

## Аналитические зависимости для определения рационального режима снижения скорости лесовозного автопоезда при дорожных ограничениях

И. Р. Шегельман, В. И. Скрыпник, А. В. Кузнецов, А. С. Лещевич

*Петрозаводский государственный университет*

**Аннотация:** Получены зависимости, позволяющие определить оптимальный режим снижения скорости движения автопоезда при подходе к участкам, имеющим ее ограничения с обеспечением максимально допустимой по дорожным условиям средней скорости движения. Представленная методика позволит ускорить и уточнить расчеты при моделировании движения лесовозных автопоездов.

**Ключевые слова:** лесовозный транспорт, тяговые расчеты, моделирование движения, параметры движения, ограничения, торможение.

На основе тяговых расчетов в лесной отрасли может решаться комплекс технико-экономических задач, обеспечивающих эффективность транспортно-технологического освоения лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий [1, 2, 5-12]. В частности, к таким задачам можно отнести [4]: определение производительности лесовозных автопоездов и схем вывозки леса – одноступенчатая, двухступенчатая; выбор оптимального типа лесовозного автопоезда для конкретных условий эксплуатации, при постепенной замене парка автопоездов на перспективные [9]; оценка трассы дорог по эксплуатационным условиям и условиям безопасности для разработки мероприятий по ремонту и реконструкции дорог; оптимизация схемы транспортного освоения, очередности вывозки леса с учетом эксплуатационных показателей дорог, сезонности их действия, потребностей потребителей по объемам и сортиментно-качественным показателям.

До настоящего времени на лесотранспорте тяговые расчеты выполняются на основе традиционного метода равновесных скоростей, который совершенствовался и уточнялся различными учеными [1, 2].

Однако, основным принцип, на котором базировались эти методы, оставался неизменным – скорость на каждом элементе продольного профиля определяется по условию равенства тягового усилия и суммарной силы сопротивления движению; в результате график скорости движения получается ступенчатым, скорость при переходе с одного участка на другой меняется мгновенно. При расчетах не учитываются многие факторы, влияющие на показатели движения, в частности, наличие инерционных и тормозных сил, варьирование тягового усилия с изменением скорости, непрерывное изменение уклона на вертикальных кривых, ограничение скорости движения по условиям видимости на вертикальных кривых и на закрытых поворотах на горизонтальных кривых с учетом центробежных сил. Проведенные исследования показали [5], что результаты расчетов на основе метода равновесных скоростей не обеспечивают достаточной точности, расчетные графики скоростей не адекватны фактическим.

На кафедре «Технологии и организации лесного комплекса» и в КарНИИЛПе (ПетрГУ) разработаны новые методы расчетов [3, 6-8], учитывающие все факторы, которые не принимаются во внимание при проведении расчетов по методу равновесных скоростей и позволяющие определять показатели движения не только в режиме разгона и замедления автопоезда с работающим двигателем с полным или частичным использованием мощности, но и в режиме движения накатом, при торможении двигателем, моторным тормозом, колесными тормозами и др.

Для облегчения расчетов вручную разработаны таблицы [6-8], а для проведения массовых расчетов разработаны алгоритм и «Программа расчета показателей движения лесовозных автопоездов», моделирующие процесс движения автопоезда во всех режимах движения [6-8].

Алгоритмом программы с использованием ряда логических условий моделируется переход к расчету скорости на одной передаче к расчету на

---

другой, смена режимов движения при наличии ограничений скорости на отдельных участках, снижение скорости на предыдущем участке с тем, чтобы при подходе к участку, имеющему ограничения скорости, она не превысила величины ограничения. Для выполнения этого условия при моделировании движения лесовозных автопоездов производились многочисленные расчеты через короткие интервалы с тем, чтобы определить расстояние до точки начала торможения и скорости, при достижении которой, следует его производить в различных режимах (торможение двигателем, моторным тормозом, колесными тормозами) [6-8].

Для уменьшения объемов расчетов и уточнения результатов указанных показателей предлагается вместо проведения большего числа итеративных вычислений решить систему двух уравнений, одним из которых определяется значение скорости в точке начала торможения, а вторым - скорость в точке начала ограничения при торможении автопоезда в заданном режиме.

