

УДК 630*36

В.С. Сюнев

Сюнев Владимир Сергеевич родился в 1957 г., окончил в 1980 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тяговых машин Петрозаводского государственного университета. Имеет около 80 печатных работ в области технологии лесозаготовок и лесных машин.



НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК*

Рассмотрен подход к обоснованию выбора машин для рубок леса на основе создания и применения компьютеризированной системы принятия решений, позволяющей сбалансированно учитывать как производственные, так и экологические показатели функционирования машин. Основное внимание уделено рассмотрению несплошных рубок промежуточного пользования.

Ключевые слова: промежуточное пользование, лесозаготовительные машины, принятие решения, экологический фактор.

Развитие несплошных рубок леса, в том числе рубок промежуточного пользования (ухода), является одним из перспективных направлений лесной политики. После спада, постигшего лесозаготовительные производства в 1993–1997 гг., вопрос увеличения рубок вновь становится актуальным в связи с тем, что, во-первых, в ряде регионов (особенно приближенных к внешним рынкам) растет процент освоения расчетной лесосеки по главному пользованию и в перспективе встает вопрос о необходимости получения древесины от несплошных рубок, во-вторых, значительная часть лесного фонда находится в недоступных и труднодоступных районах.

Как и прежде, развитие несплошных форм рубок сдерживается техническими возможностями. Решение данной проблемы предполагает как экстенсивный, так и интенсивный путь.

Экстенсивный путь – наращивание номенклатуры и числа машин и оборудования – предполагает оживление деятельности лесного машиностроения, в том числе конверсионного, увеличение импорта, создание новых машин, подобных лучшим зарубежным аналогам. На первом этапе работ в этом направлении целесообразно использовать положительный опыт разработки конструкций специальных лесных машин по модульному принципу на базе колесных сельскохозяйственных тракторов. Создание таких машин требует научного обоснования их основных параметров в соответствии с будущими условиями эксплуатации.

Накопленный в России и за рубежом опыт показывает, что решение вопроса механизации за счет простого увеличения числа машин и оборудования является недостаточным шагом.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования РФ, грант Т02-11.1-279.

Интенсивный путь предполагает более эффективное использование машин. При этом требуется удовлетворение комплекса требований по производительности, металлоемкости, выполнению намеченной программы рубок. Особое значение должно уделяться экологическому аспекту проведения рубок ухода.

На современном научном уровне решение проблемы механизации рубок ухода как экстенсивным, так и интенсивным путем предполагает разработку нового концептуального подхода, неразрывно связанного с вопросами информатизации и компьютеризации лесной отрасли. Суть данного подхода заключается в создании компьютерной системы поддержки принятия решений по выбору и обоснованию машин для проведения рубок в конкретных условиях. Такая система позволяет при учете многообразия природно-производственных факторов и альтернативном наборе машин осуществлять оптимальный подбор машин из числа существующих. При отсутствии необходимого варианта выбора система позволяет проводить обоснование основных параметров вновь проектируемых машин и оборудования.

Исходя из описанной проблемы, были сформулированы следующие задачи исследований, которые необходимо было выполнить в рамках программы по созданию компьютеризированной системы выбора машин для несплошных рубок леса.

1. Разработать компьютерные базы данных по имеющимся машинам для рассматриваемых видов рубок и установить зависимости между их основными параметрами. Решение этой задачи усложнялось тем обстоятельством, что большинство подобных машин производилось на западе, в основном в Финляндии и Швеции. Это предполагало организацию контактов с зарубежными партнерами по сбору и анализу информации, генерацию новых научных проектов, охватывающих и эту проблематику.

2. Создать базы данных по природно-производственным условиям на основе использования ГИС-технологий и провести компьютерное генерирование типовых модельных лесосек. Эта задача осложнялась выбором конкретного объекта исследований. Поскольку отработка методики создания баз данных даже в рамках отдельной республики и района оказалась бы весьма трудоемкой, исследования были ограничены конкретной территорией лесничества Петрозаводского государственного университета (Пряжинский район Республики Карелия).

3. Разработать компьютерные модели для исследования воздействия ходовых систем на лесные почвы, отражающие их специфику (наличие корней и камней).

