

УДК 004.94

ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ УРФУ

Е.К. Аксенова, К.А. Аксенов, Н.А. Жаркова, О.П. Аксенова (Екатеринбург)

Введение

Данная работа посвящена разработке средства имитационного моделирования (ИМ) в рамках учебных процессов в Уральском федеральном университете. Предметная область включает в себя лабораторные работы по имитационному моделированию и программное обеспечение, используемое обучающимися на занятиях.

В современном образовательном процессе имитационное моделирование становится всё более важным инструментом для формирования профессиональных компетенций студентов, особенно в области информационных технологий и системного анализа. Развитие цифровых технологий в образовании требует создания современных инструментов обучения, способных эффективно поддерживать процесс формирования практических навыков работы со сложными системами и бизнес-процессами.

Вопросы гибридного и имитационного моделирования рассматриваются в различных дисциплинах, подготовки укрупненной 09-ой группы (информатика и вычислительная техника), как магистратуры, так и бакалавриата. Поток обучающихся на направлении 09-ой группы варьируется от 800 до 1100 человек. Вопросы гибридного моделирования затрагиваются в дисциплинах «Системы искусственного интеллекта», «Анализ данных и искусственный интеллект», «Интеллектуальные и мультиагентные системы» (магистратура 09.04.01, направления «Информационно-управляющие системы» (ИУС)), «Системы поддержки принятия решений». В рамках данных дисциплин рассматриваются следующие средства ИМ: AnyLogic, BPsim, GPSS (Alina GPSS), SimInTech.

В ядро образовательных программ ИРИТ-РТФ бакалавриата входит дисциплина «Моделирование сложных процессов и систем» обязательная для изучения всеми студентами. В рамках данной дисциплины изучаются такие среды моделирования как AnyLogic и GPSS (ведутся работы по внедрению в учебный процесс Alina GPSS).

Результаты входного опроса обучающихся представлены в табл. 1.

Таблица 1. Входной опрос обучающихся

	опрос (чел.)	работа	Профиль (навыки)				Инструменты		
			разработчик	ИМ	ML\ Нейронки	другое	Питон	AnyLogic	GPSS
Бакалавры (09.03.хх, очные)	62	23	59	34	21	26	58	33	28
Бакалавры (09.03.хх, заочные)	44	39	43	16	11	25	34	15	8
Магистры (09.04.01 ИУС)	22	14	21	12	3	8	16	14	10
Сумма	128	76	123	62	35	59	108	62	46

Структура программного комплекса BPsim.MAS

Программный комплекс BPsim.MAS предназначен для решения задач динамического интеллектуального моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов [1]. Система выполняет следующие функции: описание предметной области (представляющей собой совокупность моделей с набором ресурсов); описание ресурсов, агентов и моделей; проведение имитационных экспериментов; отображение результатов в виде диаграмм и текста в консоли (лог-файл действий алгоритма имитационного моделирования); экспорт результатов экспериментов в файлы формата Microsoft Excel и CSV, проведение функционально-стоимостного анализа системы. Пример графического интерфейса BPsim.MAS с изображением модели работы цеха по пошиву шляп представлен на рис. 1.