В работах [6-8] для условий движения на прямолинейных в профиле участках скорость движения определяется по формуле:

$$Bv_k^2 = A - \frac{A - Bv_0^2}{e^{\frac{2Bg}{G\delta}S}}, \quad (1)$$

где  $A = a - G\omega \pm Gi + G\frac{C_2}{R_2}$ ;  $B = b + k_c\Delta\Omega v^2$ ;  $v_0$  – скорость движения в начале участка, м/с;  $v$  – скорость движения автопоезда в конце участка, м/с;  $S$  – длина расчетного участка, м;  $G$  – вес автопоезда, кгс;  $R_2$  – радиус горизонтальной кривой;  $C_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению на горизонтальных кривых;  $R$  – радиус вертикальной кривой (при расчете показателей движения на вертикальных выпуклых кривых применяется со знаком «+», на вогнутой кривой со знаком «-»);  $a$  и  $b$  – коэффициенты зависимости, аппроксимирующей тяговую или тормозную характеристику автопоезда в виде  $F = a - bv^2$ ;  $\omega$  – коэффициент

сопротивления качению;  $\delta$  – коэффициент учета инерции вращающихся масс;  $k_c$ ,  $\Delta$ ,  $\Omega$  – соответственно коэффициент сопротивления воздушной среды для автомобиля, коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление от прицепов; лобовая площадь автомобиля,  $m^2$ ;  $i$  – продольный уклон;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ .

Тогда на прямолинейных в профиле участках скорость автопоезда, в начале участка торможения -  $v_{HT}$ , определим по формуле:

$$Bv_{HT}^2 = A - \frac{A - Bv_0^2}{e^{\frac{2Bg}{G\delta}(S_H - S_T)}}, \quad (2)$$

где  $S_H$  – длина участка, м;  $S_T$  – тормозной путь, м.

Обозначив,  $\frac{A - Bv_0^2}{e^{\frac{2Bg}{G\delta}S}} = K$  и учитывая, что значение функционала  $e^{\frac{2Bg}{G\delta}S}$  с

точностью превышающей 0,5% аппроксимируется зависимостью  $e^{\frac{2Bg}{G\delta}S} = 1 + \alpha S_T$  [7, 8] получим:

$$Bv_H^2 = A' - K - \alpha S_T K. \quad (3)$$

В режиме торможения

$$B^1 v_{озр}^2 = A' - \frac{A' - B^1 v_{HT}^2}{e^{\frac{2Bg}{G\delta}S_T}}, \quad (4)$$

где  $A' = a' - G\omega \pm Gi$ ;  $a'$  и  $B^1$  – коэффициенты зависимости, аппроксимирующие тормозную характеристику в виде  $F' = a' - B^1 v^2$ ;  $e^{\frac{2B^1 g}{G\delta}S_T} = 1 + \alpha^1 S_T$ .

$$B^1 v_{озр}^2 = A' - \frac{A' - B^1 v_{HT}^2}{1 + \alpha^1 S_T} \quad (5)$$

тогда  $Bv_{HT}^2 = B^1 v_{озр}^2 + B^1 v_{озр}^2 \alpha S_T - A' - A' \alpha^1 S_T + A'$ , учитывая, что

$B^1/B = C$ , получим:

$$B^1 v_{озр}^2 + B^1 v_{озр}^2 \alpha S_T + A' \alpha^1 S_T - CA + CK + CK \alpha S_T = 0, \text{ отсюда:}$$

$$S_T = \frac{B'v_{огр}^2 - CA + CK}{A'\alpha' - B'v_{огр}^2\alpha' - \alpha KC} \quad (6)$$

Достоверность выведенных зависимостей подтверждается следующим примером. Автопоезд МА3-6303-26+МА3-83781 с полной нагрузкой начал движение на участке длиной 180 с уклоном – 0,030 с начальной скоростью 14 м/сек на 8 передаче КПП;  $\omega=0,02$ ; скорость ограничения на следующем участке - 14 м/сек. Определить тормозной путь, расстояние, которое пройдет автопоезд до точки начала торможения моторным тормозом и скорость, с которой следует начать торможение.

