

МРНТИ 68.85.01

DOI <https://doi.org/10.37884/1-2022/15>

М.С. Агзамов

*Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
Усть-Каменогорск, Казахстан, mukhamedolla.agzamov@mail.ru*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация

Улучшение использования средств механизации - одно из решающих направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства и его интенсификации. Важнейшей задачей при этом является обоснование оптимальных машинно-тракторных агрегатов (МТА), комплексов машин и составов машинно-тракторного парка (МТП) с учетом конкретных производственных и природно-экономических условий. Для хозяйств из всего многообразия технологических и технических решений должны быть выбраны такие варианты, которые обеспечивают максимальную эффективность производства. В статье рассмотрены вопросы формирования технологических линий посева зерновых культур, выявлены недостатки оптимизации с использованием методов линейного программирования. Показана возможность решения оптимизационной задачи с использованием метода имитационного моделирования, обеспечивающего более эффективное выполнение технологического процесса в заданные агротехнические сроки. Имитационное моделирование - это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. Разработана имитационная модель процесса посева зерновых культур, представляющая собой две взаимосвязанные системы массового обслуживания (СМО), и математическая модель оптимизации технологических линий с учетом конкретных условий эксплуатации машин. Установлены закономерности выполнения основных элементов технологического процесса посева зерновых культур.

Ключевые слова: *технологическая линия; посев; зерновые культуры; машинно-тракторные агрегаты, оптимизация, имитационное моделирование, система массового обслуживания.*

Введение

В настоящее время высокий уровень механизации сельскохозяйственного производства способен обеспечивать более половины экономического и финансового успеха современных аграриев. На основе грамотно выстроенного процесса оптимизации МТП, с использованием качественно новых критериев и методик оценки его эффективности, возможно добиться максимального повышения экономической эффективности и рациональности функционирования сельскохозяйственных предприятий. Вопросы оптимизации приобретают особую актуальность в период осуществления импорто-замещения, которое, в первую

очередь, затрагивает отрасль сельского хозяйства как одну из важнейших отраслей экономики, отвечающую за продовольственную безопасность страны.

Все эти обстоятельства накладывают большие требования к формированию МТА и рациональному их использованию в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Большой вклад в формирование и использование МТП внесли ученые: Бумбар И.В., Веденяпин Г.В., Горячкин В.П., Емельянов А.М., Желиговский В.А., Завалишин Ф.С., Иофинов С.А., Кашпура Б.И., Киртбая Ю.К., Рунчев М.С. Финн Э.А., Хабатов Р.Ш., Шахмаев М.В., Зангиев А.А., Андрианов В.Е. и др.

Реорганизация сельского хозяйства Казахстана привела к появлению различных организационных форм хозяйствования: крестьянских (фермерских) хозяйств, производственных кооперативов, коллективных предприятий и др. Вместе с тем крупные агроформирования в основном остались в прежних границах землепользования.

Характерная особенность современного этапа механизации сельского хозяйства - широкое применение технологических линий для последовательного выполнения взаимосвязанных процессов поточного производства. При этом первостепенное значение приобретают вопросы рационального построения и оптимизации технологических линий на основе применения современных экономико-математических методов и ЭВМ, которые позволяет вскрыть неиспользованные возможности производства, глубже и точнее разрабатывать сложные народнохозяйственные задачи агропромышленного комплекса, в частности задачи анализа, планирования и управления сельскохозяйственным производством на новом, более совершенном уровне.

Обзор исследований по тематике

Проблемы управления растениеводством и поддержки принятия управленческих решений являются актуальными и в настоящий момент. Значительный вклад в развитие данной тематики внесли зарубежные авторы, такие как Альберт М, Науман Э., Саати Т., Чандлер А., среди российских ученых: Завора В.А., Толокольников В.И., Добышев А.С., Беляев В.И., Дмитриенко Е.В., Лобырев И.С., Богомаз М.А., Синельников В.М., Войтик О.С., Арлазаров В.Л., Денисов Е.П., Оськин С.В., Тарасенко Б.Ф. и др.

Оптимальная продолжительность и сроки сельскохозяйственных работ определяются не только агротехническими и природно-климатическими условиями, но и определенными экономическими соображениями. За экономически целесообразные сроки проведения сельскохозяйственных работ принимают такие, при которых суммарные потери сельхозпредприятия от недобора урожая и издержек применения техники в зависимости от продолжительности работ будут наименьшими. Общие издержки, связанные с производством работ, равны [1]:

$$C_c = C_э + C_n, \quad (1)$$

где: C_c - суммарные издержки на эксплуатацию техники и потери от недобора урожая; $C_э$ - эксплуатационные издержки; C_n - потери от недобора урожая ввиду продолжительности работ.

Потери от недобора урожая ввиду продолжительности работ составят:

$$C_n = K_n \cdot y \cdot Ц(D - 1), \quad (2)$$

где: K_n - коэффициент, характеризующий потери урожая при растягивании сроков работ свыше оптимального в процентах на каждый день задержки; y - урожайность; $Ц$ - товарная стоимость единицы продукции; D - число дней проведения данной работы; $(D - 1)$ - означает допущение, что в первый день работы потерь от недобора урожая не будет.

В работе [2] отмечается, что повышение рентабельности в зерновом производстве и в целом в земледелии возможно только путем ресурсосбережения, которое во многом обеспечивается внедрением многофункциональных и высокопроизводительных машин. Однако комплектование МТП должно основываться на экономических выкладках, учитывающих перспективу его рационального использования в конкретных условиях хозяйства.

Расчет оптимального использования техники по эксплуатационным затратам на 1 га в денежном выражении осложняется постоянно изменяющимися ценами на горюче-смазочные материалы, семена, удобрения, гербициды и сельхозпродукцию. Более достоверный показатель - энергоёмкость производства на единицу продукции, так как она не зависит от конъюнктуры рынка, а подчиняется строгим физико-математическим законам.

Д-р техн. наук А.С. Добышев отмечает, что наиболее перспективным направлением в развитии механизации обработки почвы является применение комбинированных машин и агрегатов, позволяющих за один проход выполнять несколько технологических операций. Сокращение числа проходов машин по полю уменьшает потери времени на холостые проезды, увеличивает производительность труда и снижает денежные и трудовые затраты, значительно уменьшает расход топлива на единицу выполненной работы. Применение комбинированных агрегатов позволяет более полно загрузить энергонасыщенные тракторы, что невозможно выполнить однооперационными машинами, в итоге это дает большой агротехнический и экономический эффект [3].

Одной из основных задач сельскохозяйственного производства является снижение себестоимости получаемой продукции, что возможно, в основном, при снижении удельного расхода топлива и другой энергии. Здесь должны быть решены две основные проблемы:

- 1) применение высокопроизводительной техники, МТА, выполняющих за один проход все операции дополнительной обработки почвы и посева с активными и пассивными рабочими органами;
- 2) соблюдение всех элементов технологии возделывания и уборки сельхозкультур.