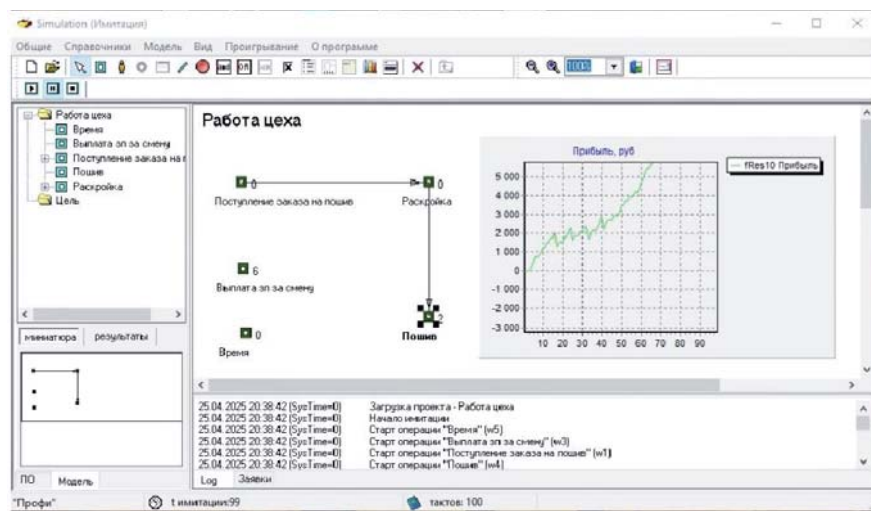


Рис. 1. Графический интерфейс приложения BPsim.MAS

BPsim.MAS представляет собой десктопное приложение (GUI-интерфейс) и используется в Институте радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ (ИРИТ-РТФ) УрФУ при проведении лабораторных занятий по предметам «Системы искусственного интеллекта» для студентов 3 и 4 курса бакалавриата, обучающихся по направлениям «Прикладная информатика», «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия»; «Интеллектуальные и мультиагентные системы» (магистры направления 09.04.01). Суммарно количество студентов, изучающие данные дисциплины, в семестр варьируется от 150 до 300 человек. Процесс развертывания BPsim.MAS в лабораториях для сопровождающего инженера несложный и в среднем занимает 1-2 часа на 1 лабораторию, оснащенную 12-20 рабочими местами.

Далее будут рассмотрены процессы, касающиеся взаимодействия студентов ИРИТ-РТФ УрФУ с программным комплексом BPsim.MAS.

Анализ узких мест учебных процессов

На данный момент 41 из 100 студентов курса выполняют учебные задания в лабораториях университета, в то время как остальные предпочитают работать самостоятельно, в результате чего у последних возникает необходимость установки программного обеспечения BPsim.MAS на домашние персональные компьютеры или ноутбуки.

Установка BPsim.MAS требует 12-этапной настройки необходимых параметров для стабильной работы системы, и алгоритм действий при этом выглядит следующим образом:

- открыть Microsoft Teams;

- открыть группу по изучаемому предмету;
- скачать установочные файлы;
- если на устройстве не установлен Microsoft SQL Server 2008 года, то установить Microsoft SQL Server 2008;
- если на ПК не установлен Microsoft SQL Server Management Studio, то установить его;
- открыть SQL Server Management Studio;
- установить соединение;
- восстановить базу данных;
- запустить файл конфигурации;
- настроить файл конфигурации;
- запустить исполняемый файл BPsim.MAS;
- ввести логин и пароль.

Данный процесс является достаточно затратным по времени (от 40 минут и более) и порой требует дополнительного обращения за помощью к преподавателю (вопросы обычно возникают у той категории студентов, которые не имеют навыков установки ПО и администрирования баз данных).

При выполнении лабораторной работы в BPsim.MAS (при разработке модели и проведении имитационных экспериментов) отладку модели осложняет отсутствие встроенных средств обработки ошибок в формулах, описывающих изменения ресурсов и заявок в модели. При неправильно введенном системном имени ресурса, синтаксической ошибке, лишнем арифметическом знаке или пробеле приложение не информирует пользователя об опечатке, что увеличивает время на разработку и отладку модели. Для решения данной проблемы были модернизированы методические инструкции по разработке моделей на ресурсах, на агентах и заявках с описанием возможных внештатных ситуаций, однако вопрос процесса отладки имитационной модели по-прежнему остался актуальным.

Следующим узким местом является графический интерфейс (GUI) приложения BPsim.MAS, который на данный момент является устаревшим, из-за чего студенты, привыкшие к более современным паттернам в дизайне веб-интерфейсов, сталкиваются с трудностями восприятия визуальной составляющей.

Результаты опроса обучающихся, проводимого посредством Google Forms, выявили такие недостатки: слишком мелкий шрифт, неудобство выделения связей между блоками, неинформативность иконок инструментов и действий. Диаграмма оценки респондентами удобства пользования интерфейсом BPsim.MAS представлена на рис. 2.

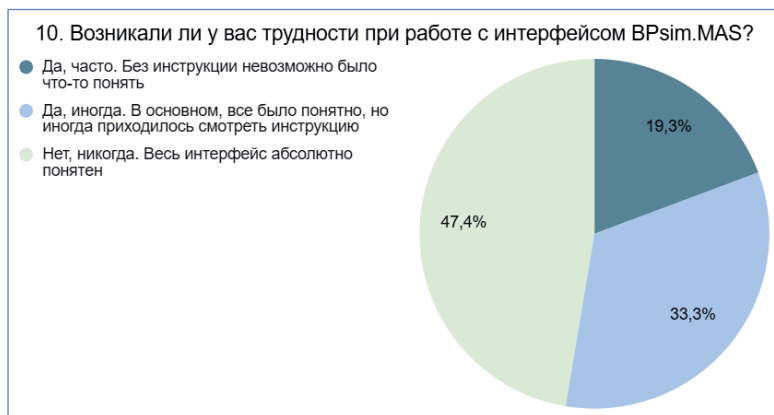


Рис. 2. Оценка usability интерфейса BPsim.MAS

Как следует из диаграммы, более половины опрошенных сталкивались с трудностями при работе с визуальной частью BPsim.MAS, что подтверждает необходимость обновления графического интерфейса приложения.

