

П. А. Лыщик, доцент; Н. И. Гурин, доцент; Ю. Ф. Капыш, ассистент

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

The article is dedicated to designing to road network with account of the age wood on prospect with using the methods of simulation modeling and geoinformation systems.

В процессе главного и промежуточного лесопользования в условиях Беларуси интенсивно используются существующие в лесном массиве как лесные, так и постоянные автомобильные дороги общего пользования, обеспечивающие транспортировку древесины из лесосеки к пунктам потребления. Лесные дороги, кроме указанного назначения, используются для побочного лесопользования, хозяйственных нужд, проведения противопожарных мероприятий и т. д. После выработки лесосеки лесные дороги становятся заброшенными, зарастают, отдельные участки заболачиваются. Повторное их использование вызывает дополнительные материальные затраты. В отдельных случаях для транспортировки древесины в лесном массиве строятся новые лесовозные дороги, что требует обоснования их расположения.

Проектирование оптимальной структуры лесной дорожно-транспортной сети является достаточно сложной задачей, которая должна решаться комплексно. Использование современных информационных технологий, основанных на применении ГИС и соответствующих математических методов и моделей, позволяет успешно решать поставленную задачу. При этом необходимо учитывать как наличие и состояние существующих дорог для вывозки древесины, так и наличие кварталных просек, волоков и технологических коридоров, используемых при проведении рубок ухода и рубок промежуточного лесопользования. В этой связи в пределах сырьевой базы каждого лесохозяйственного предприятия необходимо определить общую перспективную схему создания и развития лесотранспортной сети, которая учитывает все перечисленные выше факторы. Разработка такой схемы позволит, с одной стороны, минимизировать затраты на строительство лесотранспортной сети для вывоза древесины с каждой лесосеки, а с другой – улучшить использование лесных ресурсов, повысить экологическую и биологическую сохранность лесных экосистем.

Прежде всего при проектировании лесотранспортной сети необходимо учитывать неоднородность возрастного и породного состава древостоев в границах сырьевой базы лесхоза. При этом назначаемые в рубку лесосеки могут располагаться в глубине массива, на значительном удалении от местоположения нижнего склада или других конечных

пунктов потребления древесины. В тех случаях когда в непосредственной близости от выдела, назначаемого в рубку, отсутствуют автомобильные дороги, рекомендуется использовать кварталные просеки.

Для разработки лесосеки, которая расположена в центре лесосырьевой базы, необходимо использовать существующие волоки и технологические коридоры на соседних с лесосекой выделах, не назначенных в рубку, для прокладки по ним маршрутов прохождения лесовозных дорог к конечным пунктам вывоза. В этом случае отпадает необходимость в строительстве новых лесовозных дорог, а решаемой задачей оптимизации будет являться построение такой схемы лесотранспортной сети, которая обеспечит наименьшие затраты на ее создание. Использование выбранных просек, волоков и технологических коридоров приведет к уменьшению затрат на вывозку древесины и обеспечит наименьшую нагрузку на экологию лесного массива.

Другой задачей оптимизации проекта лесотранспортной сети, которая должна решаться параллельно с названной выше, является необходимость учета перспективности ее использования целиком или частично в рамках всей лесосырьевой базы с учетом возраста древостоев. Для этих целей необходимо проанализировать и разделить выделы по возрастным категориям, для чего в ГИС «Лесные ресурсы» предусмотрена функция создания тематических карт. На первом этапе такого проектировании лесотранспортной сети создается тематическая карта с выделением в лесном массиве приспевающих и спелых древостоев (рис. 1).



Рис. 1. Тематическая карта с указанием выделов по возрасту древостоев

Решение этой задачи требует в свою очередь учета динамики роста древостоев, планируемых лесохозяйственных мероприятий, проводимых рубок ухода и промежуточного лесопользования, учета регулярности использования лесных дорог, а также просек и волоков на выделах.

Разработанная для решения поставленных задач компьютерная система имитационного моделирования [1] позволяет проводить расчеты природно-производственных характеристик выдела на основе модели пространственного размещения деревьев на лесосеке [2], модели развития дерева с учетом конкурентных отношений в древостое [3], а также таксационных показателей базы данных ГИС «Лесные ресурсы». При моделировании лесохозяйственных работ, связанных с проведением рубок ухода, ключевым моментом является составление технологической схемы рубки. Она включает в себя прокладку волоков и технологических коридоров на карте выдела исходя из лесохозяйственных требований, структуры древостоя, данных о почве и рельефе, наличия существующей дорожной сети, а также компромисса между повреждаемостью древостоя и производительностью лесных машин. Основным режимом визуализации древостоя на экране компьютера принята площадь в 1 га (рис. 2), которая является основной статистической единицей измерения характеристик древостоя. После проведения имитационного моделирования всех технологических процессов проведения рубки полученные значения характеристик древостоя экстраполируются на площадь всего выдела.

