

УДК 004.94

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ДОСТАВКИ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ НАПИТКОВ И БУТИЛИРОВАННОЙ ВОДЫ

Казаков Д.А., Аксенов К. А., Аксенова Е.К. (Екатеринбург)

Введение

Имитационное моделирование достигло больших успехов в мире информационных технологий. Интерес к этому виду компьютерного моделирования напрямую связан с передовым технологическим развитием имитационных систем, которые сегодня представляют собой мощные инструменты, позволяющие целостно оценивать результаты моделирования [1].

Моделирование имеет и другие косвенные преимущества. Опираясь на базовые знания по работе предприятия в той или иной сфере, программист может на более ранних этапах процесса проектирования задавать вопросы, которые обычно не рассматриваются до более поздних этапов. Соблюдение сроков проектирования является еще одним преимуществом. Зачастую можно столкнуться с такой ситуацией, когда распределение нагрузки на персонал или логистика по доставке той или иной продукции были спроектированы неправильно, это может привести к задержке запуска и ввода в эксплуатацию предприятия. Если модель тестируется до того, как предприятие вводится в эксплуатацию, это поможет быстрее проверить и исправить все слабые места в работе предприятия.

В области моделирования систем наблюдается гибридизация различных методов: дискретно-событийного [2-3], мультиагентного [4-5], экспертного [6-8], машинного обучения. Гибридные подходы реализованы в таких следующих системах: многоподходной среде моделирования AnyLogic [9-10], системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS [6-7], автоматизированной системе выпуска металлургической продукции [7-8], агентно-ориентированной среде Actor Pilgrim [11-12].

Для того, чтобы понять потенциальный спрос на продукт на рынке и наглядно продемонстрировать существующие преимущества имитационного моделирования, было решено разработать имитационную модель работы завода по производству напитков и бутилированной воды в средстве разработки AnyLogic.

Постановка задачи

Существует завод по производству напитков и бутилированной воды. На данном заводе есть отдел по связям с клиентами, отдел поставок, а также бухгалтерия и склад. В отделе по связям с клиентами работает один менеджер, который принимает заказы от магазинов.

В отделе поставок работает один менеджер, который определяет наличие товаров, формирует списки ожидания и сроки поставки. Также есть водители (15) и грузчики (15), которые доставляют товары. В бухгалтерии работает один бухгалтер, который рассчитывает стоимость заказов клиентов.

В отдел связи приходят заказы на поставку определенного вида товара, определенного количества. Время работы – 10 часов в день, с понедельника по пятницу. Заказы принимаются с интервалом с 8 утра до 2 часов дня ежедневно: 20 ± 10 минут.

На получение и размещение заказа у менеджера уходит 7-10 минут. Затем менеджер по заказам передает заказ менеджеру по поставкам, который запрашивает

информацию со склада и на основании полученной информации помещает заказ в очередь на доставку, что занимает 2-5 минут на один заказ. После этого информация о заказе передается в бухгалтерию, где рассчитывается стоимость заказа, что занимает 15 ± 5 минут. В конце дня менеджер по закупкам составляет план доставки заказов на следующий день, на это затрачивается 60 ± 15 минут. Затем вся информация передается менеджеру по заказам клиентов, который сообщает каждому клиенту дату доставки и стоимость заказа, что занимает 100 ± 5 минут.

На следующий день все заказы доставляются в соответствии с графиком доставки. Загрузка грузовика и ввод данных в базу данных занимает 60 ± 10 минут. 70 ± 10 минут между пунктами, 35 ± 5 минут на выгрузку товаров и 11 ± 4 минуты на проверку товара и получение денег от клиента.

В конце дня товар доставляется и передается отчет в бухгалтерию в течение 30 ± 10 минут.

Каждая упаковка содержит 12 единиц продукции, грузовики загружены 200 упаковками. Грузовики проезжают 125 ± 25 км в день. Цена бензина составляет 47 рублей за литр. Расход бензина составляет 0,30 л/км.

Необходимо смоделировать: процессы принятия и обработки заказов, логистический процесс. Оценить: доходы, включая затраты; требуемое количество персонала, количество выполненных поставок и объем заказанной продукции.

На рисунке 1 показана имитационная модель службы доставки завода по производству напитков и бутилированной воды, созданная в среде имитационного моделирования AnyLogic.