С использованием таблиц, приведенных в работах [7, 8] находим:

$$a=1047,8, B=0,972, \alpha'=-402, B=0,951.$$

$$A = 1047,8 - 48000(0,02 - 0,01) = 567,8; A' = -402 - 48000(0,02 - 0,01) = -882;$$

$$K = \frac{567,8 - 0,972 \cdot 14^2}{1 + 0,0004 \cdot 180} = 351,9; \alpha=0,0004; \alpha'=0,00039; C=0,978.$$

$$S_T = \frac{0,951 \cdot 14^2 - 0,978 \cdot 567,8 + 0,978 \cdot 374}{-0,951 \cdot 0,00039 \cdot 196 - 882 \cdot 0,00039 - 0,0004 \cdot 347 \cdot 0,978} = 44,48 \text{ м.}$$

Разгон автопоезда производится на расстоянии  $180-44,48=135,52$  м.

Скорость в конце разгона при переходе к режиму торможения:

$$0,972 \cdot v^2 = 567,8 - \frac{567,8 - 0,972 \cdot 14^2}{1,0529} = 209; v=14,68 \text{ м/с.}$$

Для проверки определим скорость автопоезда в точке начала ограничения.

$$0,972 \cdot v_T^2 = -882 - \frac{882 - 0,951 \cdot 14,68^2}{1,01688} = 186,9; v=14,01 \text{ м/с.}$$

Таким образом, доказана правильность разработанного метода и высокая точность расчетов.

При значительном превышении скорости движения на участке величины допустимой скорости на следующем участке мощности моторного

тормоза может не хватить для своевременного снижения скорости в заданном режиме, или тормозной путь будет слишком велик, что приведет к значительному снижению средней скорости движения на участке. Рассмотрим случай, когда для снижения скорости необходимо совместное торможение моторным тормозом и колесными тормозами.

Автопоезд МАЗ-6303-26 + МАЗ-83781 с полной нагрузкой начал движение на участке длиной 180 м с уклоном – 0,030 с начальной скоростью 15 м/сек на 8 передаче КПП;  $\omega=0,020$ ; на следующем участке ограничение скорости составляет 14 м/сек. Определить тормозной путь, расстояние, которое пройдет автопоезд до точки начала совместного торможения моторным тормозом и колесными тормозами. Движение в зимнее время по снежно-ледяной дороге  $\varphi_{cy}=0,1$ . Коэффициент торможения колесными тормозами принимается равным 0,5 от  $\varphi_{cy}$  и составляет 0,05.

$$A = 1047,8 - 48000(0,02 - 0,03) = 1527,8 ; B=972;$$

$$A' = -402 - 48000 \cdot 0,05 - 48000(0,02 - 0,003) = -2322 ; B'=0,951;$$

$$K = \frac{1527,8 - 0,972 \cdot 15^2}{1 + 0,0004 \cdot 180} = 1221,2 ; \alpha=0,0004 ; \alpha'=0,00039 ; C=0,978.$$

$$S_T = \frac{0,951 \cdot 14^2 - 0,978 \cdot 1527,8 + 0,978 \cdot 1221,2}{-0,951 \cdot 0,00039 \cdot 225 - 2322 \cdot 0,00039 - 0,0004 \cdot 1221 \cdot 0,978} = 77,53 \text{ м.}$$

Расстояние до точки начала торможения  $180-77,53=102,47$  м.

Скорость в точке начала торможения:

$$0,972 \cdot v^2 = 1527,8 - \frac{1527,8 - 0,972 \cdot 15^2}{1 + 0,0004 \cdot 102,47} = 269,3 ; v=16,65 \text{ м/с.}$$

Скорость в точке ограничения:

$$0,972 \cdot v^2 = -2322 - \frac{-2322 - 0,972 \cdot 16,65^2}{1 + 0,00039 \cdot 77,53} = 187,84 ; v=14,05 \text{ м/с.}$$

На вертикальных кривых расчетные формулы для определения скорости движения усложняются [7, 8]:

$$Bv^2 = A - \left( \frac{A - Bv_0^2}{e^{\frac{2Bg_S}{G\delta}}} \right) e^{\frac{2Bg_S}{G\delta} S_T} + \rho, \quad (7)$$

где  $\rho$  – определяются по зависимости, приведенной в работе [7].

$$\rho = \frac{G^2 \delta}{2BR_g g} \left( \frac{1}{e^{\frac{2Bg_S}{G\delta}}} - 1 \right) + \frac{GS}{R}, \quad (8)$$

где  $R_g$  – радиус вертикальной кривой, м.

