

## Подсекция ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 630\*36:621.9

С. А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;  
С. П. Мохов, зав. кафедрой, канд. техн. наук;  
А. Р. Гороновский, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Предлагаемая методика состоит из следующих структурных блоков, реализованных в авторских компьютерных математических моделях.

*1. Блок условий эксплуатации.* В него вносятся данные о типологических и физико-механических свойствах почвогрунтов, макро- и микрорельефе местности, таксационных характеристиках древостоев. Результатом работы блока являются матрицы показателей названных условий эксплуатации: породы и возраста деревьев, таксационного диаметра, класса бонитета, полноты, диаметров сучьев и их распределения по стволам, распределения стволов по лесосеке, показателей несущей способности грунтов и высотных отметок размещенных на участках лесосек по заданным законам распределения.

*2. Блок общего моделирования технологического процесса.* Исходными данными для него являются результаты работы блока условий эксплуатации, технологические и лесохозяйственные требования к работе машин. Результат работы блока – выбор базовой технологии и типов машин для ее реализации. Базовые технологии разработки лесосек комплексами многооперационных лесозаготовительных машин разработаны под руководством автора в 2021–2023 гг. по заданию отраслевой научно-технической программы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь «Сохранение устойчивого развития лесов с учетом изменения климата»;

*3. Блок моделирования технологических операций.* Основан на авторских математических моделях многооперационных лесозаготовительных машин. С его помощью устанавливаются: время проведения отдельных и совмещенных операций, затраченная на их реализацию энергия и выполненная полезная работа, динамические нагрузки в звеньях и узлах машин. Математические модели позволяют варьировать тип машины (харвестер, форвардер, рубильная машина, комбинированные машины на их основе), а также параметры конструкции: шасси, технологическое оборудование и рабочие органы. К при-

меру, для манипулятора это: кинематическая схема, грузоподъемность, поворотный момент и вылет манипулятора, массово-геометрические характеристики его отдельных звеньев, расположение и параметры исполнительных звеньев гидропривода, гидравлическая схема их питания (в том числе характеристики секций гидрораспределителя и гидронасосов) и др. Для харвестерных головок помимо параметров привода их исполнительных механизмов устанавливаются массово-геометрические параметры в целом, гидравлические и механические характеристики гидромоторов с вальцами (гусеницами) протяжки, геометрические параметры сучкорезных ножей, параметры контакта ствола дерева с несущей конструкцией, вальцами и сучкорезными ножами, параметры пильного механизма. Ввиду быстротечности процесса срезания сучьев с деревьев, существенной продолжительности моделирования такого процесса и высоких требований к аппаратной части компьютера данные, необходимые для работы подмодели харвестерной головки были получены предварительно методами конечно-элементного моделирования с последующей их проверкой в натуральных экспериментах. Полученные результаты внесены в подмодель в виде эмпирических зависимостей.

Для базовых шасси варьируемыми параметрами, помимо массово-геометрических характеристик отдельных узлов и агрегатов и их пространственного расположения на несущей конструкции, явились: колесная формула и упруго-демпфирующие характеристики двигателя, характеристики взаимодействия двигателя с лесными почвогрунтами, пространственное расположение мест установки технологического оборудования, упругие и демпфирующие свойства элементов несущей конструкции, пространственное положение оператора, параметры поддрессоривания его рабочего места и др.

4. *Блок анализа эксплуатационных свойств* работает параллельно с блоком моделирования технологических операций и при недостаточности определенных эксплуатационных свойств корректирует работу блоков общего моделирования технологического процесса и моделирования технологических операций. К примеру, ограничивает вылет манипулятора при недостаточной устойчивости машины и изменяет в соответствии с этим ширину полупасек и количество технологических коридоров.

5. *Блок оценки ресурса конструкции.* Здесь используются данные о динамических нагрузках в отдельных звеньях и узлах машин, получаемые из блока моделирования технологических операций. В нем предусмотрена реализация двух подходов к оценке ресурса. Оба основаны на предварительной схематизации процесса нагружения. Подход № 1 предоставляет большую точность оценки, но является бо-

лее трудоемким и может использоваться только при наличии трехмерной модели оцениваемой конструкции. При нем выполняется моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции под действием исходной последовательности нагрузок, оценивается ресурс конструкции в виде количества циклов заданной схемы нагружения до потери прочности или до критического износа, требующего ремонта. Найденное количество циклов нагружения интерпретируется в величину продолжительности безотказной работы и в дальнейшем используется при оценке эффективности комплекса лесозаготовительных машин в виде коэффициента готовности.

Второй подход основан на прогнозе ресурса анализируемой конструкции в сравнении с оценкой степени повреждаемости подобной опытной конструкций. Такой подход более приемлем при необходимости проведения расчетов с большой выборкой начальных условий эксплуатации и сравнения разнообразных технологий, а также при многочисленных вариантах конструкций машин. Как правило такая оценка выполняется на начальном этапе анализа.

*6. Блок данных о квалификации оператора.* Эффективность эксплуатации лесозаготовительных машин значительно зависит от подготовки и опыта оператора, его психоэмоционального состояния, утомляемости и т.д. На протяжении 2021–2023 гг. на кафедре ЛМДиТЛП проводился сбор и анализ данных о 157 операторах многооперационных машин. Полученные данные позволили установить влияние возраста, стажа, условий работы, ее непрерывной продолжительности и времени суток на способность отдельных групп операторов реализовывать ряд приемов и способов выполнения операций, а также долговременно поддерживать определенный технический уровень их исполнения;

*7. В блоке оценки эффективности и прогнозирования.* На основе данных, полученных из предыдущих блоков, с использованием изложенного ниже критерия выполняется оценка эффективности комплекса лесозаготовительных машин в заданных природно-производственных условиях эксплуатации. Также возможен анализ для группы условий или в изменяющихся условиях. При этом работа предыдущих блоков повторяется необходимое количество раз с разными начальными условиями, после чего выполняется оценка эффективности для всей группы с учетом вероятности эксплуатации машин в них. Реализация блоков в виде математических моделей и созданных на их основе компьютерных программ позволяет прогнозировать влияние параметров конструкций машин на их эксплуатационную эффективность при различных природно-производственных условиях и технологиях проведения лесозаготовительных работ.