

УДК 004.94



С.В. Дианов¹, Д.С. Дианов²

¹*Вологодский государственный университет,*

²*Вологодский научный центр Российской академии наук*

ПРОТОТИП АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (научный проект № 22-28-01940)

В статье представлены основные аспекты реализации прототипа агент-ориентированной модели использования сети лесовозных дорог. Целью его создания являлась практическая интерпретация и апробация авторского подхода к построению подобных моделей. Полученные результаты вносят вклад в развитие инструментария, обеспечивающего принятие решений по повышению доступности лесных ресурсов.

Транспортная доступность лесных ресурсов, инструментарий поддержки принятия решений, агент-ориентированное моделирование, сервис-ориентированный подход.

Российская Федерация обладает огромными запасами лесных ресурсов, использование которых может внести существенный вклад в социально-экономическое развитие страны. Однако на текущий момент данный потенциал используется незначительно. Большинство лесов произрастает в труднодоступной местности, что обуславливает высокие издержки при заготовке и транспортировке древесины [2]. В связи с этим особую актуальность имеет вопрос о возможности построения эффективной территориальной инфраструктуры системы лесозаготовки. Здесь решающее значение имеет транспортная доступность сырьевой базы, прежде всего автомобильным транспортом. На сегодняшний день развитие сети лесных дорог – это одна из ключевых задач при повышении эффективности лесопользования [8].

Эффективность использования транспортных средств на вывозке древесины может быть обеспечена при рационально организованном процессе эксплуатации дорог. Поиск оптимального варианта заключается в том, что повышение качества автодороги приводит к ее удорожанию, но одновременно уменьшает затраты непосредственно на вывозку древесины [7]. Задачу использования территориальной сети лесных дорог можно описать следующим образом. Имеется набор размещенных в пространстве обозначенной территории узлов лесных участков. Формируется сеть, состоящая из множества разнообразных инфраструктурных узлов: точки разветвления лесных дорог; точки сопряжения лесных дорог с дорогами общего пользования; склады различных уровней, используемые для транспортировки лесных ресурсов, места первичной обработки и др. Каждый узел в соответствии со своим видом может иметь определенный набор характеризующих его в рамках решаемой задачи параметров. Между узлами сети может формироваться разнообразная система связей (путей). Пути также имеют характеристики, определяющие возможности перемещения

по ним транспортных средств. Характеристики путей могут изменяться во времени. В рамках процессов лесозаготовки по путям перемещаются различные виды техники, предназначенные для заготовки лесных ресурсов, их транспортировки, доставки работников, запасных частей, горюче-смазочных материалов и других целей. Каждый вид техники обладает характеристиками, влияющими на их производительность, способность перемещаться по путям и степень воздействия на изменение параметров путей. Инфраструктурные узлы, пути, транспортные средства имеют стоимость формирования и обслуживания. Узлы лесных участков имеют определенные запасы лесных ресурсов. Необходимо подобрать места расположения и параметры инфраструктурных узлов и путей между ними, а также структуры и схемы передвижения транспортных средств системы лесозаготовки таким образом, чтобы обеспечить наиболее рентабельный вариант заготовки и транспортировки лесных ресурсов на продолжительном периоде.

Существует множество исследований на тему возможности применения имитационного моделирования для решения задач повышения эффективности лесозаготовительного производства. Набор используемых при этом методов разнообразен: сети Петри [10], нечеткие сети [5], метод Монте-Карло [9], математическое моделирование и геоинформатика [1, 8], дискретно-событийное и агент-ориентированное моделирование [6]. Значительные возможности для решения проблемы эффективного использования лесных ресурсов территорий предоставляет инструментарий агент-ориентированного моделирования [3]. При этом на текущий момент существенной проблемой здесь является отсутствие единой методологической основы построения агент-ориентированных моделей в данной предметной области. В рамках ее решения авторами разработана концепция агент-ориентированного моделирования эффективной территориальной транспортной инфра-

структуры системы лесозаготовки, базирующаяся на сервис-ориентированном подходе [4].

