

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ FlexSim

Е. В. Лаптева, Ю. С. Лекарева

Оренбургский филиал Российского экономического университета
имени Г. В. Плеханова, Оренбург, Россия

С. С. Уманский

ООО «Джон Дир Русь», Оренбург, Россия

Системы моделирования в современных условиях позволяют выявлять оптимальные пути работы предприятия, изменения заданных параметров без вмешательства в функционирующее производство или до запуска планируемого производства. В статье рассматривается применение имитационного моделирования в сфере сельскохозяйственного машиностроения. Приводится краткое описание возможностей программного средства FlexSim. Функционал этой системы имитационного моделирования позволяет выявлять узкие места, анализировать статистические данные, строить графики и т. д. Описываются имитационные модели производственных процессов на сборочной линии загрузчиков семян, производится анализ полученных результатов, выявляются слабые места производственной линии. Авторами рассмотрены варианты оптимизации, позволяющие наилучшим образом повысить производительность производства, такие как уменьшение количества операторов и введение координаторов. Проведенное исследование показывает важность моделирования и анализа производственных процессов в виртуальной среде для планирования изменений в производстве. Помимо моделирования производственных процессов, программа FlexSim подходит для анализа материальных, финансовых, информационных, кадровых ресурсов, что в конечном счете влияет на принятие управленческих решений и стратегию развития промышленного предприятия.

Ключевые слова: производственная линия, оптимизация, модель, загруженность, участок, производительность, анализ, виртуальная среда, планирование, управленческие решения.

IMITATION MODELING OF PRODUCTION PROCESSES IN FlexSim ENVIRONMENT

Elena V. Lapteva, Yulia S. Lekareva

Orenburg branch of the Plekhanov Russian University of Economics,
Orenburg, Russia

Sergey S. Umansky

John Deere Rus LLC, Orenburg, Russia

Modeling systems in present day life give opportunity to find optimum ways of enterprise functioning and changes in set parameters without interference in production processes or before starting the planned production. The article studies imitation modeling use in agricultural machine-building. Brief description of FlexSim software is provided. Functional features of the system of imitation modeling allow users to identify bottlenecks, analyze statistic data, plot diagrams, etc. Imitation models of production processes on assembly line for seed-loaders are described, obtained results are analyzed and bottlenecks of the production line are identified. The authors study possibilities of optimization, which can raise productivity, for example, cutting the number of operators and introducing coordinators. The present research shows the importance of modeling and analyzing production processes in virtual environment in order to plan changes in production. Apart from modeling production processes, FlexSim program can be used for analyzing material, finance, information, staff resources, which affects managerial decision-making and strategy of industrial enterprise development.

Keywords: production line, optimization, model, capacity, section, productivity, analysis, virtual environment, planning, managerial decision-making.

Современная производственно-экономическая ситуация, характеризующаяся как цифровая, немаловажна без использования систем, моделирующих состояние производства, определяющих его характеристики и находящих пути его оптимизации. Цифровые симуляторы и модели позволяют прогнозировать поведение производственных систем при изменении параметров без вмешательства в функционирующее производство или до запуска планируемого производства. Системы имитационного моделирования имеют функционал широкого спектра, способный принимать новые вводные, вводить и анализировать статистику, строить графики, выявлять узлы производственного процесса, в которых производительность или пропускная способность не соответствуют необходимым параметрам [1; 2]. Указанные возможности имитационных систем позволяют создавать и оценивать различные траектории развития производства. В конечном итоге программное обеспечение, применяемое в имитационном моделировании, необходимо для разработки разнообразных сценариев развития производства (от самых оптимистичных до самых пессимистичных) и для принятия верных управленческих решений [3].

