DOI:10.58168/NAMSP_18-26
УДК 004.94

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: ВИДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

А.А. Бойко[1], С.А. Евдокимова[1], Т.П. Новикова[1]

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Имитационное моделирование является современным средством исследования сложных систем и процессов. В работе рассматриваются виды имитационного моделирования, приводится обзор областей его применения для решения различных проблем. Показано, что для реализации моделирования применяют программные системы AnyLogic, Arena и другие.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование, AnyLogic, Arena.

SIMULATION MODELING: TYPES AND APPLICATIONS

A.A. Boyko[1], S.A. Evdokimova[1], T.P. Novikova[1]

[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Simulation modeling is a modern tool for studying complex systems and processes. The paper discusses the types of simulation modeling, provides an overview of the areas of its application for solving various problems. It is shown that software systems AnyLogic, Arena and others are used to implement the simulation.

Keywords: simulation modeling, agent-based modeling, discrete event modeling, AnyLogic, Arena.

Моделирование предоставляет исследователю возможность решать многофункциональные задачи быстрее и проще, проводя эксперименты с аналогами

© Бойко А. А., Евдокимова С. А., Новикова Т. П., 2023

реальных объектов, представленных в различных видах [1]. Эффективность проводимого моделирования повышается за счет его применения на стадии проектирования объектов, когда необходимо выбрать подходящий вариант с оптимальными параметрами.

Имитационное моделирование – это средство исследования поведения сложных систем путем создания логико-алгоритмического описания поведения элементов системы и правил их взаимодействия, носящие случайный характер [2]. Имитационное моделирование используется тогда, когда эксперимент на реальном объекте невозможен или дорог.

Различают три вида имитационного моделирования [1]:

– дискретно-событийное моделирование,
– системная динамика,
– агентное моделирование.

При дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий, возникающие в определенный момент времени и меняющие состояния системы. Дискретно-событийное моделирование широко используется для производственных, логистических, медицинских процессов.

Второй вид моделирования – системная динамика. Он представляет собой исследование поведения системы и ее структуры во времени в зависимости от связей между элементами и с окружающей средой. Системная динамики направлена на изучение динамических систем с петлями обратной связи, поведение которых переменчиво и нелинейно.

Агентное моделирование предназначено для исследования децентрализованных систем, поведение которых описывается не единым законом и математической моделью, а определяется поведением индивидуальных агентов. Агент – это некоторая сущность или объект, обладающая активным собственным поведением, принимающая решения по определенным правилам и взаимодействующая с другими объектами. Для создания агентной модели нужно определить набор агентов, составляющих исследуемую систему, их характеристики и задать правила взаимодействия агентов. Агентное имитационное моделирование исследует поведение агентов и влияние их поведения на поведение системы в целом.

Имитационное моделирование широко используется исследователями в различных областях для повышения эффективности рассматриваемых процессов

– разрушение дорожного покрытия [3], сборка готового изделия [4], выбор инвестиционного пакета [5], доставка грузов [6] и другие [7-17].

Ермошин Н.А., Романчиков С.А., Аверьянов Д.А. в работе [3] с помощью имитационного моделирования исследовали риск разрушения дорожного покрытия. Модель учитывает физико-механические показатели качества материалов, стабильность и точность выполненных процессов строительства и ремонта. Риск разрушения автомобильной дороги может возникнуть из-за повышенной интенсивности движения и применяемых материалов. В зависимости от вариантов дорожной конструкции выполняется несколько экспериментов для определения доверительного интервала модуля упругости. Если результаты неудовлетворительные, то меняются исходные параметры дорожного покрытия, и моделирование вновь выполняется. Таким образом, использование имитационного моделирования позволяет обеспечить высококачественное обеспечение процессов строительства и ремонта дорожного покрытия.

Коллектив авторов совместно с Хрусталевой И.Н. имитационное моделирование использовали для повышения эффективности процесса сборки готового изделия [4]. Разработанная модель позволяет анализировать различные варианты технологического процесса и определить оптимальный вариант. В качестве критериев отбора использовались длительность и себестоимость производственного цикла. Проводимые исследования обеспечили повысить эффективность технологического процесса за счет снижения трудоемкости и себестоимости продукции.