Основополагающим элементом концепции является модель, основанная на взаимодействии мобильных и стационарных сервисов и пользователей. Все объекты модели могут выступать в ролях потребителей и поставщиков услуг. В рамках процесса предоставления услуг они должны взаимодействовать либо непосредственно, либо с использованием иных объектов модели. Взаимодействие осуществляется в конфигурации территориальной транспортной сети, которая определяет характеристики взаимодействия. В процессе оказания услуг формируются значения заданного набора параметров оценки успешности функционирования модели – целевых показателей. Основная цель моделирования заключается в нахождении при имеющихся ресурсах (ограничениях) наиболее оптимальной архитектуры функционирования моделируемой системы исходя из значений целевых показателей.

В целях практической апробации представленной концепции в ее отдельных аспектах, а также демонстрации возможностей ее интерпретации был создан прототип агент-ориентированной модели использования сети лесовозных дорог. Он не является отображением реальной системы. На данном этапе авторы не стремились к точному соотношению модели предметной области. Многие элементы прототипа носят демонстрационный характер.

Рассматривается процесс лесозаготовки с использованием автомобильных дорог. Применяется сортиментная (скандинавская) технология заготовки. Предполагается, что существуют две отдельные транспортные базы: база лесозаготовительной техники и база большегрузной автомобильной техники, способной транспортировать лесозаготовительную технику. Их соединяет автомобильная дорога общего пользования. Имеется лесной участок, к которому от автомобильной дороги, соединяющей транспортные базы, проложена лесная дорога. На базе лесной техники размещаются один харвестер. В целях упрощения модели на данном этапе решено отказаться от моделирования работы форвардера. На базе автомобильной техники размещается один автомобиль. На лесном участке произрастает лесной массив. При его созревании запускается процесс рубки. При этом для доставки харвестера до лесной дороги используется грузовой автомобиль. Далее харвестер своим ходом доезжает до лесного участка и начинает рубку. По окончании рубки харвестер перемещается до автомобильной дороги, а затем грузовым автомобилем его доставляют на базу. Процесс моделирования осуществляется на длительном периоде, в течение которого происходит несколько моментов созревания лесного массива на участке. Лесная дорога при прохождении транспорта ухудшает свои характеристики, что склывается на параметрах ее последующего прохождения. Цель моделирования – изучить эффективность затрат на обеспечение качества покрытия лесных дорог. В качестве критерия оценки модели выступает рентабельность процесса лесозаготовки. Она зависит от прибыли, полученной в результате заготовки древесной массы и затрат, возникающих в процессе лесозаготовки.

Используется условное время моделирования, не связанное со временем реальных процессов.

Прототип модели создан в среде AnyLogic. В модели имеются четыре узла (рис. 1): node (База перевозчиков) – место дислокации большегрузного автотранспорта, обеспечивающего перевозку лесозаготовительной техники; node1 (Лесной участок) – место размещения лесного участка, на котором осуществляется лесозаготовка; node2 (Перекресток) – общее место пересечения всех путей; node3 (База лесной техники) – место дислокации лесозаготовительной техники. Узлы соединены следующими путями: path, соединяющий узлы node и node2; path1, соединяющий узлы node2 и node1; path2, соединяющий узлы node2 и node3. Узлы и пути размещаются в установленном модельном пространстве.



