

Анализ и оптимизация производственных процессов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой

О. И. Васильев – Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, начальник научно-исследовательского отдела экономических исследований, ic@spb-niilh.ru

Ю. А. Корныльева – Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела экономических исследований, jk@spb-niilh.ru

В статье представлены примеры применения современных инструментов моделирования для анализа и оптимизации производственных процессов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Полученные в ходе исследования результаты имеют прикладной характер и могут быть использованы в работе лесных селекционно-семеноводческих центров.

Ключевые слова: анализ, оптимизация, имитационное моделирование, функционально-стоимостной анализ, ABC-метод, лесной селекционно-семеноводческий центр

За последние годы в России наблюдается рост объемов лесозаготовок, о чем свидетельствуют данные Единой межведомственной информационно-статистической системы [1]. Увеличение площади лесокультурного фонда должно формировать спрос на посадочный материал, для удовлетворения которого в ряде регионов была создана инфраструктура лесовосстановления в виде тепличных комплексов (ТК) и лесных селекционно-семеноводческих центров (ЛССЦ). Основная задача таких объектов – ежегодное удовлетворение сезонного спроса на качественный посадочный материал с закрытой корневой системой (ЗКС). Технология выращивания сеянцев с ЗКС давно доказала свое преимущество по сравнению с традиционной технологией благодаря высокому качеству посадочного материала, приживаемости и сокращению затрат на некоторых этапах лесопосадочных работ.

Управление производственной средой ЛССЦ включает в себя проблемы планирования, автоматизации, организации производства в целом. Сложность производственной системы, ее зависимость от сезонности, высокие эксплуатационные требования к инфраструктуре предприятия значительно усложняют задачу управления такими объектами. Производственные процессы требуют большого внимания для обеспечения качества воспроизводства лесных ресурсов, а также рационального расходования бюджетных средств.

Цель исследования – анализ и оптимизация производственных процессов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. Решение задачи позволит рационально использовать ресурсы предприятия, скорректировать логистические процессы, обеспечить распределение загрузки производства в течение всего года, увеличить производительность, сократить сроки выращивания посадочного материала, количество функций и издержки на выполнение этих функций.

В ходе исследования решаются следующие задачи:

- ✓ анализ процессов производства посадочного материала с закрытой корневой системой на действующем предприятии;

- ✓ построение модели процессов на основе полученной информации;
- ✓ имитация процессов выращивания посадочного материала с использованием современных инструментов моделирования;
- ✓ получение и интерпретация результатов исследования.

В ходе исследования проанализированы производственные площадки по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой. Для исследования выбраны ЛССЦ Ленинградской и Воронежской областей, а также Республики Татарстан, так как эти комплексы имеют идентичную инфраструктуру, схожие производственные процессы и различный породный состав производимого посадочного материала. Результаты исследования могут быть применимы и к другим тепличным комплексам.

Для анализа процессов выращивания посадочного материала был использован функционально-стоимостной анализ (ФСА). Функционально-стоимостной анализ, или Activity Based Costing (ABC), – это метод учета и анализа затрат и других характеристик продукции и услуг на основе исследований процессов (операций) и ресурсов, задействованных в этих процессах (операциях) [1].

Сегодня в экономически развитых странах практически каждое предприятие или компания используют методологию функционально-стоимостного анализа как практическую часть системы менеджмента качества, наиболее полно удовлетворяющую принципам стандартов ISO серии 9001.

Основная идея ФСА в трактовке ABC-метода состоит в том, чтобы дать руководителю организации обоснованное представление о себестоимости продукции или услуг для принятия управленческих решений с целью повышения эффективности деятельности организации или оптимизации затрат по отдельным направлениям. Кроме того, этот метод позволяет сконцентрировать внимание руководства на качестве или ценных потребительских свойствах продукции или услуг.

Оптимизация производственных процессов ЛССЦ осуществляется на основе ABC-метода в ус-

ловиях, максимально приближенных к реальным. При этом оцениваются среднее значение и разброс ключевых параметров процесса, идентифицируются затратные и длительные процессы, перегруженные ресурсами, где постоянно выстраивается «очередь операций». В случае необходимости перепроектировки функциональных связей имитация предлагает выбрать процесс с наиболее оптимальными показателями на основе статистических данных. Этот метод необходим для расчета себестоимости производимой продукции, оценки стоимости отдельных процессов и производства в целом. В качестве примера приведена оценка стоимости производства субстрата.

