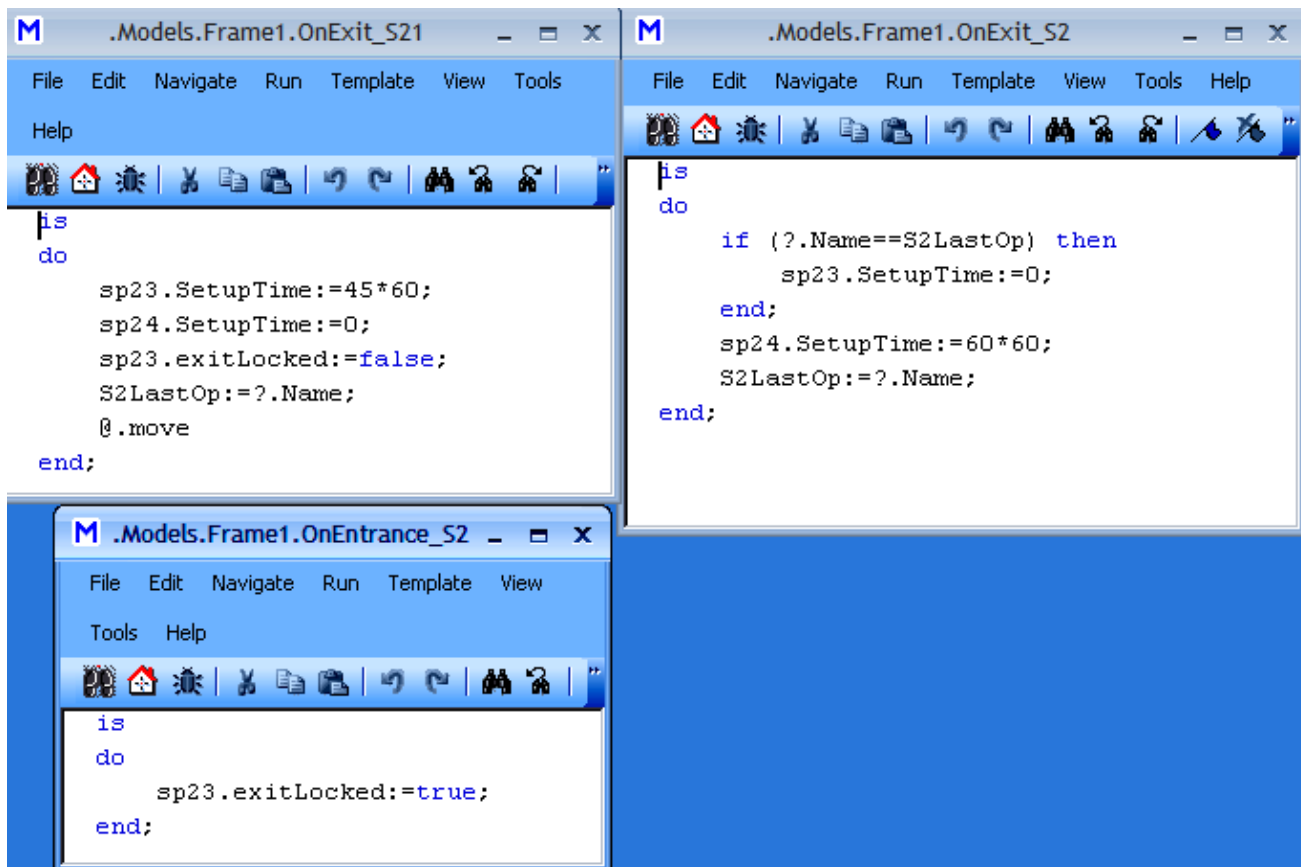


Рисунок 61 – OnEntrance\_S2, OnExit\_S2, OnExit\_S21

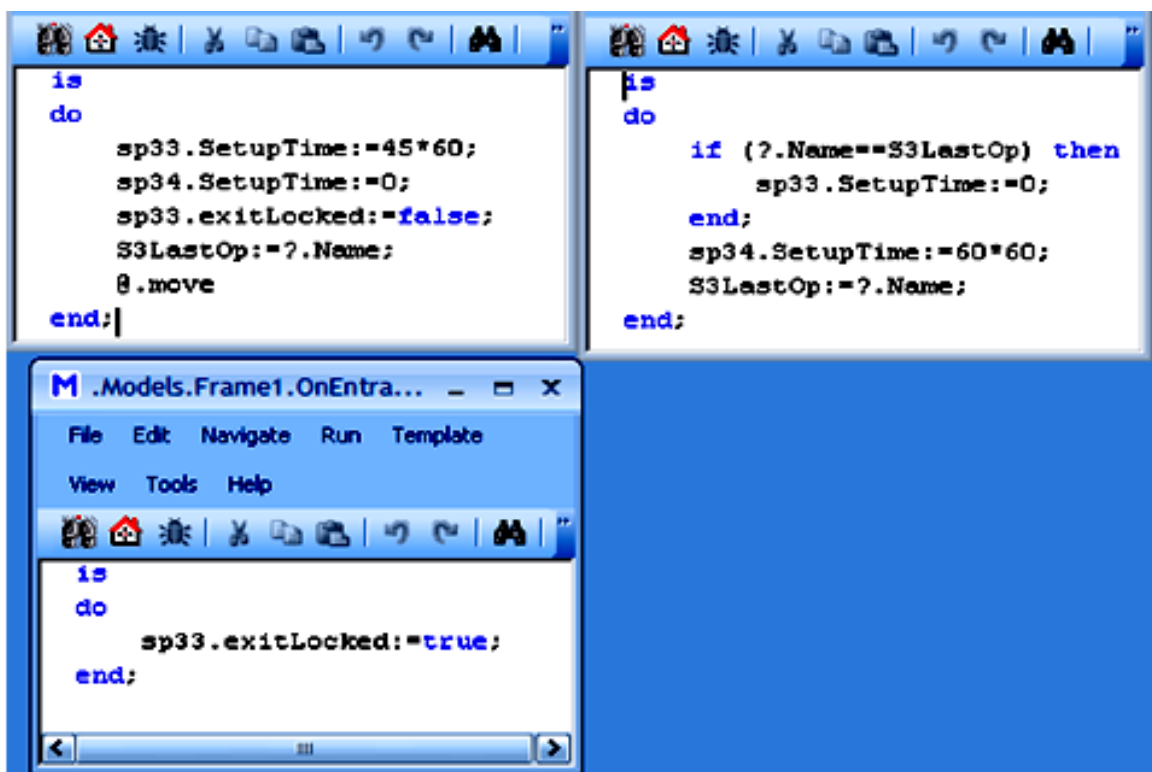


Рисунок 62 – OnEntrance\_S3, OnExit\_S3, OnExit\_S31

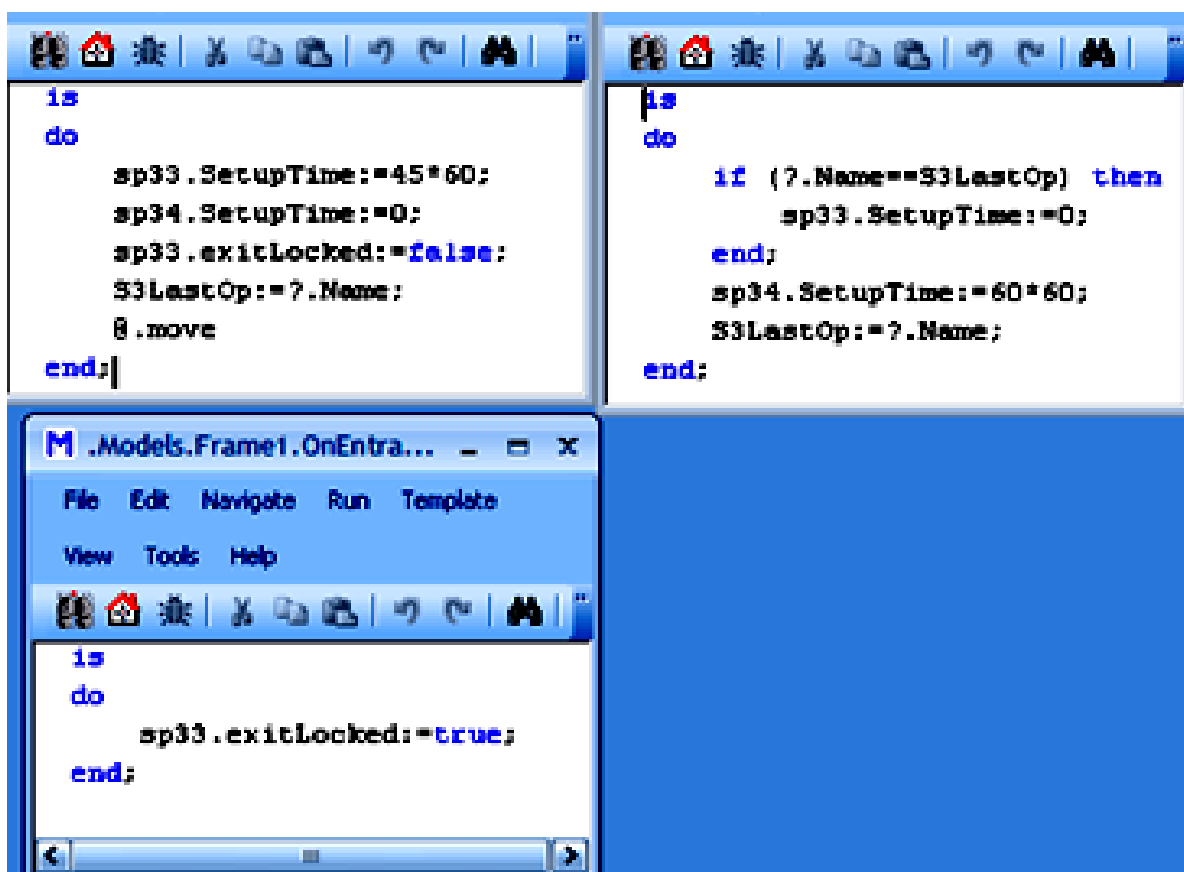


Рисунок 63 – OnEntrance\_S4, OnExit\_S4, OnExit\_S41

В технологическом процессе корпуса и фланца есть немеханические операции:

- естественное старение 20 дней – для корпуса,
- отжиг – для фланца.