Рис. 1. Схема размещения узлов прототипа модели

Пути path и path2 отображают автодороги общего пользования, а путь path1 – лесную автодорогу. Набор свойств данных элементов содержит единственный атрибут quality, определяющий качество дорожного покрытия. Домен его значений – действительные числа в диапазоне от 0 до 1. В прототипе модели данный параметр определен лишь для элемента path1. Исходя из специфики используемой среды моделирования для работы с параметрами элементов, для каждого из них создается агент. В данном случае создается агент Way, содержащий параметр quality. Данный агент имеет два состояния: эксплуатации (Exploitation) и технического обслуживания (Service). В состоянии технического обслуживания увеличивается значение параметра quality. Переход в данное состояние осуществляет в соответствии с установленным интервалом времени (Service_period), который является параметром управляющего воздействия и устанавливается на общемоделном уровне. Диаграмма состояний агента Way представлена на рисунке 2.

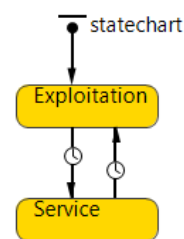


Рис. 2. Диаграмма состояний агента Way

Предполагается, что имеющиеся в модели объекты могут перемещаться строго по определенным для них маршрутам. Длина путей носит условный характер. На уровне среды реализации данные элементы прорисовываются с использованием элемента «Путь», который соединяет соответствующие узлы.

В модели определены три объекта: лесной участок, харвестер и автовоз. У объекта «лесной участок» тип мобильности установлен как стационарный. У двух других объектов – как мобильный. Для них определены средние скорости перемещения. При этом объект «харвестер» может перемещаться только по лесной дороге, а объект «автовоз» – только по дорогам общего пользования.

Потребности определены на уровне объектов «лесной участок» и «харвестер». Для первого объекта – это потребность в рубке, а для второго – потребность в доставке к лесной дороге. Сервисы определены на уровне объектов: харвестер – рубка леса, автовоз – транспортировка техники.

Объект «лесной участок» имеет следующие параметры: возраст древостоя (Age), площадь древостоя (Square), объем древостоя (Volume).

На каждом шаге моделирования происходит изменение параметра Volume в зависимости от текущих значений параметров Age и Square.

Потребность в рубке возникает при достижении древостоем определенного возраста. При поиске поставщика сервиса объект «лесной участок» высылает сообщение о готовности объекту «харвестер».

В среде моделирования объект «лесной участок» реализован с использованием двух агентов: Les и Manager. Первый формирует значения параметров объекта, а второй отслеживает текущее состояние объекта и отправляет сообщение при возникновении потребности в рубке. Агент Les имеет три состояния, характеризующих возраст древостоя – молодой (Early), спелый (Ready) и переспелый (Late), а также состояние возрастного перехода (Change). Диаграмма состояний данного агента представлена на рисунке 3.

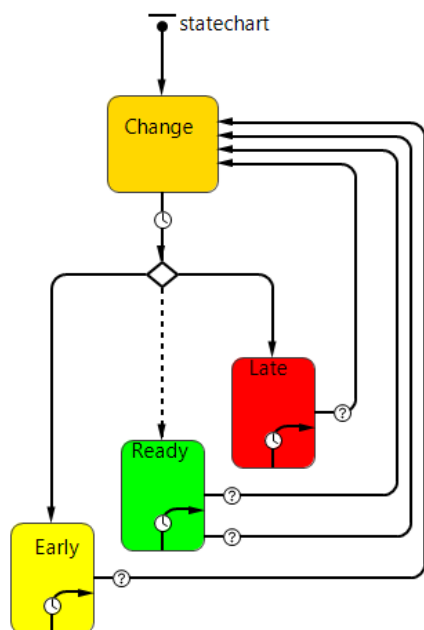


Рис. 3. Диаграмма состояний агента Les

Агент Manager может находиться в двух состояниях – мониторинга состояния агента Les (Select) и ожидания окончания предоставления сервиса по рубке (Wait). Находясь в состоянии Select агент через определенные промежутки времени проверяет состояние агента Les. Если оно равно Ready, то агент посылает сообщение объекту «харвестер» о необходимости оказания сервиса. После передачи сообщения агент Manager переходит в состояние ожидания. В данном состоянии он находится до тех пор, пока не получит ответное сообщение от объекта «харвестер» об окончании предоставления сервиса. Диаграмма состояний агента Manager представлена на рисунке 4.