Рожко А.И. и Ханова А.А. в работе [6] представили имитационную модель управления транспортно-логистическим проектом по доставке грузов. Перевозимые комплектующие производятся в различных городах и могут перевозиться с разной интенсивностью. Поэтому для повышения эффективности управления транспортными перевозками проведен системный анализ структуры управления. Имитационная модель по доставке оборудования была построена в системе AnyLogic и включает в себя все подпроцессы – от доставки груза на склад до транспортировки и учета движения денежных средств. Имитационное моделирование позволило определить оптимальные маршруты доставки грузов, выявить узкие места, оценить потребность в ресурсах и вычислить стоимость перевозки груза.

Система AnyLogic – программное обеспечение для имитационного моделирования сложных систем и процессов [7]. В AnyLogic имеются развитые графические средства для конструирования моделей различного типа и интерпретации результатов, средства анимации, объектно-ориентированное программирование и др. Инструментальные средства AnyLogic позволяют создавать модели любых бизнес-процессов и оптимизировать их. В AnyLogic можно создавать дискретно-событийные и агентные модели, модели системной динамики. AnyLogic имеет средства интеграции с ГИС-картами, а также набор экспериментов: «Монте-Карло», «Анализ чувствительности» и «Варьирование параметров» и другие [7].

Используя среду AnyLogic, имитационную модель разрабатывали такие авторы, как Терпогосова Т.Т. – модель пассажиропотоков в метро [8], Борисова О.Н., Плахов А.А. занимались оптимизацией транспортных потоков в г. Королев [9], Вдовенко В.В., Анисимова Г.Б. с помощью агентного моделирования исследовали пути распространения инфекции ККГЛ [10].

Система AnyLogic была применена Кулишенко В.В., Меркуловым А.В., Заварукиным А.С., Пуляевым М.Н. для создания модели технологического процесса производства лекарств [11]. Разработанная модель производственной линии позволила детально проанализировать ключевые показатели всех этапов, определить резерв времени для возможности увеличения объемов выпуска лекарственных средств. Проведенное имитационное моделирование направлено на оптимизацию технологического процесса, поиск узких мест.

Еще одной популярной программой с помощью, которой можно производить моделирование процессов является Arena. Данный программный продукт предоставляет пользователям удобный объектно-ориентированный интерфейс для создания и оптимизации моделей процессов и систем[12].

Гусева Е.Н., Чусавитина Г.Н., Повитухин С.А. использовали методы имитационного моделирования для исследования непрерывности деятельности автолизинговой компании [13]. Вначале были построены подмодели основных бизнес-процессов рассматриваемой организации, исследование которых позволило получить характеристики используемых ресурсов, определить проблемные места. Также была исследована модель деятельности организации при возникновении сбоев и нарушения работоспособности используемых средств, анализ которых помог спланировать мероприятия по их исправлению.

Управление транспортными потоками месторождения меди Ефимова И.Ю., Гусева Е.Н., Варфоломеева Т.Н., Повитухин С.А. моделировали в среде Arena [14]. Авторы использовали дискретно-событийное моделирование, результаты которого определили оптимальный вариант перемещения горных пород на месторождении.

Безбородникова Р.М., Раменская А.В. работу [15] посвятили исследованию процесса производства стеклопакетов с помощью дискретно-событийного моделирования. Предложенная модель охватывает поток заявок на продукцию, необходимые ресурсы и вычисляет стоимость производства заказа. Рассматривались два сценария производственного процесса – базовый и негативный, характеризующийся повышением цен на сырье и сокращением заказов. Выходными показателями модели являются: количество готовых изделий, бракованных стеклопакетов, прибыль предприятия, время выполнения заказа. Проведенные исследования позволили спрогнозировать работу предприятия на определенный интервал времени.