Для отображения данных операций в модели буферов будет недостаточно, необходимо добавить в схему еще две модели *MaterialFlow* -> *Frame* – модели движения заготовок.

Для корпуса модель операции «Естественное старение» представлена на рис. 64.

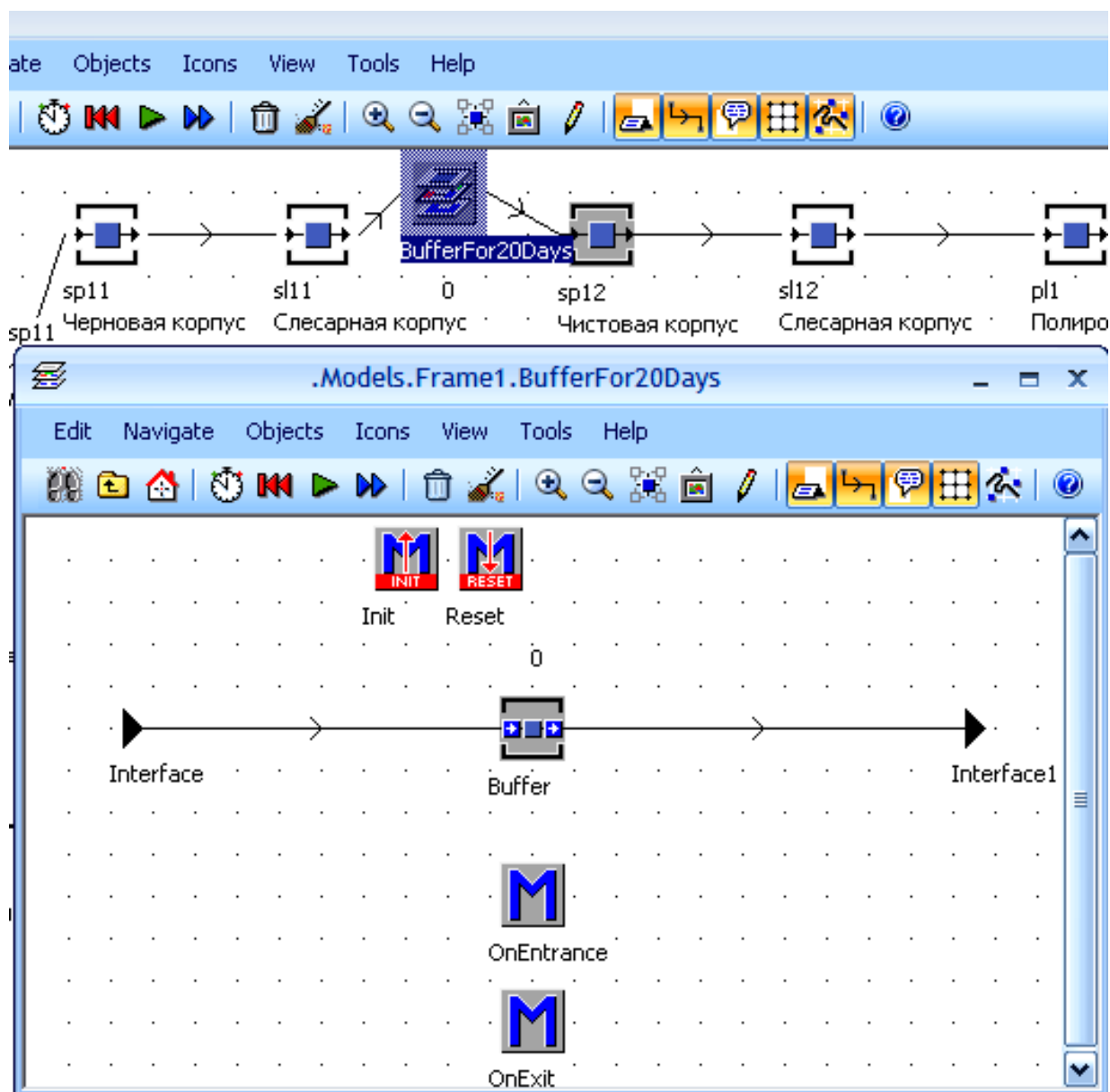


Рисунок 64 – Модель операции «Естественное старение»

В схему добавим входной и выходной потоки заготовок *MaterialFlow* -> *Interface*, накопитель *MaterialFlow* -> *Buffer*.