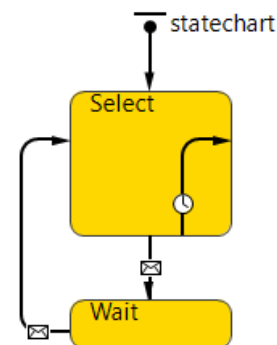


Рис. 4. Диаграмма состояний агента Manager

Объект «харвестер» имеет параметр производительность (Performance) – объем леса, который он может вырубить за определенное время. Предоставляя сервис рубка леса, он изменяет параметры Volume и Age объекта «лесной участок». Одновременно с этим он увеличивает значение параметра общего заготовленного объема древесины (Zagotovleno). Данный параметр определен на общемодельном уровне.

Объект «харвестер» имеет реализацию в системе моделирования в виде агента Harvester. Данный агент имеет множество состояний, которые можно разделить на следующие группы: ожидание запроса на предоставление сервиса по рубке леса; получение сервиса по транспортировке до лесной дороги; перемещение по лесной дороге до лесного участка; предоставление сервиса по рубке леса; перемещение по лесной дороге до автомобильной дороги общего пользования; получение сервиса по транспортировке до базы лесной техники. Потребность в сервисе по транспортировке возникает при изменении состояния агента после получения сообщения от объекта «лесной участок» о запросе сервиса, либо после окончания предоставления сервиса после перемещения до дороги общего пользования. При поиске поставщика сервиса объект «харвестер» имеет пассивное поведение. При этом он отправляет сообщение объекту «автовоз» о наличии соответствующей потребности. Параметры сообщения содержат информацию о месте доставки.

Объект «автовоз» в системе моделирования реализован в виде агента Auto. Агент активизирует функционал по предоставлению сервиса по перевозке после получения сообщения от объекта «харвестер». Он перемещает харвестер в узел, указанный в сообщении. При этом предварительно он передвигается в место текущей дислокации харвестера. После оказа-

ния услуги агент Auto перемещается в узел node (База перевозчиков).

На уровне агентов Harvester и Auto определены переменные Current_time, в которых фиксируется время выполнения ими текущих операций. На общемодельном уровне введены переменные Time_harvester и Time_auto, в которых накапливается общее время, затраченное агентами Harvester и Auto на выполнение операций.

Регулируемыми параметрами в прототипе модели являются: стоимость единицы объема заготовленной древесины (Price_forest); стоимость использования автовоза за единицу времени (Price_avto); стоимость использования харвестера за единицу времени (Price_harvester); стоимость технического обслужива-

ния лесной дороги (Price_service); период сервисного обслуживания лесной дороги (Service_period).

Для подсчета количества сервисных обслуживаний в модель введена переменная Service_count. В качестве целевого показателя для созданного прототипа модели выступает рентабельность процесса лесозаготовки. Для его расчета в модель введена переменная profitability. Она обновляется на каждом шаге модельного времени. Формула расчета:

$$\text{profitability} = \text{Price_forest} * \text{Zagotovleno} - (\text{Price_harvester} * \text{Time_harvester} + \text{Price_avto} * \text{Time_auto} + \text{Service_count} * \text{Price_service}).$$

Окно с результатами моделирования представлено на рисунке 5.



Рис. 5. Окно с результатами моделирования

Таблица

Результаты экспериментов

№ пп	Период сервисного обслуживания, единиц модельного времени	Объем заготовленной древесины, условных единиц объема	Рентабельность, условных денежных единиц
1	300	213	1073,312
2	250	213	773,312
3	200	213	783,558
4	150	213	658,366
5	100	213	381,426
6	50	219	-419,146

С использованием созданного прототипа модели авторами был проведен ряд экспериментов. В таблице представлены результаты экспериментов, связанные с изменением параметра периода сервисного обслуживания лесной дороги при неизменности остальных параметров: Price_forest=7; Price_avto=2; Price_harvester=3; Price_service=300. В качестве условной единицы времени моделирования выбраны секунды. Общее время моделирования 300 секунд.

