

УДК 334.735

Е.В. ХУДЯКОВА, К.В. КЛОЧКОВА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рациональная организация производственных процессов является основой эффективной деятельности сельскохозяйственного предприятия. Имитационное моделирование является удобным инструментом для моделирования производственных процессов с целью выбора наиболее оптимальных параметров процесса, так как позволяет моделировать динамику объектов системы во времени и в пространстве. Данная задача была поставлена и решена для СПК «Калининский» Дубровского района Брянской области. В этих целях был использован пакет имитационного моделирования AnyLogic 7, который поддерживает процессно-ориентированный (дискретно-событийный), системно динамический и агентный подходы к созданию имитационных моделей. AnyLogic 7 позволяет интегрировать эти подходы с целью отражения более полной картины взаимодействия сложных процессов различной природы. Эта интеграция и была реализована при разработке имитационной модели процесса уборки зерновых культур. В модели была отражена логика и динамика (временная и пространственная) взаимодействия зерноуборочных комбайнов и автомобилей во время уборки урожая. Это позволило получить реальную картину и характеристики производственного процесса, а проведение экспериментов с моделью позволило обосновать наиболее оптимальные технико-экономические параметры процесса. Результаты прогона данной модели свидетельствовали о том, что процесс уборки зерновых культур организован неэффективно. Проведение экспериментов с разработанной моделью с использованием 3, 4 и 5 комбайнами показало, что урожайность зерновых культур за счет сокращения потерь максимальна при сокращении сроков уборки до 10 дней, что возможно при использовании 5 комбайнов. Однако, учитывая объем капиталовложений, наибольший годовой экономический эффект – 1,2 млн руб. достигается при покупке и использовании в процессе уборки зерновых культур на полях данного размера и конфигурации 4 комбайнов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентные модели, реинжиниринг бизнес-процессов, оптимизация параметров бизнес-процессов.

Эффективность деятельности предприятия во многом определяется эффективностью организации производственных процессов. В сельскохозяйственном предприятии наиболее трудоемко и сложен в плане организации, материально-денежных и трудовых затрат процесс уборки сельскохозяйственных культур. Оптимизировать параметры данного процесса, как и многих других процессов, можно с помощью разработки имитационной модели процессов и проведения экспериментов с ней.

Данная задача была поставлена и решена для СПК «Калининский» Дубровского района Брянской области. Это хозяйство молочно-зерноводческого направления, занимает 2580 га с.-х. угодий (в т.ч. 1245 га – пашня), из которых 570 га – площади под зерновыми культурами. Хозяйство производит в год 900 т зерна. Анализ организации процесса уборки зерновых культур в хозяйстве показал его низкую эффективность, что отражается на себестоимости продукции и рентабельности производства зерна. Для оптимизации процесса была разработана имитационная модель процесса уборки зерновых культур.

Методы исследований

Процесс уборки зерновых культур предполагает такую последовательность операций. Комбайны и автомобили из гаража выезжают на поле, где комбайны производят уборку и обмолот зерновых. При заполнении бункера комбайн останавливается и выгружает зерно в подъезжающий автомобиль. После этого комбайн продолжает движение и уборку. При заполнении автомобиль направляется на склад, где происходит разгрузка зерна. Далее автомобиль направляется на поле и ожидает следующей остановки комбайна. В пункте приема зерно взвешивается и разгружается, затем отправляется на отчистку и сушку, после чего отправляется на хранение в зернохранилище.

Данная последовательность операций была смоделирована в среде AnyLogic 7. Пакет AnyLogic – отечественный профессиональный инструмент нового поколения, который предназначен для разработки имитационных моделей. Это единственный инструмент, который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: процессно-ори-

ентированный (дискретно-событийный), системно динамический и агентный. Кроме того, AnyLogic 7 позволяет интегрировать различные подходы с целью отражения более полной картины взаимодействия сложных процессов различной природы. В нем также существует возможность расширения моделей средствами Java, что дает практически неограниченные возможности в моделировании сложных динамических систем. Программный инструмент AnyLogic 7 основан на объектно-ориентированной концепции. Графическая среда моделирования поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов, оптимизацию параметров относительно некоторого критерия. Также при разработке модели можно использовать элементы визуальной графики: диаграммы состояний, сигналы, события, порты и т.д.; синхронное и асинхронное планирование событий; библиотеки активных объектов [1, 2].