Исследование аналогов

С целью устранения узких мест и совершенствования учебного процесса было проведено исследование рынка программного обеспечения по ИМ.

Критериями анализа были выбраны: формат приложения (веб/десктоп), количество шагов перед началом работы (развертывание среды моделирования), реализация на русском языке, интуитивность и удобство создания связей между блоками, проверка синтаксиса формул, переменных и корректность кода; экспорт результатов эксперимента в виде электронных таблиц, наличие диаграмм с динамикой изменения ресурсов модели, возможность запуска симуляции в режиме виртуального времени, универсальность блоков модели (реализованная концепция процессного подхода, близкого к IDEF0) или проблемно-ориентированные библиотеки с разнообразными блочными конструкциями, наличие экспертного моделирования.

В качестве аналогов BPsim.MAS были рассмотрены AnyLogic [2], Alina GPSS [3], Insight Maker [4] и BPsimulator [5]. Результат сравнения приложений по вышеописанным критериям представлен в табл. 2.

Таблица 2. Анализ близких систем

	AnyLogic	Alina GPSS	Insight Maker	BPsimulator	BPsim.MAS
Веб	–	–	+	+	–
Количество шагов перед началом работы не больше 5	+	+	+	+	–
Реализация на русском языке	+	+	–	+	+
Интуитивность и удобство создания связей между блоками	+	–	+	–	–
Валидация ввода формул/синтаксиса команд	+	+	+	–	–
Отчет по эксперименту в виде электронных таблиц	+	+	+	–	+
Диаграммы изменения ресурсов	+	+	+	–	+
Симуляция в режиме виртуального времени	+	+	+	–	+
Универсальность блоков модели	–	+	–	–	+
Экспертное моделирование	–	–	–	–	+

Наиболее популярная среда для имитационного моделирования AnyLogic проста в установке (состоит из одного исполняемого файла), помимо проверки введенных математических формул позволяет отлаживать написанный программный код на Java, однако полноценным эквивалентом BPsim.MAS не является: в AnyLogic из-за различных поддерживаемых подходов к моделированию отсутствует единая нотация для всех моделей, что выражается во множестве различных типов блоков. В AnyLogic используются проблемно-ориентированные библиотеки и наиболее близкая по типам компонентов к блокам BPsim.MAS библиотека Enterprise Library, реализующая аппарат систем массового обслуживания [6].

Десктопное приложение Alina GPSS представляет собой современную графическую оболочку над моделирующим ядром GPSS World, обладающим мощным инструментарием для автоматизации разработки дискретно-событийных ИМ и проведения имитационных исследований [3]. Особенностью Alina GPSS является

наличие типовых элементарных блоков (ТЭБов), позволяющих создавать пользовательские классы и экземпляры классов объектов, но процесс создания связей между ТЭБами требует предварительного прочтения документации.

Таким образом, применение AnyLogic и Alina GPSS требует существенных временных затрат на изучение функционала.

Программные комплексы Insight Maker и BPsimulator выгодно выделяются на фоне прочих за счет реализации в формате веб-приложений, снижающего порог входа для обучающихся. Однако Insight Maker не поддерживает русский язык, а BPsimulator сильно проигрывает в функциональной составляющей BPsim.MAS и прочим аналогам: отсутствуют запись данных (результатов экспериментов) в электронные таблицы и диаграммы изменения ресурсов в процессе симуляции, нет возможности вводить математические формулы.

Касаемо пользовательского взаимодействия в BPsimulator негативную роль играют:

- неоднозначность действия двойного клика по блоку модели, который означает создание связи между блоками и просмотр свойств объекта – в результате программа совершает не те действия, на которые рассчитывает пользователь;
- зависимость виртуального времени от реального и невозможность получить мгновенный результат эксперимента.