Для правильной работы схемы, т.е. движения заготовок в производственном процессе между операциями, необходимо добавить методы: *Init* (Метод инициализации), *Reset* (Метод сброса), *OnEntrance* (Метод, влияющий на входной поток), *OnExit* (Метод, влияющий на выходной поток).

Программа методов *Init* и *Reset* представлена на рис. 65.

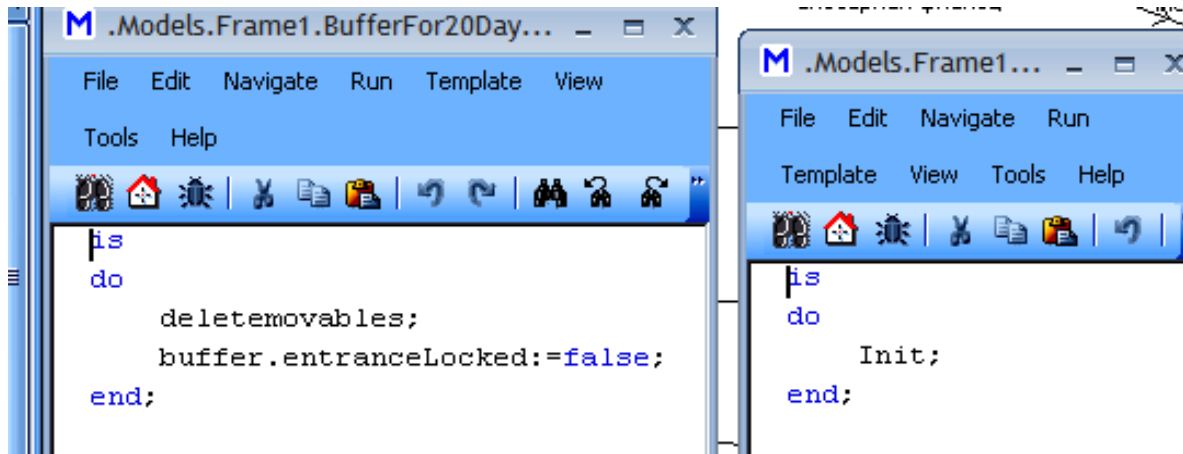


Рисунок 65 – Методы Reset и Init для операции «Естественное старение»

Метод OnEntrance операции «Естественное старение»:

```
is
do
  if Buffer. numMU==Buffer. Capacity then
    Buffer. entranceLocked:= true;
  end;
end;
```

Метод OnExit операции «Естественное старение»:

```
is
do
  if Buffer. numMU==0 then
    Buffer. entranceLocked:= false;
  end;
end;
```

Для фланца схема операции «Отжиг» представлена на рис. 66.

Добавляем в схему две переменные: MaxCapacity – размер передаточной партии, CurCapacity – текущее количество деталей, входной, выходной потоки: *MaterialFlow* -> *Interface*, три накопителя: TempBuffer (Накопитель партии деталей после черновой обработки), MainBuffer (Отжиг партии деталей), OutBuffer (Накопитель, который обозначает транспортировку партии деталей с отжига к



обрабатывающему центру), а также методы Init, Reset, OnEntrance\_TempBuffer, OnExit\_TempBuffer, OnEntrance\_OutBuffer, OnExit\_OutBuffer.

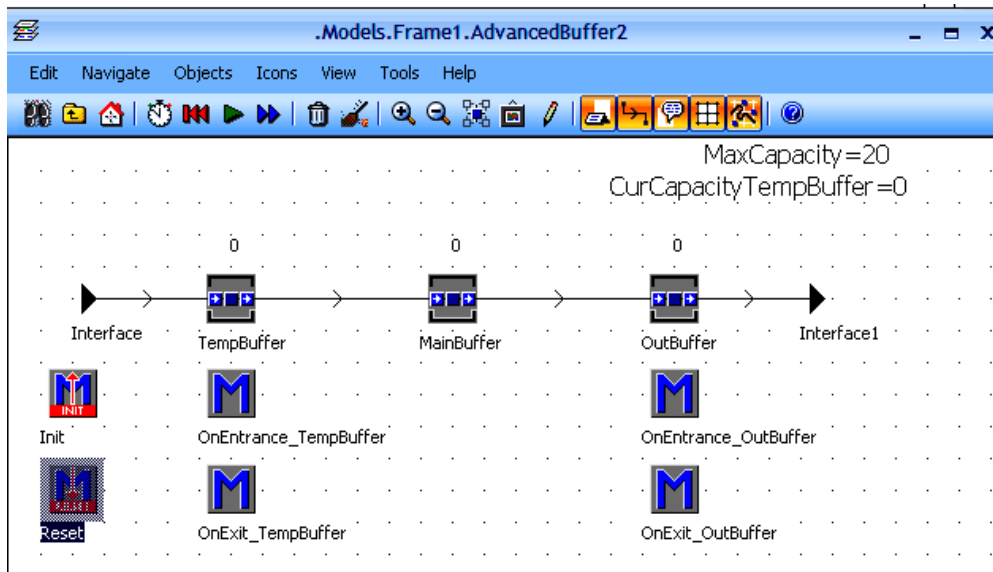


Рисунок 66 – Схема операции «Отжиг»

Для переменных MaxCapacity, CurCapacity заполнение диалоговых окон представлено на рис.67, 68.