Значение функционала  $\rho$  с достаточной точностью аппроксимируется зависимостью [7, 8]:

$$\rho = \gamma S^2. \quad (9)$$

В таблицах [7, 8]  $\rho$  определяется при  $R=1000$  м. Для  $R$  имеющим другое значение  $\gamma = \gamma_{1000} \frac{1000}{R}$ .

Следовательно, при длине участка  $S$  скорость на любом расстоянии от начала участка:

$$Bv_H^2 = A - K - \alpha SK \pm \rho = A - K - \alpha S_T \pm \gamma(S - S_T)^2; \\ Bv_H^2 = A - K - \alpha S_T + S^2 - 2SS_T + S_T^2; \quad (10)$$

$$Bv_H^2 = A - K - \alpha S_T K + \rho = A - K - \alpha S_T + \gamma(S - S_T)^2;$$

$$Bv_H^2 = A - K - \alpha S_T K + \frac{\gamma}{5} S^2 - 2\frac{\gamma}{5} SS_T;$$

$$B^1 v_{оп}^2 = AC - KC - C\alpha S_T K + C\frac{\gamma}{5} S^2 - C2\frac{\gamma}{5} SS_T + C\frac{\gamma}{5} S_T^2. \quad (11)$$

В режиме торможения:

$$B^1 v_{оп}^2 = A^1 - \frac{A^1 - B^1 v_H^2}{1 + \alpha^1 S_T} + \frac{G^2 \delta}{2BR_g g} \cdot \frac{1}{e^{\frac{2Bg_S}{G\delta}}} - \frac{G^2 v}{2BR_g g} + \frac{GS}{R_g};$$

$$\begin{aligned} B^1 v_{\text{опр}}^2 + B^1 v_{\text{опр}}^2 \alpha S_T &= A^1 + A^1 \alpha^1 S_T - A^1 + B^1 v_H^2 + \frac{G^2 \delta (1 + \alpha^1 S_T)}{2B^1 R_g g e^{\frac{2B_g S_T}{G\delta}}} - \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} - \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} \alpha^1 S_T + \\ &+ \frac{GS}{R_g} - \alpha^1 S_T \frac{GS_T^2}{R_g}; \\ B^1 v_{\text{опр}}^2 + B^1 v_{\text{опр}}^2 \alpha S_T &= A^1 \alpha^1 S_T + B^1 v_H^2 - \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} \alpha^1 S_T + \frac{GS}{R} - \alpha^1 S_T \frac{GS_T^2}{R}; \\ B^1 v_H^2 &= B^1 v_{\text{опр}}^2 + B^1 v_{\text{опр}}^2 \alpha S_T - A^1 \alpha^1 S_T + \alpha^1 S_T \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} - \frac{GS_T}{R} - \alpha^1 S_T^2 \frac{G}{R}; \\ AC - KC - C\alpha S_T K + C\gamma S^2/5 - C2\gamma S S_T/5 + C\gamma S_T^2 - B^1 v_{\text{опр}}^2 - B^1 v_{\text{опр}}^2 \\ &+ A^1 \alpha^1 S_T - \alpha^1 S_T \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} + \frac{GS_T}{R} + \alpha^1 S_T^2 \frac{G}{R} = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Значение  $A^1$  определяется зависимостью:

$$A^1 = \left( A_0 + \frac{S - S_T}{R} G \right) \alpha^1 = A_0 \alpha^1 - \frac{S}{R} G \alpha^1 + \frac{S_T}{R} G \alpha^1. \quad (13)$$