Созданная имитационная модель привязана к карте местности – расположению полей с посевами зерновых культур в СПК «Калининский» Дубровского района Брянской области (рис. 1).



Рис. 1. Расположение полей на местности (СПК «Калининский, Дубровский район, Брянская область»)

Данное расположение полей воссоздано в программе AnyLogic 7 (рис. 2).

Для отражения объектов данного процесса больше подходит агентное моделирование. Агент представляет собой некий элемент модели, который имеет заданные разработчиком модели определенные характеристики, способ продвижения модельного времени, логику пространственной динамики. В данной модели агентами будут являться имеющиеся в хозяйстве: два комбайна (ДОН-1500 и Енисей-1200), автомобиль (ЗИЛ-130), трактор (МТЗ-80).

Для каждого агента созданы необходимые для отражения его функционирования параметры, переменные и функции. Например, для агента



Рис. 2. Созданное пространство функционирования объектов модели в среде AnyLogic

«Комбайн» введен следующий набор параметров: ширина захвата жатки комбайна, плотность посева зерновых культур, время выгрузки зерна из бункера комбайна в машину, объем бункера комбайна, точки прибытия агента.

Для агентов вводятся переменные, выражающие части убранной площади поля по осям X и Y плоскости поля. Для работы агента составлен программный код функций, показывающих часть площади поля, на котором была завершена уборка.

Агент *tractor* имеет следующие параметры: скорость, место остановки трактора в зернохранилище для разгрузки зерна, интенсивность разгрузки зерна из машины в зернохранилище, объем кузова машины. Параметры машины аналогичны параметрам трактора.

Если у агента можно выделить несколько состояний, выполняющих различные действия при происхождении каких-либо событий, или если у агента есть несколько качественно различных поведений, последовательно сменяющих друг друга при происхождении определенных событий, то поведение такого объекта может быть описано в терминах диаграммы состояний. Диаграмма состояний позволяет графически задать пространство состояний алгоритма поведения объекта, а также события, которые являются причинами срабатывания переходов из одних состояний в другие, и действия, происходящие при смене состояний. Созданная диаграмма состояний, описывающая управление бункером комбайна, приведена на рисунке 3.

Диаграмма, описывающая движения комбайна в пространстве приведена на рисунке 4.

Создана диаграмма состояний, которая описывает поведение комбайна при уборке зерновых культур. Для задания динамики процесса уборки зерновых культур созданы соответствующие диаграммы, одна из них представлена на рисунке 5.

Основными характеристиками процесса уборки зерновых культур является время уборки зерна, время ожидания комбайнами машин, время разгрузки зерна на складе, коэффициент загрузки транспорта при уборке зерновых культур и зернового склада. Эффективно организованный процесс уборки зерна осуществляется, когда транспорт (комбайны и машины), а также пункт приема зерна загружены