Обе эти особенности сильно замедляют процесс построения и анализа моделей.

Стоит также отметить, что ни один из рассмотренных аналогов не реализовывает функционал экспертного моделирования. Следовательно для оптимизации образовательного процесса было необходимо реализовать альтернативное решение, сочетающее в себе удобство использования онлайн-платформ, современный интерфейс и профессиональный инструментарий BPsim.MAS, позволяющий строить сложные модели бизнес-процессов и эффективно управлять ими.

Решение проблемы (модель «как будет»)

Для устранения узких мест в учебном процессе было решено создать веб-версию системы BPsim.MAS с обновленным графическим интерфейсом, реализованным в соответствии с последними дизайнерскими трендами. Данный формат программного продукта будет более предпочтителен для студента XXI века, который привык к работе с системами типа Softwar as a Service (SaaS), не требующих скачивания на персональный компьютер, а предоставляющие услуги в качестве готового сервиса и, соответственно, снижающих порог входа.

Таким образом, процесс «Начало работы с BPsim.MAS» примет следующий вид:

- 1) зайти на сайт сервиса;
- 2) если нет аккаунта, то создать аккаунт;
- 3) авторизоваться в системе.

Переход с десктопной реализации на веб-приложение сократит количество действий пользователя при знакомстве с системой в 4 раза. Применение такого подхода основано на опыте разработки веб-ориентированной автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП) [7], одним из требований которой относилась многопользовательская работа не менее 150 пользователей. Данный подход может предоставить дополнительно многопользовательский режим для разработки моделей и проведения экспериментов в команде, который технически может быть реализован по-другому, например, на портале разработки моделей. Именно так это сделано для среды AnyLogic на сервисе AnyLogic Cloud.

Помимо обновления визуальной части системы доработанная веб-версия BPsim.MAS будет включать в себя проверку математических формул на предмет

неточностей и опечаток с целью предотвращения сбоев симуляции и улучшения пользовательского опыта.

Выбор и обоснование стека технологий для веб-версии

Ключевые требования к стеку технологий: поддержка веб-ориентированных проектов, наличие большого сообщества программистов и подробной документации к предоставляемым фреймворкам, что обеспечило бы долгосрочность поддержки разрабатываемого программного продукта.

С учетом данных критериев для клиентской части приложения был выбран язык программирования TypeScript, преимуществами которого является статическая типизация и возможность автоматического дополнения кода. По степени популярности среди разработчиков TypeScript занимает третье место на 2024–2025 года [8].

На стороне сервера было принято решение использовать самый распространенный на начало 2025 года язык Python, одной из сфер применения которого является разработка бэкенд-части веб-приложений (по данным сайта Geeks for Geeks [9]). В Python существует множество обширных библиотек, которые постоянно обновляются разработчиками из сообщества, благодаря чему всегда можно найти готовые фрагменты и редактировать их под конкретные задачи (статья «Популярные языки программирования в 2025 году» [10]).

Немаловажным преимуществом использования Python является возможность интеграции с библиотекой SimPy – фреймворка процессо-ориентированной дискретно-событийной системы моделирования, который позволяет моделировать процессы с использованием заявок и общих ресурсов [11]. Особенности интеграции данного фреймворка в приложение для имитационного моделирования бизнес-процессов BPsim.MAS Web будут рассмотрены далее.

В качестве системы управления базами данных была выбрана PostgreSQL – объектно-реляционная система, преимуществами которой является хранение больших объемов данных (до 32 Тб в одной таблице), поддержка одновременной модификации базы данных, кроссплатформенность и наличие открытого исходного кода, согласно сайту Skillfactory Media [12], а также версии СУБД, которые локализованы в России. Эти особенности как нельзя лучше подходят для применения в веб-проекте, рассчитанном на использование студентами в высших учебных заведениях.

Разработка системы BPsim.MAS Web

Программное обеспечение BPsim.MAS Web – это информационная система для решения задач имитационного моделирования бизнес-процессов. В ее основе лежит слоистая архитектура – клиент-серверный тип архитектуры, в котором разделяются функции представления, обработки и хранения данных. Клиентская часть приложения BPsim.MAS Web отвечает за взаимодействие с пользователем через графический интерфейс, сервер обрабатывает бизнес-логику и координирует работу системы, а база данных обеспечивает хранение информации о моделях и результатов проведенных симуляций.

Основная страница приложения, содержащая панель инструментов, кнопки запуска моделирования, рабочую область, список моделей и общих ресурсов представлена на рис. 3.

