

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/42ECVN222.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Безбородникова, Р. М. Построение имитационной модели производственной системы для пивоваренного предприятия / Р. М. Безбородникова // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/42ECVN222.pdf>

For citation:

Bezborodnikova R.M. Building a simulation model of a production system for a brewery. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 42ECVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/42ECVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 004.942

JEL C 15; C 61; C 69

Безбородникова Роза Минуллоевна

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, Россия
Доцент кафедры «Математических методов и моделей в экономике»

Кандидат экономических наук
E-mail: fiz.mme.rosa@rambler.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7787-6188>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=673181

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/ABN-7559-2022>

Построение имитационной модели производственной системы для пивоваренного предприятия

Аннотация. Управление современными производственными системами связано со значительными сложностями, вызванными изменчивостью внешней среды, углублением специализации, ростом объемов хранимой информации и требований к срокам ее обработки. Для предприятий, где загрузка мощностей неравномерна в течение года и зависит в том числе от количества выходных и праздничных дней, когда спрос на их продукцию возрастает, появляются дополнительные сложности, связанные с эффективностью функционирования производственной системы. Кроме того, пандемия, вызванная распространением коронавирусной инфекции, продолжает испытывать на прочность предприятия малого и среднего бизнеса. Особые «стрессовые» условия сложились для пивоваренных предприятий, деятельность которых зависит не только от сезона, но и деятельности основных крупных потребителей в виде предприятий сферы общественного питания, работа которых в последние два года подвергалась ограничениям. В этих условиях одним из наиболее мощных и эффективных методов, зарекомендовавших себя для комплексного изучения деятельности производственных систем и прогнозирования их дальнейшего развития, является метод имитационного моделирования.

Статья посвящена построению имитационной модели для анализа деятельности производственной системы на примере частной пивоварни Bierquelle города Оренбурга. В работе с использованием специальной библиотеки моделирования потоков в среде имитационного моделирования AnyLogic была построена физическая модель процесса пивоварения. Пополнение входных потоков (воды, солода, хмеля и дрожжей), используемых при производстве пива, осуществлялось в соответствии с графиком варок, сформированного на основании спроса на продукцию. Показано, что имеющихся танков для брожения и дображивания пива вполне хватает для удовлетворения спроса. В ходе оптимизационного

эксперимента, проведенного над построенной моделью, доказано, что имеющийся объем производства пива можно достичь при сокращении количества танков брожения до семи. Другой эксперимент, проведенный с использованием построенной модели, позволил определить, сколько будет сварено пива при различных комбинациях количества танков брожения и дображивания.

Построенная имитационная модель производственной системы позволит руководству пивоварни четче планировать объемы производства пива в соответствии с заданным уровнем спроса на пиво, контролировать загруженность бродильных чанов и быстрее принимать плановые решения в случае изменения спроса на продукцию, в том числе по закупке бродильных танков и танков дображивания.

Ключевые слова: пивоварение; моделирование потоков; производственная система; оптимизационный эксперимент; загруженность оборудования

Введение

Изменение экономической ситуации, вызванное всемирным распространением коронавирусной инфекции, оказало влияние на все отрасли российской экономики. Наиболее пострадали предприятия малого и среднего бизнеса, связанные со сферой услуг, питанием, обслуживанием. В их число попали и пивоваренные компании, понесшие значительные убытки в связи с закрытием баров, кафе и ресторанов, ограничений, вводимых в шашлычный сезон.

В подобных условиях для поддержания конкурентоспособности организации должного уровня объемов продаж, обеспечения качества производимых товаров и услуг, разнообразия ассортимента предприятиям малого и среднего бизнеса необходимы математически обоснованные рекомендации по производству продукции, учитывающие специфику деятельности предприятия и возможное резкое изменение спроса на продукцию в том числе в результате введения ограничений, связанных с пандемией «COVID-19».

Существуют много различных методов, предназначенных для моделирования производства, основная цель которых как правило связана с максимизацией финансового результата и рациональным распределением имеющихся ресурсов предприятия. Однако современные рыночные условия требуют значительного повышения степени адаптивности этих методов к входной информации, к скорости ее обработки. В частности, для предприятий пивоваренной промышленности при производстве необходимо решать вопросы, связанные с закупкой требуемого количества бродильных чанов с учетом загруженности оборудования в период эксплуатации в условиях неравномерного спроса на продукцию. Поэтому эффективное управление производственными системами без использования принципов экономико-математического моделирования и современных информационных технологий становится невозможным.