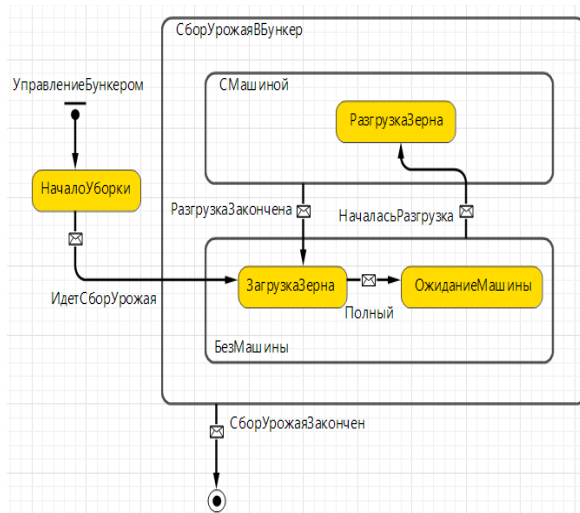


Рис. 3. Диаграмма управления бункером комбайна

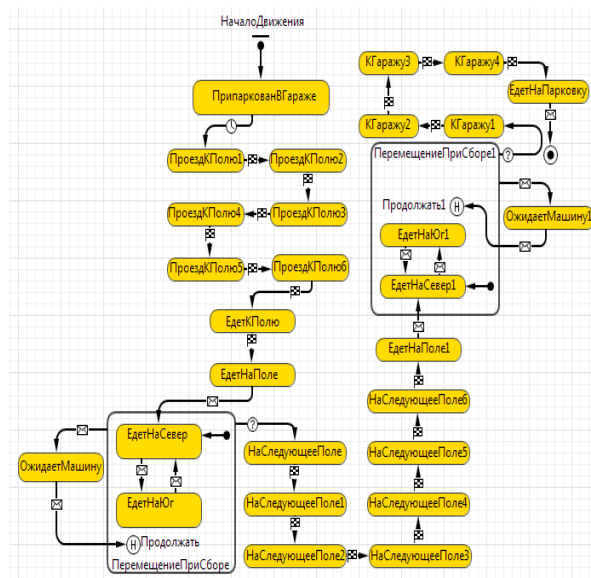


Рис. 4. Диаграмма движения комбайна в пространстве

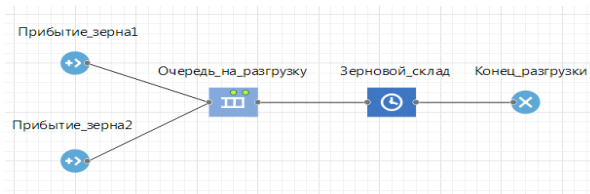


Рис. 5. Диаграмма процессов разгрузки зерна на складе

большую часть дня (коэффициент загрузки близок к 1) и когда время ожидания машин комбайнами и очередь на разгрузку зерна минимальны.

Результаты решения задачи позволяют не только проанализировать взаимодействие комбайнов, машин и пункта приема зерна, но и узнать, сколько времени уходит на уборку урожая; позволяют проследить, сколько времени машины тратят на простой в очереди и на ожидание комбайна и сколько необходимо времени обслуживающим устройствам на обслуживание транзакта, а также узнать и проанализировать экономические показатели: затраты на уборку зерна, качество зерна, которое зависит от времени сбора урожая, цену зерна (зависит от его качества). Все это позволит выявить и обеспечить оптимальное время уборки зерна и оптимально необходимое количество техники, а также выявить узкие места в данном процессе и оптимизировать работу системы.

В СПК «Калининский» продолжительность уборки зерновых на площади в 570 га составляет 30 дней. Для получения максимально возможного выхода продукции, а следовательно, снижения себестоимости зерна и роста рентабельности его производства, уборка должна проходить в более короткие, оптимальные сроки. Увеличение сроков уборки сверх нормативных ведет к потере урожая вследствие обсыпания колосьев зерна, потере качества зерна вследствие роста его бактериальной обсемененности и поражения грибами и, как следствие, к снижению сортности зерна и его цены. Согласно агротехническим данным, за пределами нормативного срока уборки зерна урожайность снижается на каждый дополнительный день примерно на 0,15 ц/га [3].

Результаты исследований

Прогон модели показал, что процесс уборки зерновых культур организован неэффективно. Сократить сроки уборки зерновых культур, повысить массу и цену зерна можно, увеличив количество уборочной техники. Имитационная модель позволяет провести эксперименты с моделью и получить характеристики процесса уборки при разном количестве техники. Проведение трех прогонов модели с 3, 4 и 5 комбайнами показало следующие характеристики процесса (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость длительности уборки и урожайности от количества техники

Количество комбайнов, ед.	Длительность уборки, дней	Урожайность (с учетом потерь зерна), ц/га
2 (факт)	30	16,7
3	25	21,7
4	15	29,08
5	10	30,08

При использовании 5 комбайнов длительность процесса уборки зерна минимальна, урожайность максимальна. Использование дополнительных комбайнов требует дополнительных капитальных вложений, но расчеты показали, что за счет сни-

жения эксплуатационных затрат по элементам и себестоимости выполнения работ получается годовая экономия. В таблице 2 отображены основные показатели эффективности внедрения модели.

Таблица 2

Расчет годового экономического эффекта

Показатель	Базовый вариант (2 комбайна)	Проектные варианты		
		3 комбайна	4 комбайна	5 комбайнов
Капиталовложения, тыс. руб.	1154	5154	10308	15462
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	4283	4369	4455	4545
Годовой объем производства, ц	8660	12371	16576	17146
Годовой объем производства, тыс. руб.	5629	8041,15	10774,4	11144,9
Нормативный коэффициент (Ен)	0,2	0,2	0,2	0,2
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	х	848	1281	758

Как следует из таблицы 2, при различном количестве техники достигается разный экономический эффект: величина годового эффекта при первом варианте составит 848 тыс. руб., при втором – 1281 тыс. руб., а при третьем варианте – 758 тыс. руб.