Агентное моделирование Бобков С.П., Астраханцева И.А. использовали для моделирования процессов теплопроводности. В статье [16] дано описание методологии разработки предлагаемой имитационной модели процесса микроскопического переноса тепловой энергии. Исследуемый объект представлен как прямоугольная плоскость, заполненная агентами. Авторы отмечают такие преимущества агентного моделирования, как возможность исследования объектов сложной формы границ, легкость перехода между детерминированными и стохастическими описаниями процесса. В качестве недостатка отмечены высокие требования к вычислительным ресурсам.

Таким образом, исследование возможностей имитационного моделирования и опыта применения его для производственных, транспортных и других процессов показало достоинства данного метода, которые заключаются в определении оптимального варианта реализации процесса, расчета его параметров и денежных ресурсов, нахождения узких мест.

Список литературы

1. Евдокимова, С.А. Имитационное моделирование процесса рассмотрения обращений граждан / С.А. Евдокимова, Д.Н. Драгина // Моделирование систем и

процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 15-24. – DOI: 10.12737/article_5c4f196b54f076.49037955.

2. Евдокимова, С.А. Исследование свойств имитационной модели процесса рассмотрения заявлений граждан / С.А. Евдокимова // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2021. – № 2. – С. 143-150.

3. Ермошин, Н.А. Имитационное моделирование риска разрушения дорожных конструкций в межремонтный период / Н.А. Ермошин, С.А. Романчиков, Д.А. Аверьянов // Путевой навигатор. – 2022. – № 50 (76). – С. 30-41.

4. Повышение эффективности технологического процесса сборки на основе имитационного моделирования / И.Н. Хрусталева [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. – № 7 (133). – С. 147-152.

5. Имитационная модель подбора акций при количественном инвестировании / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, У. Гоцуй, А.И. Новиков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 81-84.

6. Рожко А. И., Ханова А. А. Концептуальная структура системы управления транспортно-логистическим проектом на основе имитационного моделирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 1. – С. 60–71. – DOI: 10.24143/2072-9502-2022-1-60-71.

7. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса. – URL: https://www.anylogic.ru/(дата обращения: 04.05.2023).

8. Терпогосова, Т.Т. Исследование пассажиропотоков в транспортно-пересадочном узле / Т.Т. Терпогосова // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 2 (32). – С. 88-96. – DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-88-96.

9. Борисова, О.Н. Среда имитационного моделирования AnyLogic в применении к участку дорожно-транспортной сети г. Королев / О.Н. Борисова, А.А. Плахов // Информационно-технологический вестник. – 2022. – № 1 (31). – С. 45-53.

10. Вдовенко, В.В. Агентное моделирование распространения эпидемии ККГЛ / В.В. Вдовенко, Г.Б. Анисимова // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 85-1. – С. 16-22. – DOI: 10.18411/trnio-05-2022-04.

11. Возможности имитационного моделирования в оптимизации технологического процесса серийного производства лекарственных средств / В.В. Кулишенко, А.В. Меркулов, А.С. Заварукин, М.Н. Пуляев // Современная организация лекарственного обеспечения. – 2022. – Т. 9, № 3. – С. 59-60. – DOI: 10.30809/solo.3.2022.17.

12. Arena Simulation. – URL: https://www.arenasimulation.com/(дата обращения: 04.05.2023).

13. Гусева, Е.Н. Использование методов имитационного моделирования при управлении непрерывностью бизнеса лизинговой компании / Е.Н. Гусева, Г.Н. Чусавитина, С.А. Повитухин // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. 17. – DOI: 10.15862/17INOR120.

14. Управление транспортными потоками медного месторождения с использованием имитационного моделирования на основе программы Арена / И.Ю. Ефимова, Е.Н. Гусева, Т.Н. Варфоломеева, С.А. Повитухин // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 3. – С. 35-40.

15. Безбородникова, Р.М. Имитационная модель производства стеклопакетов / Р.М. Безбородникова, А.В. Раменская // Социальные и экономические системы. – 2022. – № 6-6 (35). – С. 244-260.