Процедура приготовления субстрата является технологически сложной по сравнению с другими процессами. Для поддержания параметров требуется соблюдать последовательность действий и осуществлять постоянный контроль технологических операций. В результате имитации процесса приготовления субстрата сделан вывод о том, что себестоимость субстрата при самостоятельном производстве в ЛССЦ составляет 4,7 руб./кг, в то время как при закупке у стороннего поставщика – примерно 3,5 руб./кг. При оценке себестоимости учитывались стоимость амортизации оборудования, количество и стоимость необходимых компонентов и ресурсов для работы оборудования, зарплата персонала, задействованного в данном процессе.

Несмотря на такую разницу в пользу поставщика, необходимо учитывать, что основная часть себестоимости субстрата приходится на процесс дезинфекции торфа, требующий существенных затрат ресурсов и времени. При закупке готового субстрата необходимо точно сформулировать технические условия с учетом этой специфики и обеспечить входной контроль качества субстрата. В ряде ТК и ЛССЦ оборудование для производства субстрата имеется, но не используется. Это связано со сложностью синхронизации производственных линий. Для самостоятельного производства субстрата потребуются дополнительные расходы на эксплуатацию этого оборудования. Целесообразность самостоятельного производства субстрата следует рассчитывать

индивидуально для каждого центра с учетом удаленности объектов от основных поставщиков и прочих факторов.

Для решения задач по оптимизации производственных процессов целесообразно применять инструменты имитационного моделирования.

Имитационное моделирование – один из видов математического моделирования. Этот метод исследования объектов основан на том, что изучаемый реальный объект заменяется имитирующим объектом. С имитирующим объектом проводят эксперименты (не прибегая к экспериментам на реальном объекте) и, в итоге, получают информацию об изучаемом объекте [2]. Имитационная модель – это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение изучаемой реальной системы во времени. Она позволяет получать результаты, содержащие подробную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от введенных входных данных. Процесс моделирования включает в себя такие этапы, как создание модели, программирование, проведение имитационных экспериментов, обработку и интерпретацию результатов моделирования [3].

К имитационному моделированию прибегают в случае, когда:

- ✓ слишком дорого или фактически невозможно проводить эксперименты на реальном объекте;
- ✓ затруднительно построить аналитическую модель: в системе есть время, причинные связи, последствия, нелинейные события, случайные переменные;
- ✓ требуется симитировать поведение системы во времени [4].

Рассматривая имитационное моделирование как средство решения проблем оптимизации системы, можно выделить 3 основных подхода: системная динамика, дискретно-событийное (процессно-ориентированное) моделирование и агентное моделирование.

Системная динамика используется в долгосрочных, стратегических моделях и принимает высокий уровень абстракции. Этот подход поз-

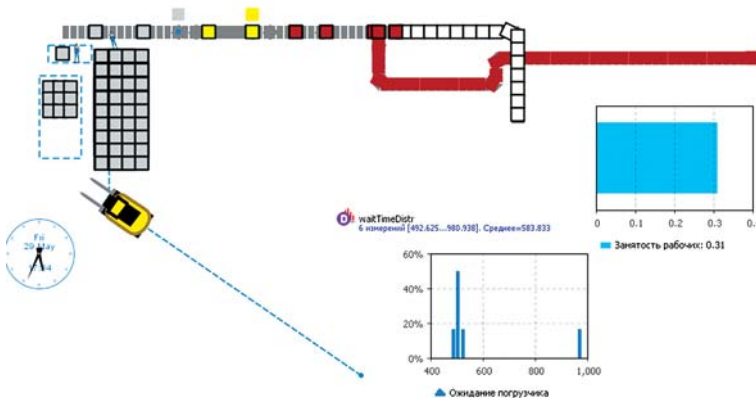
воляет понять структуру и динамику сложных систем, выявить причинно-следственные связи между объектами и явлениями. Применительно к лесному хозяйству данный подход может быть использован в вопросах влияния процессов изменения климата на поведение лесных экосистем.

Дискретно-событийное (процессно-ориентированное) моделирование наиболее развито и имеет широкую сферу приложений – от логистики и систем массового обслуживания до производственных и транспортных систем, – поскольку некоторые процессы, протекающие в мире, удобно рассматривать как последовательность отдельных важных моментов – событий. Этот вид наиболее подходит для моделирования производственных процессов [5].

Агентное моделирование – новейшее направление в имитационном моделировании, которое исследует поведение децентрализованных агентов системы и то, как оно определяет поведение всей системы в целом [6]. Например, с помощью этого подхода можно оценить эффективность влияния пропаганды защиты лесов от пожаров на поведение людей в лесу. Индивидуальное поведение каждого человека в данном случае образует глобальное поведение моделируемой системы.

Фрагмент дискретно-событийного моделирования работы производственной линии ЛССЦ представлен на рисунке.