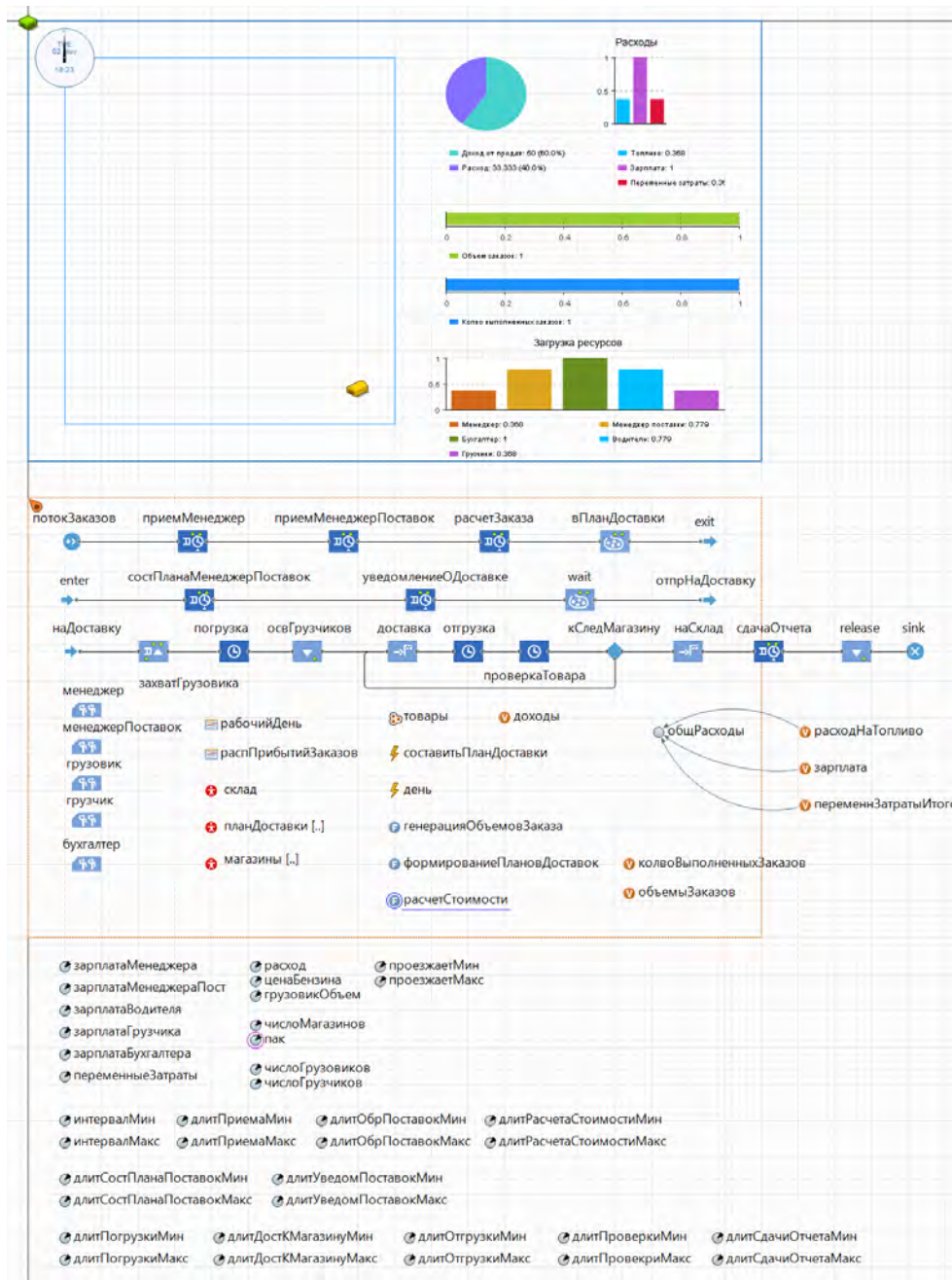


Рис. 1. Внешний вид имитационной модели, созданной в AnyLogic

Первичные результаты моделирования

Для демонстрации работы имитационной модели было выбрано количество ресурсов на основе реальных данных о количестве персонала, работающего на предприятии:

- менеджер, 1;
- менеджер по поставкам, 1;
- бухгалтер, 1;
- грузчики, 15;
- водители грузовиков, 15.

При заданных параметрах было проведено 3 варианта моделирования системы: в течение 2 дней, недели и месяца. В ходе имитационных экспериментов разработанная

система показала следующие результаты моделирования, приведённые в таблице 1. Для оценки загрузки ресурсов или узлов можно использовать операционный анализ вероятностных сетей. Узкое место создается узлом или ресурсом, у которого коэффициент загрузки U_k приближается к единице; если U_k приближается к нулю – то наблюдается «недозагрузка»; узкие места в сети определяют время пребывания в сети:

$$U_k = \frac{B_k}{T}, \quad (1)$$

где U_k – коэффициент использования узла; $B_k (k = \overline{1, K})$ – общее время обслуживания требований узлом (ресурсом) k ; T – общее время наблюдения за системой или время (интервал) моделирования (наблюдения).

