

Анна АЛЕТДИНОВА

*доцент кафедры «Автоматизированные системы управления»
Новосибирского государственного технического университета,
кандидат технических наук (Российская Федерация)*

Александр ЛЕНСКИЙ

*заведующий сектором эксплуатационно-экономической оценки машин
НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства,
кандидат экономических наук*

Яна ЦЫБИНА

*магистрант Новосибирского государственного технического университета
(Российская Федерация)*

УДК 004.94

Имитационное моделирование как современный инструментарий для формирования машинно-тракторного парка

Введение

Эффективность сельскохозяйственного производства зависит от многих факторов: прогрессивности используемых технологий и технологических процессов, рациональности выбора технических средств, оптимальности использования имеющихся производственных ресурсов, природно-климатических условий и севооборота и др. В реальных рыночных условиях происходит постоянное изменение спроса на производимую продукцию, цен, а, следовательно, и рентабельности производства. Появляется необходимость непрерывного мониторинга производства и принятия своевременных управленческих решений по выбору рационального состава машинно-тракторного парка (МТП) [1].

Основная сложность в построении и анализе модели формирования МТП связана со стохастической природой функционирования сельскохозяйственного предприятия. Совокупное воздействие различных нелинейных динамических факторов и их случайный характер влияют на степень неопределенности основных параметров сельскохозяйственного производства, учет которых необходим при формировании МТП и стратегии производства в целом.

Можно выделить 2 базовых направления решения задачи формирования МТП – на основе построения графиков пиковой загрузки машин, с использованием экономико-математических моделей. Базой первого подхода являются расчетно-технологические карты, после анализа которых выбирается количество машин определенной марки и типа на соответствующий сельскохозяйственный период времени. Данный подход является простым, наглядным и доступным при использовании и позволяет решать большую часть задач, связанных с МТП; он может быть использован при обосновании перспективного состава техники, а также помочь в повышении эффективности уже существующего состава в сельскохозяйственном предприятии. Однако для большого количества видов работ и техники усложнено построение данных карт.

При построении и решении экономико-математических моделей формирования состава МТП основная идея заключается в построении стохастической модели, сводящейся к задаче линейного программирования и выбору наиболее подходящего критерия оптимальности, который должен иметь некоторую количественную меру измерения. Стохастические модели оптимизации более адекватно отражают реальные условия, в которых необходимо осуществлять выбор решений.

Однако часть исследований указывает на то, что по причине большого количества факторов, как внешних так и внутренних, проведение оптимизации значительно усложняется и из-за особенностей решения данных задач, итоговое решение не всегда эффективно работает на практике [2, 3].

Одним из путей, позволяющих решить проблему построения модели с учетом высокой детализации процесса и его стохастической природы, является применение имитационного моделирования (ИМ), которое широко и успешно используется в проектировании, при оптимизации, построении и анализе процессов и систем различной сложности.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований стал метод имитационного моделирования. Выделяют различные подходы к определению ИМ. По мнению М. Ану, имитационное моделирование системы – это прежде всего представление работы модели данной системы [4]. Годом позже Р.Е. Шэннон определил имитационное моделирование как процесс конструирования модели и проведения экспериментов над ней с целью либо понять поведение изучаемой системы, либо оценить последствия применения различных стратегий развития системы [5]. При этом моделирование включает в себя создание «искусственной истории» работы системы, анализ которой позволяет выявить уязвимые места исследуемой реальной системы. В дальнейшем важным характеризующим аспектом имитационного моделирования стал количественный компьютерный анализ модели и результирующих данных [6]. Объединяя предыдущие подходы, можно определить имитационное моделирование как принцип построения существующих или абстрактных систем с использованием вычислительных мощностей компьютера для проведения экспериментов в реальном времени и дальнейшего анализа выходных данных.

Имитационное моделирование, по мнению Р. Е. Шэннона, целесообразно применять при наличии любого из следующих условий: не существует законченной математической постановки исследуемой задачи либо не существует проработанных аналитических методов ее решения, для решения необходимы математические процедуры высокой сложности и трудоемкости, конечные пользователи недостаточно подготовлены математически. Еще одним преимуществом имитационного моделирования является возможность контроля и установки времени изучаемого процесса, поскольку явление может быть замедлено или ускорено по желанию.