Особенно большого внимания требуют вопросы обеспечения современных мощных тракторов необходимым шлейфом машин.

По мнению д-ра техн. наук В.И. Беляева, при решении технических задач по оптимизации параметров тракторов, машин-орудий и режимов их эксплуатации в большинстве случаев используют статические методы не позволяющие дать достоверную оценку эффективности применения МТА в эксплуатации. Следует наиболее полно учитывать реальные условия функционирования почвообрабатывающих машин и агрегатов и на основании этого выполнять детальное математическое описание процессов работы МТА с учетом взаимосвязей совокупности эксплуатационных факторов. Только при таком подходе, возможно, достичь наилучших решений [4].

Анализ процессов работы МТА с учетом системы взаимодействий «почва - орудие - трактор» и применение вероятностно - статистических методов оценки входных и выходных переменных позволили получить уравнения связи их изменения в эксплуатации не только на отдельном поле, но и на их совокупности зоны использования в виде математической модели. Проверка адекватности модели выполнена по результатам испытаний почвообрабатывающих и посевных агрегатов на основных видах полевых работ. Обоснование параметров и режимов работы МТА проводилось на основе полученной математической модели с позиций минимизации воздействия агрегатов на почву, соблюдения требований качества ее подготовки и влияния на урожай зерновых культур, выявленных опытным путем за счет широкой постановки экспериментальных исследований.

В работе канд. техн. наук Е.В. Дмитриенко [5] для прогнозирования работоспособности МТА производства зерна разработаны теоретические модели влияния климата и погоды на функционирование механизированных технологических линий, учитывающие интенсивность и амплитуду воздействия климатических факторов на формируемую структуру с учетом резерва производительности и инертности системы, которые используются для разработки методики двухуровневого расчета состава МТП в условиях Красноярской лесостепи. Разработанная общая энергоэкономическая модель оптимизации структуры механизированных звеньев в зависимости от пространственных и климатических факторов позволяет выполнять проектирование производственных процессов сельскохозяйственной организации, расположенной в зоне Красноярской лесостепи, и

оценить эксплуатационные издержки в денежном и энергетическом эквивалентах на каждый период работы и по каждому агрегату.

В работе [6] для исследования процессов заготовки стебельчатых кормов д-р техн. наук Б.Е. Тыныштыкбаев предложил многоуровневый системный подход, позволяющий по взаимосвязанным критериям ресурсосбережения на основе методов теории оптимального управления, исследование операций, теории вероятностей и массового обслуживания, а также теории факторного эксперимента обосновать: оптимальные сроки и продолжительность заготовки стебельчатых кормов; оптимальные параметры и режимы работы агрегатов для скашивания растительной массы; оптимальный состав уборочно-транспортных звеньев на заготовке основных видов кормов; оптимальные обобщенные параметры тюков и рулонов.

Методами теории массового обслуживания для уборочно-транспортных звеньев по заготовке прессованного и рассыпного сена, сенажа, силоса и зеленых кормов в зависимости от всего диапазона изменения действующих факторов в виде номограммы установлены оптимальные количественные соотношения кормоуборочных и транспортных агрегатов.

Несмотря на значительное количество исследований по управлению растениеводством в сельхозпредприятии, малоизученными остаются вопросы применения математических моделей для формирования технологических линий посева зерновых культур.

Экономико-математическое моделирование как надежный метод исследования экономических процессов и систем зарекомендовало себя уже давно и традиционно используется для решения широкого круга экономических задач, связанных с оптимальным распределением и перераспределением ресурсов, с расчетами рациональных параметров и оценкой альтернативных вариантов развития хозяйствующих субъектов, с научно обоснованным территориальным размещением производства, с обоснованием оптимальных пропорций производственных систем и т.д.

На сегодняшний день существует множество апробированных экономико-математических моделей, позволяющих решать самые разнообразные задачи, связанные с развитием хозяйствующих субъектов аграрной сферы. Это модели по оптимизации отраслевой структуры производства, структуры посевных площадей, формирования севооборотов, рационов кормления сельскохозяйственных животных, состава и структуры машинно-тракторного парка, распределения и использования минеральных удобрений и т.д. [7].

Но оптимизационные модели, как правило, ориентированы на поиск параметров системы, характеризующих ее состояние в конкретный момент времени, тогда как процесс достижения данных параметров остается вне пределов их компетенции (за исключением динамических оптимизационных моделей, использующихся для решения некоторых задач развития, но отличающихся довольно высоким уровнем научной абстракции). Наиболее эффективным методом исследования процессов функционирования агроэкономических систем является имитационное моделирование.

Для раскрытия сущности имитационного моделирования предлагаем использовать определение, данное профессором Р. Шенноном в книге «Имитационное моделирование систем - искусство и наука» [8]. Он трактует имитационное моделирование как процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на ней с целью либо понять поведение системы, либо оценить последствия реализации различных стратегий развития системы.

В сельском хозяйстве экономико-математические методы используются по трем основным направлениям [9]:

- 1) разработка и решение экономико-математических задач внутривладельческого анализа и планирования;
- 2) разработка и решение экономико-математических задач на уровне агропромышленных объединений и отдельных звеньев агропромышленного комплекса;
- 3) разработка и решение экономико-математических задач отраслевого анализа и планирования.

Основной метод исследования - метод моделирования экономических процессов в сельском хозяйстве, который и определяет комплекс различных приемов, получивших широкое распространение в науке и практике в последние годы. Под моделированием понимают процесс построения моделей, с помощью которых изучают функционирование (поведение) объектов различной природы.

В самом общем смысле модель - это условный образ, схема объекта исследования. Понятие «модели» связано с наличием сходства между двумя объектами, один из которых может рассматриваться как оригинал, а другой - как его модель. Степень соответствия модели объекту моделирования может быть различной. Модель является важным инструментом научной абстракции, позволяющим выделить в процессе исследования наиболее существенные характеристики изучаемого объекта.

Построение математической модели подразумевает перевод формализованной модели, построенной на предыдущем этапе, на язык математических отношений. Математическая модель должна содержать три основных компонента [10]:

1) переменные, значения которых необходимо вычислить - это переменные решения из формальной модели;

2) целевая функция - это цель, записанная математически в виде функции от переменных. Обязательно указывается, что необходимо сделать с этой функцией для решения проблемы: найти ее максимум, минимум или конкретное заданное значение;

3) ограничения - записанные математически ограничения из формальной модели.

В настоящее время определились общие принципы моделирования технологических процессов, в том числе посевных, нашедших отражение в работах ученых В.Д. Саклакова, В.Ф. Скробача, Д.П. Рябцева, К.М. Жукевича. Вместе с тем процесс формирования технологических линий посева зерновых культур еще недостаточно исследован. При этом первостепенное значение приобретают вопросы рационального построения технологического процесса посева и оптимизации технологических линий на основе применения современных экономико-математических методов и ЭВМ.

Методика исследования

Изуемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему (построенная модель описывает процессы так, как они проходили бы в действительности), с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Такую модель можно «проиграть» во времени, как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно точную статистику, получаемую с помощью имитации, не прибегая к экспериментам на реальном объекте.

