

Формализация концептуальных требований к имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка

А.А. Алетдинова¹, Я.С. Цыбина¹

¹Новосибирский государственный технический университет, К. Маркса 20, Новосибирск, Россия, 630087

Аннотация. В статье приводятся описание применения имитационного моделирования в качестве метода, позволяющего повысить гибкость модели формирования машинно-тракторного парка (МТП). Представлена историческая справка по эволюции к определению и применению имитационных методов. Представлены преимущества от применения данного подхода в сочетании с традиционными подходами к формированию МТП. Сформирована модель верификации производственного плана сельскохозяйственного предприятия с учетом применения имитационного моделирования. Представлены концептуальные требования к подобной имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка, на базе которых составлены UML-диаграммы взаимодействия для формализации и спецификации имитационной модели.

1. 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, изменение цен, а, следовательно, и рентабельности производства. Появляется необходимость непрерывного мониторинга производства и принятий своевременных управляющих решений по выбору рационального состава машинно-тракторного парка (МТП) [3].

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 два базовых направления решения задачи формирования МТП: на основе построения графиков пиковой загрузки машин; на основе 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 на 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 выборе 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 из-за 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 [3, 9].

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

2. Имитационные методы: эволюция понятия и применения

Выделяют различные подходы к определению ИМ. По мнению М. Апи имитационное моделирование системы это, прежде всего представление работы модели данной системы [8]. Годом позже R.E. Shannon определяет 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 [6]. 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 [7]. 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 R.E. Shannon, 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 трудоемки; 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.

Развитие взглядов на определение имитационного моделирования безусловно связано с расширением область применения. На данный момент имитационные модели применяются в таких областях как: логистика, в особенности при планирования цепочек поставок с учетом повышения качества обслуживания клиентов и требуемой эффективности расхода ресурсов; в качестве базы для системы принятия решений и анализа бизнес-процессов, что позволяет находить наилучшие пути развития, реорганизации и оптимизации производства; в медицине, причем как на уровне организации работы больницы, так и для анализа медицинского оборудования и новых лекарств; методы имитационного моделирования широко и достаточно давно применяются в строительстве, отмечают так же, что история применения именно в данной области одни из наиболее продолжительных [11]; маркетинг в качестве метода по созданию стратегий, позволяющих учесть широкий набор экономических факторов. Следует так же отметить, что использование имитационного моделирования при анализе

экономических, математических моделей и процессов является стандартным и подразумевается в качестве стандартного пути применения данной методики.

3. Имитационное моделирование как инструмент в формировании МТП

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, позволяют 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 [4].

Авторами проведен анализ публикационной активности, в поисковой системе научной литературы Google Scholar, по тематике моделирования машинно-тракторного парка. Проведенный анализ показывает, что такому инструменту как имитационное моделирование уделяется не достаточно внимания, что вызывает определенные удивления, так как метод обладает широчайшим набором достоинств, применимых во множестве областей. Ведь имитационное моделирование предоставляет:

- упрощённые 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 наиболее соответствующей требованиям исследуемой задачи;
- возможность изучения функционирования системы в заданный период модельного времени [1];
- полученные в результате прогона вероятностные оценки расширяют возможности оптимизации модели;
- моделирование предоставляет возможность оценить часть показателей исследуемой системы при различных условиях эксплуатации.

Выделяют три базовых вида моделей, которые могут быть построены в рамках имитационного моделирования: модели системной динамики; дискретно-событийные; агентные. В независимости 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. Далее 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. Таким образом процесс моделирования можно представить в виде циклического процесса, результаты которого должны быть сопоставлены с концептуальной и реальной моделью, 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 – определение наиболее подходящего количества подобных итераций моделирования [10].

На данный момент времени существует широкий выбор программных продуктов, позволяющих реализовать модели в рамках имитационного моделирования. Практически все из существующих инструментов ориентированы на применениях в рамках определенного

подхода. Для некоторых из них выбор более разнообразен, это объясняется особенностями каждого из подходов, в частности, наличием более строгих рамок как построения модели 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++. При этом на данный момент существуют универсальные инструменты, позволяющие реализовывать любые типы имитационных моделей. Одним из них является AnyLogic. Поскольку данный продукт в основе своей не опирается ни на один из подходов имитационного моделирования и в его основе лежат языки и методы, принятые в практике разработки сложных информационных систем, то у исследователю предоставляется возможность применять и реализовывать наиболее подходящие виды имитационных исследований. 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, на которой запускается.

4. Концептуальные требования к имитационной модели в рамках формирования МТП

В рамках формирования машинно-транспортного 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 на объекте исследования требованиям к решению.

Существует два подхода к решению задачи верификации. Первый предполагает применение методов имитационного моделирования, аппаратной эмуляции и других 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 [5].

