

Некоторые особенности математического описания сквозных процессов лесопромышленных производств на примере технологии заготовки древесины с производством оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения

И. Р. Шегельман, П. В. Будник, А. В. Демчук

Современный лесопромышленный комплекс представляет собой совокупность сквозных технологических процессов заготовки, транспортировки и переработки биомассы древесины, операции которых распределены в пространстве и во времени [1, 2]. Очевидно, что существенную роль в совершенствовании этих процессов способно внести нахождение оптимальных решений на основе использования экономико-математических методов.

В настоящее время для этих целей используют линейное и динамическое программирование, теорию вероятности, Марковские случайные процессы, теорию массового обслуживания, статистическое моделирование случайных процессов. С помощью линейного программирования формируют оптимальные планы выпуска продукции, решают транспортные, сетевые и др. оптимизационные задачи [3 - 5]. С использованием динамического программирования решают задачи размещения производственного заказа, управления запасами, материального обеспечения производства, раскроя и др. [3, 6]. Задачи повышения надежности машин и оборудования в лесном комплексе решают с использованием теории вероятности и Марковских случайных процессов [7, 8]. Для анализа и оптимизации производственных процессов лесозаготовок, вывозки леса и деревообработки применяют теорию массового обслуживания [9 - 12]. Статистическое моделирование случайных процессов используют для решения задач, в которых затруднительно получение аналитических

выражений, описывающих состояние системы, например, имитационное моделирование, приведенное в работах [13 - 15].

Ниже приведены некоторые особенности математического описания сквозных процессов лесопромышленных производств на примере технологии заготовки древесины с производством оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения. Исследования [16 - 18] показали, что специфичность таких процессов заключается в следующем:

- технологическому процессу производства оцилиндрованных бревен свойственна неравномерность случайного характера, вызванная изменчивостью параметров предмета труда, работоспособностью рабочих, техническим состоянием оборудования, характером поломок и неполадок в конструкции оборудования, количеством времени, затрачиваемого на их устранение, зависимостью выполняемых работ от выполнения предшествующих и последующих операций, кратковременными организационными, погодными и сезонными изменениями;

- технологические операции подготовки к переработке, переработки и обработки сырья, поступающего на технологическую линию, выполняют разнотипные машины и оборудование с различным функциональным назначением, включая оцилиндровочный, чашкорезный станки, а также буфер для оцилиндрованных бревен и подающий транспортер;

- образование в процессе обработки бревен значительного количества отходов (опилок, стружки, откомлевок, оторцовок);

В качестве одного из подходов, позволяющих учесть приведенную выше специфичность, может выступать теория очередей. На практике при решении задач выделяются три направления использования математического аппарата теории очередей. Первое – адаптирование к описанию процессов функционирования конкретных технологических процессов уже разработанных вероятностных моделей [10, 11, 19]. Второе – составление системы дифференциальных уравнений, описывающих вероятностное состояние системы, и ее решение, которое, как правило, осуществляется с

использованием специальных математических программных пакетов для ЭВМ [9, 20]. Третье – имитационное моделирование [15, 21].

Примером вероятностной модели технологии производства оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения служит адаптированная модель одноканальной системы массового обслуживания (СМО), которую согласно работам [22, 23] можно записать как $G/G/1$ (произвольный входной поток с независимыми интервалами между заявками, произвольные независимые времена обработки). В этом случае в качестве заявок, поступающих на обслуживание в систему, выступают бревна.

Производительность оцилиндровки бревен определяет интенсивность входного потока $\lambda(I)$, равную среднему числу бревен, обрабатываемых оцилиндровочным станком за единицу времени. Если заявка (бревно) застаёт обслуживающее устройство (чашкорезный станок) занятым, она поступает в буфер (встает в очередь). После освобождения чашкорезный станок приступает к обслуживанию заявки. Роль накопителя играют буфер для оцилиндрованных бревен и подающий транспортер.

Работа чашкорезного станка (канала обслуживания) характеризуется интенсивностью обслуживания $\mu(I)$, равную среднему числу заявок, которое он может обслужить в единицу времени (равна обратной величине математического ожидания времени обслуживания заявки). Обслуживание заявки состоит из времени затрачиваемого на обработку бревна (оторцовку, раскряжевку, нарезку поперечных пазов и пазов под окна и двери, маркировку, укладку в пакеты). Дисциплина обслуживания заявок предполагается прямой, т. е. ранее оцилиндрованные бревна раньше направляются на дальнейшую обработку.