Результаты и обсуждение

Высокопроизводительное использование техники определяется необходимостью выполнять полевые работы в сжатые, оптимальные сроки, за счет чего значительно сокращаются потери продукции. Особое значение этот фактор приобретает на севе зерновых культур. Многочисленные данные показывают, что при задержке с высевом семян по разным причинам на один день против оптимальных сроков недобор зерна на каждом гектаре составляет 20 ... 30 кг, а при задержке на 6 ... 8 дней он возрастает до 3 ... 4 ц. Потери времени при этом должны быть сокращены до минимума, приняты все меры к рациональной организации полевых работ.

Основной продукцией агропромышленного комплекса Республики Казахстан является зерно яровых зерновых культур, в основном пшеницы. Определяющее влияние на урожайность пшеницы оказывает такая важнейшая технологическая операция, как посев. Анализ развития сельскохозяйственного производства показывает, что в мире и у нас в стране все более широкое распространение находят высокопроизводительные посевные комплексы.

В Костанайской области в настоящее время насчитывается 676 единиц более 10 моделей посевных комплексов. В разрезе фирм-изготовителей большинство посевных

комплексов завезено фирмой John Deere - 255 ед. или 37,7%, фирмой Bourgault – 89 ед. или 13,2%, фирмой Flexi oil – 80 ед. или 11,8%, фирмой Horsh-АгроСоюз – 88 ед. или 13,0%.

Главное достоинство посевных комплексов по сравнению с сеялками-культиваторами семейства СЗС (СТС) аналогичной ширины захвата в том, что благодаря повышенной удельной вместимости зерновых бункеров производительность их выше на 20 - 40%. В настоящее время нашли применение посевные комплексы как стран СНГ (Россия, Украина), так и стран дальнего зарубежья (США, Канада, Германия) с шириной захвата 12 - 18 м и вместимостью зерновых 8 бункеров от 7,0 до 19,4 м³. Доля засеянных ими площадей в области составляет до 50% от всего зернового клина [11].

Основу современных производств составляют технологические системы, имеющие сложную структурно-функциональную организацию. Как правило, объектом управления в этих системах являются конкретные технологические процессы. Если абстрагироваться от конкретного типа и вида технологического процесса, то любой технологический процесс можно представить в виде множества действий, условий и связей. Вообще говоря, любое производство состоит из стадий (этапов), на каждой из которых производится определенное воздействие на материальные потоки и превращение энергии. Последовательность стадий обычно описывается с помощью технологической схемы, каждый элемент которой соответствует определенному технологическому процессу. Соединения между элементами технологической схемы отражают материальные и энергетические потоки, протекающие в системе. Система характеризуется алгоритмом функционирования, направленным на достижение определенной цели.

С позиций системного подхода, технологический процесс - это сложная динамическая система, в рамках которой взаимодействуют: оборудование, средства контроля и управления, вспомогательные и транспортные устройства, обрабатывающий инструмент или среды, находящиеся в постоянном движении и изменении, объекты производства, люди, осуществляющие процесс и управляющие им. С целью анализа сложный технологический процесс можно разделить на подсистемы различных уровней. Декомпозиция системы на подсистемы позволяет вскрыть иерархию структуры и рассматривать систему на разных уровнях ее детализации [12, 13].

Технологическая линия посева зерновых культур - это совокупность расположенных в определенном количестве и последовательности по объектам производства МТА и других технических средств, предназначенных для осуществления всех или отдельного комплекса технологических операций. В инженерно-техническом отношении она представляет собой должным образом организованную для функционирования в конкретных природно-производственных условиях систему мобильных и стационарных технических средств, обеспечивающих выполнение всего технологического процесса (или его части) с заданными технологическими показателями. Технологическая линия является материально-технической основой осуществления принятого производственного процесса. Следовательно, принципы ее формирования и функционирования зависят в основном от выбранной схемы и структуры процесса.

Работы по посеву зерновых в сжатые агротехнические сроки и с высоким качеством в настоящее время могут быть произведены технологической линией, обеспечивающей комплексную механизацию работ. Эта линия включает посевные агрегаты, транспортно-загрузочные средства, пункт погрузки семенного материала (ППМ) со средствами погрузки в ТЗС (зернопогрузчики, бункеры-накопители и др.) и весовую.

Машины технологической линии посева зерновых могут находиться в следующих состояниях. Посевной агрегат - в состоянии работы, загрузки семян и ожидания загрузки. Транспортно-загрузочное средство может находиться в состоянии загрузки посевных агрегатов семенами или в состоянии ожидания. Находясь в пути, ТЗС может находиться в состоянии передвижения с поля на ППМ и перевозки семян на рабочие участки. Он может также находиться на ППМ в состоянии погрузки в него семян и ожидания, если погрузчики

заняты. Стационарные погрузчики могут быть в состоянии погрузки семян и ожидания, если нет ТЗС.

В технологических линиях посева зерновых обычно функционируют две технологические группы: транспортно-распределительная и группа технологического оборудования ППМ. Причем работа транспортно-загрузочных средств технологически жестко взаимосвязана как с работой посевных агрегатов, так и с работой погрузочных средств ППМ.

Таким образом, особенностью рассматриваемых линий является наличие тесной технологической взаимосвязи между группами машин. Несоответствие состава любой из технологических групп требованиям, вытекающим из обеспечения параметров всей линии, отрицательно сказывается на показателях функционирования как отдельных других групп, так и линии в целом. Например, при недостатке ТЗС будут простаивать посевные агрегаты и средства погрузки ППМ. Рассматриваемые линии могут обеспечить достижение высоких технико-экономических показателей только в том случае, если их состав будет оптимальным, и при этом будет обеспечена наиболее рациональная организация всех технологических групп машин.

Эффективно использовать транспортно-загрузочные средства можно только при групповой работе посевных агрегатов, обеспечивающей минимум простоя ТЗС на рабочем участке в ожидании загрузки агрегатов. Учитывая эту особенность, а также порядок (режим) обоснования ТЗС и стационарных погрузчиков ППМ, технологическую линию посева зерновых культур можно рассматривать как СМО замкнутого типа [3, 4].

Рассматриваемая технологическая линия представлена в виде двух систем массового обслуживания: СМО-1, включающая посевные агрегаты и ТЗС; СМО-2, содержащая те же ТЗС, взаимодействующие с погрузочными средствами ППМ. Особенностью ее является наличие тесной технологической взаимозависимости между группами машин. Несоответствие состава любой из технологических групп требованиям, вытекающим из обеспечения параметров всей линии, отрицательно сказывается на показателях функционирования как отдельных групп, так и линии в целом. Например, при недостатке ТЗС будут простаивать посевные агрегаты и средства погрузки ППМ. Такая линия может обеспечить достижение высоких технико-экономических показателей только в том случае, если ее состав будет оптимальным, и при этом будет обеспечена наиболее рациональная организация всех технологических групп машин.