Таблица 1. Результаты моделирования

Параметр	Результат №1	Результат №2	Результат №3
Интервал моделирования	2 дня	неделя	месяц
1. Объем заказов, тыс. ед. продукции	1.146	5.406	31.459
2. Количество выполненных поставок в магазины	17	89	515
3. U_k ресурсов:			
3.1 менеджер	0,41	0,40	0,47
3.2 менеджер поставки	0,21	0,20	0,24
3.3 бухгалтер	0,56	0,71	0,79
3.4 водители грузовиков	0,26	0,44	0,61
3.5 грузчики	0,03	0,04	0,05

По результатам анализа таблицы 1 можно сделать вывод о том, что объем продаж с течением времени увеличивается, наряду с этим растут такие параметры, как общий объем заказов и количество выполненных поставок в магазины.

В целом распределение нагрузки на персонал можно охарактеризовать как приемлемое, однако большой коэффициент нагрузки приходится на бухгалтера.

С другой стороны, загруженность грузчиков, наоборот, является сравнительно небольшой. В отдельных случаях некоторые грузчики просто не используются по причине меньшего применения грузовиков в обороте.

Результаты экспериментов с варьированием параметров

Исходя из вышесказанного, проведем эксперименты и оценим несколько вариантов работы имитационной модели (за месяц) путем изменения значений таких параметров, как количество менеджеров (М), менеджеров по поставкам (МП), бухгалтеров (Б), грузчиков (Г) и водителей грузовиков (В). В таблице 2 приведены измененные параметры для экспериментов.

Таблица 2. Измененные параметры для экспериментов

Параметр	М	МП	Б	Г	В	Объем заказов, тыс. ед. прод.	Кол-во выпол. поставок
Эксперимент	2	3	4	5	6	7	8
№1	2	1	1	15	15	31.613	519
№2	3	1	1	15	15	31.589	518
№3	4	1	1	15	15	31.512	516
№4	5	1	1	15	15	31.595	518
№5	2	2	1	15	15	31.733	522
№6	2	3	1	15	15	31.706	522

№7	2	4	1	15	15	31.695	521
№8	2	5	1	15	15	31.645	520
№9	2	2	2	15	15	31.819	524
№10	2	2	3	15	15	31.795	523
№11	2	2	4	15	15	31.735	522
№12	2	2	5	15	15	31.702	521
№13	2	2	2	12	15	31.822	524
№14	2	2	2	9	15	31.804	523
№15	2	2	2	6	15	31.950	526
№16	2	2	2	3	15	28.876	513
№17	2	2	2	6	12	32.054	530
№18	2	2	2	6	9	32.140	532
№19	2	2	2	6	6	23.182	464
№20	2	2	2	6	3	16.056	427

Из анализа результатов, приведенных в таблице 2, можно сделать вывод о том, что, варьируя параметры, определяющие численность персонала, удалось найти соотношение ресурсов, при котором предприятие будет работать более эффективно. Разберем несколько наиболее перспективных конфигураций подробнее:

В экспериментах № 1, 5 и 9 путем последовательного увеличения (на единицу) количества таких ресурсов, как «менеджер», «менеджер по поставкам» и «бухгалтер», получилось в несколько раз уменьшить показатель их загруженности и увеличить количество выполненных заказов.

В экспериментах № 15 и 18 путем последовательного уменьшения (на три единицы) ресурсов «грузчики» и «водители грузовиков» получилось повысить эффективность их использования в режиме работы предприятия.

Дополнительно были проведены эксперименты по выявлению требуемого количества грузовиков в обороте для проверки того, действительно ли найденное значение является эффективным. Стоит отметить, что для детального анализа последующих экспериментов было решено добавить несколько новых параметров, в числе которых доход от продаж, расход, загрузка ресурсов и количество принятых заказов. В таблице 3 приведены результаты экспериментов за месяц, определяющие оптимальное количество грузовиков.

Таблица 3. Результаты, определяющие количество грузовиков

Кол-во грузовиков / эксп.	15 / №15	12 / №17	11 / №21	10 / №22	9 / №18	8 / №23	7 / №24	6 / №19
Параметр								
Объем заказов, ед.	31.950	32.054	32.702	32.567	32.140	23.652	22.480	23.182
Доход от продаж, млн. руб.	44.842	45.012	46.560	46.295	46.203	42.193	38.755	36.639
Расход, млн. руб.	3.445	3.412	3.367	3.269	3.021	2.872	2.755	2.639
U_k ресурса	0,51	0,54	0,55	0,56	0,57	0,74	0,83	0,95
Кол-во выполненных поставок	526	530	537	535	532	505	482	464
Кол-во принятых заказов	547	546	545	547	546	543	543	545

По результатам из таблицы 3 можно сделать вывод о том, что эксперимент № 21 является самым эффективным в смысле выбора требуемого количества грузовиков, при котором загруженность ресурса осталась примерно на том же уровне.