Обозначив,

$$AC - KC - C\gamma S^2/5 - B^1 v_{\text{опр}}^2 = \kappa_1; \quad (14)$$

$$-C\alpha K - C\alpha\gamma S/5 - B^1 v_{\text{опр}}^2 \alpha + \left( A_0 \frac{S}{R} G \right) \alpha^1 - \alpha^1 \frac{G^2 \delta}{2B^1 R_g g} = \kappa_2; \quad (15)$$

$$\frac{G}{R} \alpha^1 + C\gamma/5 + \alpha^1 \frac{G}{R} = \kappa_3. \quad (16)$$

Получим квадратное уравнение, в результате решения которого определяется тормозной путь, и расстояние до точки начала торможения остальные показатели (скорость в точке начала торможения и скорость, достигаемая автопоездом):

$$\kappa_1 + \kappa_2 S_T + \kappa_3 S_T^2 = 0.$$

Пример расчета показателей при движении автопоезда по вертикальной кривой. Автопоезд МАЗ-6303-26 + МАЗ 89781, вес 48000 кгс начал движение на участке вертикальной кривой радиусом 5000 м на 8 передаче КПП с





начальной скоростью 15 м/сек;  $i=-0,010$ ,  $\omega=0,020$ . ограничение скорости на следующем участке 14 м/сек. Определить тормозной путь, расстояние, которое пройдет автопоезд до точки начала совместного торможения моторным тормозом и колесными тормозами. Движение летом по гравийной дороге. Коэффициент торможения колесными тормозами  $\psi=0,1$ .

$$A = 1047,8 - 48000(0,020 - 0,010) = 567,8; B = 0,972.$$

$$A' = -402 - 48000 \cdot 0,10 - 48000(0,02 - 0,01) = 5682; B' = 0,951.$$

$$C = 0,978; K = \frac{567,8 - 0,972 \cdot 15^2}{1 + 0,0004 \cdot 200} = 323,2; \gamma_{1000} = 0,0089; \gamma = 0,0879.$$

$$\kappa_1 = 567 \cdot 0,978 - 323,2 \cdot 0,978 - 0,951 \cdot 196 + 0,978 \cdot 200^2 \cdot 0,0089/5 = 121,63;$$

$$\kappa_2 = 0,978 \cdot 0,0004 \cdot 323,2 - 0,978 \cdot 2/200 \cdot 0,0089/5 - 0,951 \cdot 196 \cdot 0,0004 + (-5682 + \frac{200}{5000} \cdot 48000) / 0,00039 - 0,00039 \cdot \frac{48000 \cdot 1,048}{2 \cdot 0,951 \cdot 5000 \cdot 9,81} + \frac{48000}{5000} = 2,86;$$

$$\kappa_3 = \frac{48000}{5000} \cdot 0,00039 + 0,978 \cdot 0,0089/5 + 0,00039 \cdot \frac{48000}{5000} = 0,00922.$$

Тормозной путь

$$S_T = \frac{2,86 \pm \sqrt{2,86^2 - 4 \cdot 121,6 \cdot 0,00922}}{2 \cdot 0,00922} = 51,2 \text{ м.}$$

Расстояние до точки, где следует начать торможение в заданном режиме  $S - S_T = 148,8$  м.

Значение скорости, которой достигает автопоезд в точке начала торможения:

$$Bv^2 = 567,8 - \frac{567,8 - 0,972 \cdot 15^2}{1 + 0,0004 \cdot 148,8} + \frac{0,0088 \cdot 148,8^2}{5} = 238,3 - 38,41 = 277,1; \quad v = 16,9$$

м\сек.

Скорость в точке ограничения:

$$B^2 v^2 = -5682 + \frac{148,8}{5000} \cdot 48000 - \frac{-5682 + 1428 - 0,951 \cdot 16,9^2}{1 + 0,00039 \cdot 51,2} + \frac{0,00879 \cdot 51,2^2}{5} =$$
$$= -4254 - \frac{-4254 - 271,6}{1,020} + 4,61 = 18,74;$$

$$v = 14,05 \text{ м/сек.}$$

Полученные зависимости дают возможность определить оптимальный режим снижения скорости движения автопоезда при подходе к участкам, имеющим ее ограничения с обеспечением максимально допустимой по дорожным условиям средней скорости движения без проведения значительного объема итеративных вычислений, что позволит ускорить и уточнить расчеты при моделировании движения лесовозных автопоездов с использованием ПЭВМ.