16. Бобков, С.П. Применение агентного подхода для моделирования процессов теплопроводности / С.П. Бобков, И.А. Астраханцева // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2022. – № 2. – С. 58-66. – DOI: 10.17588/2072-2672.2022.2.058-066.

References

1. Evdokimova, S.A. Simulation modeling of the process of consideration of citizens' appeals / S.A. Evdokimova, D.N. Dragina // Modeling of systems and processes. - 2018. - T. 11, No. 3. - S. 15-24. – DOI: 10.12737/article_5c4f196b54f076.49037955.

2. Evdokimova, S.A. Study of the properties of the simulation model of the process of considering citizens' applications / S.A. Evdokimova // Proceedings of the North Caucasian branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics. - 2021. - No. 2. - P. 143-150.

3. Ermoshin, N.A. Simulation modeling of the risk of destruction of road structures during the period between repairs / N.A. Ermoshin, S.A. Romanchikov, D.A. Averyanov // Travel navigator. - 2022. - No. 50 (76). - S. 30-41.

4. Improving the efficiency of the assembly process on the basis of simulation modeling / I.N. Khrustaleva [et al.] // Science and business: ways of development. - 2022. - No. 7 (133). - S. 147-152.

5. Simulation model for stock selection in quantitative investment / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, U. Gotsui, A.I. Novikov // Scientific and technical bulletin of the Volga region. - 2023. - No. 3. - P. 81-84.

6. Rozhko A. I., Khanova A. A. Conceptual structure of the transport and logistics project management system based on simulation // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Informatics. - 2022. - No. 1. - P. 60–71. – DOI: 10.24143/2072-9502-2022-1-60-71.

7. AnyLogic: business simulation. – URL: https://www.anylogic.ru/ (date of access: 05/04/2023).

8. Terpogosova, T.T. The study of passenger traffic in the transport hub / T.T. Terpogosova // System analysis and logistics. - 2022. - No. 2 (32). – S. 88-96. – DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-88-96.

9. Borisova, O.N. AnyLogic simulation environment as applied to a section of the road and transport network of the city of Korolev / O.N. Borisov, A.A. Plakhov // Information Technology Bulletin. - 2022. - No. 1 (31). - S. 45-53.

10. Vdovenko, V.V. Agent-based modeling of the spread of the CCHF epidemic / V.V. Vdovenko, G.B. Anisimova // Trends in the development of science and education. - 2022. - No. 85-1. - S. 16-22. – DOI: 10.18411/trnio-05-2022-04.

11. Possibilities of simulation modeling in optimizing the technological process of serial production of medicines / V.V. Kulishenko, A.V. Merkulov, A.S. Zavarukin, M.N. Pulyaev // Modern organization of drug supply. - 2022. - V. 9, No. 3. - S. 59-60. – DOI: 10.30809/solo.3.2022.17.

12. Arena simulation. – URL: https://www.arenasimulation.com/ (date of access: 05/04/2023).

13. Guseva, E.N. The use of simulation methods in the management of business continuity of a leasing company / E.N. Guseva, G.N. Chusavitina, S.A. Povituhin // Waste and resources. – 2020. – V. 7, No. 1. – P. 17. – DOI: 10.15862/17INOR120.

14. Management of transport flows of a copper deposit using simulation modeling based on the Arena program / I.Yu. Efimova, E.N. Guseva, T.N. Varfolomeeva, S.A. Povituhin // Fundamental research. - 2019. - No. 3. - P. 35-40.

15. Bezborodnikova, R.M. Simulation model for the production of glass packages / R.M. Bezborodnikova, A.V. Ramenskaya // Social and economic systems. - 2022. - No. 6-6 (35). - S. 244-260.

16. Bobkov, S.P. Application of the agent approach for modeling the processes of heat conduction / S.P. Bobkov, I.A. Astrakhantsev // Bulletin of the Ivanovo State Power Engineering University. - 2022. - No. 2. - S. 58-66.