4. Провести комплекс экспериментальных исследований по воздействию машин на лесную среду (почва, оставляемый древостой), оценить адекватность разработанных компьютерных моделей.

5. Разработать имитационную компьютерную модель технологического процесса несплошных рубок с применением машинного комплекса (харвестер и форвардер).

6. Оценить достоверность результатов имитационного моделирования натурным экспериментом, что требует создания методики эксперимента, организации и проведения реальных рубок на нескольких пробных площадях.

7. Обосновать показатели для оценки эффективности функционирования машин на несплошных рубках и разработать методику их расчета. В качестве одного из основных показателей изначально предлагалось принять экологическую совместимость машин с природной средой. Здесь в первую очередь следовало учитывать повреждаемость оставляемого древостоя и лесных почв.

Структура запланированных исследований в соответствии с описанными задачами представлена на рис. 1.

Основу исследовательского коллектива составили сотрудники кафедры тяговых машин ПетрГУ при научном консультировании д-ра техн. наук, проф. Ю.Ю. Герасимова. Успешному решению поставленных задач способствовало их включение в программы ряда научно-исследовательских проектов. Создание баз данных по лесозаготовительной технике проводилось нами на основе анкетирования фирм-производителей, поддержанного финляндской исследовательской группой FEG (г. Йозенсуу) и Государственным научным центром ЛПК при Минэкономике РФ. Сбор данных по природно-производственным условиям исследуемой территории и организация экспериментальных рубок леса оказались наиболее трудоемкими задачами исследований. Эти работы выполнялись в рамках международных проектов «Taiga-Model Forest» (Россия–Финляндия, 1997 – 2000 г.г.) и «Tempus Tacis T_JEP 10347–97 Development of the Environmental and Economics Studies» (Россия–Финляндия–Швеция, 1997 – 2000 г.г.) и российского гранта «Разработка научных основ обоснования оптимального технологического процесса освоения лесных массивов при несплошных рубках».