Выводы

Таким образом, имитационное моделирование технологий возделывания сельскохозяйственных культур позволяет обосновать наиболее оптимальные параметры процесса производства и способствовать снижению производственных издержек, росту объемов и рентабельности производства.

Библиографический список

1. Киселева М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: Учебно-методическое пособие / М.В. Киселёва. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 88 с.
2. Ланцев Е.А., Доррер М.Г. Создание агентных моделей с применением технологии интеллектуального анализа процессов (process mining) // Материалы научн. конф. ИММОД-2013, Казань.
3. Пьянов С.В. Совершенствование механизации уборки и послеуборочной обработки зерна в условиях крупнотоварного производства (на примере хозяйства Северо-Кавказского региона, вошедших в клуб «Агро-300»): Автореф. дис. канд. экон. наук. Ставрополь, 2004.

Худякова Елена Викторовна – д.э.н., профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-916-518-52-28; e-mail: evhudyakova@rambler.ru.

Клочкова Ксения Викторовна – магистр, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-915-806-56-47; e-mail: klochkova.kseniya@yandex.ru.

Статья поступила 07.07.2015

OPTIMIZATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF GRAIN CROPS HARVESTING BASING ON SIMULATION MODELING

E. V. KHUDYAKOVA, K. V. KLOCHKOVA

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

The rational organization of production processes is the basis of effective operation of an agricultural enterprise. Simulation modeling is a convenient tool for modeling production processes with the aim of selecting the optimal process parameters, as it allows simulating the time and space dynamics of the system objects. This problem was posed and solved for «Kalininsky» farm enterprise located in the Dubrovka district of the Bryansk region. For this purpose the authors used the simulation package AnyLogic that supports process-centric (discrete event), system dynamic and agent-based approaches to simulation modeling. AnyLogic allows integrating these approaches in order to get a more complete picture of integrated interaction processes of different kinds. This integration was implemented in the development of a simulation model of a grain crops harvesting process. The model reflected the logic and dynamics (temporal and spatial) of the interaction of combine harvesters and vehicles during harvesting. The model provided for obtaining the real picture and the characteristics of the production process, and experimenting with the model made it possible to justify the most optimal technical and economic parameters of the process. The model testing results have shown that the process of crop harvesting is inefficiently organized. Experiments with the developed model using 3, 4 and 5 combines have shown that cereal yields reach the maximum by reducing losses in case of limiting the harvest period by 10 days, which is possible in case of using 5 combines. However, given the amount of investment, the largest annual economic effect – 1,2 million rubles – can be achieved with the purchase and use in grain crop harvesting in the fields of the given size and configuration of 4 combine harvesters.

Key words: simulation modeling, agent-based models, reengineering business processes, optimization of business processes

References

1. Kiselyova M.V. Imitatsionnoe modelirovanie sistem v srede AnyLogic: Uchebno-metodicheskoe posobie (Imitating modeling of systems in the environment of AnyLogic: Educational methodical grant) / M.V. Kiselyova. Yekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 88 p.
2. Lantsev E.A., Dorrer M.G. Sozdanie agentnykh modeley s primeneniem tekhnologii intellektual'nogo analiza protsessov (process mining) (Making agent-based models with application of the technology of the intellectual analysis of processes (process mi-

ning)) // Materials of IMMOD-2013 scientific conference, Kazan.

3. Pyanov S.V. Sovershenstvovanie mekhanizatsii uborki i posleuborochnoy obrabotki zerna v usloviyakh krupnotovarnogo proizvodstva (na primere khozyaystva Severo-Kavkazskogo regiona, voshedshikh v klub «Agro-300»): Avtoref. dis. kand. ekon. Nauk (Improvement of mechanization of cleaning and postharvest processing of grain in the conditions of large production (on the example of North Caucasus region farms from Agro-300 club): Summary of PhD (Econ) thesis). Stavropol, 2004.

Elena V. Khudyakova – PhD (Econ), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow; tel.: 8-916-518-52-23; e-mail: evhudyakova@rambler.ru.

Ksenia V. Klochko – MSc student, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow; tel.: 8-915-806-56-47; e-mail: klochkova.kseniya@yandex.ru.

Received 7 July 2015