### Литература

1. Ильин Б. А. Тягово-эксплуатационные расчеты при проектировании лесовозных дорог. Л.: ЛТА, 1986. 70 с.
2. Корунов, М. М. Тагильцев Н. Д. Примеры и задачи по сухопутному транспорту леса. М.: Лесная промышленность, 1976. 94 с.
3. Кувалдин Б. И., Скрыпник В. И. Расчеты на ЭВМ режимов движения лесовозных автопоездов // Известия вузов. Лесной журнал. 1976. № 6. С. 60–65.
4. Кузнецов А.В., Скрыпник В.И., Крупко А.М. Принципы подхода к объемному календарному планированию при проведении лесотранспортных работ // Инженерный вестник Дона, 2012, № 2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/881](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/881).
5. Скрыпник В. И., Кузнецов А. В. Оценка точности и адекватности новых методов расчета показателей движения лесовозных автопоездов // Всероссийская науч.-техн. конф. «Вузовская наука - региону». Вологда: ВоГТУ, 2008. С. 283-286.

6. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Пладов А. В., Кочанов А. Н., Кузнецов В. А. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 234 с.

7. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В. Эффективная организация автомобильного транспорта леса. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 280 с.

8. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В., Пладов А. В. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация. СПб: ПРОФИКС, 2008. 304 с.

9. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В., Васильев А. С. Обоснование направлений повышения эффективности функционирования лесовозных автопоездов // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2007.

10. Zhen-Wei Feng, Douglas Robert A. Logging Truck Vehicle Performance Prediction for Efficient Resource Transportation System Planning: Computer Modelling Approach // Journal of Forest Engineering. 1993. №4 (2). pp. 7-18.

11. McCormack R.J. TRUCKSIM - A Log Truck Performance Simulator // Journal of Forest Engineering. 1990. №2 (1). pp. 31-37.

12. Holzleitner F., Kanzian C., Stampfer K. Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager // Eur J Forest Res (130). 2011. pp. 293-301.

### References

1. Il'in B. A. Tjagovo-jekspluatacionnye raschety pri proektirovanii lesovoznyh dorog [Traction and performance calculations for the design of forest roads]. L.: LTA, 1986. 70 p.



2. Korunov M. M., Tagil'cev N. D. Primery i zadachi po suhoputnomu transportu lesa [Examples and problems on land transport timber]. M.: Lesnaja promyshlennost', 1976. 94 p.

3. Kuvaldin B.I., Skrypnik V.I. Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal. 1976. № 6. pp. 60–65.

4. Kuznecov A.V., Skrypnik V.I., Krupko A.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/881](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/881).

5. Skrypnik V.I., Kuznecov A.V. Vserossijskaja nauch.-tehn. konf. «Vuzovskaja nauka – regionu»: trudy (Proc. All-Russian Scientific and Technical Conference "University Science - Region"). Vologda, 2008, pp. 283-286.

6. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I., Pladov A. V., Kochanov A. N., Kuznecov V. A. Modelirovanie dvizhenija lesovoznyh avtopoezdov na PVJeM [Simulation of the motion of logging trucks on PVEM]. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. 234 p.

7. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I., Kuznecov A. V. Jeffektivnaja organizacija avtomobil'nogo transporta lesa [Effective organization of road transport timber]. Petrozavodsk: PetrGU, 2007. 280 p.

8. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I., Kuznecov A. V., Pladov A. V. Vyvozka lesa avtopoezdami. Tehnika. Tehnologija. Organizacija [Transporting timber road trains. Technology. Organization]. SPb: PROFIKS, 2008. 304 p.

9. Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznecov A.V., Vasil'ev A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2007](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2007).

10. Zhen-Wei Feng, Douglas Robert A. Journal of Forest Engineering. 1993. №4 (2). pp. 7-18.

11. McCormack R.J. Journal of Forest Engineering. 1990. №2 (1). pp. 31-37.

12. Holzleitner F., Kanzian C., Stampfer K. Eur J Forest Res (130). 2011. pp. 293-301.

---