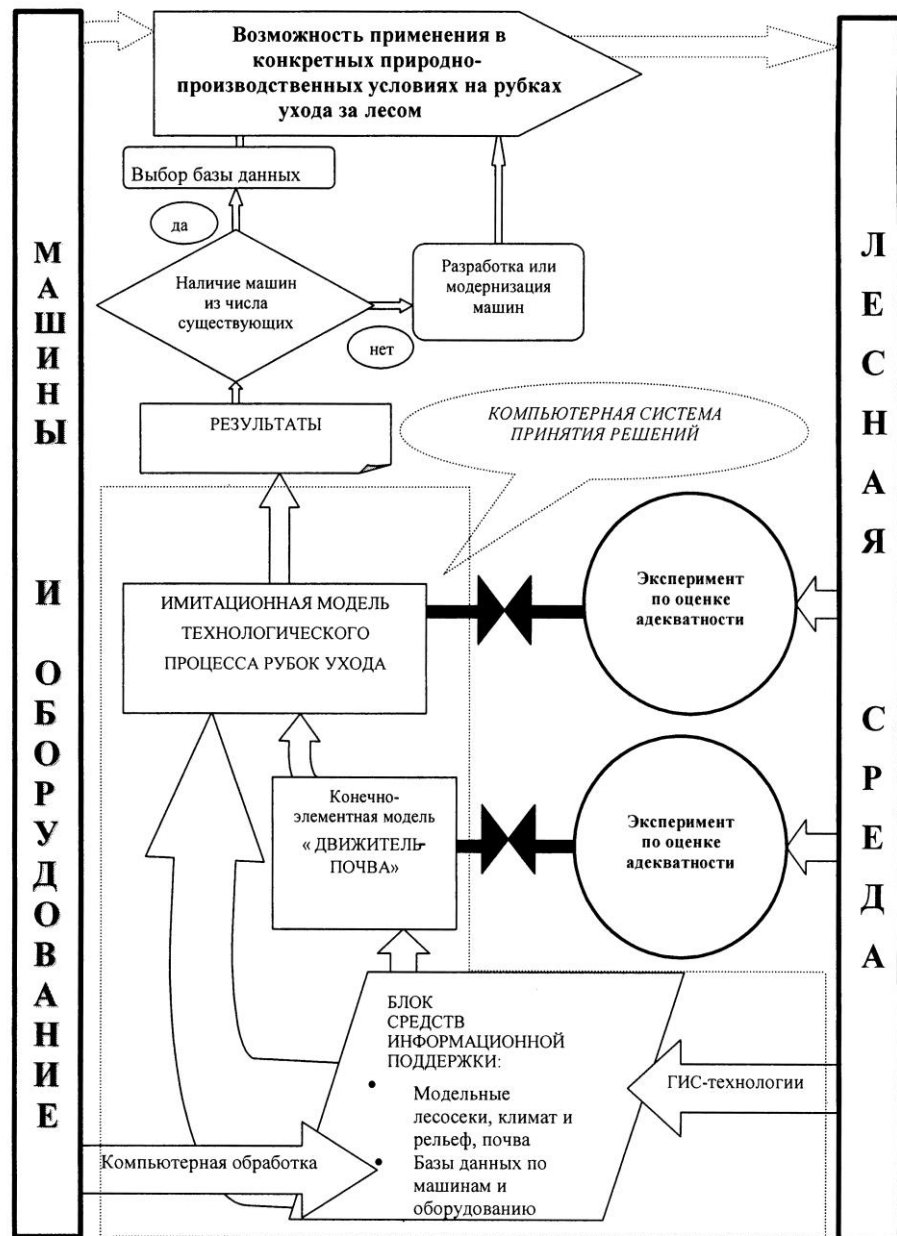


Рис. 1. Структура исследований по разработке компьютеризированной системы принятия решений

Подход к решению поставленной проблемы. Подход к решению поставленной проблемы основывался на построении блочно-иерархической трехуровневой человеко-машинной (компьютеризированной) системы принятия решений.

Нижний уровень – оперативное планирование – представляет собой систему принятия решений по оценке эффективности работы машин в условиях конкретного хозяйства (лесхоз, лесопромышленное предприятие). Средний уровень – стратегическое планирование – позволяет проводить оптимальный выбор машин, имеющихся на рынке лесозаготовительной техники, для конкретных условий лесной среды в масштабах задач, которые решаются региональными государственными лесохозяйственными органами и крупными лесопромышленными объединениями. Верхний уровень – проектный – позволяет конструктору-разработчику новой техники научно обосновывать основные параметры проектируемых машин в соответствии с будущими условиями эксплуатации.

На каждом уровне система состоит из определенного набора блоков, детальность разработки которых определяется масштабом решаемых задач:

блоки средств информационной поддержки (компьютерные базы данных по имеющейся лесной технике и модельные лесосеки, увязанные с географическими информационными системами лесных территорий);

блок моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы;

блок имитационных моделей, описывающих технологический процесс рубок ухода с расчетом частных показателей качества эффективности функционирования и полипоказателей.

Система производит расчет показателей, характеризующих работу машин, на основе анализа которых пользователем принимается решение соответствующего поставленным задачам уровня.

Для оценки эффективности функционирования машин предложено использовать следующие показатели:

$W_{\text{повр}}^c$ – повреждаемость кроны и стволовой части деревьев;

$W_{\text{повр}}^k$ – повреждаемость корневых систем и почвы;

$W_{\text{дост}}$ – пространственная доступность деревьев в рубку;

$W_{\text{произв}}^x$ – производительность харвестера;

$W_{\text{произв}}^f$ – производительность форвардера;

$W_{\text{кач}}$ – выполнение намеченного плана рубок (показатель качества рубки);

$W_{\text{мет}}^x, W_{\text{мет}}^f$ – металлоемкость харвестера и форвардера;

$W_{\text{сист}}$ – степень согласованности харвестера и форвардера в системе.

Определяющим критерием в принятии решения является полипоказатель качества $W_{ij}(u, v)$. Для повышения достоверности информации результирующий полипоказатель определяют тремя различными методами: метод равномерной оптимальности – критерий 1, метод свертывания (Гермейера) – критерий 2, метод справедливого компромисса – критерий 3.