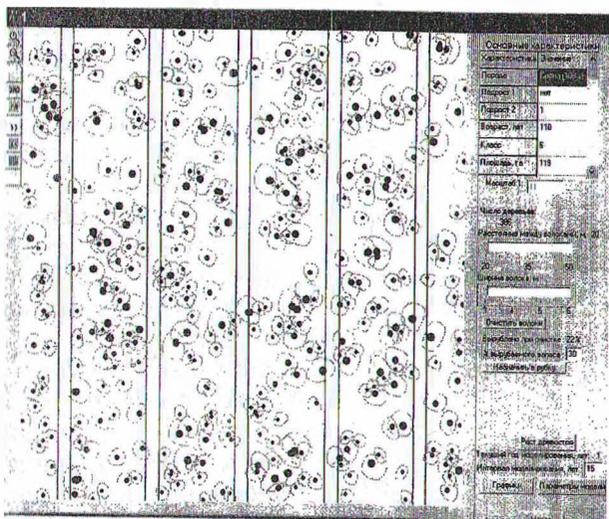


Рис. 2. Моделирование размещения волоков в древостое на площади 1 га

Принципиальная технологическая схема размещения волоков и транспортных коридоров для проведения рубки ухода зависит как от вида рубки, так и от конкретных условий на выделе, очертаний его границ, применяемых

для проведения рубки машин и механизмов. При построении транспортных путей необходимо также определять длину, ширину и угол примыкания технологических коридоров и волоков к транспортным путям. При недостаточной ширине технологических коридоров, которая определяется габаритами работающих на лесосеке машин и механизмов, повышается частота задиров коры деревьев при движении харвестеров и форвадеров, часто нарушаются правила техники безопасности, при увеличении нагрузки на колею повышается повреждаемость корневой системы примыкающих к транспортным коридорам деревьев. На прямолинейных участках также повышается повреждаемость остающихся на доращивание деревьев при трелевке срубленных к погрузочным пунктам. С другой стороны, при густой сети технологических коридоров или увеличении их ширины увеличивается площадь, на которой лес должен быть вырублен полностью.

Таким образом, при проектировании технологической схемы рубок необходимо найти приемлемый компромисс между максимальной сохранностью древостоя, оставляемого на доращивание, и производительностью лесозаготовительной техники, необходимым объемом рубки ухода, конфигурацией выдела и т. п. Фактически проектировщик должен найти оптимальное решение задачи со многими параметрами.

Для выделов, имеющих сложные очертания границ, разработаны алгоритмы и осуществлена их программная реализация для построения схемы волоков и транспортных коридоров. При этом определяется требуемая ширина пасеки, волока, величина угла примыкания и проводятся расчеты всех затрат с целью их оптимизации, а также минимизации экологических и лесохозяйственных потерь. Визуальное представление на экране компьютера планируемой технологической схемы рубки ухода на выделе можно проводить средствами пользовательского интерфейса.

Компьютерная система предоставляет пользователю возможность на основе методов визуально-имитационного моделирования построить наиболее приемлемую в данных условиях технологическую схему проведения рубки ухода на карте выдела (рис. 3), рассчитать все необходимые параметры рубки ухода, определяемые ее технологической картой, и выбрать для них оптимальные значения. Кроме того, используя программный модуль «Моделирование роста древостоев», пользователь имеет возможность рассчитать отдаленные последствия принятого решения по принятой им к выполнению технологической схеме рубки ухода и, если это необходимо, перепроектировать ее.