Фрагмент модели отображает схему расположения линии засева кассет на одном из ЛССЦ.



Дискретно-событийное моделирование работы производственной линии ЛССЦ

Такое расположение обусловлено архитектурными особенностями производственного цеха. С правой стороны показана подача кассет на линию (белые квадратики). Коричневым цветом выделена линия подачи субстрата. На производственной линии отмечены 3 основных этапа задержки кассет, что сдерживает скорость всего процесса. Первый этап – заполнение кассет субстратом (в соответствии с полученным с производства хронометражом), второй – засеивание кассет, третий – мульчирование. После выполнения этих операций двое рабочих снимают кассеты с линии и укладывают их на поддоны. Поддоны штабелируются, после чего забираются погрузчиком, который отсутствует столько времени, за сколько двое других рабочих расставят в теплице привезенные поддоны. Гистограммы на рисунке показывают интервал ожидания погрузчика и уровень занятости задействованных в этом процессе рабочих. Данные о параметрах процессов для построения имитационной модели собраны на действующем ЛССЦ.

Параметр	Значение
1. Общая площадь теплицы, м ²	1 320
2. Полезная площадь теплицы, м ²	1 000
3. Размер теплицы, м	16,5 × 80
4. Количество теплиц, шт.	8
5. Площадь площадки закаливания, м ²	2 500
6. Размер площадки закаливания, м	25 × 100
7. Количество площадок закаливания, шт.	5
8. Площадь производственного цеха, м ²	1 041
9. Размеры цеха, м	84,1 × 12,3
10. Вместимость теплицы, шт. кассет	6 696
11. Время заполнения теплицы засеянными кассетами, дни	2
12. Задержка на заполнении кассет субстратом, с	5,5
13. Задержка кассеты на лункообразователе, с	2
14. Задержка кассеты на сеялке, с	3
15. Кол-во кассет на поддоне, шт.	18
16. Кол-во перевозимых в теплицу поддонов за один раз, шт.	9
17. Время заполнения поддона засеянными кассетами, с	105
18. Время на сборку стопки из 9 поддонов, мин	15
19. Время на разгрузку стопки из 9 поддонов в теплице, с	380
20. Количество людей на производственной линии, чел.	4
21. Расстояние от цеха до первой теплицы, м	15
22. Расстояние от цеха до последней теплицы, м	500
23. Пропускная способность линии субстрата, м ³ /мин	0,08
24. Пропускная способность линии субстрата, кг/мин	60

25. Норма субстрата на 1 теплицу, м ³	90
26. Масса мешка субстрата, кг	750
27. Объем мешка субстрата, м ³	1
28. Время, за которое бункер пропускает 1,5 тыс. кг (2 мешка), мин	25
29. Время доставки погрузчиком партии поддонов до первой теплицы, с	40
30. Время погрузки 22 поддонов (3 чел.), мин	46
31. Среднее время погрузки 1 поддона, с	124
32. Время ожидания погрузчика новой партии поддонов, мин	7,5
33. Интенсивность погрузки мешков субстрата в бункер, шт./день	20
34. Пропускная способность конвейера с кассетами, шт./мин	12

Суть построения модели заключалась в том, чтобы выстроить логику этих процессов относительно оптимизации временных, трудовых, энергетических и прочих затрат, а также повысить эффективность заполнения теплиц для решения задачи многоротационного выращивания семян с закрытой корневой системой.

В целом подобный эксперимент позволяет оценить уровень занятости производственных рабочих и техники. С учетом этого можно скорректировать количество человек, занятых на производстве, и сократить время простоя техники. Кроме того, в ходе эксперимента можно оце-

нить время, необходимое для того, чтобы засеять одну кассету, поддон, теплицу и все теплицы с учетом влияния внешних и внутренних факторов. Эта информация полезна при календарном планировании производственных процессов.

Преимуществом имитационного моделирования является возможность прогона модели неограниченное количество раз, задавая различные параметры с целью выявления наилучшего варианта с оптимальными параметрами загрузки.

Таким образом, имитационное моделирование является эффективным инструментарием в вопросах оптимизации производственных процессов. Этот относительно новый и быстроразвивающийся метод исследования позволяет визуализировать процессы, проводить неограниченное число экспериментов с разными параметрами и выбрать наилучший вариант оптимизации этих процессов. Кроме того, для всех процессов обязательно должен быть разработан операционный стандарт. Для выработки более детальных рекомендаций по оптимизации процессов производства необходимо провести индивидуальный технологический аудит для каждого конкретного инфраструктурного объекта ЛССЦ.