В настоящее время имитационное моделирование, симуляции стали предметом научного изучения. Так, исследуются не только процессы разработки моделей [4], но и возможности использования имитационного моделирования для различных производственно-экономических целей: для выяснения состояния предприятия [5], для минимизации затрат предприятия [6], повышения инновационной активности компании [7]. В работах отмечается широкий спектр применения имитационного моделирования – от отдельных производственных участков, цехов [8] до регионального уровня [9], описываются различные моделируемые хозяйственные процессы: транспортно-логистические [10], производственные, управленческие [11]. Особое

внимание уделяется имитационным моделям, применяемым в различных отраслях экономики: животноводстве [12], деревообрабатывающей промышленности [13], машиностроении [14], авиационной и ракетно-космической отрасли [15], строительстве [16].

Рассмотрим использование программного средства FlexSim в сельскохозяйственном машиностроении. FlexSim – аппаратное средство симуляции процессов в различных производственных сферах¹. Программное обеспечение является мощным и гибким ресурсом для имитации, моделирования, визуализации и прогнозирования систем. Использование FlexSim позволит организациям увеличить выручку, сократить расходы, избавиться от брака и оптимизировать производственные процессы.

Объектом для построения модели была выбрана сборочная линия загрузчиков семян. Целями построения модели являются:

- визуализация движения машины по главной производственной линии и движения материалов с подсборочных участков на главную линию;
- определение степени занятости операторов и рабочих станций, выявление времени простоя и времени ожидания;
- оптимизация занятости операторов для повышения производительности производственной линии.

На рис. 1 представлена модель производственной линии, средняя загруженность которой позволяет выпускать одну единицу техники в день. На данной модели задействовано 9 операторов, что отображает действительное положение дел.

Для расчета показателей производительности рабочих участков и всей линии в целом необходимо задать время выполнения цикла сборки на каждом участке. Подсчет осуществляется с помощью секундомера, после чего все данные вносятся в программу.

¹ URL: <https://www.flexsim.com/ru/manufacturing-simulation/> (дата обращения: 19.08.2022).

В ходе симуляции программа собирает данные о каждом объекте модели, которые можно представить в виде различных графиков и диаграмм. На рис. 2 представлены

показатели загрузки рабочих участков и операторов, полученные от базовой модели.