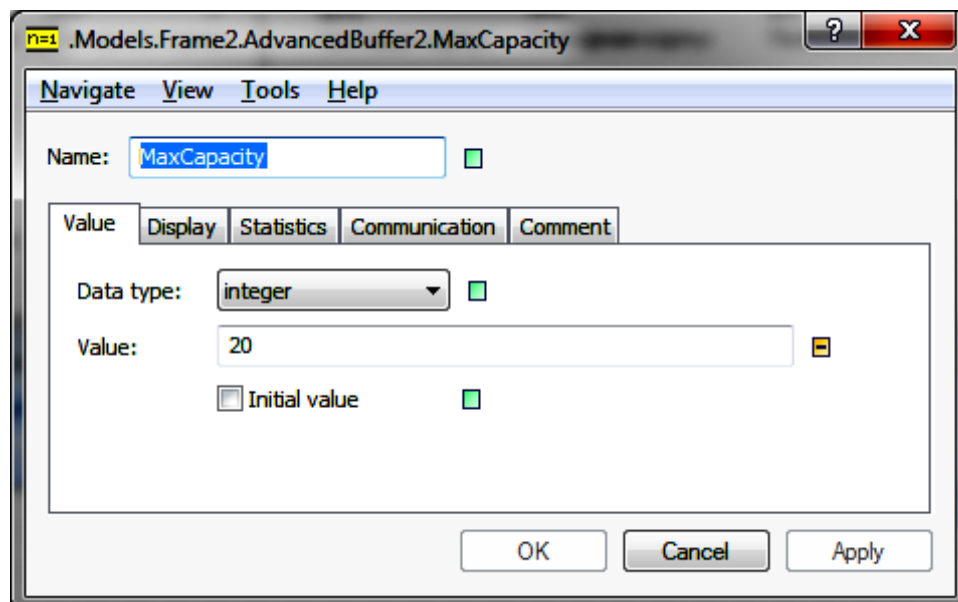


Рисунок 67 – Диалоговое окно переменной MaxCapacity

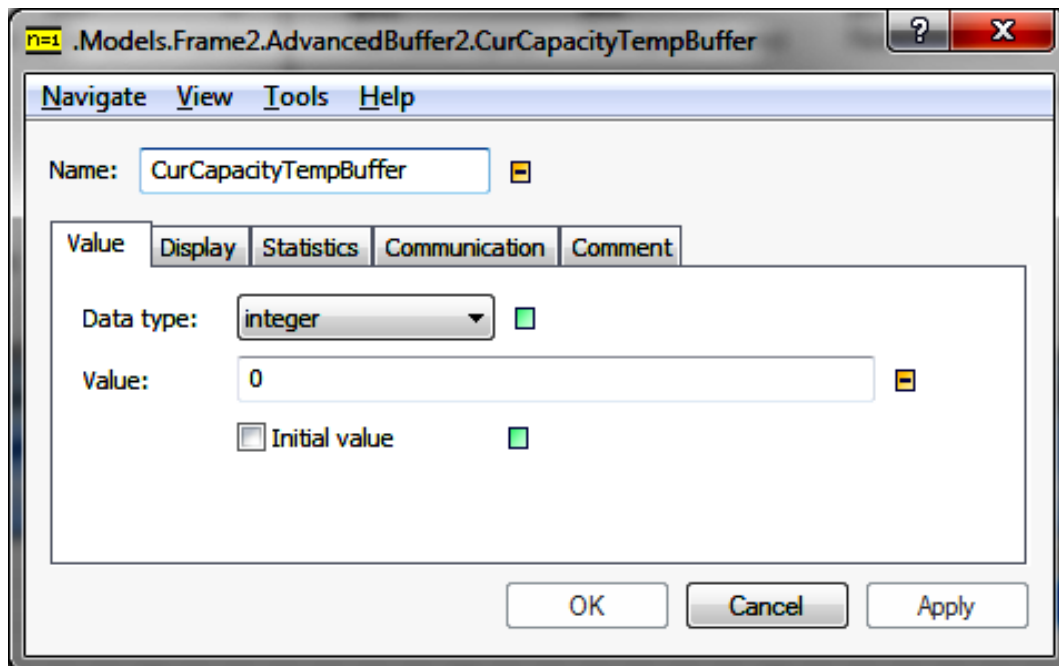


Рисунок 68 – Диалоговое окно переменной CurCapacity

Программы методов Init, OnEntrance\_TempBuffer, OnExit\_TempBuffer, OnEntrance\_OutBuffer, OnExit\_OutBuffer представлены на рис. 69, 70.

```
is
do
    DeleteMovable;

    CurCapacityTempBuffer:=0;
    TempBuffer.Capacity:=MaxCapacity;
    TempBuffer.EntranceLocked:=false;
    TempBuffer.ExitLocked:=true;

    MainBuffer.Capacity:=2*MaxCapacity;
    OutBuffer.Capacity:=2*MaxCapacity;
end;
```

Рисунок 69 – Метод Init для операции «Отжиг»