Моделированию производственных систем с помощью производственных функций посвящены работы Н. Поляковой [1], О. Таранухи [2], Г. Хацкевич [3] и др. Но в реальности очень трудно предсказать поведение производственной системы на основании формализованных описаний, что делает результаты строгих математических расчетов малоэффективными для решения поставленных задач [4].

Имеются также исследования, описывающие производство как процесс, на вход которого подаются ресурсы, а на выходе имеем готовую продукцию запланированной номенклатуры и объема, основные зависимости в которых представлены динамическими моделями. Среди них можно отметить работы авторов А. Мищенко [5], О. Кондратьева [6], Г. Исхакову [7] и др. Однако применение этого подхода состоит в сложности описаний влияний плохо формализуемых компонентов на эффективность производства (к примеру, опыт и профессионализм рабочих, неопределенность производственных ситуаций).

Вопросы управления производственными системами с применением имитационного моделирования рассмотрены в работах авторов В. Макарова [8], Т. Строителевой [9], А. Свистуновой [10], Р. Салаева [11], А. Сочнева [12], С. Журавлева [13]. Конкретные примеры использования метода имеются в работах А. Раменской [14], О. Ярковой [15], Р. Grznar [16], Y. Zhang [17], M. Krynke [18], A. Talavirya [19], M. Volokha [20] и др. Однако постоянно повышающийся интерес к моделированию производственных систем с учетом практических особенностей конкретных производственных процессов, узкая специализация современного производства, повышение уровня автоматизации и интеллектуальности механизмов управления, рост требований адаптивности производственных систем к внешней экономической среде по-прежнему указывают на актуальность решения задач исследования динамики функционирования производственных систем, прогнозирования ее состояний, оценки последствий принимаемых решений, а также проверки эффективности алгоритмов и моделей поддержки принятия решений при управлении производством методом имитационного моделирования [21].

Таким образом, целью исследования, являлось построение имитационной модели для анализа деятельности производственной системы.

В рамках исследования решены следующие задачи: дана характеристика деятельности производственной системы, построена физическая модель процесса производства, исследована загруженность используемого оборудования для разных времен года, осуществлен оптимизационный эксперимент варьирования параметров модели.

Методы исследования и проектирование имитационной модели производственной системы

На сегодняшний день одним из самых мощных и наиболее эффективных методов исследования производственных систем является метод имитационного моделирования. В условиях изменчивости внешней среды, углубления специализации, роста объемов хранимой информации и требований к срокам ее обработки, проведение имитационных экспериментов является порой единственным доступным средством получения информации о поведении системы, позволяющим руководству в дальнейшем принять правильное решение.

Для составления имитационной модели необходимо описать производственную систему в виде отдельных ее элементов, взаимодействующих между собой и с внешней средой. Далее, используя эти элементы и параметры, характеризующие их, можно оценить текущие показатели эффективности функционирования производства и спроектировать наилучший план выпуска на требуемый период. На основании полученных результатов имитационных экспериментов можно спрогнозировать поведение системы, провести анализ чувствительности (изучить влияние параметров системы на ее характеристики), выявить преимущества и недостатки предлагаемых изменений.

Объектом исследования является частная пивоварня Bierquelle, расположенная в г. Оренбург¹. Предмет исследования — процесс пивоварения. Поскольку процесс производства пива связан не с дискретными заявками, а с перетекающими потоками, поэтому для моделирования этого процесса будем использовать специальную библиотеку под названием «Библиотека моделирования потоков» среды имитационного моделирования AnyLogic². В отличие от других аналогичных пакетов имитационного моделирования в AnyLogic реализована возможность моделирования процессов перевозки и хранения сыпучих материалов, жидкостей через трубопроводы и резервуары с учетом характеристик потоков — скорости и пропускной способности.