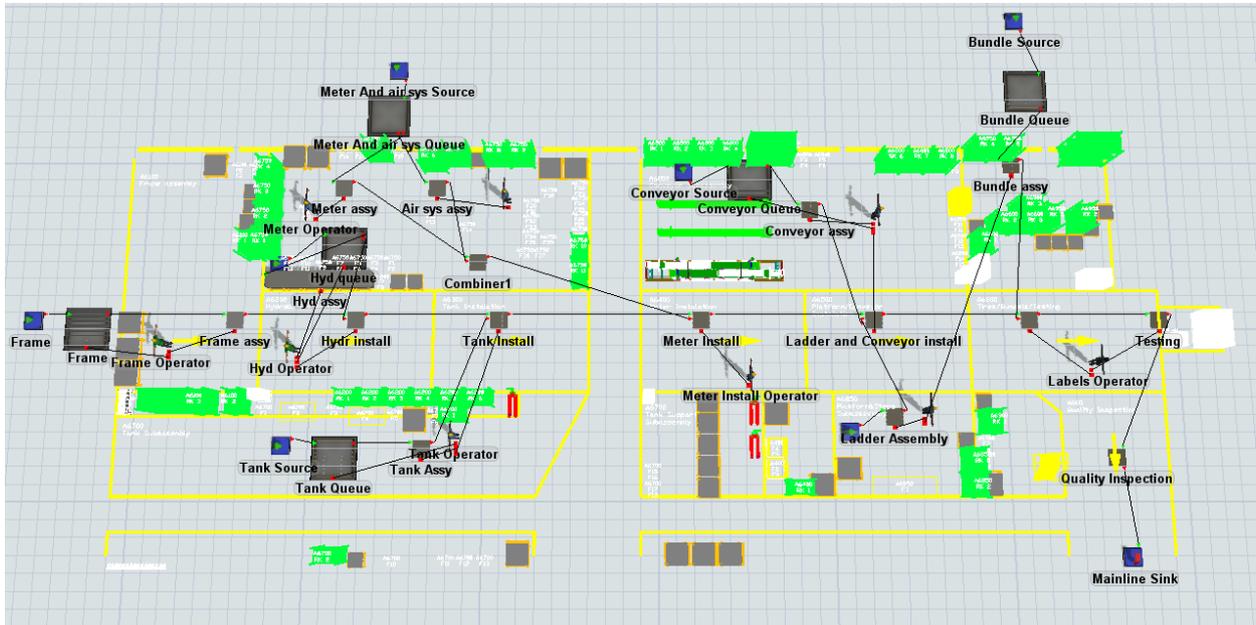


Рис. 1. Схема производственной линии загрузчиков семян

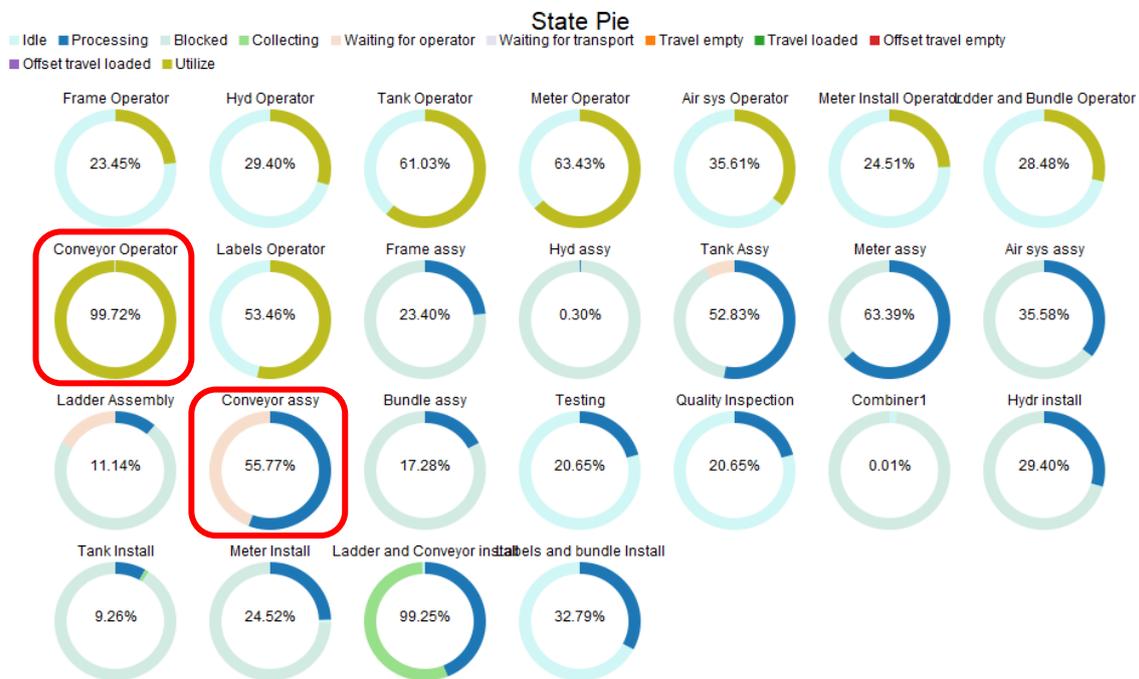


Рис. 2. Загруженность рабочих участков и операторов базовой модели

При данной загруженности производительность рабочих участков показана на рис. 3. Как видно из рисунка, узкое место

модели – оператор по сборке конвейеров, который работает почти со 100%-ной отдачей, в результате чего рабочий центр по

сборке конвейера 45% времени находится в состоянии ожидания оператора, что может негативно сказаться на пропускной способности линии.