Для иллюстрации эффективности предложенного изменения конфигурации системы был проведен анализ по сравнению характеристик результата симуляции № 3 (с исходными данными) и результата эксперимента № 21 (с измененными данными). В таблице 4 представлены сравнительные характеристики результатов.

Таблица 4. Сравнительные характеристики результатов

Параметр	Результат №3	Эксперимент №21
Интервал моделирования	месяц	месяц
1. Объем продаж, %	92	93
2. Расход, %	8	7
3. Объем заказов, тыс. ед. продукции	31.459	32.702
4. Количество выполненных поставок в магазины	515	537
5. U_k ресурсов:		
5.1 менеджер	0,47	0,24
5.2 менеджер поставки	0,24	0,12
5.3 бухгалтер	0,79	0,41
5.4 водители грузовиков	0,61	0,55
5.5 грузчики	0,05	0,16

Таким образом, по результатам таблицы 4 можно сделать вывод о том, что объем продаж предприятия увеличился на 1% (1 860 000 руб.), расход уменьшился на 1% (430 000 руб.). Объем заказов теперь составляет 32 702 ед. продукции, что на 1243 ед. продукции больше, а количество выполненных поставок в магазины – 537, что на 22 поставки больше, чем в результате эксперимента №3 (со сходными данными).

Выводы

Разработанная модель включает в себя такие процессы, как принятие заказа, его обработка и доставка. Для демонстрации всех действующих процессов была создана анимация модели. По результатам трех предварительных экспериментов была поставлена задача устранения несбалансированности загрузки ресурсов различного вида. Были проведены дополнительные эксперименты варьирования параметров, по результатам которых удалось найти требуемое количество персонала, решающего поставленные задачи эффективнее.

Литература

1. **Скородумов П.В.** Имитационное моделирование экономических систем: программные средства и направления их совершенствования <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-ekonomicheskikh-sistem-programmnye-sredstva-i-napravleniya-ih-sovershenstvovaniya>
2. Имитационное моделирование: учебник / Н.Б. Кобелев, В.В. Девятков, В.А. Половников. – 2-е изд. – Москва: КУРС, 2022. – 352 с.
3. **Solovyeva I., Sokolov B., Ivanov D.** Analysis of position optimization method applicability in supply chain management problem // Proc. Int. Conf. «Stability and Control Processes» in Memory of V.I. Zubov (SCP), Oct. 2015. – Pp. 498-500.
4. **Wittich V.A., P. Skobelev P.O.** Multi-agent interaction models for the design of the nets of requirements and capabilities in open systems // Autom. and Telem. – 2003. Jan. – Vol. 1. – Pp. 177-185.

5. **Jennings N.R.** Agent-based computing: Promises and Dangers // Proc. of the Inter. Joint Conf. on Artif. Int. IJCAI99, Stockholm, Sweden. – Pp. 1429-1436.
6. **Antonova A.S., Aksyonov K.A., Aksyonova O.P.** An imitation and heuristic method for scheduling with subcontracted resources // Mathematics. – 2021. – 9(17). – 2098; DOI: 10.3390/math9172098 <https://doi.org/10.3390/math9172098>
7. **Antonova A., Aksyonov K., Ziomkovskaya P.** Development of a Method and a Software for Decision-Making, System Modeling and Planning of Business Processes // Succì G., Ciancarini P., Kruglov A. (eds) Frontiers in Software Engineering. ICFSE 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1523. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93135-3_10
8. **Stepanova I.V., Aksyonov K.A., Aksyonova O.P.** Hybrid Simulation-Agent Modeling of Ore Mining and Transportation Process. T.E. Simos & C. Tsitouras (Ред.), International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2020 [130004] (AIP Conference Proceedings; Том 2425). American Institute of Physics Inc. – P. 130004-1 – 130004-4. <https://doi.org/10.1063/5.0081473>
9. AnyLogic <https://www.anylogic.ru/>
10. Help. Anylogic Simulation Software <https://help.anylogic.ru>
11. **Емельянов А.А.** Концепция и возможности акторно-ориентированной системы имитационного моделирования «Актор Pilgrim» // Прикладная информатика. – 2013. – № 1 (43). – С. 18-30.
12. **Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В., Емельянова Н.З.** Компьютерная имитация экономических процессов / под ред. А.А. Емельянова. – М.: Маркет ДС, 2010. – 464 с.