Решение (для соответствующего иерархического уровня) принимают на основе анализа полипоказателей качества и частных показателей с использованием теории игр и статистических решений. Наилучшая альтернатива характеризуется наиболее удачным сочетанием всех показателей.

Уровень решаемых задач определяет характер связей между блоками и степень их задействованности в процессе принятия решения. На уровне оперативного планирования в лесхозе или леспромхозе в блоке информационной

поддержки на основе использования ГИС данной территории создаются модельные лесосеки. Поскольку состав используемых машин ограничен и определен заранее, то электронные базы данных по машинам и оборудованию включены в работу частично. Минуя блок моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы, информация поступает в блок имитационного моделирования, описывающего технологический процесс рубок ухода. Здесь в конце моделирования рассчитываются показатели эффективности работы машин. На основе анализа величины показателей делается заключение о целесообразности применения имеющихся машин в конкретных условиях, уточняются и корректируются планы проведения работ для обеспечения наибольшей эффективности имеющейся техники.

На уровне стратегического планирования компьютеризированная система принятия решений дополнительно к предыдущим предполагает включение в работу электронных баз данных по рынку техники для механизации рубок. В результате выполнения описанной процедуры принятия решений делается заключение об оптимальном подборе машин для конкретных природно-производственных условий или даются рекомендации по распределению приобретенных машин по конкретным предприятиям в целях обеспечения максимальной эффективности их использования.

На верхнем уровне предлагается использование всех имеющихся блоков, в том числе блока моделирования воздействия ходовых систем машин на лесные почвы. Использование данного блока позволяет вводить в блок имитационного моделирования более точную информацию, сравнивать различные машины по степени отрицательного воздействия на лесную почву и вычислять показатели оценки воздействия машин на почвы. Оценка воздействия ходовых систем машин на лесные почвы производят по удельному давлению на почву в контакте с движителем q , напряжению в почвенном слое σ_h , глубине колеи h . Возможно применение и производных от них показателей. Наличие дополнительных показателей способствует принятию более точного проектного решения. Таким решением может быть выбор машин и оборудования из имеющейся номенклатуры, проектирование новых машин с обоснованием их основных параметров.

Разработка средств информационного обеспечения компьютеризированной системы принятия решений. Система информационного обеспечения включает два независимых блока:

компьютерная база данных по существующим лесным машинам и оборудованию (манипуляторы, рабочие органы);

компьютерная база данных по модельным лесосекам.

В компьютерную базу по машинам и оборудованию вошли данные о более чем четырехстах единицах зарубежных и отечественных машин и оборудования, полученные при анкетировании более 100 предприятий-изготовителей. Программный продукт, взятый за основу при создании базы данных – Microsoft Exel 5.0 для Microsoft Windows. Методический подход к построению баз данных и их структура описаны нами в работах [3–5].

В качестве исходных данных для построения модели лесосеки служат характеристики деревьев, почвенно-грунтовых условий, климата и рельефа, со-

держатся в банках данных, полученных с использованием ГИС-технологий (лесоустройство, климат, топография и почвы и т. д.).

База данных по модельным лесосекам должна содержать сведения о природно-производственных условиях. Модельные лесосеки получены путем генерирования на компьютере характеристик древостоя и местности. Ввод исходных характеристик, полученных в ходе экспедиционных работ в учебно-производственном лесничестве университета, и вывод результатов моделирования проводится в среде пакета программ MapInfo для Microsoft Windows [2].

Моделирование воздействия ходовых систем машин на лесные почвы. Исследование процессов взаимодействия ходовых систем с почвой было предложено проводить на основе метода конечных элементов (МКЭ). Применение данного метода позволяет наиболее точно описать процесс взаимодействия движителей и почвы, определить деформации и напряжения в любой точке любого почвенного слоя, использовать для описания почвы модель упруго-пластической среды, оценить уплотняемость почвы, исследовать последствия многократных проходов машин по одному следу [7]. При этом в отличие от аналитических методов форма линии контакта ходового элемента (например, эластичной пневматической шины) с почвой не оговаривается предварительно, а получается в результате моделирования в соответствии с рассматриваемыми характеристиками почвы и ходового элемента. Метод позволяет проводить сравнительную оценку последствий движения разных типов машин (колесные и гусеничные) на одну и ту же почву в одинаковых условиях и давать заключение о предпочтительности их применения. Важным преимуществом метода, особенно при рассмотрении экологически ориентированных задач, является его наглядность, обеспечиваемая визуализацией исследуемых процессов на экране монитора компьютера.