Построенная имитационная модель позволит находить узкие места, прогнозировать простои как производства так и оборудования, а также оптимизировать операционные процессы. Перед построением модели выдвигаются ряд предположений:

1. для изготовления пива требуются вода, солод, хмель и дрожжи в следующих объемах: 2000 л, 370 кг, 2,5 кг, 20 л. Вкусовые добавки для изготовления различных сортов пива в построенной модели учитываться не будут;
2. затирание солода и фильтрация затора осуществляется в одном и том же заторном чане, время задержки этого процесса задается функцией треугольного распределения со средним значением 4,5 часа;
3. кипячение с хмелем происходит 75 минут в суловарочном котле;
4. перед брожением жидкость отстаивается 30 мин. в вирпуле, вместимость которого 2200 л;
5. для брожения пива используются специальные танки брожения вместимостью 4 т;
6. время задержки жидкости в танке брожения задается функцией треугольного распределения с минимальным значением 4, средним значением 5,5 и максимальным значением 7 часов;
7. для дображивания пива используются специальные танки дображивания вместимостью 6 т;
8. время дображивания молодого пива составляет 21 день;
9. готовое пиво разливается по кегам 50 и 30 л, вероятность выбора той или иной кеги одинакова;
10. в соответствии с имеющимся спросом на продукцию: в осенние и зимние месяцы происходит одна варка в день (под варкой понимаются все последовательные процессы от начала производства до завершения процесса кипячения сусла с хмелем); весной и летом в первый день одна варка, во второй день две;
11. общее количество бродильных баков 12, танков дображивания — 13.

¹Частная пивоварня Bierquelle. — URL: <https://www.bierquelle.ru> (дата обращения: 17.03.2022).

²AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса. —URL: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 17.03.2022).

Результаты исследования

Построенная физическая модель процесса пивоварения представлена на рисунке 1.