На наш взгляд, в рамках процесса формирования машинно-тракторного парка целесообразно комбинирование оптимизационных и имитационных моделей. Имитационные модели, благодаря включению в них нелинейных зависимостей между переменными и позволяющие определить степень влияния прогнозируемых колебаний условий производства на величину ресурсного потенциала при базовых параметрах системы, дают возможность оценить устойчивость этих параметров и их адекватность среде функционирования. Если уровень устойчивости системы близок к критическому, а зона допустимого риска невелика, то следует найти новые оптимальные базовые параметры, корректируя входную информацию оптимизационной модели в соответствии с условиями, полученными в результате прогона модели [7].

При исследовании нами применялись абстрактно-логический, статистический методы, процессный подход и метод системного анализа. Исходные статистические данные были получены из результатов обработки запросов поисковой системы Google Scholar, теоретические выводы сделаны на основании отечественных и зарубежных публикаций, обзоров программных продуктов.

Результаты исследований

Нами был проведен анализ публикационной активности в 2007 г. и 2017 г. в поисковой системе научной литературы Google Scholar по тематике моделирования машинно-тракторного парка. Получены следующие результаты (см. табл. 1).

1. Меньше всего публикаций посвящено имитационному моделированию.
2. Наибольшая часть работ опубликована на русском языке, что может объясняться наличием разработок Системы технологий и машин в странах – членах Евразийского экономического союза.

3. В 2017 г. более чем в 2,5 раза (по сравнению с 2007 г.) увеличилась доля публикаций на русском языке, посвященных построению модели формирования структуры МТП и его оптимизации.

4. В англоязычной научной литературе интерес к моделированию МТП к 2017 г. резко упал. Количество переводных статей с русского языка на английский указаны в скобках.

Т а б л и ц а 1. Количество научных работ, опубликованных в 2007 г. и 2017 г. и обнаруженных с помощью Google Scholar

Поисковые запросы	Языки			
	русский		английский	
	2007 г.	2017 г.	2007 г.	2017 г.
Оптимизация структуры машинно-тракторного парка	33	107	13(3)	0
Имитационное моделирование структуры машинно-тракторного парка	2	1	0	1
Модель формирования структуры машинно-тракторного парка	45	120	0	3(1)

Проведенный анализ показывает, что такому инструменту, как имитационное моделирование уделяется недостаточно внимания, что вызывает определенное удивление, так как метод обладает широчайшим набором достоинств, применимых во множестве областей. Ведь имитационное моделирование предоставляет:

упрощенные возможности включения и анализа дискретных переменных с учетом нелинейных свойств и случайных воздействий на систему;

возможность построения и изучения сложных систем со стохастическими параметрами;

вариативность моделей системы, что позволяет разработать ряд альтернативных решений для дальнейшего выбора модели, наиболее соответствующей требованиям исследуемой задачи;

возможность изучения функционирования системы в заданный период модельного времени;

полученные в результате прогона вероятностные оценки расширяют возможности оптимизации модели;

моделирование предоставляет возможность оценить часть показателей исследуемой системы при различных условиях эксплуатации [7].

Выделяют 3 базовых вида моделей, которые могут быть построены в рамках имитационного моделирования:

модели системной динамики;

дискретно-событийные;

агентные.

Вне зависимости от типа существует ряд общих шагов и правил при построении имитационной модели. Так, на первом шаге следует идентифицировать и сформулировать проблему, которая должна быть изучена в результате проведения имитационного эксперимента. Затем следует собрать и классифицировать все доступные данные и информационные потоки, которые относятся к изучаемой области. После анализа доступных данных следует приступить к формированию концептуальной модели, а затем и имитационной наиболее подходящего типа. Далее проводятся эксперименты и собирается набор выходных данных, отражающих результаты прогона модели. На последних этапах проводят анализ полученных данных и формулируются основные выводы по объекту моделирования. В целом данные шаги можно отразить в виде своеобразной циклической модели (см. рис. 1).

Как видно из представленного цикла, результаты моделирования должны быть сопоставлены с концептуальной и реальной моделями, что позволит внести в них определенные изменения для дальнейшего изучения получившейся альтернативной модели. Таким образом, в результате нескольких итераций имитационная модель должна стать более приближенной к реальной системе. При этом основная сложность, стоящая перед исследователем, заключается в определении наиболее подходящего количества подобных итераций моделирования [8].