Каждая из рассматриваемых систем делится на обслуживающую и обслуживаемую подсистему. В обслуживающей подсистеме выполняется совокупность операций, подходящая под термин «обслуживание». В качестве таким подсистем технологической линии посева зерновых культур целесообразно принять ТЗС и погрузочные средства ППМ. В обслуживающую подсистему в случайные моменты времени поступают заявки (требования) на обслуживание, источником которых в СМО-1 являются функционирующие посевные агрегаты, в СМО-2 - транспортно-загрузочные средства. Таким образом, группа ТЗС в одном случае выступает в качестве обслуживающей, в другом - обслуживаемой системой.

Исходя из технологической сущности процесса посева зерновых культур, за поток требований в СМО - 1 будем считать поток требований на загрузку посевных агрегатов семенами. Следовательно, поток требований в этой системе создают посевные агрегаты, и они на поле (рабочем участке) обслуживаются транспортно-загрузочными средствами. Последние, по прибытии порожняком на склад, создают в СМО-2 поток требований на обслуживание погрузочными средствами ППМ.

Последовательность заявок в обслуживающую подсистему образует входящий поток заявок. Одной из основных характеризующих его величин является параметр потока заявок λ , представляющий собой среднее число заявок, поступающее в обслуживающую подсистему в единицу времени.

Период времени от начала обслуживания заявки до момента его завершения является временем обслуживания $t_{обс}$. Величина, обратная среднему времени обслуживания заявки, получила название «параметр потока обслуживания» μ .

Параметры потока заявок и потока обслуживаний определяются по выражениям:

$$\lambda_n = 1/t_{ц.п}; \mu_n = 1/t_{обс.н}; \quad (3)$$

$$\lambda_m = 1/t_{ц.м}; \mu_m = 1/t_{обс.м}; \quad (4)$$

где: λ_n, λ_m - параметры потока заявок, создаваемые одним посевным агрегатом (СМО-1) и одним ТЗС (СМО-2), $ч^{-1}$; μ_n, μ_m - параметры потока обслуживаний, осуществляемые одним ТЗС (СМО-2) и одним стационарным погрузчиком ППМ (СМО-2), $ч^{-1}$; $t_{ц.п}$ - операционное время за один цикл посевного агрегата, ч; $t_{ц.м}$ - операционное время одного ТЗС; $t_{обс.н}$ - время обслуживания посевного агрегата транспортно-загрузочным средством, ч;

Численные значения показателей функционирования СМО зависят от состава-системы (количество посевных агрегатов, ТЗС, погрузчиков), а также от ряда природно-производственных факторов и особенностей технологических параметров. Основными из них являются число сеялок в агрегате, рабочая длина участка (L), расстояние перевозки семян (R) и состояние дорог, тип ТЗС и их вместимость, норма высева семян и их насыпная плотность, производительность стационарных погрузчиков.

Технологический процесс посева зерновых культур характеризуется тем, что продолжительность выполнения различных элементов технологических операций является случайными величинами с соответствующими законами распределения, математическими ожиданиями, дисперсиями и т.п. В этой связи согласование работы машин, объединяемых в единую технологическую линию, необходимо выполнить с учетом случайного характера их взаимодействия. В рассматриваемой линии непосредственному взаимодействию подчиняются посевные агрегаты, ТЗС и стационарные погрузчики ППМ. К основным показателям формируемых технологических линий посева зерновых культур относятся: производительность за 1 ч основного, технологического и эксплуатационного времени; совокупные, издержки; затраты труда; металлоемкость посевного процесса; удельный расход топлива.

Работа посевного агрегата, как и большинства других сельскохозяйственных машин, характеризуется цикличностью выполнения. Причем циклов работы агрегата может быть выделено несколько. Однако, наиболее важным представляется промежуток времени от одной загрузки сеялок до другой. Важность именно этого цикла определяется тем, что в момент загрузки происходит непосредственное взаимодействие посевного агрегата и ТЗС.

Все составляющие времени цикла и посевных агрегатов являются случайными величинами, подчиняющимися собственным законам распределения. Построение модели имитационного моделирования технологического процесса посева зерновых культур требует определения математических ожиданий элементов времени цикла и законов их распределения.

Вероятностная структура времени основной работы посевного агрегата в цикле определяется закономерностью высева семян. Возможный высев семян обеспечивает выбор соответствующих значений ширины захвата и рабочей скорости посевного агрегата.

Технологическое время цикла посевного агрегата складывается из времени основной работы $t_{o.н}$, времени затрачиваемого на повороты $t_{пов}$, времени на устранение технологических и технических неисправностей $t_{н}$, времени загрузки сеялок семенами t_3 . Математическое ожидание времени, затрачиваемое на повороты в течение цикла, зависит от длины гона, скорости переезда, площади загонки и т.д.:

Таким образом, используя теорему о сумме математических ожиданий случайных величин, определим математическое ожидание времени цикла посевного агрегата без учета времени простоя в ожидании ТЗС:

$$M[t_{ц.п}] = M[t_{o.н}] + M[t_{пов}] + M[t_{н}] + M[t_3]. \quad (5)$$

Наиболее важной величиной, определяемой в процессе имитационного моделирования, являются простои посевных агрегатов из-за отсутствия ТЗС, а также простои ТЗС при неготовности агрегатов к загрузке.

Описанная стохастическая модель технологического процесса посева зерновых культур использована при разработке программ имитационного моделирования двух технологических схем (табл. 1):

Таблица 1 - Технологическая схема посева зерновых культур




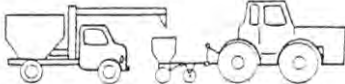

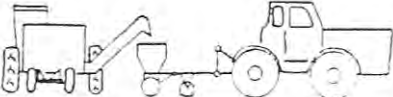
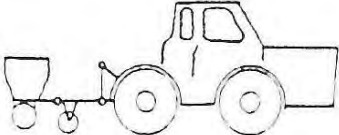
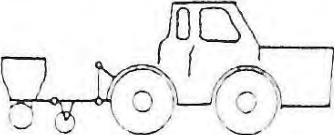
Технологическая операция	Схема I	Схема II
Погрузка семян в ТЗС стационарным погрузчиком ППМ		
Транспортировка семян транспортно-загрузочным средством	—	
Загрузка сеялок транспортно-загрузочным средством		—
Перегрузка семян из ТЗС в бункер- накопитель	—	
Загрузка сеялок бункером- накопителем	—	
Посев		

Схема I - погрузка семян в ТЗС стационарным погрузчиком ППМ - транспортировка семян транспортно-загрузочным средством на поле - загрузка сеялок транспортно-загрузочным средством - посев;

Схема II - погрузка семян в ТЗС стационарным погрузчиком ППМ - транспортировка семян транспортно-загрузочным средством на поле - перегрузка семян из ТЗС в бункер-накопитель - загрузка сеялок бункером-накопителем - посев.

Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью во многих случаях дает возможность относительно быстро и без существенных материальных затрат

исследовать его свойства и поведение в любых ситуациях. Математическое моделирование в данной области - это процесс создания абстрактной модели в виде формального описания объекта исследований на «математическом языке» и оперирование этой моделью с целью получения необходимых сведений о реальном или проектируемом технологическом объекте. В зависимости от уровня знаний об объекте исследований построение моделей может осуществляться на основе различных принципов и методик: фундаментальных законов природы, вариационных методов, аналогий, иерархических цепочек и др. Довольно часто построение модели, позволяющей получить практически значимые результаты, требует комплексного использования различных методов моделирования. Обязательным этапом моделирования является оценка адекватности модели - соответствие сконструированного формального описания реальному объекту и сформулированным предположениям с учетом целей исследования [12].

Современные инструментальные средства позволяют строить модели имитационного типа путем описания системы причинно-следственных связей, имеющих место в моделируемом объекте. При этом соответствующие системы уравнений синтезируются автоматически средой моделирования на основе заданных описаний. При определении параметров модели необходимо учитывать технологические характеристики оборудования и экспериментальные данные о работе объекта. Допущения, принимаемые при построении моделей, должны обеспечивать воспроизведение качественно верной физической картины, происходящих в объекте процессов работы объекта. Должна также обеспечиваться необходимая полнота моделирования, т.е.: моделироваться все необходимые режимы работы, контролируемые параметры и органы управления объекта моделирования; воспроизводится набор возможных аварий и отказов в работе технологического оборудования и устройств автоматики. Модель должна обеспечивать достаточную точность результатов. В идеале отклонение в поведении моделируемых параметров от поведения реальных параметров должно быть настолько мало, что им можно пренебречь.

Процесс компьютерного моделирования включает и конструирование модели, и ее применение для решения поставленной задачи: анализа, исследования, оптимизации или синтеза технологических процессов. Вычислительные (имитационные) эксперименты с моделями объектов не редко позволяют изучать объекты в полноте, недоступной чисто теоретическим подходам. При этом выбор вычислительных алгоритмов - важный этап работы с моделью, а разработка программ завершает создание рабочего инструмента исследователя.

Основой успешной методики компьютерного моделирования должна быть тщательная проработка моделей. Аналогии и ассоциации с хорошо изученными структурами играют важную роль в определении отправной точки процесса совершенствования и уточнения деталей. Целесообразно обеспечить взаимодействие между процессом модификации модели и процессом анализа данных, генерируемых реальным объектом. Искусство моделирования состоит в способности анализировать проблему, выделять из нее путем абстрагирования ее существенные черты, выбирать и должным образом модифицировать предположения, характеризующие систему, а затем совершенствовать модель до тех пор, пока она не станет давать полезные для практики результаты.

Имитационное моделирование функционирования технологической линии посева зерновых культур включало в себя следующие основные этапы [14, 15]:

1. Формулировка проблемы, постановка задачи и определение цели эксперимента. Проблема сводится к определению такого состава технологической линии, при котором достигаются экстремальные значения выбранных критериев.

На этом этапе устанавливают характеристики технологической линии, подлежащие изучению, показатели эффективности и ограничения. Опыт показывает, что постановка задачи является непрерывным процессом, поскольку исследования порождают новую информацию о линии, касающуюся ограничений и возможностей альтернативных решений.

Цель имитационного моделирования заключается в получении новой информации о влиянии исследуемых факторов на показатели эффективности работы технологической линии и в дальнейшем оптимизации этих показателей. В результате имитационного эксперимента находится такая комбинация уровней факторов, которая обеспечивает получение экстремального значения целевой функции. Для решения этой задачи применяются методы теории планирования экспериментов.

2. Изучение технологической линии. На этом этапе уточняются входные данные и ограничения, а также случайные возмущения. Собирают информацию, характеризующую работу линии.

3. Формулировка математической модели технологической линии. При этом выделяют главные и исключают второстепенные. Это позволяет построить модель линии в виде уравнения, графиков, схем и т.д.

В задачу построения имитационной модели входила структурная и параметрическая идентификация. Структуры модели выбирают в зависимости от цели исследования.

4. Планирование машинных экспериментов. Задача исследования состояла в глубоком изучении поведения исследуемой линии при наименьших затратах труда и машинного времени. С этой целью осуществлено не только построение модели, но и планирование проведения на ней эксперимента. Планирование эксперимента позволило уменьшить число необходимых испытаний на ЭВМ и послужило структурной основой процесса исследования.

5. Составление машинной программы и проведение эксперимента на ЭВМ. В соответствии с математической моделью и ее алгоритмом составлена программа для розыгрыша различных вариантов.

6. Проверка адекватности математической модели. Проверка на адекватность произведена статистическими методами с помощью критерия Фишера.

Физическое описание процессов в имитационной модели сводится к следующему. В случайные моменты времени в систему поступают заявки на загрузку посевных агрегатов семенами. Промежутки времени между поступлениями распределены по закону Эрланга k -го порядка.

Заявки выстраиваются в очереди и обслуживаются в порядке поступления. Система имеет m равноценных ТЗС (каналов), номера которых соответственно 1, 2, ..., m . Заявка, занимающая место в начале очереди, поступает в тот канал, который освобождается ранее других. Длительность обслуживания заявки имеет экспоненциальный закон распределения.

Имитационное моделирование рассматриваемой системы произведено по разработанному алгоритму. Экспериментальные исследования выполнялись на полях ТОО «КХ Багратион ВВГ» Уланского района Восточно-Казахстанской области в соответствии с темой работы, имели своей «целью»:

- сбор и обработка статистической информации о работе машин;
- определение статистических характеристик основных элементов работы машин;
- выполнение экспериментов на машинных моделях по двум технологическим схемам посева зерновых культур.

Наличие производственных фондов ТОО «КХ Багратион ВВГ» показано в таблице 2.

Таблица 2 - Производственные фонды ТОО «КХ Багратион ВВГ»

Показатели	Виды	Количество
Сельхозугодия	Всего, га	33000
	в том числе:	
	- пашня	11000
	- сенокосы	1200
	- пастбища	19000

Продолжение таблицы 2

Поголовье скота	КРС всего, гол.,	4300
	в том числе:	
	- мясного направления	1800
	- молочного направления	2500
	- лошади	259
	- маралы	180
Наличие техники	- верблюды	17
	Всего, шт.,	305
	в том числе:	
	- тракторы	80
	- комбайны	25
	- автомобили	60
	- прицепы	20
- сеялки	100	
Цеха по переработке	- плуги	20
	Всего, шт.,	8
	в том числе:	
	- мельница	2
	- крупорушка	1
	- хлебопекарня	1
	- макаронный цех	1
	- пельменный цех	1
	- цех по разливу масла и воды	1
- маслосыр цех	1	

В таблице 3 представлены материалы хронометражных наблюдений трех посевных агрегатов К-701 + 5СКС-2,1М, касающиеся времени на основную работу и загрузки.