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

База данных содержит четыре блока «культуры», «операции», «машины», «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 (рисунок 1).

Таким образом, верификация включает в себя следующие блоки: проверки сформированной длительности периодов 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 и блок формирование альтернативного плана и корректировок, с учетом проведенной верификации.

Имитационная модель концептуально должна соответствовать первым трем блокам и предоставлять возможность пользователю по анализу на основе полученных в ходе прогона модели данных и графиков.

Для идентификации и формализации требований к имитационной модели, которая должна соответствовать рассматриваемому процессу воспользуемся UML- диаграммой вариантов использования. Прежде всего данный тип диаграммы позволит не только отразить в явном виде цели проектируемой модели, но и отобразить необходимые функциональные связи между проектируемой системой и внешними действующими лицами, причем это могут быть как пользователи, лица принимающие решение, так и внешние хранилища данных или иные информационные системы.

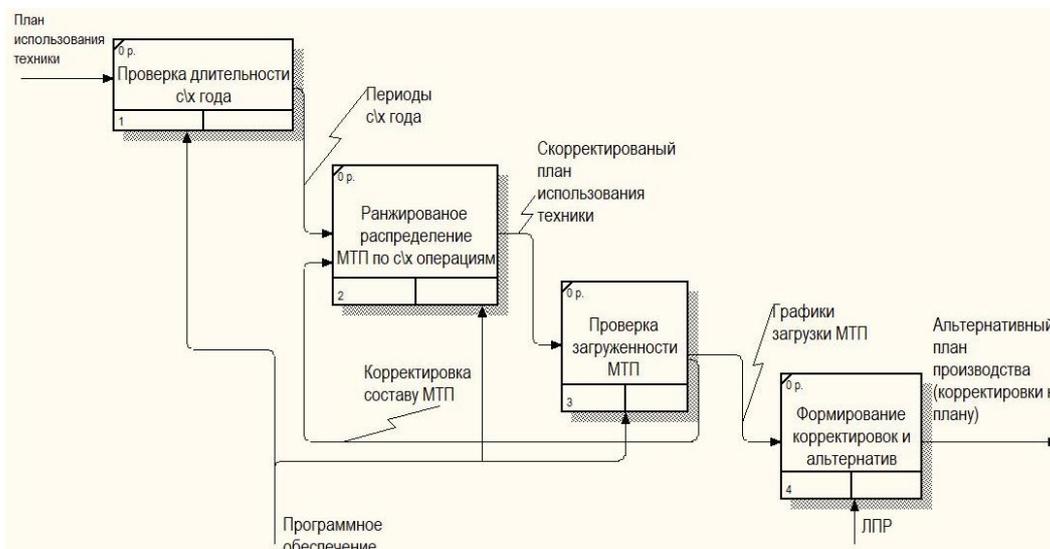


Рисунок 1. Верификация плана использования МТП.

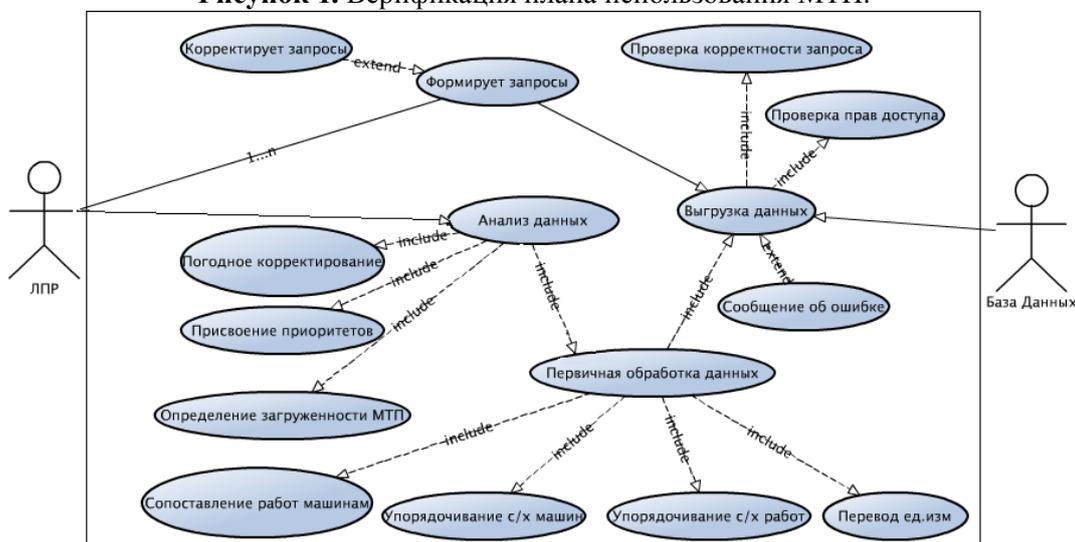


Рисунок 2. Диаграмма вариантов использования.