На данный момент существует широкий выбор программных продуктов, позволяющих реализовать модели в рамках имитационного моделирования (см. табл. 2). Практически все из существующих

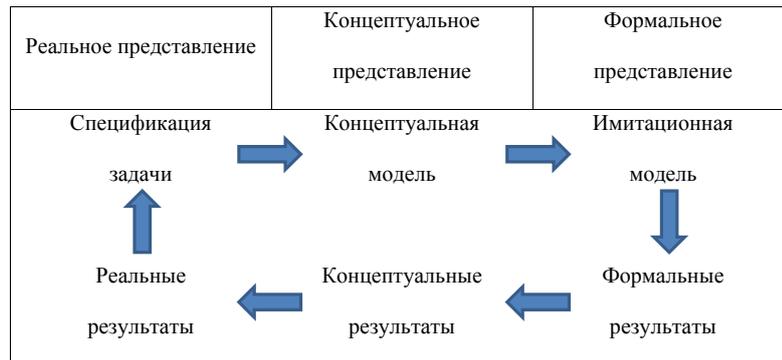


Рис. 1. Цикл моделирования

ющих инструментов ориентированы на применение в рамках определенного подхода. Для некоторых из них выбор более разнообразен, что объясняется особенностями каждого из подходов, в частности, наличием более строгих рамок как построения модели, так и областью применения конечного решения. Следует отметить, что для агентного моделирования инструментарий для реализации появился позже других и на ранних этапах представлен через библиотеки на Java или C++.

Т а б л и ц а 2. Программные продукты для реализации имитационных методов

Системная динамика	Дискретно-событийные модели	Агентное моделирование
AnyLogic, Pilgrim, Simulink, Berkeley Madonna, VisSim	Arena, AnyLogic, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN, AweSim, GPSS	AnyLogic, NetLogo, MASON, Repast, EcoLab, Cormas

Как видно из представленной таблицы, инструмент для построения моделей AnyLogic позволяет реализовывать модели любого нужного исследователю типа. Это связано с тем, что данный продукт в основе своей не опирается ни на один из подходов имитационного моделирования, вместо этого в основе AnyLogic находятся языки и методы, принятые в практике разработки сложных информационных систем. Однако наиболее существенным преимуществом AnyLogic является наличие простого инструментария и библиотек для быстрого построения моделей с понятным пользователю способом введения вероятностных параметров. Благодаря использованию Java, модель в AnyLogic может быть построена в виде самостоятельного приложения, которое может быть запущено независимо от платформы конечного пользователя.

В рамках формирования машинно-тракторного парка необходимо проведение набора мероприятий, которые бы позволили провести оценку на наличие ошибок в сформированном плане использования техники. В практике разработки информационных систем в таких случаях прибегают к верификации, которая призвана определять то, насколько выходные результаты соответствуют предъявляемым к решению требованиям.

Существует 2 подхода к решению задачи верификации. Первый предполагает применение методов имитационного моделирования, аппаратной эмуляции и иных видов моделирования. Второй подход связан с самой методикой проведения верификации, а именно в переносе соответствующих процедур на более ранние этапы проектирования. Чаще всего оптимальное решение заключается в комбинации обоих названных подходов [9].

В нашем случае под верификацией подразумевается процесс проверки использования сформированного состава техники посредством прогона имитационной модели.

База данных содержит 4 блока – «культуры», «операции», «машины» и «работники». На основе полученных из нее данных о сельскохозяйственных работах (планируемом объеме работ, типах технологических операций, видах культур) модель позволит определить периоды с критически высоким и низким уровнем использования техники, что, в свою очередь, поможет перераспределить или заменить неэффективные комплексы технических средств, сформировать ряд корректировок и альтернатив к плану производства предприятия (см. рис. 2).