Таблица 3 - Показатели работы посевных агрегатов

Показатели	Хозяйственный номер		
	2	5	9
Эксплуатационное время, ч, мин.	11,2	11,2	9,41
Сменное время, ч, мин.	10,42	11,11	9,15
Основное время, ч, мин.	6,17	7,03	5,11
Время на повороты, ч, мин.	1,54	2,06	1,58
Время на загрузку, ч, мин.	0,25	0,35	0,2
Ожидание ТЗС, ч, мин.	0,22	0,3	0,18
Количество поворотов	63	61	62
Время 1 поворота, мин.	1,8	2	1,9
Количество загрузок	6	7	5
Время 1 загрузки, мин.	4,2	5	4,1

Из таблицы 4 следует, что средняя эксплуатационная производительность трех наблюдаемых посевных агрегатов составила соответственно 6,0, 5,4 и 5,0 га/ч при норме высева 0,16 т/га.

Таблица 4 - Итоговые показатели работы посевных агрегатов

Показатели	Хозяйственный номер		
	2	5	9
Наработка за время посева:			
ч	76,4	81,0	67,3
га	458	445	336
Производительность эксплуатационная, га / ч	6,0	5,4	5,0

При значениях времени высева, указанных в таблице 5, фактический высев семян находился в пределах 1,223...1,464 т/ч. Такие показатели работы посевных агрегатов практически при эталонных условиях посева могут быть приняты удовлетворительными. Суммарное время высева для первого агрегата составило 377 мин., для второго - 423 мин. и для третьего - 311 мин. Указанные диапазоны изменения значений времени высева семян отмечены при следующих условиях посева: норма высева семян 0,16 т/га; вместимость семенного ящика - 0,275 м³; степень использования вместимости ящика 0,90; насыпная плотность семян 1,25 т/м³, ширина захвата посевного агрегата - 9,22.

Таблица 5 - Структура затрат времени посевных агрегатов (мин.)

Номер цикла	Хозяйственный номер 2			Хозяйственный номер 5			Хозяйственный номер 9		
	высев	ожидае ие загрузк и	загрузк а	высев	ожидае ие загрузк и	загрузк а	высев	ожидае ание загруз ки	загрузк а
1	60	3,5	4,2	62	3,8	5,0	62	3,5	4,0
2	59	3,4	4,3	60	3,8	5,0	60	3,7	4,0
3	62	3,7	4,1	58	4,2	5,2	61	3,3	4,4
4	65	4,0	4,0	56	4,4	5,1	63	3,4	4,4
5	65	3,5	4,4	61	4,3	4,0	65	3,8	4,1
6	66	3,7	4,2	62	4,5	5,4	-	-	-
7	-	-	-	64	4,6	5,4	-	-	-
Итого:	377	21,8	25,2	423	29,6	35,0	311	17,7	20,5

В таблице 6 приведены данные анализа фактических затрат времени трех посевных агрегатов.

Таблица 6 - Фактический баланс времени посевных агрегатов (мин.)

Наименование времени	Обозна чение	Хозяйственный номер		
		2	5	9
Основной работы	T ₀	377	423	311
На повороты	T ₁	114	126	118
Технологического оборудования – всего в том числе	T ₂	20	17	18
- загрузка сеялок	T _{2.1}	11	10	10
- регулирования	T _{2.2}	9	7	8
Устранение технологических отказов	T ₃	34	43	20
Холостых переездов	T ₄	18	9	14
Подготовка к работе	T ₅	16	12	10
Регламентируемое	T ₆	27	18	27
Техническое обслуживание	T ₇	36	23	26
Сменное	T ₈	642	671	555
Устранение технических не исправностей	T ₉	30	31	26
Эксплуатационные	T ₁₀	672	702	581

Среднее время одного поворота равно 1,9 мин. При среднем фактическом высева семян, равном 1,340 т/ч и норме высева 0,16 т/га, производительность в основное время $W_{o,n}$ = 4,3 га/ч, а для максимального фактического высева

$$g = 1,464 \text{ т/ч} - W_{o,n} \quad (6)$$

Коэффициент рабочих ходов, определяемый выражением

$$K_1 = (1 + T_1 W_{o.n}) / 0,6 - 10^{-2} L B_p^{-1}, \quad (7)$$

при $L = 1500$ м и $B_p = 9,22$ м находится в пределах $0,792 \dots 0,810$.

Коэффициент технического обслуживания

$$K_2 = [1 + T_{2,1} g_H W_{o.n} / 60 V_n \xi_{УС} + (T_{2,1} + T_{2,2}) / T_0]^{-1}. \quad (8)$$

Выполненные натурные эксперименты, целью которых было установление или подтверждение основных статистических характеристик элементов времени работы машин, позволили определить, что продолжительность цикла работы посевного агрегата $t_{ц.п}$ и время оборота ТЗС $t_{ц.м}$ подчиняются закону Эрланга k -го порядка, продолжительность загрузки сеялок t_3 - показательному закону, время устранения отказа t_H - нормальному закону и время наступления очередного отказа t_n - экспоненциальному закону распределения.

Установлены закономерности для формирования соответствующих случайных чисел при имитационном моделировании работы посевных агрегатов, ТЗС и стационарных погрузчиков в технологической линии.

Варьируемыми параметрами разработанных моделей имитационного моделирования являются количество посевных агрегатов, ТЗС и погрузчиков ППМ, число сеялок в агрегате, длина гона, радиус перевозки семян. Часть получаемых выходных результатов характеризует состав технологических линий (количество посевных агрегатов, ТЗС и погрузчиков), другая часть представляет собой оценочные критерии формируемых линий (производительности, совокупные издержки и т.д.). Очевидно, что значения критериев являются функциями большинства входных факторов. Однако просчитать зависимость каждого критерия от каждого параметра, определить наиболее значимые из них и получить возможность оперативной оценки технологической линии не представляется возможным ввиду громоздкости задачи.

Формирование технологических линий посева зерновых культур связано с многокритериальностью. При таких условиях трудно выбрать обоснованное компромиссное решение. Метод многокритериальной оптимизации помогает в этом. Задача решена с использованием ЭВМ в диалоговом режиме.

Варьируемыми параметрами разработанных моделей имитационного моделирования являются количество посевных агрегатов, ТЗС и погрузчиков ППМ, число сеялок в агрегате, длина гона, радиус перевозки семян. Решение задачи включало четыре этапа [8, 13]:

1. Построение статистической модели работы технологической линии.
2. Зондирование многомерного пространства параметров.
3. Построение уравнений связи критериев и параметров.
4. Анализ полученных зависимостей.

Рассмотрим модель имитационного моделирования, описывающую процесс посева зерновых культур по технологической схеме I (рис. 2) и проанализируем последствия изменения следующего набора аргументов (табл. 7).

