



ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*375.5

И.Р. Шегельман¹, В.И. Скрыпник¹, А.В. Кузнецов¹, А.В. Пладов²

Шегельман Илья Романович родился в 1944 г., окончил в 1968 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесного комплекса, директор Карельского НИИ лесопромышленного комплекса Петрозаводского государственного университета. Имеет более 485 работ в области оптимизации выбора техники, технологии и организации процессов в лесопромышленном комплексе, обоснования проектных решений по совершенствованию заготовительно-транспортных операций лесозаготовок.



Скрыпник Владимир Иванович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Петрозаводский государственный университет, заведующий сектором Карельского НИИ лесопромышленного комплекса ПетрГУ. Имеет около 100 печатных работ в области моделирования движения лесовозных автопоездов, совершенствования системы подготовки производства для решения с использованием ЭВМ.



Кузнецов Алексей Владимирович родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Петрозаводский государственный университет, доцент кафедры технологии и оборудования лесного комплекса Карельского НИИ лесопромышленного комплекса ПетрГУ. Имеет 25 печатных работ по исследованию заготовительно-транспортных операций, мониторингу автотранспорта с помощью системы GPS.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ**

Разработана методика определения параметров движения лесовозных автопоездов с использованием видеосъемки и системы GPS мониторинга автотранспорта. Дана оценка точности и адекватности результатов расчета показателей по разработанным моделям и алгоритмам в сравнении с фактическими.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, лесовозные автопоезда, показатели движения.

Традиционные методы тяговых расчетов, применяемые на лесовозном транспорте для обоснования технико-экономических показателей,

крайне упрощены и не дают возможности эффективно решать задачи ввиду малой точности и недостаточного учета факторов, влияющих на движение автопоездов. Разработанные нами математические модели, алгоритмы и программы [1, 2] позволяют учесть эти факторы и вести расчеты во всех режимах движения.

Экспериментально-расчетные исследования в производственных условиях вызваны необходимостью оценить полноту учета в расчетных моделях и алгоритмах факторов, влияющих на режимы движения и точность определения основных показателей, точность и адекватность традиционных и разработанных методов тяговых расчетов. Для этого необходимо сравнить фактические (зарегистрированные) и расчетные данные, полученные по исследуемому методу и традиционно используемому методу равновесных скоростей. При таких исследованиях требуется одновременная запись времени и скорости движения, пройденного пути, номера передачи, включения моторного и колесного тормозов. Чтобы избежать погрешностей, связанных с недостаточно точным учетом сопротивления движению, необходимо определять его фактическое значение.

Ранее режимы движения лесовозных автопоездов записывали, как правило, с помощью осциллографической аппаратуры. Нами разработана оригинальная методика определения показателей движения с использованием систем GPS и видеоаппаратуры.

Для проведения экспериментальных исследований выбирали участки дорог с хорошим покрытием и достаточно сложным продольным профилем и планом, что обеспечивает проверку расчетных моделей и алгоритма расчетов при всех режимах движения. Протяженность отдельных участков, уклоны, радиусы вертикальных и горизонтальных кривых, углы поворота трассы дорог определяли по чертежам исполненного продольного профиля дорог.

На многих лесозаготовительных предприятиях нет чертежей продольного профиля лесовозных дорог. В этом случае проводили нивелировку участков дорог, протяженность участков и длину горизонтальных кривых измеряли мерной лентой, углы поворота – теодолитом. По известной формуле находили радиус горизонтальной кривой:

$$R = \frac{180 l}{\pi \alpha},$$

где l – длина кривой, м;

α – угол поворота дороги, град.

На лесовозный автопоезд устанавливали систему GPS, предназначенную для глобальной, автономной оперативной навигации подвижных объектов, с использованием которой в каждой фиксированной точке определяли высотные отметки, скорость движения и пройденный путь, а также высотные отметки и скорость движения в функции времени.

Перед контрольным участком автопоезд останавливали, затем включали цифровую видеокамеру, с помощью которой фиксировали время начала движения, скорость, текущее время.