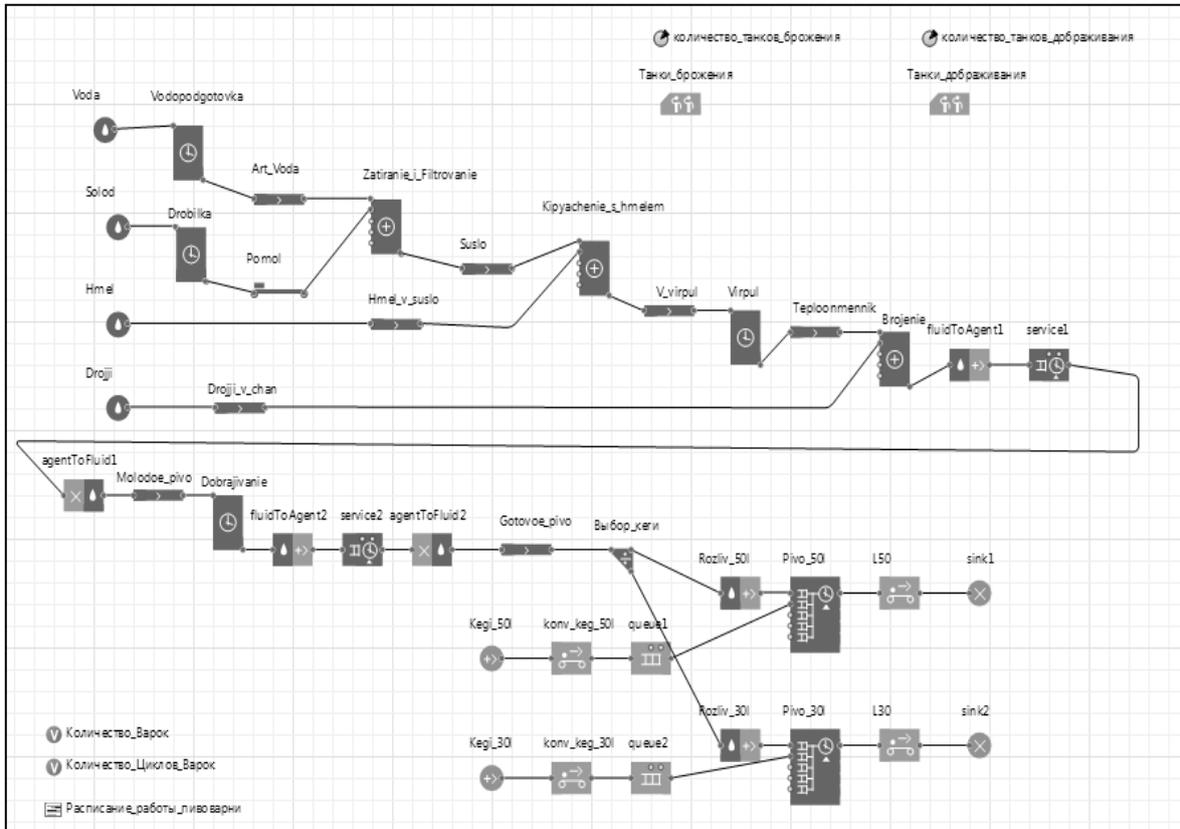


Рисунок 1. Модель процесса пивоварения в среде AnyLogic (разработано автором в среде AnyLogic)

Рассматривалась работа пивоварни в осенние и зимние месяцы. Для этого в модель было добавлено расписание (рис. 2), которое, фактически, определяло расписание интенсивности пополнения входных потоков модели.

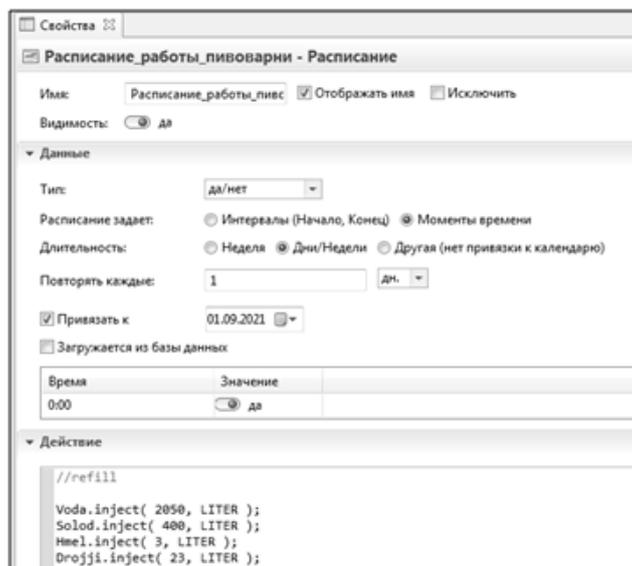


Рисунок 2. Свойства блока «Расписание работы пивоварни» (разработано автором в среде AnyLogic)

Количество танков брожения по умолчанию задавалось равным 12, дображивания — 13. Для наглядности эксперимента осуществлялась анимация модели в 2D и 3D (рис. 3).

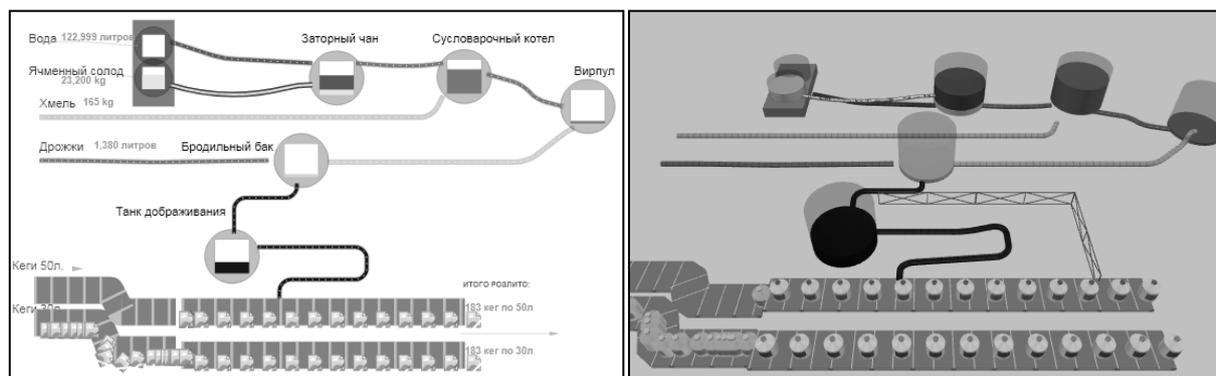


Рисунок 3. Анимация эксперимента в 2D и в 3D (разработано автором в среде AnyLogic)