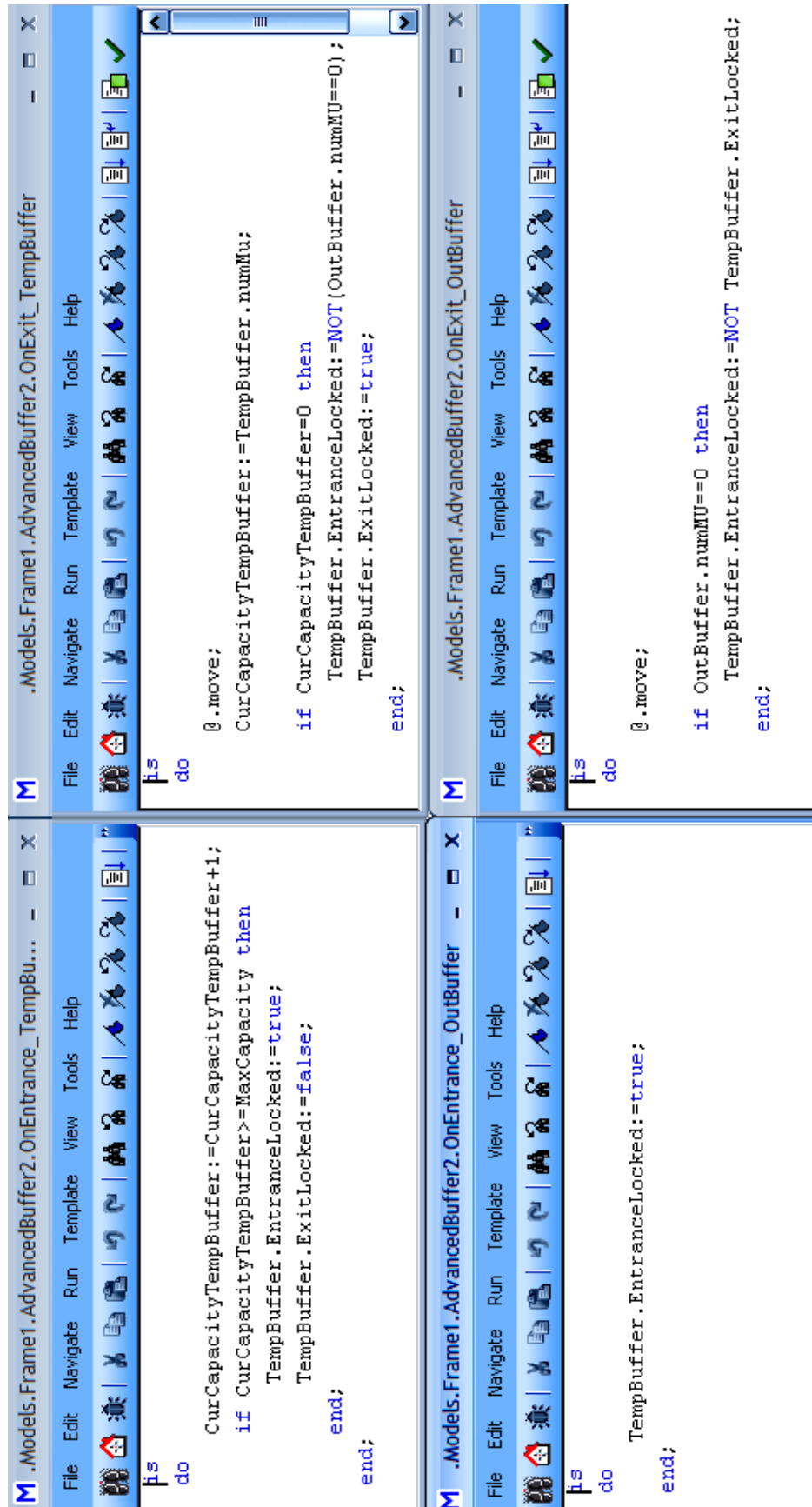


Рисунок 70 – Методы для операции «Отжиг»

Заполнение диалогового окна TempBuffer:

- Во вкладке Attributes, в строке Capacity (Объем накопителя) вводим значение 20, т.к размер передаточной партии 20 деталей;
- Во вкладке Times, в строке Processing time необходимо указать бесконечно малое время, чтобы увидеть передачу партии деталей (0:00.001);
- Во вкладке Controls, в строке Entrance указываем связь с методом (в открывшемся окне выбираем OnEntrance\_TempBuffer), в строке Exit указываем связь с методом (в открывшемся окне выбираем OnExit\_TempBuffer).

MainBuffer в данной схеме обозначает операцию отжиг. В диалоговом окне Times данного элемента укажем время, необходимое для отжига партии деталей: Processing time - >2:00:00:00.

Заполнение диалогового окна OutBuffer:

- Во вкладке Attributes, в строке Capacity (Объем накопителя) вводим значение 40;
- Во вкладке Times, в строке Processing time необходимо указать бесконечно малое время, чтобы увидеть передачу партии деталей (0:00.001);
- Во вкладке Controls, в строке Entrance указываем связь с методом (в открывшемся окне выбираем OnEntrance\_OutBuffer), в строке Exit указываем связь с методом (в открывшемся окне выбираем OnExit\_OutBuffer).

## **6.7 Активизация основной схемы и запуск модели**

Активизируем основную схему и запустим симуляцию модели: EventController -> Start. Для анализа правильности построения схемы можно снизить скорость. После каждого запуска симуляции необходимо производить сброс параметров (Reset).

Можно контролировать количество изготовленных деталей. Для этого необходимо в схему добавить элемент подсчета деталей: User Interface -> Display. Далее необходимо связать Display с Drain, для этого перетащим элемент Display на Drain. Связь отображается в диалоговом окне Display во вкладке Data в строке Path (рис. 71).

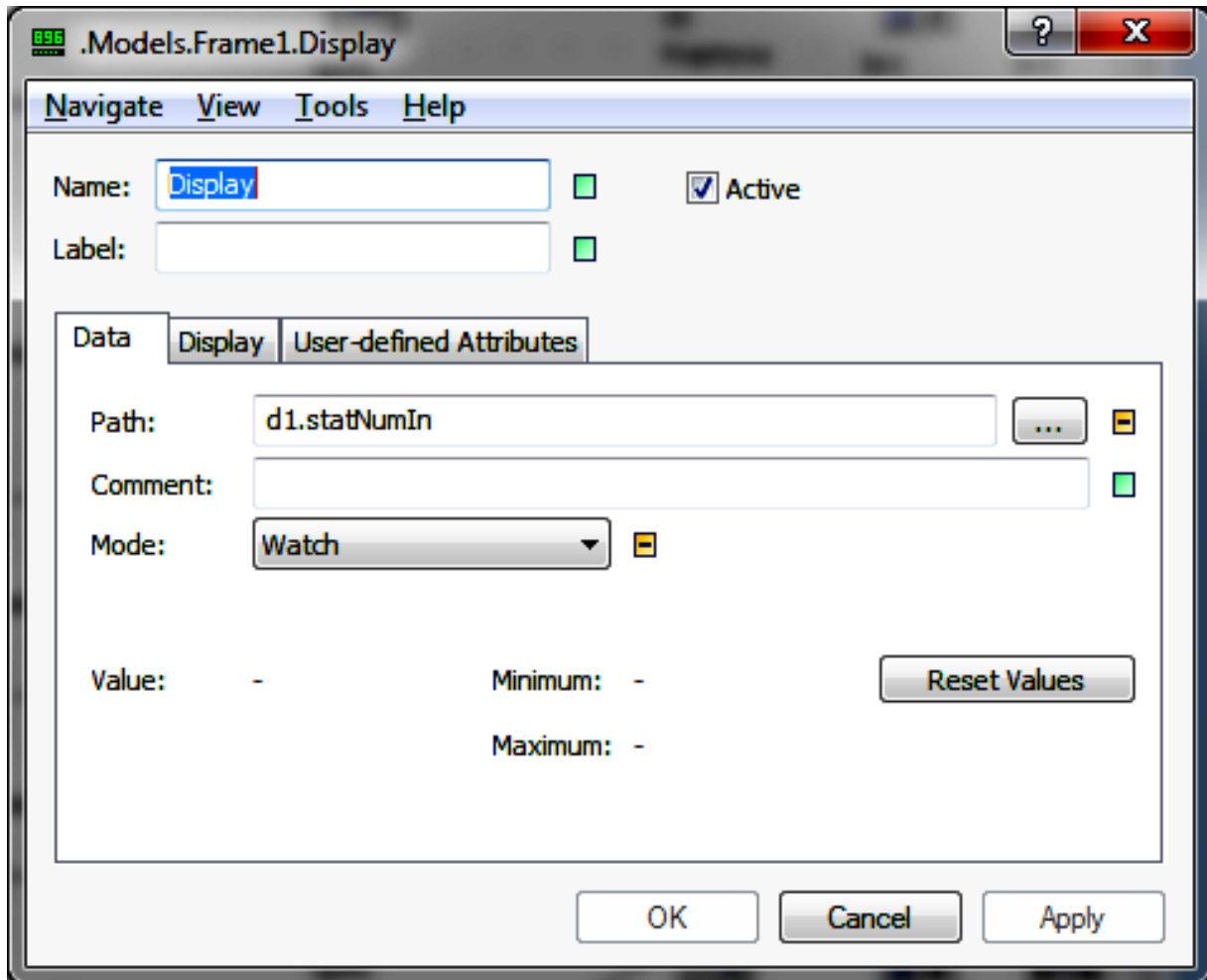


Рисунок 71 – Диалоговое окно элемента Display

Аналогично можно установить счетчик готовых деталей для фланца и переходника.