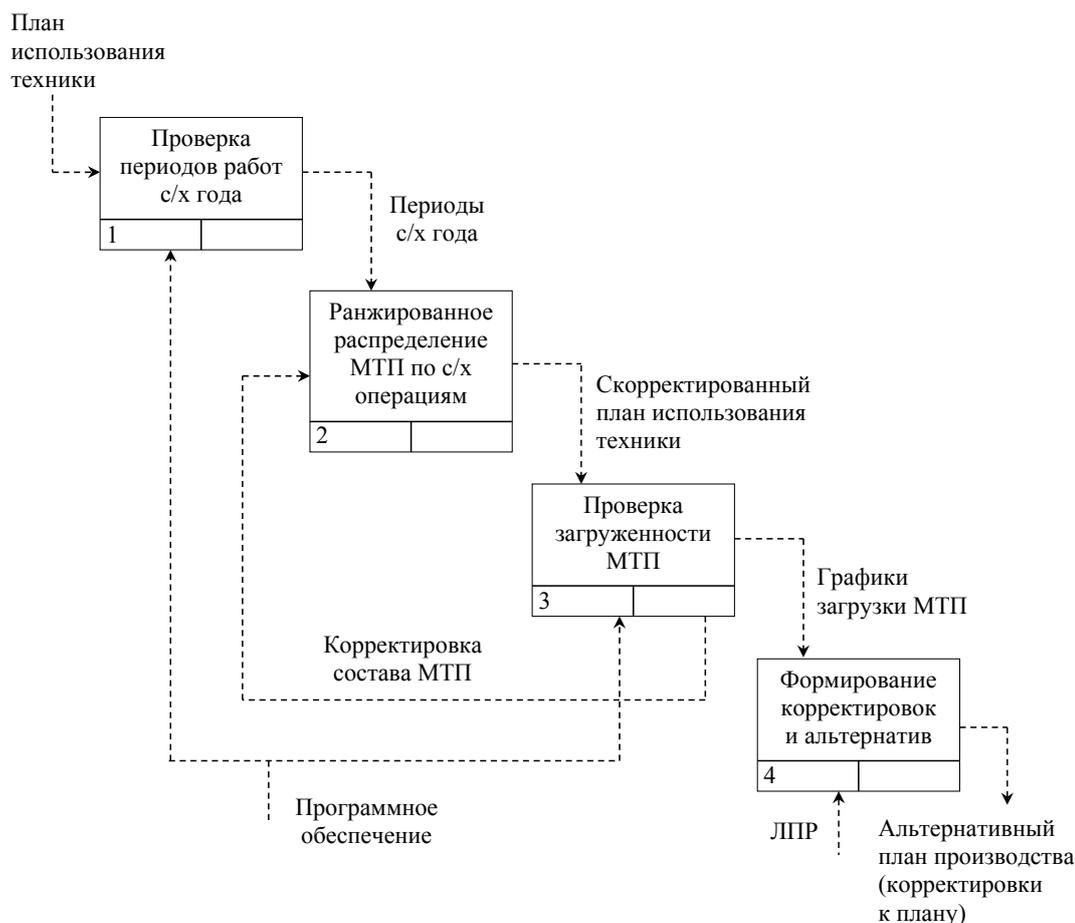


Рис. 2. Верификация плана использования МТП

Таким образом, верификация включает в себя следующие блоки:

- блок проверки сформированных периодов работ для расчетного сельскохозяйственного года;
- блок, отвечающий за ранжированное распределение технических средств между технологическими операциями для конкретных посевных площадей;
- блок загрузки МТП, включающий моделирование долей загрузки по периодам сельскохозяйственного года для сформированного комплекса технических средств;
- блок формирования альтернативного плана и корректировок с учетом проведенной верификации.

Имитационная модель концептуально должна соответствовать первым 3-м блокам и предоставлять пользователю возможность анализа на основе полученных в ходе прогона модели данных и графиков. Так, на первом этапе производится моделирование и установка периодов в зависимости от погодно-климатических условий и резервов рабочего времени. Посредством метода Монте-Карло определяется суммарная длительность соответствующих сельскохозяйственных операций и резервы времени с учетом варьирования конечного набора значений коэффициентов погодных условий, сроков созревания культур, часовой загрузки тракторов и сельскохозяйственных машин. В рамках следующего блока, на основе марочного состава техники, производительности и коэффициентов готовности (надежности) машинно-тракторного парка к выполнению работ, каждому техническому средству присваивается приоритетная технологическая операция. На предпоследнем этапе устанавливается загрузка агрегатов по приоритетным операциям в рамках определенных периодов с учетом заранее намеченных годовых объемов работ и строится график годовой загрузки техники. Посредством прогона модели можно определить альтернативные наборы технических средств, уровень загрузки которых позволяет выполнить все технологические операции, однако

различных по надежности и энергоемкости. Данная информация позволит лицу, принимающему решения, оценить эффективность использования техники, уровень потерь при изменении длительности технологических операций, выявить возможные дефициты технических ресурсов и внести необходимые корректировки.