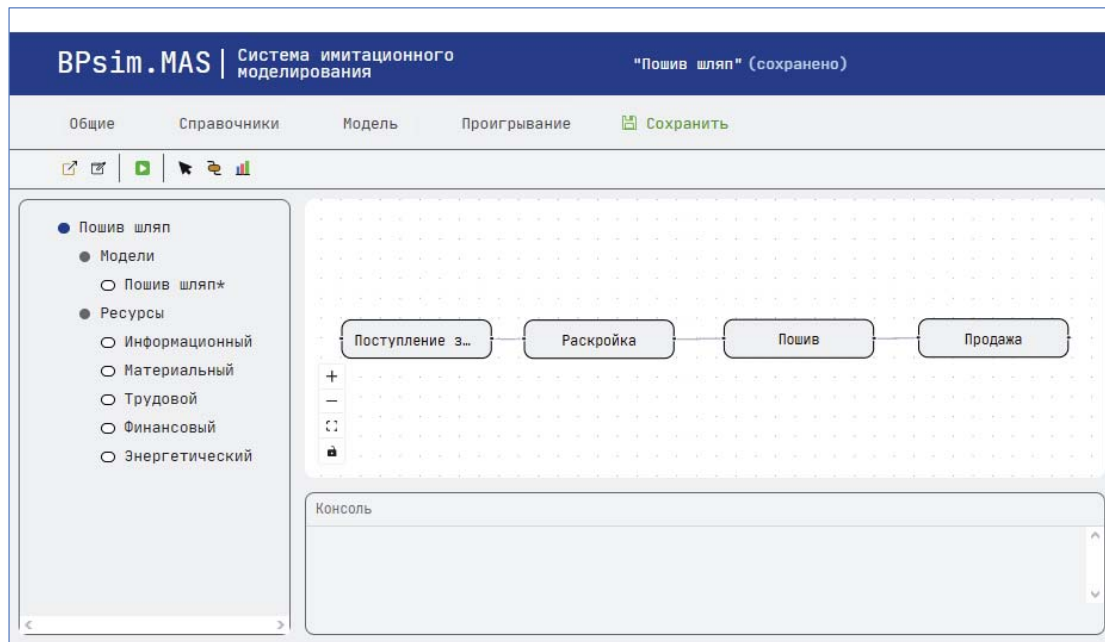


Рис. 3. Основная страница BPsim.MAS Web

Узлы модели, изображенные в виде скругленных прямоугольников, представляют собой операции – этапы описываемого бизнес-процесса. Их можно перемещать по полю рабочей области с помощью левой кнопки мыши, а также удалять или добавлять новые с помощью соответствующей иконки на панели инструментов. Внутри каждого блока модели можно задать время выполнения (в условных единицах) и стоимость текущей операции на вкладке основных свойств узла. На соседней с ней вкладке «Ресурсы» с помощью математических формул описывается изменение ресурсов на входе и выходе блока модели (рис. 4).

Свойства узла

Основное

Ресурсы

Условия запуска / ресурсы на входе

Ресурсы на выходе

	Ресурс	Формула		Ресурс	Формула
00	iRes3	iRes3:=iRes3-1	00	iRes4	iRes4:=iRes4+1
01		+	01		+

Сохранить

Рису. 4. Ресурсы узла

В модели ресурсы для краткости описания представлены в виде системных имен, где префикс означает тип ресурса («i» – информационный ресурс, «f» – финансовый, «m» – материальный, «w» – трудовой, «e» – энергетический). Эти системные имена наряду с номерами ресурсов формируются на стороне сервера (при добавлении нового ресурса в базу данных). При создании ресурса пользователь выбирает его тип, наименование, единицы измерения и текущее, максимальное и минимальное значение ресурса (рис. 5).

Рис. 5. Окно создания ресурса

При этом в рамках одной предметной области все названия ресурсов должны быть уникальными; благодаря валидации наименований объектов на стороне сервера система не позволит создать два одинаковых ресурса.

Модель «Работа цеха по пошиву шляп»

Рассмотрим в качестве примера модель работы цеха по пошиву шляп. Данная модель используется для освоения базового функционала среды моделирования. В рамках данного процесса представлены операции поступления заказа на пошив, раскройка и пошив. Задействованы ресурсы: количество сшитых шляп, количество заказов, очередь на раскройку, очередь на пошив, степень удовлетворенности клиентов, прибыль. Список ресурсов на боковой панели интерфейса BPsim.MAS Web с разделением по типам вместе с блоками модели представлен на рис. 6.