Будем считать, что система массового обслуживания полnodоступная; поток поступающих заявок является стационарным; заявки (группы сортиментов) поступают в систему независимо друг от друга. Как известно,

при $\lambda(I) < \mu(I)$ устанавливается стационарный режим, означающий статистическое постоянство характеристик функционирования системы.

Моделирование рассматриваемого технологического процесса направлено на определение двух наиболее важных стационарных характеристик: средней длины цикла $E[CT_s]$ и среднего числа заявок в системе $E[WIP]$. Под длиной цикла понимается время, которое заявка находится в системе, и которое включает время, проведенное заявкой (бревно) в очереди ($T_q(I)$), а также время ее обслуживания ($T_s(I)$). Величина $E[WIP]$ включает заявки, находящиеся в обработке и ожидающие в очереди. Заметим, что, так как длина цикла и число заявок в системе случайны, то на практике определение средних значений сводится к вычислению соответствующих выборочных средних по результатам измерений.

Зависимость между средним числом заявок в системе и средним временем цикла выражается законом Литтла $E[WIP] = \lambda(I) \cdot E[CT_s]$.

Среднее время цикла можно выразить следующим выражением:

$$E[CT_s] = E[T_q(I)] + E[T_s(I)], \quad (1)$$

где величины $E[T_q(I)]$ и $E[T_s(I)]$ соответственно математические ожидания: времени проведенного заявкой в очереди и времени обслуживания (обработки) заявки.

Значение величины $E[T_q(I)]$ можно определить по аппроксимирующей формуле, предложенной в монографии [22]:

$$E[T_q(I)] = \left(\frac{C_a^2(I) + C_s^2(I)}{2} \right) \cdot \left(\frac{u(I)}{1 - u(I)} \right) \cdot E[T_s(I)], \quad (2)$$

где $C_a^2(I)$ – квадрат коэффициента вариации времени между приходами заявок в систему; $C_s^2(I)$ – квадрат коэффициента вариации времени обслуживания заявки; $u(I)$ – коэффициент загрузки; $E[T_s(I)]$ – математическое ожидание времени обслуживания бревна.

Коэффициент загрузки определяется известным выражением:

$$u(B) = \frac{E[T_s(I)]}{E[T_a(I)]} = \frac{\lambda(I)}{\mu(I)}, \text{ где } \lambda(I) \text{ – среднее число бревен, вырабатываемых}$$

оцилиндровочным станком за единицу времени; $E[T_a(I)]$ – математическое ожидание времени обработки оцилиндровочным станком заявки (бревна).

С учетом (1) и (2) величину $E[CT_s]$ можно найти согласно следующему выражению:

$$E[CT_s] = \left(\frac{C_a^2(I) + C_s^2(I)}{2} \right) \cdot \left(\frac{u(I)}{1-u(I)} \right) \cdot E[T_s(I)] + E[T_s(I)] \quad (6)$$

Данная модель имеет ряд достоинств, которые заключаются в простоте ее применения и доступности получения экспериментальных данных для ее использования. По выражениям (1) – (3) можно оценить насколько равномерно функционирует технологический процесс, как повлияет на этот показатель изменение производительности станков. Однако, модель не позволяет учесть ряд факторов, которые в значительной степени влияют на эффективность технологического процесса, например, ограниченные размеры буфера для оцилиндрованных бревен, их расположение, поломки оборудования, режим работы, время на перестроения станков на различные диаметры оцилиндровки, объем формирующихся отходов, различия в производительности работ разных станков, организацию рабочего времени,

Для учета перечисленных факторов могут применяться имитационные модели, недостаток которых – громоздкость и невозможность их использования без компьютера.

Таким образом, для первичной оценки эффективности сквозных технологий лесопромышленных производств достаточно использовать математический аппарат теории очередей, для более детального анализа целесообразно использовать методы имитационного моделирования.

Литература

1. Шегельман, И.Р. Научная школа: Научные основы формирования сквозных технологий лесопромышленных производств [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://www.famous-scientists.ru/school/948> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Шегельман, И.Р., Будник П.В. Классификация сквозных технологий заготовки биомассы дерева [Текст] // Перспективы науки, 2012. – № 4(31). – С. 90-92.