Для анализа модели добавим в схему диаграмму загрузки оборудования: User Interface -> Chart.

Запускаем симуляцию модели, открываем диаграмму. Диаграмма загрузки оборудования приведена на рис. 72.

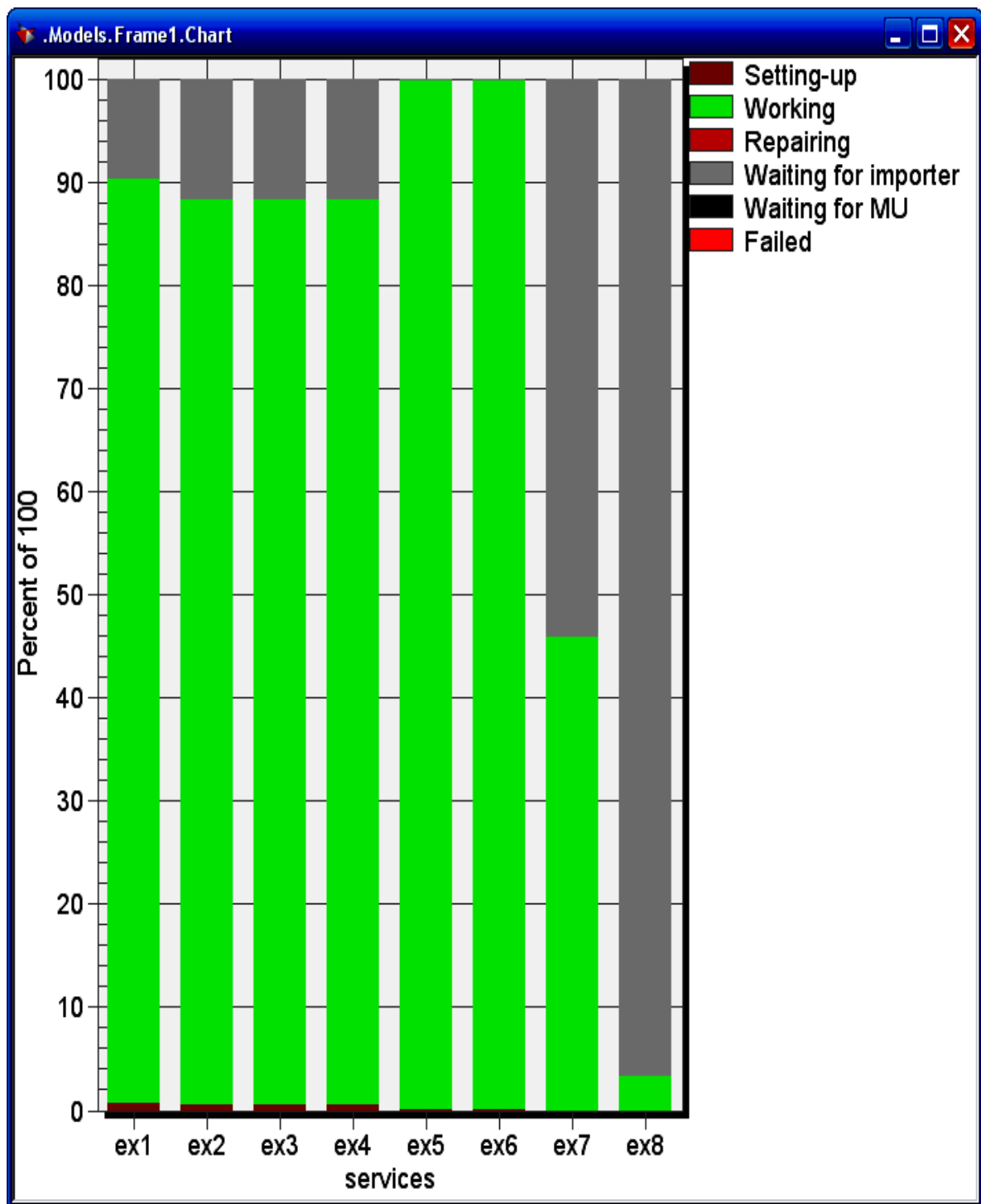


Рисунок 72 – Диаграмма загрузки оборудования

Данная диаграмма позволяет проанализировать процент работы оборудования (Working), настройки оборудования (Setting-up), ремонт оборудования (Repairing), простои оборудования из-за ожидания заготовок (Waiting for MU), оборудование сломано (Failed).

В данной схеме принимаем, что мелкий ремонт и осмотр оборудования будет произведен в третью смену, в отсутствие основных рабочих, чтобы не мешать выпуску основной продукции.

Анализируя данную модель и график загрузки оборудования, можно сделать вывод, что наиболее загруженными являются 5,6 обрабатывающих центров, на которых изготавливаются переходники. Выпуск годовой программы по данной модели будет закончен к 12.12.2012.

Анализируя данную модель, можно сделать вывод, что узким местом является производство корпусов. Годовая программа переходников будет готова к 11.10.2012, т.е. два токарно-фрезерных обрабатывающих центра будут простаивать 2,5 месяца. Для снижения простоев эти станки, после выполнения годовой производственной программы переходников, можно догрузить производством корпусов (рис. 73). В этом случае выпуск производственной программы деталей будет произведен к 30.11.2012.

При перенастройке станка на черновую обработку одного вида деталей с черновой обработки другого вида деталей требуется меньше времени, чем при перенастройке с черновой обработки на чистовую одного вида деталей. Исходя из этого, составим третью схему (рис. 74).

По схеме видно, что черновая обработка корпуса и фланца будет производиться на одном токарно-фрезерном обрабатывающем центре. На втором станке будет производиться чистовая обработка корпусов и фланцев, а на третьем, четвертом станках – чистовая обработка фланцев. На пятом, шестом станках, как и во второй схеме, будет производиться обработка переходников. Когда производственная программа переходников будет изготовлена, догрузим пятый станок черновой обработкой корпусов, а шестой станок – черновой обработкой фланцев. По данной модели выпуск годовой производственной программы трех видов деталей будет закончен к 25.12.2012.