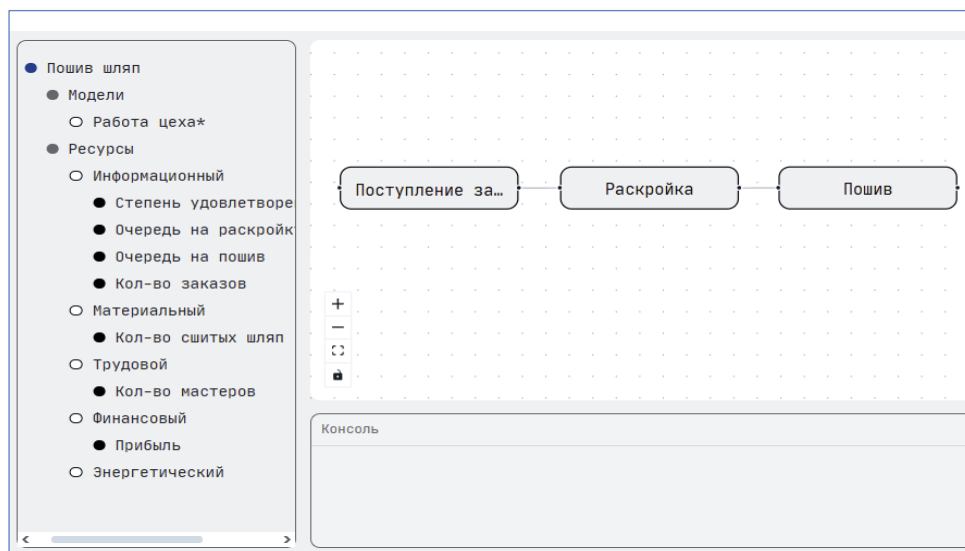


Рис. 6. Ресурсы и блоки модели «Работа цеха по пошиву шляп»

Внутри блоков модели определен набор формул, описывающих преобразование ресурсов на входе в конечный продукт на выходе. В качестве примера рассмотрим узел «Пошив». На входе узла очередь на пошив шляпы уменьшается на единицу (системное имя ресурса – $iRes4$):

$$iRes4 := iRes4 - 1. \quad (1)$$

На выходе узла совершаются следующие действия:

- увеличивается количество сшитых шляп (системное имя mRes1):

$$mRes1 := mRes1 + 1; \quad (2)$$

- производится окончательный расчет прибыли (системное имя fRes6):

$$fRes6 := fRes6 + 250; \quad (3)$$

- определяется степень удовлетворенности клиентов, которая вычисляется как отношение количества сшитых шляп (mRes1) к количеству поступивших заказов (iRes2):

$$iRes5 := mRes1 / iRes2. \quad (4)$$

Пример введенных формул (1–4) для ресурсов на входе и выходе узла «Пошив» представлен на рис. 7.

Условия запуска / ресурсы на входе		Ресурсы на выходе	
	Ресурс		Формула
00	iRes4		iRes4:=iRes4-1
01			+
00	mRes1		mRes1:=mRes1+1
01	fRes6		fRes6:=fRes6+250
02	iRes5		iRes5:=mRes1/iRes2
03			+

Рисунок 7 – Ресурсы узла «Пошив»

На случай, если пользователь допустил ошибку в математическом выражении, в приложении внедрен механизм двухфакторной проверки формул: на стороне клиента и сервера. В клиентской части BPsim.MAS Web была реализована валидация количества вводимых символов, наличия пар «открывающая скобка-закрывающая скобка» и описан перечень недопустимых знаков (примеры представлены на рис. 8).

Рис. 8. Пример валидации формулы на стороне клиента

В случае успешного прохождения проверки синтаксиса формулы данные сохраняются на сервер, где по ходу имитационного эксперимента происходит второй этап валидации: перед изменением ресурса на входе или выходе программа проверяет наличие описанных в выражении системных имен в базе данных.

Если ресурсы с таким именем обнаруживаются, то вычисляется математическое выражение, в котором они были указаны. Если же ресурс или ресурсы с данным системным именем отсутствуют, то в текст отчета по эксперименту добавляется строка с сообщением об ошибке, указанием некорректного системного имени ресурса и формулой, в которой была обнаружена неточность.