Таким образом, внешнее взаимодействие с имитационной моделью происходит с лицом, принимающим решение и базой данных, в которой хранятся необходимая для работы информация (по хозяйству, по агротехнике и технологии возделывания и уборки сельскохозяйственных культур, по эксплуатационным и экономическим показателям машин).

Для проведения прогона имитационной модели нужны данные, которые можно получить с помощью запросов к базе данных. Если запросы корректны, то следует выгрузить следующие данные: по полям (размер полей под разные типы культур), по эксплуатационным показателям машин (производительность, марка машины, коэффициент надежности технических средств), типу культуры (показатели урожайности), трудовым ресурсам (длительности смены в часах), типам операций (основные сроки выполнения сельскохозяйственных операций). Далее необходимо произвести корректировку: так перечень выполняемых сельскохозяйственных работ должен быть упорядочен по признаку убывания энергоёмкости, объемы работ, заданные в физических единицах, следует перевести в условные. При этом следует учесть то, что необходимо включить генерацию предупреждений о некорректном обращении к базе данных, если запрос был сформирован некорректно.

Далее на основе скорректированных данных в имитационной модели и будут произведены дальнейшие вычисления. Так, на первом этапе производится моделирование и установка

периодов в зависимости от погодных-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 созреваемости культур, часовой загрузки одной энергомашины. В рамках следующего блока, на основе марочного состава техники, производительности и коэффициентов готовности машинно-тракторного парка к выполнению работ и надежности, каждому техническому средству присваивается приоритетная технологическая операция. На предпоследнем этапе определяется загруженность агрегатов по приоритетным операциям в рамках определенных периодов с учетом заранее установленных годовых объемов работ и строится график загруженности. Посредством прогона модели можно определить альтернативные наборы технических средств, уровень загруженности 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 [2].

Таким образом реализация верификации, в рамках задачи формирования МТП, позволит провести проверку на соответствие общим требованиям к набору машин и за счет применения имитационного подхода позволит корректировать план производства для достижения требуемого результата.

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

5. 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 энергомашины 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 загруженность сформированного комплекса технических средств, предложен ряд корректировок и альтернатив к плану производства сельскохозяйственного предприятия. На наш взгляд, имитационное моделирование – современный инструментальный любой ученый. Низкий интерес ученых к применению имитационного моделирования в задаче формирования МТП объясняется их слабой подготовленностью к использованию современных программных продуктов.

6. Литература

- [1] Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
- [2] Алетдинова, А.А. Процессный подход в задаче информатизации моделирования структуры МТП / А.А. Алетдинова, Б.Д. Докин, М.С. Кравченко, Я.С. Цыбина // Вестник НГИЭИ. – 2018. – Т. 9, № 88. – С. 80-92.
- [3] Докин, Б.Д. Альтернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири / Б.Д. Докин, Н.М. Иванов, О.В. Ёлкин, М.С. Чекусов // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – С. 49-51.

- [4] Улезько, А.В. Моделирование как инструмент принятия управленческих решений / А.В. Улезько, А.В. Котарев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2008. – №. 1-2. – С. 73-80.
- [5] Лохов, А. Функциональная верификация СБИС в свете решений Mentor Graphics / А. Лохов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2004. – № 1. – С. 58-63.
- [6] Anu, M. Introduction to modeling and simulation // Proceedings of the 29th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society, 1997. – P. 7-13.
- [7] Shannon, R.E. Introduction to the art and science of simulation // Proceedings of the 30th conference on Winter simulation. IEEE Computer Society Press, 1998. – P. 7-14.
- [8] Domonkos, T. Computer Simulation as a Tool for Analyzing and Optimizing Real-Life Processes // Management Information Systems. – 2010. – Vol. 5(1). – P. 13-18.
- [9] 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.
- [10] Koivisto, M. Pitfalls in Modeling and Simulation // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 119. – P. 8-15.
- [11] Wang, H. Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014 / H. Wang, Z.J. Zhai // Energy and Buildings. – 2016. – Vol. 128. – P. 319-335.

Formalization of conceptual requirements for imitative model of loading a machine-tractor fleet

A.A. Aletdinova¹, Y.S. Tsybina¹

¹Novosibirsk State Technical University, K. Marksa Avenue 20, Novosibirsk, Russia, 630087

Abstract. 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 (MTF). There is a historical background on the evolution of the definition and application of simulation methods. The authors show the advantages of applying this approach to the formation of MTF 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. The authors present the conceptual requirements for a simulation model of loading a machine and tractor fleet. Article provide UML class diagram and use case diagram based on the list of presented requirements for a simulation model.