Список использованной литературы

1. Козлов, А. С. Проектирование и исследование бизнес-процессов : учеб. пособ. / А. С. Козлов. – М. : Флинта, МПСИ, 2008. – 272 с.
2. Имитационное моделирование процессов [Электронный ресурс] // Система бизнес-моделирования Business Studio / Группа компаний «Современные технологии управления». – Режим доступа: http://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/simulation_fca/viewing. – Дата обращения: 25.08.2015.
3. Borshchev, A. V. Systems modeling, simulation and analysis using COVERS active objects / A. V. Borshchev, Yu. G. Karpov, V. V. Roudakov // Proceedings of the International Symposium and Workshop on Engineering of Computer Based Systems. – Monterey. – 1997. – P. 220–227.
4. Имитационное моделирование [Электронный ресурс] // Сайт AnyLogic / Компания AnyLogic. – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>. – Дата обращения: 25.05.2015.
5. Decision support tool – Supply chain / C. Wartha, M. Peev, A. Borshchev, A. Filippov // Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. – San Diego. – V. 2. – 2002. – P. 1297–1301.
6. The use of agent-based modeling in projecting risk factors into the future / G. V. Bobashev, R. J. Morris, W. A. Zule, A. V. Borshchev, L. Hoffer // The 2nd International Workshop on Social Computing Behavioral Modeling and Prediction. – SBP. – 2009. – P. 50–55.

Referens

1. Kozlov, A. S. Proektirovanie i issledovanie biznes-proცessov : uchebnoe posobie / A .S. Kozlov. – M. : Flinta, MPSI, 2008. – 272 s.
2. Imitacionnoe modelirovanie proცessov // Sistema biznes-modelirovaniya Business Studio / Gruppy kompanij «Sovremennye tehnologii upravleniya» [Elektron. dan.] – Rezhim dostupa: http://www.businessstudio.ru/wiki/docs/current/doku.php/ru/simulation_fca/viewing. – Data obrashheniya: 25.08.2015.
3. Borshchev, A. V. Systems modeling, simulation and analysis using COVERS active objects / A. V. Borshchev, Yu. G. Karpov, V. V. Roudakov // Proceedings of the International Symposium and Workshop on Engineering of Computer Based Systems. – Monterey. – 1997. – P. 220–227.
4. Imitacionnoe modelirovanie // Sajt AnyLogic / Kompaniya AnyLogic. – [Elektron. dan.] – Rezhim dostupa: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>. – Data obrashheniya: 25.05.2015.
5. Decision support tool – Supply chain / C. Wartha, M. Peev, A. Borshchev, A. Filippov // Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. – San Diego. – V. 2. – 2002. – P. 1297–1301.
6. The use of agent-based modeling in projecting risk factors into the future / G. V. Bobashev, R. J. Morris, W. A. Zule, A. V. Borshchev, L. Hoffer // The 2nd International Workshop on Social Computing Behavioral Modeling and Prediction. – SBP. – 2009. – P. 50–55.

Analysis and optimization of the container tree seedling production processes

O. I. Vasilyev – Saint Petersburg Forestry Research Institute, Head of Economic Research Department, ic@spb-niilh.ru

Yu. A. Kornilyeva – Saint Petersburg Forestry Research Institute, Junior Scientist of Economic Research Department, jk@spb-niilh.ru

Working environment management specific of the container tree seedlings production centers (CTSPC) includes the problems of planning, automation, organization of production. The life cycle of production, work organization and seasonal variation significantly complicate the task of managing. Production processes require a lot of attention to ensure reproduction quality of forest resources, as well as rational use of budgetary funds.

The purpose of this research is the analysis and optimization of the container tree seedlings production processes. The paper used the method of Activity-Based Costing (ABC), in which assessed the cost of preparing the substrate. It can be concluded that CTSPC has the ability to not only produce their own substrate, but also to generate income from its sale. That also was founded that coordination procedures for the preparation of the substrate in line with seeding tapes and their subsequent planting in greenhouses, not only economically feasible, but also over the time limits.

To solve the problems of the optimization of manufacturing processes is justified use of simulation tools. The basic modeling approaches: System dynamics, Discrete event simulation, and agent-based modeling. There is examples of problems in the field of forestry, which can be solved with the help of this tool in article. It describes the main results obtained during the simulation of the production line CTSPC. The findings of the conduction of the research results are applied in practice, can be used in the work of employees and managers in the organization of processes in CTSPC. It is concluded that the simulation is an effective tool in matters of process optimization. This relatively new and fast-paced method of study allows you to visualize processes, carry out an unlimited number of experiments with different settings and select the best option. For the successful operation of all production processes can be standardized.

Keywords: *analysis, optimization, simulation, activity-based costing, container tree seedlings production center*