Другие показатели (номер используемой передачи, включение моторного тормоза, торможение двигателем, колесными тормозами, начало и конец контрольного участка) фиксировали звуковым сопровождением. Водитель, переключая передачу, включая тормоз и производя другие операции, комментировал свои действия; в случае необходимости пояснения давал и оператор, работая с видеокамерой. Вся информация в реальном масштабе времени записывали на видеокамеру, затем оцифровывали на компьютере.

Изображение оцифровывали с ключевым кадром в одну секунду; показания спидометра брали с ключевых кадров. На контрольных участках большой протяженности система GPS дает достаточно точные показатели скорости движения и пройденного пути. На коротких участках, имеющих сильно пересеченный профиль или горизонтальные кривые малого радиуса, где скорость движения изменяется очень резко, ее рассчитывали с использованием информации, полученной с помощью спидометра. После оцифровки результатов видеосъемки на компьютере через каждую секунду определяли скорость движения, затем (для каждой зафиксированной отметки времени) пройденный путь (S , м) по формуле:

$$S = \frac{kv}{3,6},$$

где v – зафиксированная скорость, км/ч;

k – тарифовочный коэффициент.

Для того чтобы при моделировании движения автопоезда с достаточной точностью учесть сопротивление движению, на дорогах с различными покрытиями экспериментально определяли его значение и характер изменения в зависимости от скорости движения. Для этого выбирали участки дороги длиной 600 ... 800 м с почти горизонтальным продольным профилем. Для учета микрорельефа участок нивелировали, высотные отметки определяли через каждые 5 м.

Автопоезд разгоняли до максимальной скорости, затем в начале экспериментального участка включали нейтральную передачу, и автопоезд двигался накатом до полной остановки. Диапазон скоростей от максимальной до нулевой разбивали на интервалы по 5 км/ч. В каждом из них ускорение (j) условно считали постоянным и определяли по формуле

$$j = \frac{v_k - v_n}{t},$$

где v_k, v_n – скорость соответственно в конце и начале участка, м/с.

Затем рассчитывали сопротивление движению (ω) по формуле

$$\omega = j - \frac{\rho \Delta \Omega v^2}{gG} - i,$$

где ρ – коэффициент сопротивления воздушной среды, зависящий от обтекаемости автомобиля, $\rho = 0,07$;

Δ – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление воздушной среды от прицепов (при работе с одним прицепом $\Delta = 1,3$);

Ω – лобовая площадь автомобиля, м^2 ;

G – масса автомобиля, кг;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Основное сопротивление движению находили с интервалом скорости в 1 м/с. Далее, используя программу EXCEL, данные обрабатывали методом наименьших квадратов, чтобы получить эмпирическую зависимость для определения основного сопротивления движению в виде

$$\omega = b + dv^2.$$

На гравийной дороге с хорошим покрытием

$$\omega = 0,01446 + 7,812 \cdot 10^{-5} v^2;$$

для зимних условий эксплуатации покрытия при температуре $-12 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\omega = 0,0155 + 4,46 \cdot 10^{-5} v^2;$$

для движения по дорогам общего пользования с асфальтовым покрытием

$$\omega = 0,0137 + 2,42 \cdot 10^{-5} v^2.$$

Согласно предложенной методике проведены экспериментальные исследования движения лесовозного автопоезда КамАЗ-53228+ТМЗ-8966-010 на контрольных участках дороги общего пользования Ведлозеро – Савиново. Дорога с асфальтобетонным покрытием проходит по пересеченной местности, уклоны достигают 0,09, есть ограничения скорости по условиям видимости на вертикальных и горизонтальных кривых. Показатели движения записывали с использованием системы GPS на двух участках в грузовом и двух участках в порожнем направлениях длиной соответственно 3400 и 3600 м.

Автопоезд имел 10 передач, оборудован гидроманипулятором Ф-658 и моторным тормозом, длина транспортируемых сортиментов 6 м, грузоподъемность 23,2 т (29 м^3), снаряженная масса 17,8 т, с грузом 41 т.