В результате имитации количество циклов варок составило 25 (рис. 4). Первая порция пива была получена в конце сентября, а вторая, третья и четвертая порции производились последовательно на следующий день. Пятая порция пива была сварена лишь после 21 октября, а последующие на следующий день. Общее число варок составило 65. Что касается загруженности танков можно заключить, что в производственном процессе загруженность танков брожения не превышала 50 %, а танков дображивания 75 %, то есть имеющихся танков вполне хватает во время работы пивоварни в осенние и зимние месяцы.

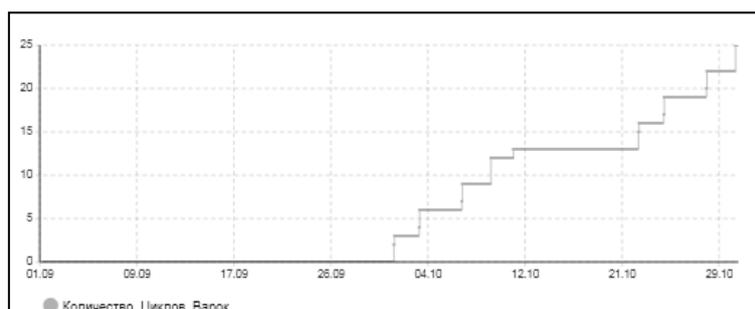


Рисунок 4. Изменение количества циклов варок в осенние и зимние месяцы (разработано автором в среде AnyLogic)

Учитывая неравномерный спрос на продукцию предприятия в летний и зимний периоды, процесс производства рассмотрен для разных расписаний. Весной и летом пивоваренным предприятием в первый день осуществляется одна варка, во второй день — две. Чтобы учесть это, в модель было «включено» еще одно расписание, добавляющее одну варку во второй день. Оба расписания в модели работают одновременно.

Результаты работы модели для этих времен года следующие: загруженность танков брожения и дображивания весной и летом возрастает до значений 77 % и 81 % соответственно, общее число варок составляет 74, циклов варок 26.

Исследуем, возможно ли увеличение количества циклов варок при уменьшении суммарного количества всех танков. Для этого создадим эксперимент (рис. 5), минимизирующий сумму количества танков брожения и дображивания с ограничением числа циклов варок не менее 26.

Optimization - Оптимизационный эксперимент

Имя: Optimization Исключить

Агент верхнего уровня: Main

Целевая функция: минимизировать максимизировать

root. количество_танков_брожения+root. количество_танков_дображивания

Количество итераций: 500

Автоматическая остановка

Максимальный размер памяти: 512 M6

Создать интерфейс

Параметры

Модельное время

Ограничения

Ограничения, накладываемые на параметры (проверяются перед запуском):

Вкл.	Выражение	Тип	Гран...

Требования

Требования (проверяются после "прогона" для определения того, допустимо ли найденно

Вкл.	Выражение	Тип	Гран...
<input checked="" type="checkbox"/>	root.Количество_Циклов_Варок	>=	26.0

Рисунок 5. Оптимизационный эксперимент (разработано автором в среде AnyLogic)

Получим следующие результаты: для того, чтобы 26 раз сварить пиво достаточно иметь в арсенале всего 7 танков брожения, при этом все 13 танков дображивания будут использованы.

Исследуем, как будет изменяться количество циклов варок при разных комбинациях танков брожения и дображивания. Для этого был создан эксперимент варьирования параметров, в котором количество танков изменялось с шагом 1. В результате оптимизационного эксперимента, был осуществлен перебор параметров модели за 156 итераций. Максимальное количество циклов варок 26 может быть достигнуто при использовании танков брожения более 7 и танков дображивания в количестве 13.

Заключение

В целом на основе построенной имитационной модели работы пивоварни можно заключить, что из имеющихся на данный момент танков брожения для производства достаточно использовать 7, следовательно 5 простаивают. При увеличении спроса на продукцию необходимо производить дополнительную закупку танков дображивания.