При этом алгоритм имитационного моделирования не выполняет никаких действий над ресурсом с ошибочной формулой и переходит к следующему этапу.

Пример отчета по моделированию работы цеха по пошиву шляп с опечаткой в системном имени ресурса на этапе «Раскройка» представлен на рис. 9.

```

Консоль
Раскройка - начало в 80
ОШИБКА! Ресурс 'iRes12' не опознан в формуле iRes1:=iRes12-1
Выполняется операция +1 над ресурсом iRes2 'Очередь на пошив'...
Текущее значение ресурса Очередь на пошив: 0.0
Новое значение ресурса Очередь на пошив: 1.0
  
```

Рис. 9. Текст ошибки в консоли

Наличие валидации формул со стороны сервера предотвращает сбои алгоритма ИМ и благодаря информированию пользователя о конкретном ресурсе, формуле и этапе моделирования, в котором была допущена ошибка, позволяет своевременно определить проблему и принять меры по ее устранению, тем самым ускоряя процесс отладки модели по сравнению с предыдущей десктопной версией BPsim.MAS.

Далее после описания формул внутри блоков функционал приложения позволяет добавить на рабочую область диаграмму для отображения динамики изменения ресурсов модели в процессе симуляции (рис. 10).

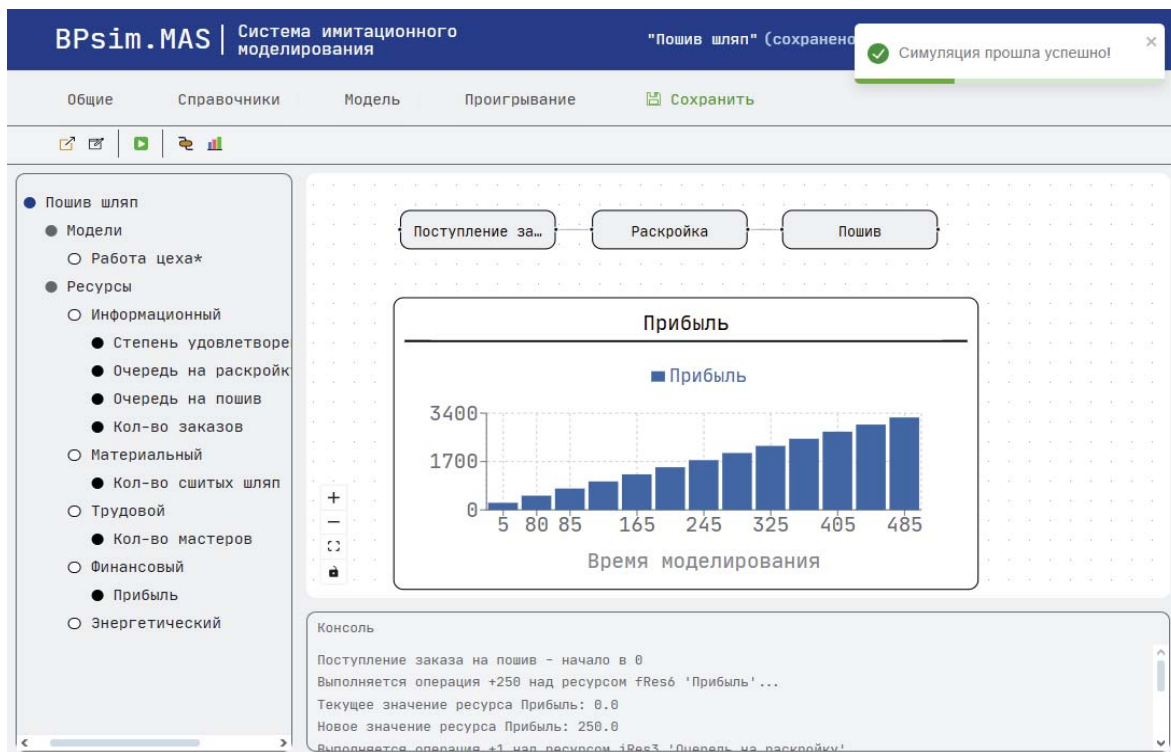


Рис. 10. Результаты эксперимента на диаграмме

Затем запускается имитационный эксперимент, длительность которого благодаря использованию методов библиотеки SimPy виртуального (а не реального) времени, занимает менее секунды (режим «as fast as possible» – чем быстрее, тем лучше). По результатам эксперимента по оси O_x на диаграмме отображается время моделирования (в условных единицах модельного времени), а по оси O_y — соответствующие значения ресурса «Прибыль» (см. рис. 10).