На основе использования ГИС-технологий рассмотрена возможность создания электронной почвенной карты местности с координатно-привязанными базами данных по характеристикам почв.

Определение входных параметров модели прочности почвы осуществляют по результатам прочностных испытаний почвенных образцов (строится линия поверхности предельных напряжений в меридиональном плане, по которой определяются инварианты напряжений для модели Друккера–Прагера).

В предлагаемом подходе к моделированию почвы возможен учет армирующего влияния корневых систем растений и наличие камней.

Пневматическое колесо моделируется в виде трех концентрических окружностей с разными упругими свойствами: протекторная часть, каркас, стальной обод. Гусеничный движитель моделируется в виде упругой многозвенной балки с жесткими катками на ней.

Предлагаемая конечно-элементная модель была формализована в пакете прикладных программ ANSYS, что позволило рассчитывать не только значение исследуемых параметров, характеризующих воздействие машин на почву, но и визуализировать исследуемые процессы на экране монитора.

Имитационная модель технологического процесса сплошных рубок. Основным звеном компьютеризированной системы принятия решений является имитационная модель функционирования машинного комплекса на заготовке

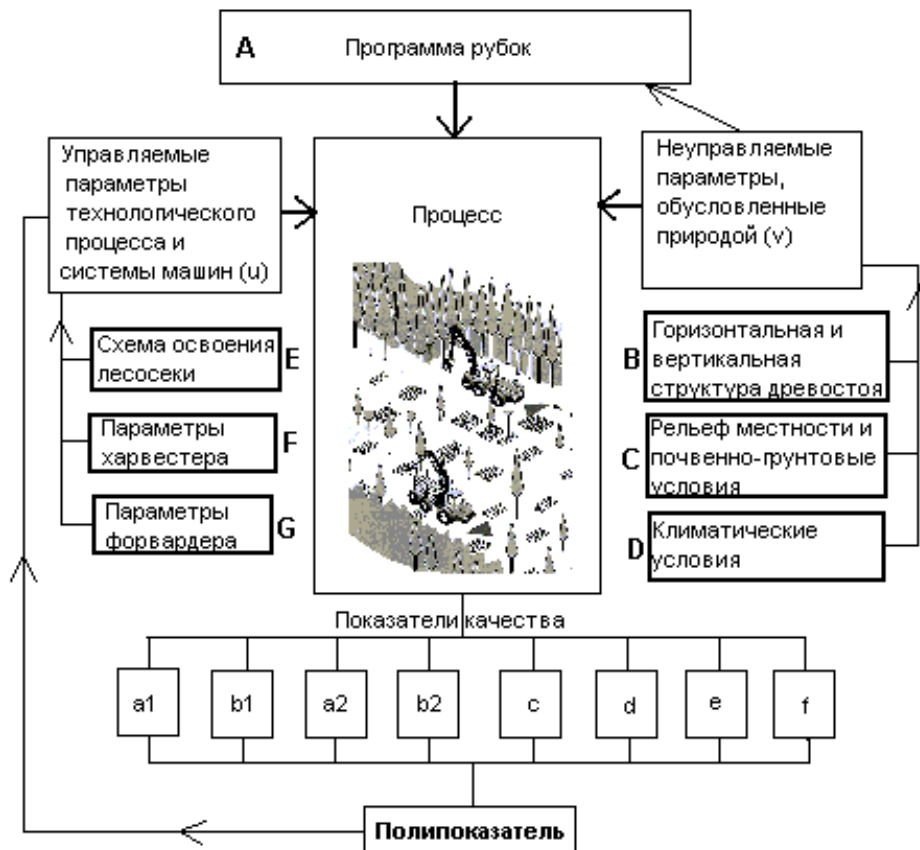


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели

леса. Структура обеспечения функционирования имитационной модели показана на рис. 2.