Следует отметить, что имитационное моделирование, с одной стороны, является прекрасным дополнением к решению оптимизационных задач, а с другой – может использоваться отдельно, так как в частных случаях его будет достаточно для принятия решений.

В результате прогона имитационной модели можно выполнить следующее:

построить графики загрузки сельскохозяйственного оборудования определенной марки, что может обеспечить в ряде случаев принятие решения без реализации оптимизационной задачи;

дать указания по изменению параметров целевой функции или ограничений, накладываемых в оптимизационной задаче, например таких, как изменение сроков выполнения технологических операций, выход за нормативные значения переменных, корректировка коэффициентов надежности и готовности машинно-тракторного парка с учетом введения соответствующих им вероятностных распределений;

сформировать набор рекомендаций по формируемому составу МТП.

Заключение

Применение имитационного подхода позволяет повысить качество и гибкость рассматриваемого процесса. Для процесса формирования состава МТП имитационная модель может стать базой для проведения верификации плана производства сельскохозяйственного предприятия. В результате прогона имитационной модели может быть построен график загрузки машины (трактора) определенной марки, что позволит принимать решение в частных случаях без реализации оптимизационной задачи; дать рекомендации по изменению параметров целевой функции или ограничений, накладываемых в оптимизационной задаче, например таких, как изменение сроков выполнения технологических операций, выход за нормативные значения переменных, корректировка коэффициентов надежности и готовности машинно-тракторного парка с учетом введения соответствующих им вероятностных распределений. Может быть оценена загрузка сформированного комплекса технических средств, предложен ряд корректировок и альтернатив к плану производства сельскохозяйственного предприятия. На наш взгляд, имитационное моделирование – современный инструментальный любого ученого. Недостаточный интерес ученых к применению имитационного моделирования в задаче формирования МТП объясняется, в первую очередь, их недостаточной теоретической подготовкой к использованию современных программных продуктов, представленных в таблице 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири / Б. Д. Докин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 1. – С. 49–51.
2. Gupta, N. Introduction to Modeling and Simulation / N. Gupta, S. Grover // International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research. – 2013. – Vol. 2. – № 4. – P. 45–50.
3. Domonkos, T. Computer Simulation as a Tool for Analyzing and Optimizing Real-Life Processes / T. Domonkos // Management Information Systems. – 2010. – Vol. 5. – № 1. – P. 13–18.
4. Anu, M. Introduction to modeling and simulation / M. Anu // Proceedings of the 29th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society. – 1997. – P. 7–13.
5. Shannon, R. E. Introduction to the art and science of simulation / R. E. Shannon // Proceedings of the 30th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society Press. – 1998. – P. 7–14.
6. Улезько, А. В. Моделирование как инструмент принятия управленческих решений / А. В. Улезько, А. В. Котарев // Вестник Воронежского гос. аграрного ун-та. – 2008. – № 1–2. – С. 73–80.
7. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
8. Koivisto, M. Pitfalls in Modeling and Simulation / M. Koivisto // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 119. – P. 8–15.
9. Лохов, А. Функциональная верификация СБИС в свете решений Mentor Graphics / А. Лохов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2004. – № 1. – С. 58–63.

РЕЗЮМЕ

В статье приводится описание имитационного моделирования в качестве инструментария, позволяющего повысить гибкость модели формирования машинно-тракторного парка (МТП). Представлена историческая справка по эволюции к определению и применению имитационных методов. Показаны преимущества применения данного подхода к формированию МТП в сочетании с традиционными. Сформирована модель верификации производственного плана сельскохозяйственного предприятия с учетом применения имитационного моделирования.

SUMMARY

In the article, the authors describe the simulation as a tool to increase the flexibility of the model for the formation of the machine and tractor fleet (MTP). There is a historical background on the evolution of the definition and application of imitation methods. The authors show the advantages of applying this approach to the formation of MTP in combination with traditional ones. There is a model for the verification of the production plan of the agricultural enterprise, taking into account the use of simulation modeling.

Поступила 21.02. 2019