3. Воронин, А.В. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП [Текст]: Монография / А.В. Воронин, В.А. Кузнецов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.

4. Крупко, А.М. Исследования направлений повышения эффективности автомобильного транспорта леса [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/984> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Кузнецов В.А., Крупко А.М. Задача оптимизации транспортно-производственных планов лесопромышленного предприятия [Текст] // Наука и бизнес: пути развития. – 2011. – №5(6). – С. 48-52.

6. Чулуунбаатар, Б. Алгоритм рационального транспортного освоения арендуемых участков лесного фонда методом динамического программирования [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2009. – №188. – С. 180-187.

7. Шиловский, В.Н. Надежность машин и оборудования [Текст]: Учеб. Пособие / В.Н. Шиловский, А.В. Питухин. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. – 128 с.

8. Амалицкий, В.В. Оборудование отрасли [Текст]: учебник / В.В. Амалицкий, В.В. Амалицкий. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 584 с.

9. Якимович, С.Б. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины [Текст]: Монография / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2011. – 201 с.

10. Шегельман И.Р., Будник П. В., Морозов Е.В. Выбор режимов работы лесосечных машин с применением методов теории очередей [Текст] // Глобальный научный потенциал, 2012. – № 12. – С. 56-60.

11. Будник, П.В. Обоснование технологических решений, повышающих эффективность заготовки сортиментов и лесосечных отходов, на основе функционально-технологического анализа [Текст]: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.21.01 / Будник Павле Владимирович – Петрозаводск, 2011. – 22 с.

12. Редькин, А.К. Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках [Текст]: Монография. / А.К. Редькин – М: Лесная промышленность, 1973.– 152 с.

13. Суханов, Ю.В. Имитационное моделирование операций трелевки форвардером: алгоритмы и реализация [Текст] / Ю.В. Суханов, А.А. Селиверстов, А.П. Соколов, С.Н. Перский // ResourcesandTechnology. – 2012. – Т.9. №1. – С. 058-061.

14. Суханов, Ю.В. Имитационное моделирование работы харвестера: алгоритмы и реализация [Текст] / Суханов Ю.В., Селиверстов А.А., Соколов А.П., Сюнёв В.С. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т.2. №8(129). – С. 49-51.

15. Шадрин, А.А. Технология и проектирование гибких лесообработывающих процессов лесозаготовительных предприятий [Текст]: дис. док.техн. наук: 05. 21. 01. – М., 2009. – 352 с.

16. Шегельман, И.Р. Технологические факторы, влияющие на неравномерность технологического процесса производства оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения [Электронный ресурс] / И.Р. Шегельман, П.В. Будник, В.Н. Баклагин, А.В. Демчук // «Инженерный вестник Дона», 2013, №4. – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1889> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

17. Будник, П.В. Исследования параметров предмета труда технологических линий по производству оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения [Электронный ресурс] / П.В. Будник, В.Н. Баклагин, А.В. Демчук // «Инженерный вестник Дона», 2013, №4. – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2014> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

18. Шегельман, И.Р. Исследования объемов энергетических ресурсов, образующихся на технологических линиях по производству оцилиндрованных бревен для деревянного домостроения [Электронный ресурс] / И. Р. Шегельман, П.В. Будник, А.В. Демчук // «Инженерный вестник Дона», 2014, № 1. – Режим доступа <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2234> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

19. Шегельман, И.Р. Применение теории массового обслуживания к моделированию режимов работы лесозаготовительных машин [текст] / И.Р. Шегельман, П.В. Будник, Е.В. Морозов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012.–№84(10). – С. 286-297.

20. Якимович, С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими [Текст]: Монография / С.Б. Якимович – Пермь: Изд-во Пермской ГСХА, 2006. – 249 с.

21. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем [Текст] / Т. Нейлор. – М.: Мир, 1975. – 500 с.

22. Curry, G. L. Manufacturing systems modeling and Analysis / G. L. Curry, R. M. Feldman / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 338 pp.

23. Cooper, R. B. Introduction to Queuing Theory, Second edition / R. B. Cooper / North Holland, 1981. – 347 pp.