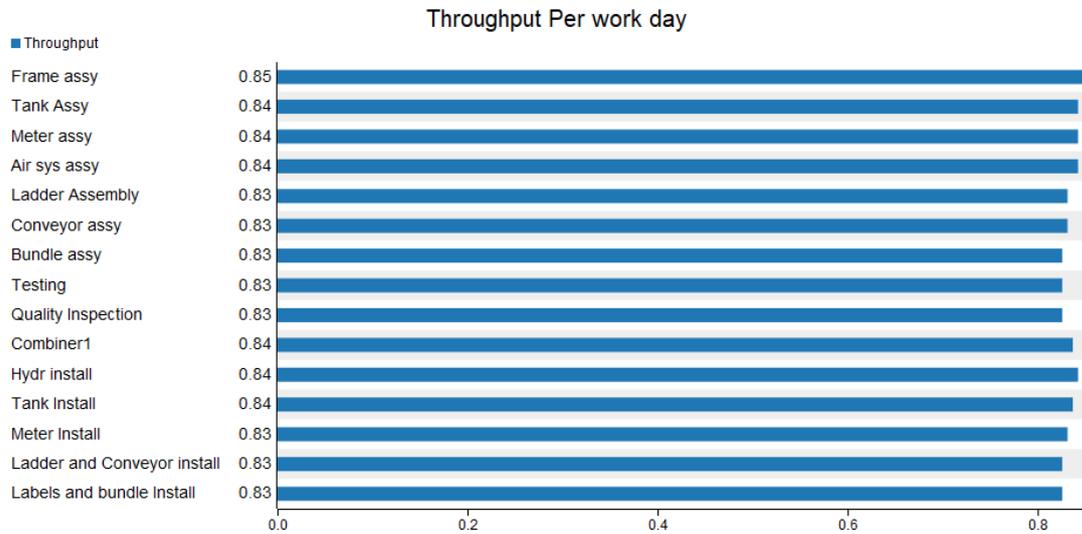


Рис. 3. Производительность рабочих участков базовой модели

Анализ производительности рабочих участков показывает, что в течение одной производственной смены на данной линии операторы могут изготовить менее одной единицы техники.

Для того чтобы оптимизировать работу всей линии, можно изменять количество операторов в обе стороны, а также переназначать их на другие рабочие станции. В данном случае количество операторов уменьшаем до 7 и добавляем двух координаторов, обязанности которых будут состоять в том, чтобы помогать тем операторам, из-за которых другие рабочие участки будут находиться в ожидании. Другими словами, попытаемся разгрузить оператора по сборке конвейера и сократить время ожидания рабочего центра по сборке конвейеров. Изменив входные параметры программы, получаем данные по рабочим участкам и операторам, приведенные на рис. 4.

наторов, обязанности которых будут состоять в том, чтобы помогать тем операторам, из-за которых другие рабочие участки будут находиться в ожидании. Другими словами, попытаемся разгрузить оператора по сборке конвейера и сократить время ожидания рабочего центра по сборке конвейеров. Изменив входные параметры программы, получаем данные по рабочим участкам и операторам, приведенные на рис. 4.