Таким образом, разработанная имитационная модель производственной системы пивоваренного предприятия позволяет сформулировать следующий механизм принятия управленческих решений, который включает следующие этапы:

- в зависимости от прогнозируемого уровня спроса на продукцию задать график интенсивностей пополнения входных ресурсов модели;
- с учетом имеющегося количества бродильных чанов построить план-график количества циклов варок и рассчитать их среднюю загрузженность;

- исследовать, имеется ли возможность сократить количество танков брожения и дображивания при достигнутом плане количества циклов варок путем решения оптимизационной задачи;
- в случае недостатка количества бродильных чанов в периоды повышенного спроса на продукцию или при их высокой загруженности исследовать какое минимальное количество танков брожения и дображивания необходимо закупить дополнительно для полного удовлетворения спроса.

Рассмотренный подход к исследованию производственной системы на основе имитационного моделирования позволяет воспроизводить процесс пивоварения во времени и может быть полезно руководителям пивоваренных компаний, а также специалистам в области имитационного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полякова Н.В. Экономико-математическое моделирование производственных систем // Форум. Серия: Гуманитарные и экономические науки. — 2015. — № 3(6). — С. 152–158.
2. Тарануха О.Б., Библия Г.Н. Математическое моделирование процесса оптимизации параметров производственных систем // Вестник научных конференций. — 2016. — № 12–1(16). — С. 108–111.
3. Хацкевич Г.А., Проневич А.Ф. О моделировании производственных систем на основе производственных функций с заданными факторными эластичностями // Стратегические направления социально-экономического и финансового обеспечения развития национальной экономики: Материалы II Международной научно-практической конференции, Минск, 27–28 сентября 2018 года / Под редакцией В.В. Пузикова. — Минск: ИООО "Право и экономика", 2018. — С. 291–294.
4. Полюдова Г.Р. Управление производственной системой с использованием нечеткой логики // Новая наука: Проблемы и перспективы. — 2016. — № 6–2(85). — С. 222–224.
5. Мищенко А.В., Пилюгина А.В. Динамические модели управления научно-производственными системами // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. — 2019. — № 2(125). — С. 56–75. — DOI 10.18698/0236-3933-2019-2-56-75.
6. Информационная модель состояния и динамики качества сервиса поддержки автоматизированных производственных систем и систем управления предприятием / О.В. Кодратьева [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. — 2019. — № 11(101). — С. 70–72.
7. Исхакова Г.М. Обоснование выбора показателей как инструментов системы производственного контроллинга на предприятии // Казанский экономический вестник. — 2016. — № 6(26). — С. 33–43.
8. Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics (2021) V.L. Makarov[et al.]. Business Informatics. — 2021. Vol. 15. No 2. pp. 7–20. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.7.20. (In Eng.).

9. Stroiteleva, T.G., Vukovich, G.G. (2015) Mathematical modeling of workflows in production systems. *Modern Applied Science*. Vol. 9. No 3. pp. 173–183. — DOI: 10.5539/mas.v9n3p173. (In Eng.).
10. Svistunova, A.S. (2020) Using the AnyLogic software product in modeling the passenger traffic of a railway station. *Computing, Telecommunications and Control*. Vol. 13. No 4. pp. 54–65. DOI: 10.18721/JCSTCS.13405. (In Eng.).
11. Салаев Р.А., Федоров А.А., Салаева А.В. Имитационное моделирование процессов агрегатно-сборочного производства // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2021. — Т. 23. — № 1(99). — С. 60–66. — DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-1-60-66.
12. Сочнев А.Н. Оптимизация сборочного производства на основе имитации сетей Петри // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение*. — 2021. — № 2(135). — С. 133–146. — DOI 10.18698/0236-3933-2021-2-133-146.
13. Журавлев С.С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем / С.С. Журавлев // *Проблемы информатики*. — 2009. — № 3(4). — С. 47–53.
14. Раменская А.В., Туктамышева Л.М. Имитационное моделирование деятельности печатного салона // *Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности: Труды конференции, Екатеринбург, 16–18 октября 2019 года*. — Екатеринбург: Издательство Уральского государственного педагогического университета, 2019. — С. 504–508.
15. Яркова О.Н. Имитационное моделирование системы обслуживания пассажиров вылетающих рейсов на примере аэропорта "Оренбург" // *Прикладная информатика*, 2016. — Т. 11, № 4(64). — С. 103–114.
16. Dynamic simulation tool for planning and optimisation of supply process (2021) P. Grznar [et al.]. *International Journal of Simulation Modeling*. Vol. 20. No 3. pp. 441–452. DOI: 10.2507/IJSIMM20-3-552. (In Eng.).
17. Energy system optimization model for tissue papermaking process (2021) Y. Zhang [et al.]. *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 146. pp. 107220. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.107220. (In Eng.).
18. Krynke, M. (2021) Management optimizing the costs and duration time of the process in the production system. *Production Engineering Archives*. Vol. 27. No 3. pp. 163–170. DOI: 10.30657/pea.2021.27.21. (In Eng.).
19. Talavirya, A., Laskin M. (2022) Simulation Modeling During Operation of the Toll Collection Station on the Intercity Toll Road. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 246. pp. 619–627. DOI: 10.1007/978-3-030-81619-3_69. (In Eng.).
20. Volokha, M., Roik M. (2020) Simulation modeling of sugar beet sowing. *Polish Journal of Science*. No 26–1(26). pp. 43–48. (In Eng.).
21. Безбородникова Р.М. Управление производственными системами на основе имитационного моделирования // *Развитие и взаимодействие реального и финансового секторов экономики в условиях цифровой трансформации: материалы Международной научно-практической конференции, Оренбург, 24–25 ноября 2021 года*. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. — С. 531–536.