Таблица 7 - Выходные параметры имитационной модели

Номер параметра	Наименование параметра	Программное обозначение
1	Количество посевных агрегатов	N
2	Количество транспортно-загрузочных средств	M
3	Количество погрузчиков	E
4	Количество сеялок в агрегате	n_c
5	Длина гона	L
6	Радиус перевозки	R

На основе предложенной методики составлена программа, которая создает план проведения машинного эксперимента после того как введены границы изменения

анализируемых параметров. Каждая точка α_i пространства параметров характеризуется значением физических аргументов, определяющих как условия посева, так и параметры технологической линии (табл. 8).

Таблица 8 - Границы изменения анализируемых параметров

№ параметра	1	2	3	4	5	6
Наименование параметра	Количество посевных агрегатов	Количество ТЗС	Количество стационарных погружчиков	Количество сеялок в агрегате	Длина гона	Радиус перевозки
Программное обеспечение	n	T	e	n_c	L	R
Единица измерения	шт.	шт.	шт.	шт.	м	Км
Граничные значения параметров	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max
	2/10	1/13	1/2	4/6	1000/2000	1/30

В качестве приоритетного критерия оптимизации приняты совокупные издержки технологического процесса

$$\Pi = \sum_j X_j \{ [B_j(A_{pj} + A_{крj} + A_{Трj}) / W_{см}^{Тл} \cdot T_{н.з.}] + \sum_k P_j C_{jk} / W_{см}^{Тл} + N_{ej} \xi_j \eta_j \zeta_{Tj} / W_{см}^{Тл} \} \rightarrow \min.$$

Задача решалась при следующих ограничениях:

1. На поле с определенными значениями L и R работает одна технологическая линия.
2. Переменные должны принимать соответствующие значения рассматриваемых вариантов технологических линий.
3. Сравнимые технологические линии должны иметь производительность, обеспечивающую выполнение заданных объемов работ в оптимальные агротехнические сроки.

4. Неотрицательности переменных $X_j \geq 0$

По результатам расчетов разработан каталог оптимальных технологических линий для посева зерновых культур, фрагмент которого показан в таблице 9.

Таблицы 9 - Фрагмент каталога оптимальных технологических линий посева зерновых культур (схема I)

№ п/п	Состав технологической линии	Совокупные затраты, долл./га
<i>Длина гона $L = 1000$ м</i>		
<i>Радиус перевозки $R = 5$ км</i>		
1	2(К-701 + 5СКС-2,1М) + УЗСА + ЗПС-60	24,73
2	3(К-701 + 5СКС-2,1М) + 2УЗСА + ЗПС-60	23,57
3	5(К-701 + 5СКС-2,1М) + 3УЗСА + ЗПС-60	26,63
<i>Радиус перевозки $R = 10$ км</i>		
4	2(К-701 + 5СКС-2,1М) + УЗСА + ЗПС-60	30,42
5	3(К-701 + 5СКС-2,1М) + 2УЗСА + ЗПС-60	26,68
6	5(К-701 + 5СКС-2,1М) + 3УЗСА + ЗПС-60	29,62

Заклучение

Научным результатом выполненной работы являются разработка имитационной модели формирования технологических линий посева зерновых культур, представляющей собой две взаимосвязанные системы массового обслуживания. В практическом плане проведенное исследование позволило разработать методику формирования технологических линий посева зерновых культур с учетом конкретных условий эксплуатации машин. Определены оптимальные варианты технологических линий на базе посевных агрегатов К-700А+СЗС-2.1.

Для определения оптимальной технологической линии посева зерновых культур наиболее эффективен алгоритм многокритериальной оценки. Экстремум функций связи анализируемых критериев оптимальности с изменяемыми параметрами технологических линий определяется регрессионными уравнениями. Оценка эффективности предлагаемой методики показала, что она наиболее соответствует достижению поставленной цели. При этом экономический эффект по сравниваемым вариантам составил 7,62 долл. /га.

Поскольку имитационное моделирование еще не нашло массового применения для планирования, то целесообразно применять уже подготовленные решения различных вариантов. В каталоге представлено более 140 таких вариантов. Данные каталога послужат основой оперативного руководства работой.

Список литературы

1. Завора В.А., Толокольников В.И. К вопросу обоснования продолжительности выполнения механизированных работ в растениеводстве // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2007, №1. С. 39 - 41.
2. Кем А.А., Миклашевич В.Л., Зарипова Н.А., Алгазин Д.Н. Технологическое обоснование комплектования МТА при производстве продукции растениеводстве // Достижения науки и техники АПК, 2009. С. 59 - 61.
3. Добышев А.С. Повышение эффективности возделывания зерновых культур применением комбинированных агрегатов и рабочих органов. Дисс. на соис. уч. ст. д-ра техн. наук, Горки, 2003. – 415 с.
4. Беляев В.И. Повышение эффективности обработки почвы и посева зерновых культур при использовании перспективных машинно-тракторных агрегатов. Дисс. на соис. уч. ст. д-ра техн. наук, Барнауд, 2000. - 411 с.
5. Дмитриенко Е.Н. Формирование структуры механизированных звеньев производства зерна в условиях Красноярской лесостепи. Дисс. на соис. уч. ст. канд. техн. наук, Красноярск, 2009.
6. Тыныштыкбаев Б.Е. Оптимальное проектирование ресурсосберегающих производственных процессов заготовки стебельчатых кормов в условиях Приаралья Казахстана. Дисс. на соис. уч. ст. д-ра техн. наук, Москва, 2000. – 405 с.
7. Улезько А.В., Курносоев А.П., Тютюников А.А. Имитационное моделирование как инструмент исследования агроэкономических систем. URL: <http://naukarus.com/imitatsionnoe-modelirovanie-kak-instrument-issledovaniya-agroekonomicheskikh-sistem>
8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. - М.: Мир, 1978. - 420 с.
9. Лобырев И.С., Богомаз М.А. Моделирование производственных процессов в сельском хозяйстве // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии, 2011.
10. Синельников В.М., Войтик О.С. Экономико-математическая модель оптимизации производственной структуры сельскохозяйственного предприятия // Исследования, результаты, 2015.
11. Астафьев В.Л., Жангабулов Н.С. Повышение эффективности использования посевных комплексов за счет применения высокопроизводительного загрузчика. В кн.: «Материалы III международной научно-технической конференции «Достижения науки –

агропромышленному производству» / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Н.С. Сергеева. – Челябинск: ЧГАА, 2013. – Ч. III.С. 7 - 11.

12. Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М. Моделирование технологических процессов: методы и опыт // Труды Кольского научного центра РАН, 2010.

13. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Корчагина К. Имитационное моделирование с применением системного подхода и исчисления объектов // Объектные системы, 2016. С. 28 - 32

14. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов: - Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2002. - 368с.

15. Общая характеристика метода имитационного моделирования. URL: https://studme.org/163951/informatika/obschaya_harakteristika_metoda_imitatsionnogo_modelirov

References

1. Zavora V.A., Tolokol'nikov V.I. K voprosu obosnovaniya prodolzhitel'nosti vypolneniya mekhanizirovannyh работ v rasteniyevodstve // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2007, №1. S. 39 - 41.