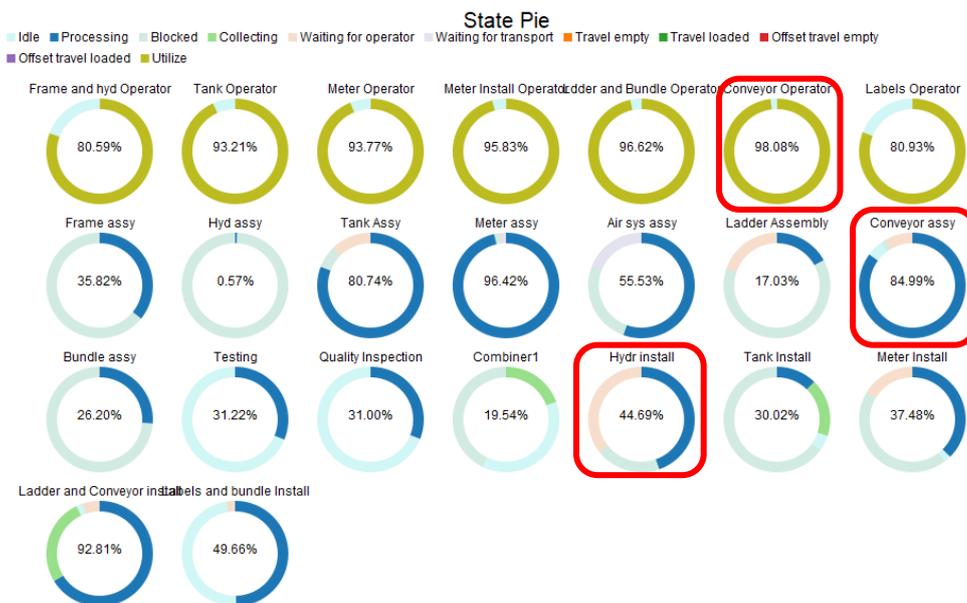


Рис. 4. Загруженность рабочих участков и операторов модели 7 плюс 2

Анализ данных показывает, что использование предложенной модели поможет значительно сократить время ожидания на рабочем участке по сборке конвейеров. В то же время увеличились простои на

участке установки гидравлических шлангов на 35%. Однако это не принесло отрицательного эффекта на производительность производственной линии, которая возросла за рабочую смену на 41% (рис. 5).

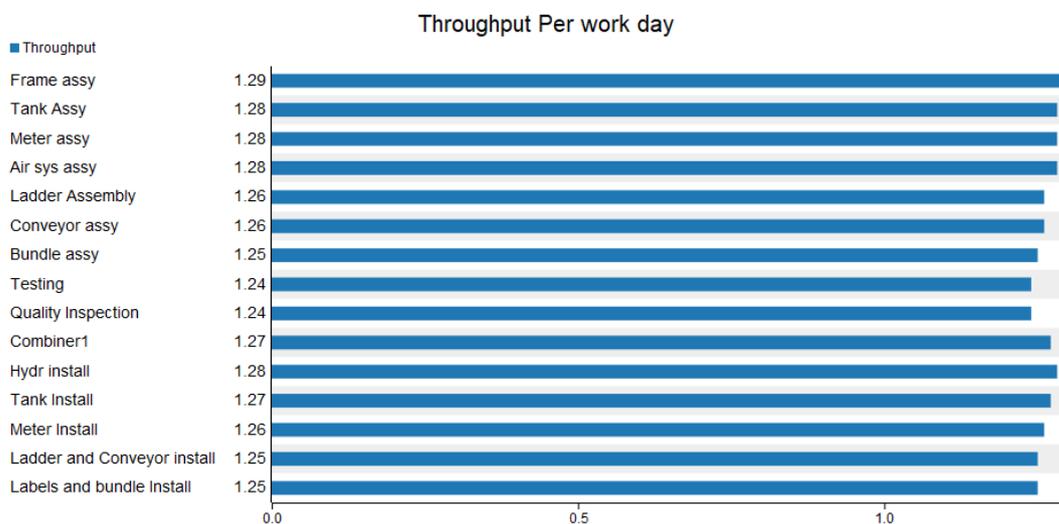


Рис. 5. Производительность рабочих участков модели 7 плюс 2

Таким образом, не меняя количества операторов на всей производственной линии, а перемещая двух работников в координаторы, нам удалось сбалансировать сборочную линию и даже повысить производительность труда.

Еще одним весомым преимуществом моделирования является возможность симуляции совершенно новых будущих процессов и интеграции процессов в текущую модель производства. Внесем данные по трудозатратам в симуляцию и посмотрим, как поведет себя модель. Получаем новые данные об использовании операторов, рабочих центров и т. д. Это поможет более точно подсчитать количество рабочих для найма, сбалансировать линию под еще не внедренные процессы, более точно определить стоимость внедрения новых проектов.

Функционал программы позволяет производить симуляцию не только сборочных, но и любых других повторяющихся процессов, например, завоз материалов на линию либо проведение операции проверки готовых изделий и даже прогнози-

рование очереди на линии раздачи в столовой.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что программное средство FlexSim с успехом может применяться в производственных процессах, в частности в сельскохозяйственном машиностроении. Исследование показало, что использование имитационного моделирования позволяет выявить узкие места производственного процесса, изменить его и даже оптимизировать.