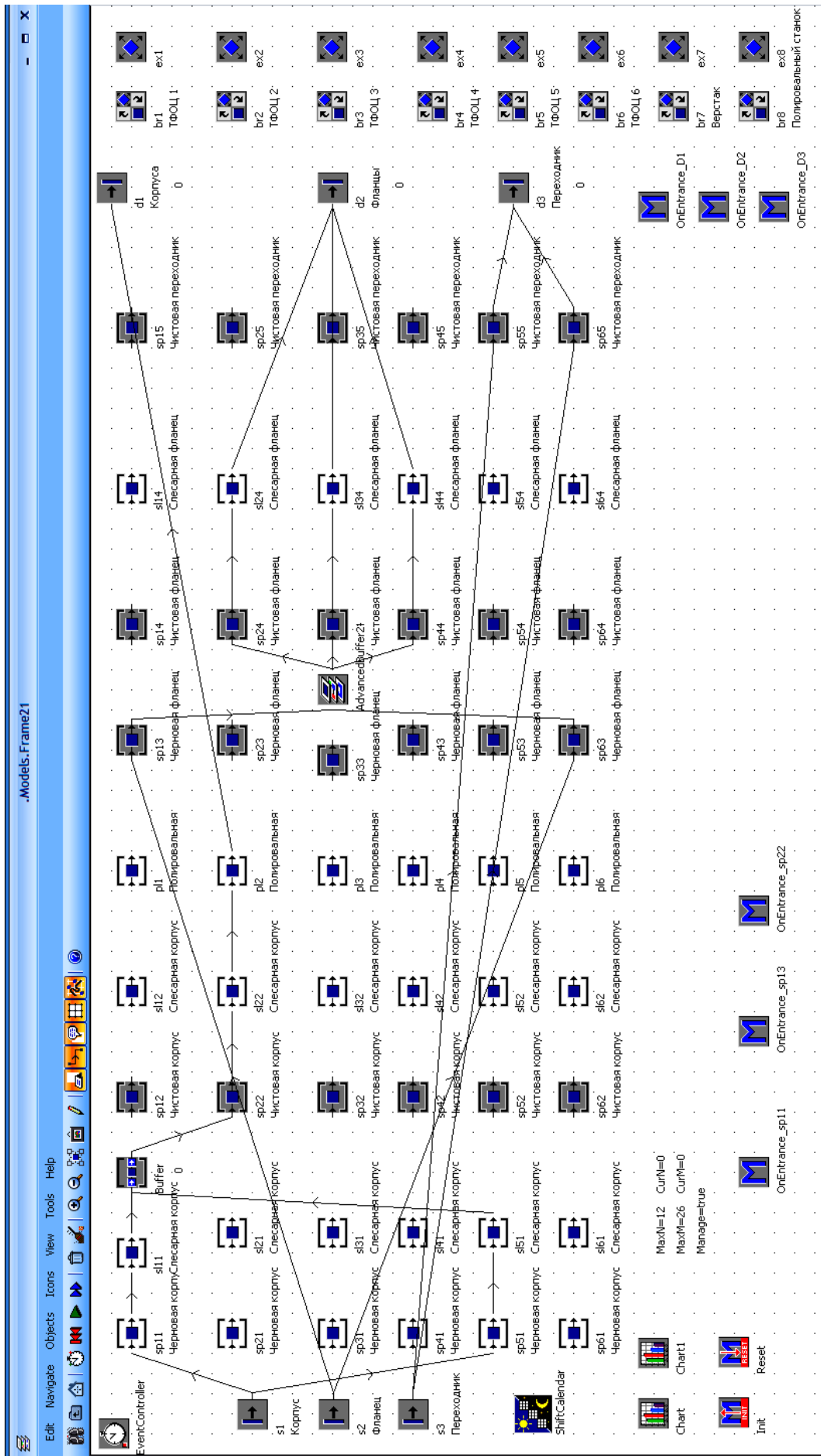


Рисунок 74 – Модель 3 производственного процесса

Загрузка оборудования по третьей модели представлена на рис. 75.

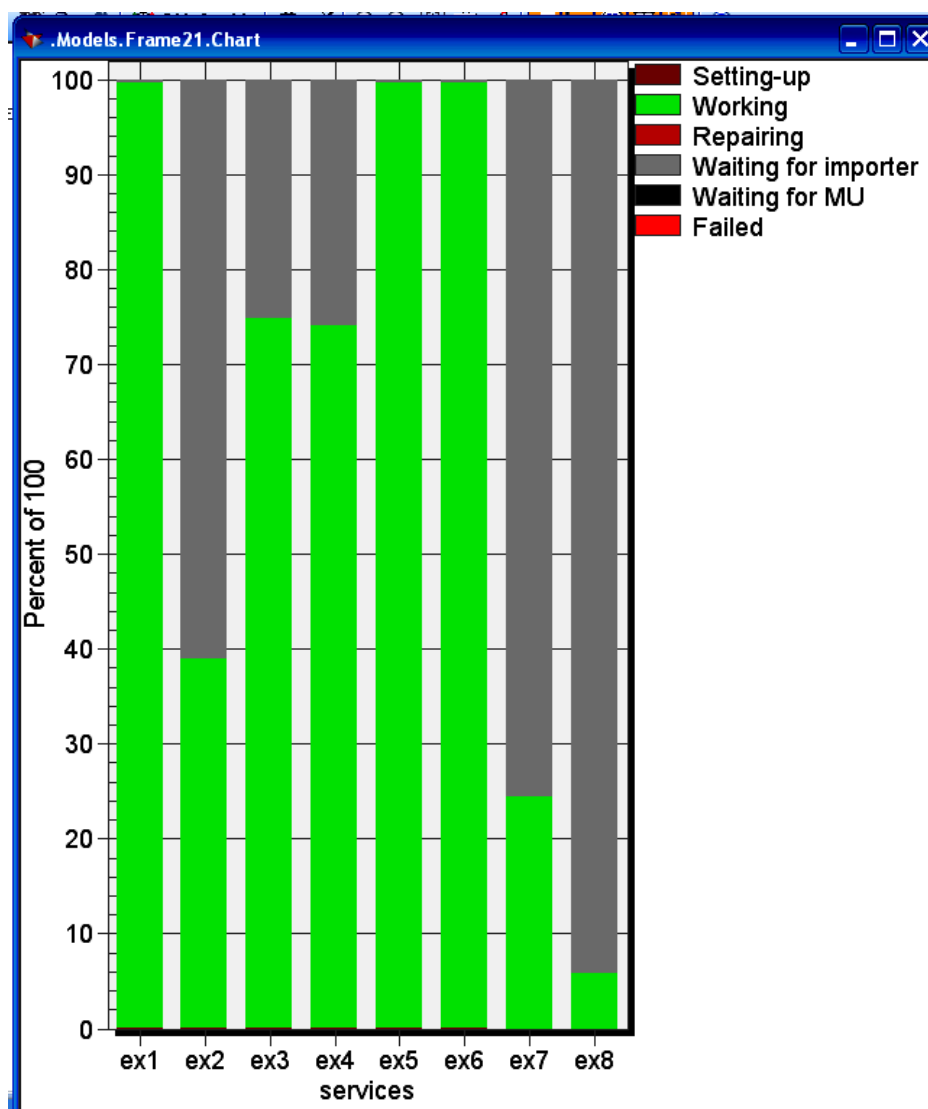


Рисунок 75 – Диаграмма загрузки оборудования третьей модели

Из диаграммы загрузки оборудования видно, что второй токарно-фрезерный обрабатывающий центр незагружен, его загрузка в среднем за год составляет 40%. Это связано с тем, что при изготовлении корпусов и фланцев необходимо проводить термообработку: для корпусов – естественное старение, которое составляет 20 суток, а для фланцев – отжиг – 3 суток.