Bezborodnikova Rosa Minullova

Orenburg State University, Orenburg, Russia

E-mail: fiz.mme.rosa@rambler.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7787-6188>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=673181

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/ABN-7559-2022>

Building a simulation model of a production system for a brewery

Abstract. The management of modern production systems is associated with significant difficulties caused by the variability of the external environment, the deepening of specialization, the growth of the volume of stored information and the requirements for the timing of its processing. For enterprises whose capacity utilization is uneven throughout the year and depends, among other things, on the number of weekends and holidays when demand for their products increases, additional difficulties arise related to the efficiency of the production system. In addition, the pandemic caused by the spread of coronavirus infection continues to test the strength of small and medium-sized businesses. Special "stressful" conditions have developed for breweries, whose activities depend not only on the season, but also on the activities of the main large consumers in the form of catering enterprises, whose work has been subject to restrictions in the last two years. One of the most powerful and effective methods that have proven themselves for a comprehensive study of the activities of production systems and forecasting their further development is the method of simulation modeling in these conditions.

The article is devoted to the construction of a simulation model for analyzing the activity of the production system on the example of a private brewery Bierquelle in Orenburg. In the work, a physical model of the brewing process was constructed using a special flow modeling library in the AnyLogic simulation environment. Replenishment of the input streams (water, malt, hops and yeast) used in the production of beer is carried out in accordance with the brewing schedule formed on the basis of the required demand for products. It was found that the available tanks for fermentation and fermentation of beer are quite enough to meet the demand. During the optimization experiment conducted on the constructed model, it was proved that the same volume of beer production can be achieved by reducing the number of fermentation tanks to seven. Another experiment conducted using the constructed model allows us to determine how much beer will be brewed with various combinations of the number of fermentation and fermentation tanks.

The constructed simulation model of the production system allows the management of the brewery to plan beer production volumes in accordance with a given level of demand for beer, control the workload of fermentation tanks and make planning decisions faster in case of changes in demand for products, including the purchase of fermentation tanks and fermentation tanks.

Keywords: brewing; flow modeling; production system; optimization experiment; equipment utilization