Моделирование производственных процессов при помощи программного симулятора FlexSim имеет широкий охват применения – от конкретных участков производства, таких как сборочная линия загрузчиков семян, представленная в данной работе, до полного цикла производства. Наше исследование показало важность моделирования и анализа производственных процессов в виртуальной среде для планирования изменений в производстве. Помимо моделирования производственных процессов, программа FlexSim подходит для анализа материальных, финансовых, информационных, кадровых

ресурсов, что в конечном счете влияет на стратегию развития промышленного предприятия.

Список литературы

1. *Акимов С. С., Трипкош В. А.* Анализ остаточных компонент в процессе разработки имитационной модели путем определения подходящего закона распределения // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). – Оренбург, 2020. – С. 458–461.
2. *Алимушкин Н. А., Суркова Е. В.* Мониторинг производственных процессов методами моделирования с целью минимизации затрат предприятия // European Social Science Journal. – 2018. – № 12-1. – С. 8–13.
3. *Библия Г. Н., Нарыжная Н. Ю., Егоров Е. М.* Особенности имитационного моделирования высокотехнологичных преобразований в деятельности строительных компаний // Экономика устойчивого развития. – 2018. – № 4 (36). – С. 109–113.
4. *Бикмуллин А. Л.* Использование имитационного моделирования и нейронных сетей в производственных процессах на региональном уровне // Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – Т. 32. – № 7. – С. 45–53.
5. *Благовещенский И. Г., Благовещенская М. М., Назойкин Е. А.* Использование имитационного моделирования для идентификации состояния промышленного предприятия // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2020. – № 2 (98). – С. 39–40.
6. *Васимова И. Н., Садковская Н. Е., Садковский Б. П., Жаров М. В.* Оптимизация производственных процессов с помощью моделирования в программной среде ANYLOGIC на предприятиях авиационной и ракетно-космической отрасли // Научно-технические технологии. – 2018. – Т. 19. – № 6. – С. 18–24.
7. *Голованова В. С.* Разработка модели производственного цеха в программе ANYLOGIC // Аллея науки. – 2018. – Т. 3. – № 1 (17). – С. 429–435.
8. *Гончаров К. А.* Имитационная модель процессов производства сырокопченых колбас // Энигма. – 2020. – № 24. – С. 180–185.
9. *Григорьев С. Н., Леонов А. А., Долгов В. А.* Имитационное моделирование производственных процессов с применением логик планового и ситуационного резервирования рабочих мест // Автоматизация. Современные технологии. – 2021. – Т. 75. – № 1. – С. 3–10.
10. *Жаров М. В.* Моделирование оптимизации для организации производств цехов машиностроения в программной среде ANYLOGIC // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2020. – № 71. – С. 151–161.
11. *Искандаров М. З., Хисамутдинов Р. М.* Оптимизационная модель производственных процессов сборочной системы автомобилей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 6. – С. 70–74.
12. *Кислицын Е. В., Панова М. В., Чиркина Н. Г.* Разработка имитационной модели процесса производства на предприятиях деревообработки // Перспективы науки. – 2017. – № 11 (98). – С. 26–30.
13. *Лекарева Ю. С., Снатенков А. А.* Разработка проекта структурной диверсификации ООО «МАЙКРОИМПУЛЬС» в целях повышения инновационной активности компании // Аудиторские ведомости. – 2019. – № 3. – С. 53–62.
14. *Морарь Е. В., Шамис В. А.* Моделирование транспортно-логистических процессов с использованием среды ANYLOGIC // NovaInfo.Ru. – 2019. – Т. 1. – № 96. – С. 24–27.
15. *Шепель В. Н., Спешилова Н. В., Кутаева М. В.* Имитационная модель управления животноводческим сельскохозяйственным предприятием в регионе // Проблемы развития предприятий: теория и практика. – 2018. – № 1. – С. 293–299.

16. Этапы разработки имитационных моделей. – URL: http://info-tehnologii.ru/IMIT_MOD/Етап/index.html (дата обращения: 19.08.2022).