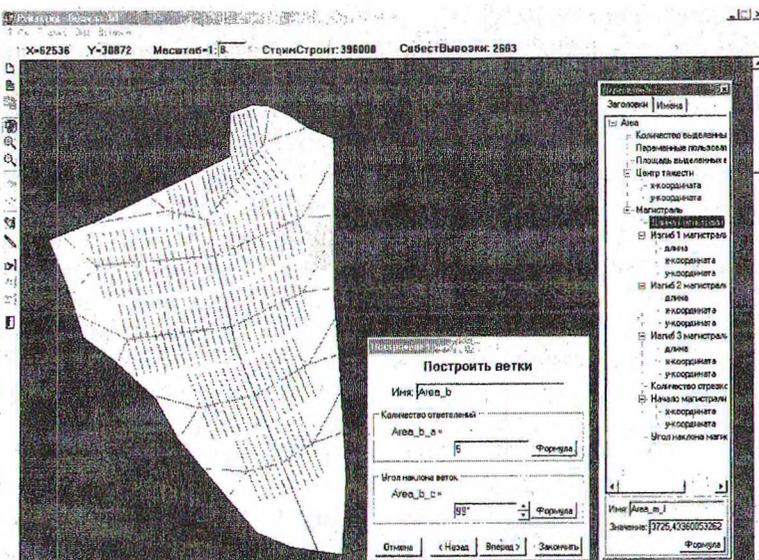


Рис. 3. Пример варианта расчета оптимальной лесотранспортной сети в компьютерной системе

Проектирование и выбор оптимальной дорожно-транспортной сети производится на основании сопоставления технико-экономических показателей проектных решений с аналогичными показателями базового варианта. При этом себестоимость перевозок древесины должна быть минимальной.

Себестоимость перевозок C_T состоит из двух составляющих:

$$C_T = C_a + C_d, \quad (1)$$

где C_a – транспортная составляющая себестоимости перевозок, включающая в себя зарплату водителя, расходы на топливо, резину, смазочные материалы, ремонт подвижного состава, обслуживание движения и гаражей, амортизационные отчисления по подвижному составу и ремонтно-обслуживающей базе, накладные расходы (определяется по нормативам); C_d – дорожная составляющая себестоимости перевозок, включающая в себя расходы на строительство, текущее содержание и ремонт дорог.

Дорожную составляющую себестоимости перевозок C_d определяют для дорог в зависимости от типа по формуле

$$C_d = (C_m + C_b + C_{yc})/Q + (C_p/n + T_c)/Q, \quad (2)$$

где C_m , C_b , C_{yc} , – стоимость строительства 1 км магистрали, веток и усов соответственно, руб.; C_p – стоимость одного среднего ремонта на 1 км дороги, руб.; n – межремонтный срок, лет; T_c – стоимость текущего ремонта 1 км дороги, руб.; Q – ежегодный объем перевозок, осуществляемых по 1 км дороги, м³.

Поскольку решать задачу оптимизации допустимо в относительных значениях стоимости различных компонентов лесотранспортной сети, то достаточно привязаться к их денежному

выражению на определенный момент времени, считая что стоимость всех видов затрат меняется пропорционально. К примеру, на основании анализа сметной документации затраты на строительство нового уса для разработки лесосеки составляли $C_{yc} = 11\,000$ тыс. руб./км. При этом если при разработке лесосеки новый ус прокладывать по существующим коридорам, которые остались после проведения рубок промежуточного пользования, то такие затраты составят $C_{yc/b} = 10\,025$ тыс. руб./км, где вычитаются затраты на подготовительные работы (восстановление трассы, рубка леса, расчистка кустарника и т. п.). Таким образом, при прочих равных условиях для различных вариантов схем освоения лесосеки способ с использованием существующих волоков дает экономию средств на 8,9% при одинаковой длине путей. В первом приближении такую же пропорцию можно принять и для случая прокладки лесозовозного уса по квартальной просеке.

При проектировании дорожно-транспортной сети на основе компьютерной системы имитационного моделирования все необходимые данные для расчетов заносятся в систему. На их основании производится расчет различных вариантов схем освоения лесосеки фонда на текущий период, просчитывается также возможность использования проектной сети для будущих рубок как главного пользования, так и промежуточного. При проектировании сети с учетом рубок промежуточного пользования учитывается размещение волоков, которые были построены для их проведения, т. е. прокладка основной сети дорог производится по коридорам, которые остались от рубок промежуточного пользования (рис. 4, 5). За счет этого будет экономия средств на строительство дорог, так как нет необходимости в прорубке и расчистке новых коридоров для путей.