REFERENCES

1. Polyakova, N.V. (2015) Economic and mathematical modeling of production systems. Forum. Series: Humanities and Economic Sciences. No. 3(6), pp. 152–158. (In Russ.).
2. Taranuha, O.B., Biblya, G.N. (2016) Mathematical modeling of the optimization process of parameters of production systems. Bulletin of scientific conferences. No. 12–1(16), pp. 108–111. (In Russ.).
3. Hackedvich, G.A., Pronevich, A.F. (2018) On modeling production systems based on production functions with specified factor elasticities. Strategic directions of socio-economic and financial support for the development of the national economy: Materials of the II International Scientific and Practical Conference, Minsk, September 27–28, 2018. Minsk: IOOO "Law and Economics", pp. 291–294.
4. Polyudova, G.R. (2016) Management of the production system using fuzzy logic. New science: Problems and prospects. No. 6–2 (85), pp. 222–224. (In Russ.).
5. Mishchenko, A.V., Pilyugina, A.V. (2019) Dynamic management models of scientific and production systems. Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrumentation series. No. 2(125), pp. 56–75. (In Russ.).
6. Kondrat'eva, O.V. [et al.] (2019) Information model of the state and dynamics of the quality of service support for automated production systems and enterprise management systems. Science and business: ways of development. No. 11(101), pp. 70–72. (In Russ.).
7. Iskhakova, G.M. (2016) Justification of the choice of indicators as tools of the production controlling system at the enterprise. Kazan Economic Bulletin. No. 6(26), pp. 33–43. (In Russ.).
8. Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics (2021) V.L. Makarov [et al.]. Business Informatics. — 2021. Vol. 15. No 2. pp. 7–20. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.2.7.20. (In Eng.).
9. Stroiteleva, T.G., Vukovich, G.G. (2015) Mathematical modeling of workflows in production systems. Modern Applied Science. Vol. 9. No 3. pp. 173–183. — DOI: 10.5539/mas.v9n3p173. (In Eng.).
10. Svistunova, A.S. (2020) Using the AnyLogic software product in modeling the passenger traffic of a railway station. Computing, Telecommunications and Control. Vol. 13. No 4. pp. 54–65. DOI: 10.18721/JCSTCS.13405. (In Eng.).
11. Salaev, R.A., Fedorov, A.A., Salaeva, A.V. (2021) Simulation modeling of aggregate and assembly production processes. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 23. No. 1(99), pp. 60–66. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-60-66. (In Russ.).
12. Sochnev, A.H. (2021) Optimization of assembly production based on simulation of Petri nets. Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrumentation Series. No. 2(135), pp. 133–146. DOI: 10.18698/0236-3933-2021-2-133-146. (In Russ.).
13. Zhuravlev, C.C. (2009) A brief overview of methods and means of simulation of production systems. Problems of computer science. No. 3(4), pp. 47–53. (In Russ.).

14. Ramenskaya, A.V., Tuktamysheva, L.M. (2019) Simulation modeling of printing salon activity. The Ninth All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its Application in Science and Industry: Proceedings of the Conference, Yekaterinburg, October 16–18, 2019. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State Pedagogical University, pp. 504–508. (In Russ.).
15. Yarkova, O.N. (2016) Simulation modeling of the passenger service system of departing flights on the example of the airport "Orenburg". Applied Informatic]. Vol. 11. No. 4(64), pp. 103–114. (In Russ.).
16. Dynamic simulation tool for planning and optimisation of supply process (2021) P. Grznar [et al.]. International Journal of Simulation Modeling. Vol. 20. No 3. pp. 441–452. DOI: 10.2507/IJSIMM20-3-552. (In Eng.).
17. Energy system optimization model for tissue papermaking process (2021) Y. Zhang [et al.]. Computers & Chemical Engineering. Vol. 146. pp. 107220. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.107220. (In Eng.).
18. Krynke, M. (2021) Management optimizing the costs and duration time of the process in the production system. Production Engineering Archives. Vol. 27. No 3. pp. 163–170. DOI: 10.30657/pea.2021.27.21. (In Eng.).
19. Talavirya, A., Laskin M. (2022) Simulation Modeling During Operation of the Toll Collection Station on the Intercity Toll Road. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 246. pp. 619–627. DOI: 10.1007/978-3-030-81619-3_69. (In Eng.).
20. Volokha, M., Roik M. (2020) Simulation modeling of sugar beet sowing. Polish Journal of Science. No 26–1(26). pp. 43–48. (In Eng.).
21. Bezborodnikova, R.M. (2022) Management of production systems based on simulation modeling. Development and interaction of the real and financial sectors of the economy in the context of digital transformation: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Orenburg, November 24–25, 2021. — Orenburg: Orenburg State University. pp. 531–536. (In Russ.).