Входные элементы природного вектора v формируются в блоке информационной поддержки и представлены следующими модулями:

A – число и степень изреживания древостоя при рубках ухода;

B – распределение деревьев по площади

и их размеры;

C – параметры, характеризующие рельеф и почвенно-грунтовые условия;

D – параметры, характеризующие климатические условия эксплуатации.

Элементы вектора субъекта принятия решения u представлены следующими модулями:

E – размер делянки, планировка и размеры волоков, процент выборки;

F – конструктивные параметры валочно-пакетирующей машины или харвестера, включая характеристики манипулятора, ЗСУ или головки харвестера;

G – конструктивные параметры скиддера или форвардера и применяемого технологического оборудования.

Модули F и G также формируются в блоке системы поддержки.

Центральный модуль «Процесс» объединяет и связывает всю поступающую информацию и описывает технологический процесс рубки.

Показатели качества рассчитываются в следующих модулях: a1 – производительность лесозаготовительной машины; b1 – металлоемкость лесозаготовительной машины; a2 – производительность трелевочной машины; b2 – ме-

таллоемкость трелевочной машины; с – доступность деревьев в рубку; d – качество рубки; e – повреждаемость крон деревьев, стволов, корней и почв; f – согласованность машин в системе.

Имитационная модель формализована на алгоритмическом языке MapBasic (в среде пакетов, поддерживающих ГИС) в виде четырех взаимосвязанных программ:

1) моделирование движения лесозаготовительной машины с выбором точек стоянки, учетом рельефа и грунтовых условий, оценка доступности намеченных к валке деревьев, моделирование валки деревьев, комплексная оценка наносимых повреждений с учетом сезона работ, оценка металлоемкости, расчет производительности и времени;

2) моделирование процессов обрезки сучьев, раскряжевки и пакетирования (если они предусмотрены технологическим процессом лесозаготовок) с учетом сезона работ и характеристик обрабатываемых деревьев;

3) моделирование работы трелевочной машины;

4) расчет частных критериев эффективности и полипоказателей.

Экспериментальная проверка адекватности разработанных моделей.

Цель эксперимента – проверить адекватность разработанных имитационной модели технологического процесса рубок и конечно-элементной модели взаимодействия движителя с почвой.

В первом случае объектами исследований являлись лесные участки учебно-опытного лесничества ПетрГУ (Пряжинский район, Республика Карелия) и лесные участки в провинции Северная Карелия (Финляндия).

Рубки проводили в сосновых 60-летних древостоях, смешанных (ель-сосна) древостоях 60-летнего возраста и еловых с примесью березы древостоях 40 и 60 лет на шести опытных участках, освоенных по различным технологическим схемам.

Система машин, используемая для экспериментальной рубки, представляла колесный харвестер (4 × 4) «Timberjack-870», оснащенный харвестерной головкой TJ 746B, и колесный форвардер (8 × 8) «Timberjack-810B». Определение объема заготавливаемой древесины (в том числе отдельно по технологическим коридорам) проводили с использованием штатного микрокомпьютерного устройства «Timberjack 3000», которыми оснащаются все производимые этой фирмой харвестеры. Учет производительности работы форвардера осуществляли оператор машины и нормировщик на погрузочном пункте. Данные по реальной производительности машин сравнивали с полученными при расчете на компьютере в ходе имитационного моделирования.

Для оценки качества выполнения программы рубок, доступности деревьев, повреждаемости почвы и оставленного на доращивание древостоя проводили инвентаризацию лесного участка до и после рубки. Инвентаризация основывалась на методе исследования пробных площадей, размещаемых на сети мерных линий. Методика исследования подробно изложена нами в работе [1].

Сбор данных производили с использованием полевых карточек с последующей компьютерной обработкой результатов в электронных таблицах Excel.

По данным, полученным после обработки натурального эксперимента, проводили расчет показателей качества выполнения программы рубок, доступности и повреждаемости. После чего величины показателей сравнивали с ре-

зультатами, рассчитанными при моделировании тех же природных условий, технологии и машин в компьютерном эксперименте.