References

1. Akimov S. S., Tripkosh V. A. Analiz ostatochnykh komponent v protsesse razrabotki imitatsionnoy modeli putem opredeleniya podkhodyashchego zakona raspredeleniya [Analyzing Residual Components in the Process of Developing Imitation Model by Identifying Suitable Law of Distribution]. *The University Complex as Regional Center of Education, Science and Culture: materials of the All-Russian Conference (with International Participation)*. Orenburg, 2020, pp. 458–461. (In Russ.).
2. Alimushkin N. A., Surkova E. V. Monitoring proizvodstvennykh protsessov metodami modelirovaniya s tselyu minimizatsii zatrat predpriyatiya [Monitoring Production Processes by Modeling Methods to Minimize Enterprise Costs]. *European Social Science Journal*, 2018, No. 12-1, pp. 8–13. (In Russ.).
3. Biblya G. N., Naryzhnaya N. Yu., Egorov E. M. Osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya vysokotekhnologichnykh preobrazovaniy v deyatelnosti stroitelnykh kompaniy [Specific Features of Imitation Modeling of Highly-Technological Restructuring in Construction Companies]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya [Economy of Sustainable Development]*, 2018, No. 4 (36), pp. 109–113. (In Russ.).
4. Bikmullin A. L. Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya i neyronnykh setey v proizvodstvennykh protsessakh na regionalnom urovne [Using Imitation Modeling and Neuron Nets in Production Processes on Regional Level]. *Myagkie izmereniya i vychisleniya [Soft Measurements and Calculations]*, 2020, Vol. 32, No. 7, pp. 45–53. (In Russ.).
5. Blagoveshchenskiy I. G., Blagoveshchenskaya M. M., Nazoykin E. A. Ispolzovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya identifikatsii sostoyaniya promyshlennogo predpriyatiya [Using Imitation Modeling to Identify Condition of Industrial Enterprise]. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 2020, No. 2 (98), pp. 39–40. (In Russ.).
6. Vasimova I. N., Sadkovskaya N. E., Sadkovskiy B. P., Zharov M. V. Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov s pomoshchyu modelirovaniya v programmnoy srede ANYLOGIC na predpriyatiyakh aviatsionnoy i raketno-kosmicheskoy otrasli [Industrial Process Optimization through Modeling in ANYLOGIC at Enterprises of Aircraft and Space and Missile Industry]. *Naukoemkie tekhnologii [Science-Intensive Technologies]*, 2018, Vol. 19, No. 6, pp. 18–24. (In Russ.).
7. Golovanova V. S. Razrabotka modeli proizvodstvennogo tsekha v programme ANYLOGIC [Developing Model of Production Shop in ANYLOGIC]. *Alleya nauki [Science Alley]*, 2018, Vol. 3, No. 1 (17), pp. 429–435. (In Russ.).
8. Goncharov K. A. Imitatsionnaya model protsessov proizvodstva syropochenykh kolbas [Imitation Model for Processes of Smoked Sausage Production]. *Enigma*, 2020, No. 24, pp. 180–185. (In Russ.).
9. Grigorev S. N., Leonov A. A., Dolgov V. A. Imitatsionnoe modelirovanie proizvodstvennykh protsessov s primeneniem logik planovogo i situatsionnogo rezervirovaniya rabochikh mest [Imitation modeling of Production Processes by Using Logics of Planned and Situational Reservation of Jobs]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii [Automation. Current Technologies]*, 2021, Vol. 75, No. 1, pp. 3–10. (In Russ.).
10. Zharov M. V. Modelirovanie optimizatsii dlya organizatsii proizvodstv tsekhov mashinostroeniya v programmnoy srede ANYLOGIC [Modeling Optimization for Machine-Building Shops in ANYLOGIC]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Ryazan State Radio-Technical University]*, 2020, No. 71, pp. 151–161. (In Russ.).

11. Iskandarov M. Z., Khisamutdinov R. M. Optimizatsionnaya model proizvodstvennykh protsessov sborochnoy sistemy avtomobiley [Optimization Model of Production Processes in Assembling System of Cars]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya* [Science and Technology Bulletin of Povolzhya], 2020, No. 6, pp. 70–74. (In Russ.).