2. Kem A.A., Miklashevich B.L., Zaripova N.A., Algazin D.N. Tekhnologicheskoe obosnovanie komplektovaniya MTA pri proizvodstve produkcii rasteniyevodstve // Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2009. S. 59 - 61.

3. Dobyshev A.S. Povyshenie effektivnosti vozdeystviya zernovyh kul'tur pri menenii kombinirovannyh agregatov i rabochih organov. Diss. na sois. uch. st. d-ra tekhn. nauk, Gorki, 2003. – 415 s.

4. Belyaev V.I. Povyshenie effektivnosti obrabotki pochvy i poseva zernovyh kul'tur pri ispol'zovanii perspektivnyh mashinno-traktornyh agregatov. Diss. na so-is. uch. st. d-ra tekhn. nauk, Barnaud, 2000. - 411 s.

5. Dmitrienko E.N. Formirovanie struktury mekhanizirovannyh zven'ev proizvodstva zerna v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi. Diss. na sois. uch. st. kand. tekhn. nauk, Krasnoyarsk, 2009.

6. Tynyshtybaev B.E. Optimal'noe proektirovanie resursosberegayushchih proizvodstvennyh processov zagotovki stebel'chatyh kormov v usloviyah Priaral'ya Kazahstana. Diss. na sois. uch. st. d-ra tekhn. nauk, Moskva, 2000. – 405 s.

7. Ulez'ko A.V., Kurnosov A.P., Tyutyunikov A.A. Imitacionnoe modelirovanie kak instrument issledovaniya agroekonomicheskikh sistem. URL: <http://naukarus.com/imitatsionnoe-modelirovanie-kak-instrument-issledovaniya-agroekonomicheskikh-sistem>

8. SHennon R. Imitacionnoe modelirovanie sistem - iskusstvo i nauka. - M.: Mir, 1978. - 420 s.

9. Lobyrev I.S., Bogomaz M.A. Modelirovanie proizvodstvennyh processov v sel'skom hozyajstve // Vestnik Bryanskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akade-mii, 2011.

10. Sinel'nikov V.M., Vojtik O.S. Ekonomiko-matematicheskaya model' optimizatsii proizvodstvennoj struktury sel'skohozyajstvennogo predpriyatiya // Issledovaniya, rezul'taty, 2015.

11. Astaf'ev V.L., ZHagabulov N.S. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya po-sevnyh kompleksov za schet primeneniya vysokoproizvoditel'nogo zagruzchika. V kn.: «Materialy LII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu» / Pod red. d-ra tekhn. nauk, prof. N.S. Sergeeva. – CHE-lyabinsk: CHGAA, 2013. – CH. III.С. 7 - 11.

12. Mal'kov M.V., Olejnik A.G., Fedorov A.M. Modelirovanie tekhnologicheskikh processov: metody i opyt // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2010.

13. ZHiharev A.G., Matorin S.I., Korchagina K. Imitacionnoe modelirovanie s primeneniem sistemnogo podhoda i ischisleniya ob"ektov // Ob"ektnye sistemy, 2016. S. 28 - 32

14. Emel'yanov A.A., Vlasova E.A., Duma R.V. Imitacionnoe modelirovanie ekonomicheskikh processov: - Uchebnoe posobie. – М.: Финансы и статистика, 2002. - 368с.

15. Obshchaya karakteristika metoda imitacionnogo modelirovaniya. URL: https://studme.org/163951/informatika/obschaya_harakteristika_metoda_imitatsionnogo_modelirov

М.С. Азамов

*С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан,
mukhamedolla.agzamov@mail.ru*

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНДІРІСІНДЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ ИМИТАЦИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН МОДЕЛЬДЕУ

Андатпа

Ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыру мен оны интенсификациялаудың шешуші бағыттарының бірі – механизмдерді қолдануды жақсарту. Бұл жағдайда ең маңызды міндет нақты өндірістік және табиғи-экономикалық жағдайларды ескере отырып, оңтайлы машина-трактор агрегаттарын (МТА), машина кешендерін және машина-трактор паркінің (МТП) құрамдарын негіздеу болып табылады. Шаруашылықтар үшін технологиялық және техникалық шешімдердің барлық алуан түрінен өндірістің максималды тиімділігін қамтамасыз ететін нұсқаларды таңдау керек. Мақалада дәнді дақылдарды егудің технологиялық желілерін қалыптастыру мәселелері қарастырылған, сызықтық бағдарламалау әдістерін қолдану арқылы оңтайландырудың кемшіліктері анықталған. Технологиялық процесті көрсетілген агротехникалық мерзімдерде тиімдірек орындауды қамтамасыз ететін имитациялық модельдеу әдісін қолдану арқылы оңтайландыру мәселесін шешу мүмкіндігі көрсетілген. Имитациялық модельдеу – зерттелетін жүйе нақты жүйені жеткілікті дәлдікпен сипаттайтын модельмен ауыстырылатын және осы жүйе туралы ақпарат алу үшін онымен тәжірибелер жүргізілетін зерттеу әдісі. Имитациялық модельдеу жүйенің әрекетін уақыт бойынша болжауға мүмкіндік береді. Дәнді дақылдарды егу процесінің имитациялық моделі әзірленді, ол өзара байланысты екі кезек жүйесі (QS) және машиналардың нақты жұмыс жағдайларын ескере отырып, технологиялық желілерді оңтайландырудың математикалық моделі. Дәнді дақылдарды егу технологиялық процесінің негізгі элементтерін жүзеге асырудың заңдылықтары белгіленді.

Кілт сөздер: технологиялық желі; себу; дәнді дақылдар; машина-трактор агрегаттары, оңтайландыру, имитациялық модельдеу, кезек жүйесі.

M.S. Agzamov

*East Kazakhstan University named after S. Amanzholov, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
mukhamedolla.agzamov@mail.ru*

SIMULATION MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Abstract

Improving the use of mechanization is one of the decisive directions for increasing the efficiency of agricultural production and its intensification. The most important task in this case is the substantiation of optimal machine-tractor units (MTA), complexes of machines and compositions of the machine-tractor fleet (MTP), taking into account specific production and natural and economic conditions. For farms, from the whole variety of technological and technical solutions, such options should be chosen that provide maximum production efficiency. The article deals with the formation of technological lines for sowing grain crops, identified shortcomings of optimization using linear programming methods. The possibility of solving the optimization problem using the simulation method, which provides a more efficient implementation of the technological process within the specified agrotechnical terms, is shown. Simulation modeling is a research method in which the system under study is replaced by a model that describes the real system with sufficient accuracy, and experiments are carried out with it in order to obtain information about this system. Simulation modeling allows you to simulate the behavior of a system

over time. A simulation model of the process of sowing grain crops has been developed, which consists of two interconnected queuing systems (QS), and a mathematical model for optimizing technological lines, taking into account the specific operating conditions of the machines. Regularities were established for the implementation of the main elements of the technological process of sowing grain crops.

Key words: technological line; sowing; cereal crops; machine-tractor units, optimization, simulation modeling, queuing system