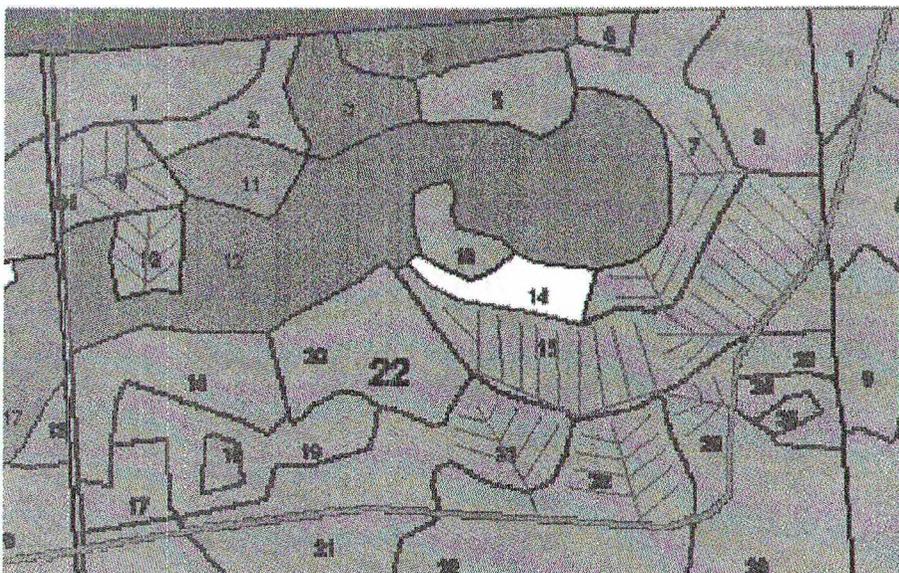


Рис. 4. Схема расположения волоков при проведении рубок ухода

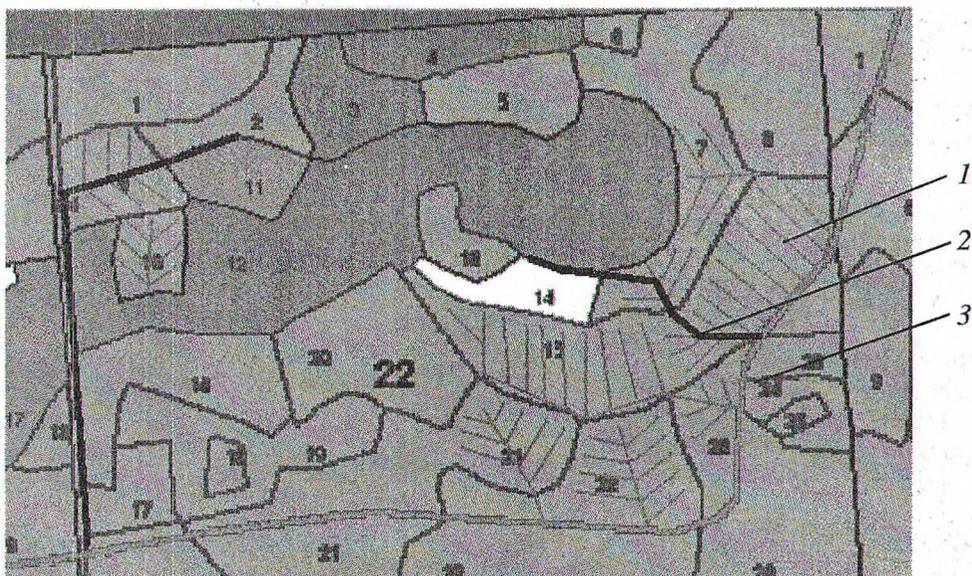


Рис. 5. Определение направления лесовозных путей с учетом существующих волоков:
1 – волоки; 2 – проектируемая дорога; 3 – существующая дорога

Разработанная компьютерная система предоставляет пользователю возможность на основе методов визуально-имитационного моделирования спроектировать и построить наиболее приемлемую в данных условиях схему транспортного освоения лесного массива по данным, получаемым из ГИС «Лесные ресурсы», и рассчитать оптимальные значения параметров схемы исходя из распределения лесосек по возрастной структуре. Используя программный модуль, предназначенный для моделирования роста деревьев, пользователь имеет возможность рассчитать параметры транспортной сети. Таким образом решается задача имитационного моделирования по оптимизации затрат на строительство лесотранспортной сети, максимального использования лесосечного фон-

да и определения перспективного развития дорожной сети в лесу.

Литература

1. Гурин Н. И., Григорьев В. П., Микуцкий В. С. Компьютерная система для моделирования рубок с использованием ГИС-технологий // Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 2005. – С. 68–71.
2. Prentice I., Leemans R. Pattern and process and the dynamics of forest structure: a simulation approach // J. Ecology. – 1990. – № 78. – P. 340–355.
3. Гусаков С. В., Фрадкин А. И. Моделирование на ЭВМ пространственной структуры лесных фитоценозов. – Мн.: Наука и техника, 1990. – 112 с.