При этом в консоли (в нижней части экрана) отобразится текстовый отчет по каждой выполненной операции в течение эксперимента. Альтернативная форма отчета, представленная в виде таблиц формата Comma-Separated Values (.csv) и Microsoft Excel

(.xlsx), доступна для загрузки на локальное устройство. В таблице файла статистики содержится столбец с данными о времени изменения каждого ресурса, а также столбцы всех ресурсов, используемых в модели (рис. 11).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Время имитации	Кол-во заказов	Очередь на раскройку	Очередь на пошив	З/п сотрудников	Кол-во сшитых шляп	Прибыль
2	t	mRes3	iRes1	iRes2	fRes1	mRes2	fRes2
3	0	1	0	0	500	0	0
4	0	1	1	0	500	0	0
5	0	1	0	0	500	0	0
6	20	1	0	1	500	0	0
7	70	1	0	1	500	1	0
8	90	1	0	1	500	1	500
9	90	0	0	1	500	1	500
10	90	1	0	1	500	1	500
11	90	1	1	1	500	1	500
12	90	1	0	1	500	1	500
13	110	1	0	2	500	1	500

Рис. 11. Файл статистики

Запись данных в файлы производится исходя из эталонного документа протокола рабочей памяти WorkMem.csv, который используется десктопным приложением BPsim.MAS.

Выводы

В ходе исследования средств имитационного моделирования была разработана система динамического моделирования бизнес-процессов BPsim.MAS Web, сохраняющая основной функционал предшествующей десктопной версии BPsim.MAS и ликвидирующая ее узкие места.

Написаны методические указания по проведению лабораторных работ с использованием программного обеспечения BPsim.MAS Web для обучающихся Уральского федерального университета.

Целью дальнейших исследований является внедрение в BPsim.MAS Web агентного моделирования с применением технологий искусственного интеллекта для обучения агентов.

Благодарности

Публикация осуществляется в рамках проекта «Редизайн дисциплины "Интеллектуальные и мультиагентные системы"», реализуемого победителем грантового конкурса для преподавателей 2024/2025 Стипендиальной программы Владимира Потанина.

Литература

1. **Аксенов К. А.** Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2 / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова, О. П. Аксенова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 128 с. – ISBN 978-5-7996-1322-8 (ч. 2). URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30846/1/978-5-7996-1322-8.pdf>.
2. AnyLogic : офиц. сайт – URL: https://www.anylogic.ru/?utm_source=soware&utm_medium=organic&utm_campaign=candidate&utm_term=anylogic&utm_content=product-info (дата обращения 05.09.25).
3. Статья «О Alina GPSS» : офиц. сайт – URL: http://elina-computer.ru/static/about_gpss_studio.html (дата обращения 09.09.2025).
4. Insight Maker : офиц. сайт – URL: <https://insightmaker.com> (дата обращения 08.09.2025).
5. БП Симулятор : офиц. сайт – URL: <https://www.BPsimulator.com/ru/#productivity> (дата обращения 03.09.2025).

6. Microsoft Enterprise Library 5.0 : офиц. сайт – URL: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=15104> (дата обращения 02.09.2025).
7. **Аксенов, К.А., Антонова А.С.** Применение автоматизированной системы выпуска металлургической продукции для анализа логистических процессов // Девятая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019), 16-18 октября, Екатеринбург, УрФУ, С. 58-69.
8. Статья «Разработчикам на заметку: какие языки программирования популярны в 2024-2025 году»: сайт – URL: <https://productstar.ru/blog/kakie-yazyki-programmirovaniya-populyarny-v-2024-godu> (дата обращения 28.08.2025).
9. Статья «Top 10 Programming Languages For 2025»: сайт – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/top-programming-languages-of-the-future-2025/> (дата обращения 28.08.2025).
10. Статья «Популярные языки программирования в 2025 году» : сайт – URL: <https://blog.skillfactory.ru/samye-populyarnye-yazyki-programmirovaniya-2024/> (дата обращения 27.08.2025).
11. Документация SimPy : офиц. сайт – URL: <https://simpy.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 01.09.2025).
12. Статья «PostgreSQL» : сайт – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/postgresql/> (дата обращения 01.09.2025).