Разница в величинах показателей, полученных на основе обработки натурного и компьютерного экспериментов, составила 5,5...11,0 %, что подтверждает возможность применения разработанных имитационных моделей в предлагаемой компьютеризированной системе принятия решений.

Во втором случае в качестве объекта исследований были приняты наиболее распространенные трелевочные машины: колесный форвардер «Timberjack-1010» финского производства и отечественные трактора ТДТ-55А с серийной (440 мм) и уширенной асимметричной (550 мм) гусеницами. В ходе этого блока экспериментальных исследований на специально организованных трассах производили замер глубины оставляемой колеи, плотность почвы на поверхности и на глубине 15...20 см, ее твердость (сопротивление пенетрации) до и после трех-, шести-, девятикратных проходов машин. По результатам дальнейшей обработки взятых с колеи контроля почвенных образцов определяли пористость почв. Поскольку все исследуемые параметры существенно влияют на способность развития питающих корней деревьев в почвенном слое, то они являются важнейшими характеристиками для оценки экологической совместимости движителей машин с почвой. Для оценки адекватности конечно-элементной модели, описывающей взаимодействие движителей с почвой, нами были выбраны две величины: глубина колеи и изменение твердости почвы [6]. Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования подтвердило адекватность предложенных конечно-элементных моделей: разница по глубине образуемой колеи не превысила 8 %, разница в увеличении твердости почвы в колее составила 6...12 %.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили адекватность предложенных моделей и возможность их использования в компьютеризированной системе принятия решений.

Возможности использования предложенной системы принятия решений были продемонстрированы на примерах решения задач регионального подразделения органов лесного хозяйства и лесопромышленной компании.

Основные результаты работы внедрены в Карельском НИИ лесной промышленности при создании системы машин для рубок ухода, АК «Кареллеспром», Государственном комитете по лесу Республики Карелия, в Государственном научном центре ЛПК при Минэкономике РФ, на ОАО «Онежский тракторный завод», в учебном процессе кафедры тяговых машин Петрозаводского государственного университета.

Основные положения и результаты работы были представлены на международных и региональных конференциях и практических семинарах, демонстрировались на Всероссийской выставке «Российский лес-99» (г. Вологда).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю., Кильпелайнен С.А., Сюнев В.С. Об экспериментальной оценке адекватности применения имитационного моделирования при исследовании рубок ухода // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 2001. – Вып. 3. – С. 19–23.

2. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Моделирование, экологическая оптимизация и экспериментальные исследования техпроцессов и машин для рубок ухода на основе ГИС-технологий // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе РАЕН / ВГЛТА. – Воронеж, 1999. – Вып. 2. – С. 115–118.

3. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерная информационная система «ХАРВЕСТЕРЫ» // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 1996. – Вып. 1. – С. 90–96.

4. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерная информационная система «ФОРВАРДЕРЫ» // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 1999. – Вып. 2. – С. 161–167.

5. Сюнев В.С., Герасимов Ю.Ю., Костюкевич В.М. Компьютерные информационные системы по лесозаготовительной технике // Региональные проблемы развития лесного комплекса: Тез. докл. республиканской научно-практ. конф. / КарНИИЛП. – Петрозаводск, 1998. – С. 15–16.

6. Сюнев В.С., Давыдков Г.А. Воздействие машин на лесные почвы // Тр. лесоинженерного ф-та ПетрГУ. – Петрозаводск, 2001. – Вып. 3. – С. 88–91.

7. Сюнев В.С. Моделирование лесной почвы методом конечных элементов / ПетрГУ. – Петрозаводск, 2000. – 19 с. – Деп. в ВИНТИ 06.06.2000. № 1617-В00.

Петрозаводский государственный
университет

Поступила 25.02.04

V.S. Syunev

New Information Technologies as Instrument of Optimal Selection of Logging Machines

Approach to substantiation of logging machines' selection has been considered based on developing and applying decision-making computer system allowing to take into account both production and environmental factors of machine operation. The main attention is paid to intermediate felling.