12. Kislitsyn E. V., Panova M. V., Chirkina N. G. Razrabotka imitatsionnoy modeli protsessa proizvodstva na predpriyatiyakh derevoobrabotki [Developing Imitation Model of Production Process at Woodworking Enterprises]. *Science Prospects*, 2017, No. 11 (98), pp. 26–30. (In Russ.).

13. Lekareva Yu. S., Snatnikov A. A. Razrabotka proekta strukturnoy diversifikatsii OOO «МАЙКРОИМПУЛС» v tselyakh povysheniya innovatsionnoy aktivnosti kompanii [Developing the Project of Structural Diversification of the Micro-Impulse Company to Raise Innovation Activity]. *Auditorskie vedomosti* [Auditor Bulletin], 2019, No. 3, pp. 53–62. (In Russ.).

14. Morar E. V., Shamis V. A. Modelirovanie transportno-logisticheskikh protsessov s ispolzovaniem sredy ANYLOGIC [Modeling Transport and Logistic Processes by Using ANYLOGIC]. *NovalInfo.Ru*, 2019, Vol. 1, No. 96, pp. 24–27. (In Russ.).

15. Shepel V. N., Speshilova N. V., Kitaeva M. V. Imitatsionnaya model upravleniya zhivotnovodcheskim selskokhozyaystvennym predpriyatiem v regione [Imitation Model of Managing Live-Stock Agricultural Enterprise in Region]. *Problemy razvitiya predpriyatiy: teoriya i praktika* [Problems of Enterprise Development: Theory and Practice], 2018, No. 1, pp. 293–299. (In Russ.).

16. Stages of Imitation Model Development. (In Russ.). Available at: http://info-tehnologii.ru/IMIT_MOD/Etap/index.html (accessed 19.08.2022).

Сведения об авторах

Елена Владимировна Лаптева

кандидат экономических наук,
доцент, заведующая кафедрой финансов
и менеджмента Оренбургского филиала
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: Оренбургский филиал ФГБОУ ВО
«Российский экономический университет
имени Г. В. Плеханова», 460000, Оренбург,
ул. Пушкинская/Ленинская, д. 50/51–53.
E-mail: lapa1984@inbox.ru

Юлия Сергеевна Лекарева

кандидат экономических наук,
доцент кафедры финансов и менеджмента
Оренбургского филиала
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: Оренбургский филиал ФГБОУ ВО
«Российский экономический университет
имени Г. В. Плеханова», 460000, Оренбург,
ул. Пушкинская/Ленинская, д. 50/51–53.
E-mail: lekareva.rgtu@yandex.ru

Сергей Сергеевич Уманский

бизнес-аналитик
ООО «Джон Дир Русь».
Адрес: ООО «Джон Дир Русь», 460027,
Оренбург, ул. Донгузская, 1-й проезд, д. 78.
E-mail: sergeyu@internet.ru

Information about the authors

Elena V. Lapteva

PhD, Assistant Professor,
Head of the Department for Finance
and Management
of the Orenburg branch of the PRUE.
Address: Orenburg branch of the Plekhanov
Russian University of Economics,
50/51–53 Pushkinskaya/Leninskaya Str.,
Orenburg, 460000, Russian Federation.
E-mail: lapa1984@inbox.ru

Yulia S. Lekareva

PhD, Assistant Professor
of the Department for Finance
and Management
of the Orenburg branch of the PRUE.
Address: Orenburg branch of the Plekhanov
Russian University of Economics,
50/51–53 Pushkinskaya/Leninskaya Str.,
Orenburg, 460000, Russian Federation.
E-mail: lekareva.rgtu@yandex.ru

Sergey S. Umansky

Business Analyst John Deere Rus LLC.
Address: John Deere Rus LLC, 78 1st passage,
Donguzskaya Str., Orenburg, 460027,
Russian Federation.
E-mail: sergeyu@internet.ru