По результатам экспериментов обращают на себя внимание следующие факты. Наилучший результат, с точки зрения рентабельности, был получен при периоде сервисного обслуживания, равному модельному времени. При этом наихудший результат по параметру рентабельность оказался наилучшим по объему заготовленной древесины. Т.е. за счет более качественного обслуживания лесной дороги повысилась скорость передвижения по ней харвестера к месту лесозаготовки. И это, в свою очередь, обеспечило больший объем лесозаготовки за моделируемый период.

Полученные результаты имеют практическую значимость с точки зрения интерпретации разработанной концепции построения агент-ориентированных моделей формирования инфраструктуры лесозаготовки и подтверждения возможности построения с его помощью моделей реальных систем, обеспечивающих их оценку и принятие решений по развитию.

Литература

1. Герасимов, Ю. Ю. Разработка системы оптимального проектирования сети лесовозных автомобильных дорог / Ю. Ю. Герасимов, А. П. Соколов, В. К. Катаров // Информационные технологии. – 2011. – № 1 (68). – С. 39–43.
2. Гребенюк, А. Л. Проблема доступности лесных ресурсов / А. Л. Гребенюк, И. А. Гарус ; под редакцией Е. А. Памфилова // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. – Брянск : БГИТА, 2014. – Вып. 39. – С. 3–4.
3. Гулин, К. А. Теоретические аспекты агент-ориентированного моделирования развития лесного комплекса / Гулин К. А., Антонов М. Б. // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 59–74.
4. Дианов, С. В. Задача оптимального пространственного размещения сервисов для систем с мобильными пользователями // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2020) : материалы одиннадцатой заочной международной научно-технической конференции (Вологда, 29–30 июня 2020 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет, 2020. – С. 53–55.
5. Оптимизация маршрутов доставки древесины на основе нечеткой динамической транспортной сети / К. А. Комаров, В. Ю. Фомина, М. М. Герасимова, А. П. Мохирев // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Красноярск, 25–26 апреля 2018 г.) / ответственные редакторы Ю. А. Безруких, Е. В. Мельникова. – Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2019. – С. 205–210.
6. Мохирев, А. П. Моделирование структуры лесотранспортных потоков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 396 с.
7. Влияние природно-производственных факторов на транспортные затраты лесозаготовительного производства / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, Т. С. Гудень, В. Д. Сухинин // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2 (34). – С. 107–117.
8. Оценка доступности лесных ресурсов с использованием современных методик на базе географических информационно-аналитических систем / А. П. Мохирев, М. О. Позднякова, С. Ю. Резинкин, В. О. Мамматов // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4. – С. 109–122.
9. Имитационная модель функционирования лесовозной автомобильной дороги / В. В. Никитин, В. Г. Козлов, А. Ю. Арутюнян, М. М. Умаров // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20, № 2. – С. 167–172.
10. Соколов, А. П. Имитационное моделирование производственного процесса заготовки древесины с помощью сетей Петри / А. П. Соколов, Е. В. Осипов // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 3 (27). – С. 307–314.

S.V. Dianov¹, D.S. Dianov²

¹Vologda State University,

²Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

PROTOTYPE OF AGENT-ORIENTED MODEL FOR FORMING FOREST ROADS NETWORK

The article presents the main aspects of the implementation of the prototype agent-based model for the use of a network of logging roads. The purpose of its creation was the practical interpretation and testing of the author's approach to the construction of such models. The results obtained contribute to the development of tools that provide decision-making to increase the availability of forest resources.

Transport accessibility of forest resources, decision support tools, agent-based modeling, service-oriented approach.