На основании обработки данных эксперимента построены графики фактических (зарегистрированных) скоростей движения. На них приведены уклоны продольного профиля, радиусы вертикальных кривых, скорости и режимы движения, номера используемых передач. Для этих же участков определены скорость, время и режимы движения с использованием разработанных программ и методов расчетов (табличный, аналитический).

Подобные расчеты проведены и для трех участков лесовозных дорог Пяозерского леспромхоза ОАО «Кареллеспром», где в процессе испытаний техники ранее записаны показатели движения лесовозного автопоезда-сортиментовоза на базе Сису СМ-162. Автопоезд был оборудован гидроприводом прицепа, погрузчиком Фискарс-7000 для погрузки сортиментов. При перевозке соснового пиловочника его грузоподъемность составляла 40 м^3 ,

масса с грузом 49,06 т, снаряженная 17,06 т. Коробка передач BVF-13 обеспечивала переключение 13 передач переднего хода (12 основных и 1 дополнительная), мощность двигателя 315 л. с.

По данным экспериментальных исследований, выполненных с использованием осциллографической аппаратуры, системы GPS и видеоаппаратуры, построены графики скорости и режимов движения лесовозных автопоездов КамАЗ-53228+ГМЗ-8966-010 и Сису СМ-162 на дорогах лесозаготовительных предприятий и общего пользования.

Для тех же участков по исследуемому методу с использованием разработанных алгоритмов рассчитаны скорости и другие показатели движения. Подобные расчеты выполнены по традиционно применяемому на лесовозном автотранспорте методу равновесных скоростей.

Проведенный анализ показал, что графики зарегистрированных скоростей и режимов движения и рассчитанные по исследуемому методу имеют хорошую сходимость по скоростям и режимам движения, различие по времени движения на всех четырех контрольных участках не превышает 6 %. Различие между фактическим и расчетным по методу равновесных скоростей временем движения достигает 35 %.

Для оценки тесноты связи между фактическими и расчетными скоростями движения с использованием разработанных алгоритмов и моделей расчета и метода равновесных скоростей с использованием программы СтатГраф определены необходимые статистические показатели. Для этого составлены ряды, в которых в начале, середине и конце каждого участка записывали скорости движения фактическую и расчетные, определенные по исследуемому методу и методу равновесных скоростей.

Обработка рядов наблюдений и результатов расчетов методами математической статистики с использованием программ СтатГраф и EXCEL показала, что коэффициент корреляции между зарегистрированным и расчетными рядами скоростей по исследуемой методике колеблется от 0,694 до 0,966, при использовании метода равновесных скоростей от 0,0987 до 0,4062. Как видим, уровень корреляции при расчете по методу равновесных скоростей недостаточен, как и уровень доверия, который колеблется от 0,163 до 0,321.

Проверка по критериям Фишера соотношения дисперсии как выборок, так и выборок и остатков показала, что результаты расчета скоростей движения по исследуемому методу адекватны фактическим, по методу равновесных скоростей неадекватны во всех исследуемых случаях.

Таким образом, проведенными исследованиями доказано, что исследуемый метод тяговых расчетов и определения показателей движения достаточно точен, обеспечивает хорошую корреляцию фактических и расчетных показателей движения и адекватность расчетов, поэтому он может быть использован при проведении тяговых расчетов вместо менее точного и неадекватного метода равновесных скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шегельман, И.Р.* Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ [Текст] / И.Р. Шегельман [и др.]. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. – 234 с.
2. *Шегельман, И. Р.* Эффективная организация автомобильного транспорта леса [Текст] / И. Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. – 276 с.

Петрозаводский государственный
университет

ЗАО «Шуялес»

Поступила 21.05.07

I.R. Shegelman¹, V.I. Skrypnik¹, A.V. Kuznetsov¹, A.V. Pladov²

¹Petrozavodsk State University,

²«Shuyales» Ltd

Experimental-calculating Study of Logging Trailers Movement

The technique for determining parameters of logging trailers movement is developed with the use of video filming and GPS monitoring system for motor transport. The accuracy and adequacy of results calculation are assessed according to the developed models and algorithms in comparison with real ones.

Keywords: logging tracks, logging trailers, movement factors.