В моделях можно изменять не только загрузку оборудования, но и размер партии. Для рассмотренных моделей мы принимали размер партии 20 деталей, он равен размеру партии, которая принята в цехе.

Для третьей схемы определим другой размер партии. Все расчеты сведены в табл. 8.

**Т а б л и ц а 8 . Размер партии деталей (для третьей схемы)**

Детали	$N_{ср.дн}$	Периодичность запуска, раб. дни		Принятый размер партии $n_{опт}^{np}$
		$R_{3-}^{расч.}$	$R_{3-}^{np.}$	
Корпус	2,5	1,2	2.5	8
Фланец	5,4	0,93	2.5	15
Переходник	5,8	0,34	2.5	15

В модели 3, изменив размер партии на значения, представленные в таблице 8, получим четвертую модель производственного процесса.

В этом случае выпуск годовой производственной программы будет закончен к 24.12.2012 г. По данной схеме выпуск годовой производственной программы будет готов в срок, но загрузка второго обрабатывающего центра по данной модели, так же как и по третьей модели, ниже 40%.

Построим диаграмму работы оборудования по четырем моделям при производстве годовой производственной программы (рис. 76).

При сравнении рассмотренных моделей можно сделать вывод, что наиболее эффективной является вторая схема. По этой схеме выпуск производственной программы закончится к 30.11.2012 году, а также загрузка обрабатывающих центров наиболее эффективная.

По диаграмме (рис. 76) видно, что по второй модели для выпуска годовой производственной программы необходимо 91,2 % времени в году, а в оставшееся время – 9,8% можно производить другую продукцию. Исходя из диаграмм (рис. 72, 75), видно, что процент настройки оборудования незначительный по сравнению с общим временем, а по третьей схеме он меньше чем по первой, из-за того, что время на переналадку с черновой обработки одной партии деталей

на черновую обработку другой партии деталей меньше, чем на переналадку с черновой на чистовую обработку одной партии деталей.

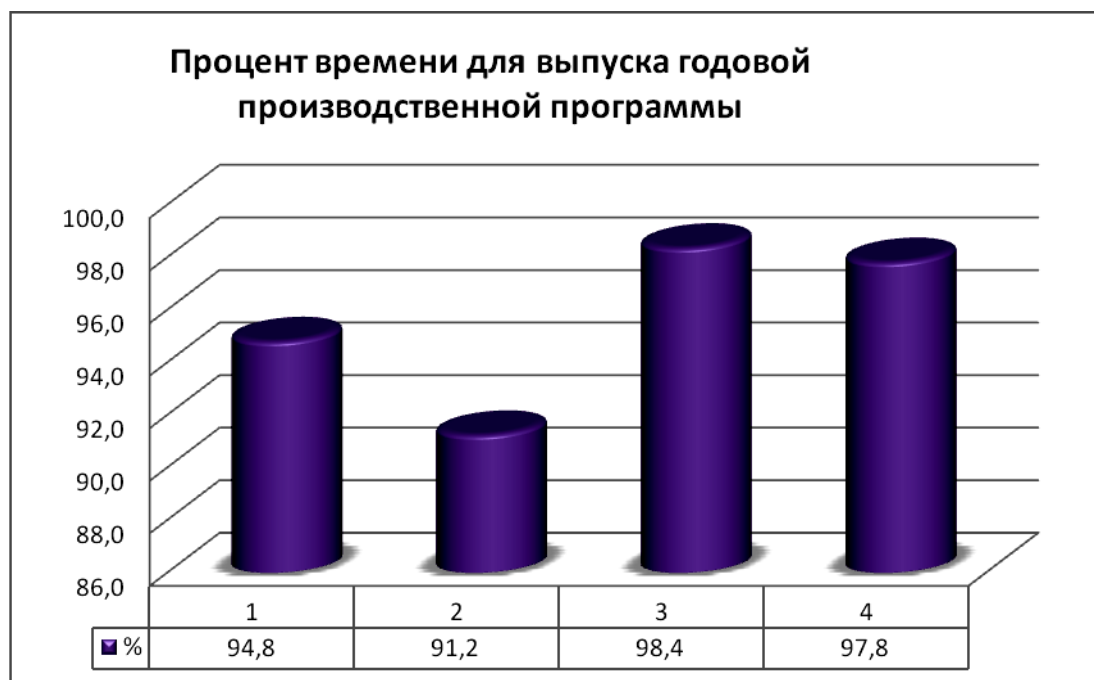


Рисунок 76 – Диаграмма времени работы оборудования

Выпуск годовой производственной программы деталей может быть закончен раньше, если запуск деталей в производство выполнять не по фиксированному значению партии деталей, а по тому количеству деталей, сколько необходимо для сборки одного изделия и так, чтобы готовые детали приходили на сборку точно в срок.

Управление сформированным процессом можно производить путем устранения «узких» мест на участке, что способствует оптимизации движения деталей по рабочим местам, разгрузке их, сбалансированности мощностей оборудования и изготовлению продукции с минимальными потерями для производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siemens. Обзор продукта. Plant Simulation  
[http://www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru/products/tecnomatix/plant\\_design/plant\\_simulation.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml).
2. Tadviser. Tecnomatix Plant Simulation. Основные возможности.  
<http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Tecnomatix>.
3. Бесплатная студенческая версия программы Tecnomatix Plant Simulation Plant Simulation basics, methods, strategies - PLT101 – Version 9.0.1, 2009.  
[http://ideal-plm.ru/mod\\_shortNews/show/95](http://ideal-plm.ru/mod_shortNews/show/95).
4. Flynn D. (Ed.) Thermal Power Plant Simulation and Control Plant Simulation advanced modelling – PLT300 – Version 9.0.1, 2009  
[http://www.studmed.ru/flynn-d-ed-thermal-power-plant-simulation-and-control\\_f7f1d135fdc.html](http://www.studmed.ru/flynn-d-ed-thermal-power-plant-simulation-and-control_f7f1d135fdc.html).
5. Лычкина Н. Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах и системах поддержки принятия решений//Сб. докл. Второй науч.-практ. конф. по имитационному моделированию ИММОД – СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2005. – Т. 1. – С. 25-31.

Учебное издание

*Абрамова Ирина Геннадьевна,  
Проничев Николай Дмитриевич,  
Абрамов Дмитрий Александрович,  
Коротенкова Татьяна Николаевна*

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ  
TECNOMATIX PLANT SIMULATION**

*Учебное пособие*

Редактор Т.К. Кретина  
Доверстка Т.Е. П о л о в н е в а

Подписано в печать 29.08.2014. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 5,0.  
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. – 10/2014.

Самарский государственный аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.



