

## Математическая модель производительности аэростатических транспортных систем при освоении труднодоступных лесных территорий

*Р.В. Бернотас*

*Тихоокеанский государственный университет*

**Аннотация:** В статье отражена современная проблема лесозаготовительного процесса, относящаяся к освоению труднодоступных лесных участков. Даны основные логистические схемы транспортировке древесины с использованием дирижаблей. Приведена математическая модель для описания производительности дирижабля на транспортировке древесины.

**Ключевые слова:** дирижабль, транспортировка древесины, технологическое оборудование, производительность, время цикла, логистика.

Для многих «лесных» регионов России в частности Дальневосточного федерального округа (ДФО), лесная промышленность на сегодняшний день, является одной из главных составляющих их экономики. Но вследствие интенсивной заготовки древесины, продолжающейся на протяжении многих лет, для большинства лесозаготовительных предприятий (ЛЗП) Дальневосточного региона, возникла «острая» проблема, связанная с истощённостью легкодоступных лесных территорий, которые возможно осваивать традиционными способами заготовки с использованием наземных комплексных систем, без значительных капиталовложений в строительство транспортной инфраструктуры.

По результатам проведенного анализа лесосырьевой базы крупнейших лесозаготовительных предприятий ДФО (предприятия в ходящие в состав холдинга «RFP Group»), выявлено, что на лесные участки, которые возможно осваивать традиционными способами заготовки, приходится менее 30 % всей покрытой лесом площади, арендной базы данных предприятий. Остальные 70 % площади относится к труднодоступной лесной территории, которая в

зависимости от лесорастительных, географических, экологических, гидрологических и лесохозяйственных условий, подразделяется на следующие участки: горные лесные массивы, лесисто-болотистые участки, лесные участки с сильно развитой гидрологической сетью, лесные массивы, находящиеся в распадках (лесные распадки).

Освоение данных участков с помощью наземных комплексных лесозаготовительных машин, как показывает опыт работы многих ЛЗП, является малоэффективным, трудозатратным, а зачастую невозможным, из-за непригодности их работы в местности сильно переувлажненными грунтами и горным рельефом с уклоном свыше  $27^{\circ}$ , что резко снижает рентабельность лесозаготовок в целом и приводит к серьезным экологическим последствиям [1].

В этой связи возникает необходимость в поиске новых альтернативных способах заготовке древесины, позволяющих экономически выгодно вести заготовку с минимальными экологическими последствиями.

На сегодняшний день, наиболее перспективными для освоения труднодоступных лесных участков являются воздушные транспортные системы, которым можно отнести вертолёты, аэростаты и дирижабли [2-3].

Основная проблема использования вертолётов, заключается высокой себестоимости вертолёт-часа, что значительно повышает себестоимость лесозаготовок и становится рентабельным только при заготовке ценных пород древесины (дуб, ясень и т. п.). Кроме того, конструкция вертолёт без существенных изменений, не позволяет варьировать его грузоподъемностью, в отличие от дирижаблей и аэростатов, у которых гибкость конструкции оболочки, позволяет увеличивать их грузоподъемность в 5-7 раз и более от номинальной. Но аэростаты из-за особенности конструкции передвижения (лебёточные механизмы), эффективны только на расстояние трелёвки до 1,5 км., в отличие от дирижаблей, которые могут транспортировать древесину на

---

расстояния более 100 км., аналогично вертолётам, но с меньшими затратами, что особенно важно при разработке труднодоступных участков, сложность местности которых, как упоминалось выше, не позволяет подводить транспортные пути (усы, ветки) [4-8].

Однако применение дирижаблей в лесной отрасли, до сих пор изучено недостаточно и пока не существует моделей, позволяющих определить, такие их параметры как производительность, а следовательно и экономическую эффективность на транспортировке древесины.

В данной статье предлагается новая математическая модель аналитического типа для описания производительности дирижаблей (термопланов) на транспортировке древесины. Данная модель составлена на основе изучения функционирования дирижабля, на транспортировке древесины исходя из принятой транспортной схемы.

В зависимости от используемого технологического оборудования существует три основных схемы транспортировке древесины (рис. 1): схема А, Б и В.

Схема А – транспортировка спиленного и поваленного древостоя (дерево, хлыст, сортимент) с использованием чокерного, либо грейферного технологического оборудования. При этом в качестве вспомогательного оборудования для валки дерева, обрезки сучьев и раскряжёвки хлыста могут быть использованы: бензодвигательная пила, валочно-пакетирующая машина или многооперационная машина типа харвестер.

Схема Б – транспортировка вертикально стоящего дерева без предварительного падения его на землю. Данная схема, предусматривает транспортировку древесины с использованием различных видов специализированных механизмов: сучкорезно-захватно-срезающий механизм (СЗСМ) нисходящего и восходящего типа действия, сучкорезно-захватный механизм (СЗМ), захватно-срезающий механизм (ЗСМ) и захватный

---

механизм (ЗМ). В качестве вспомогательного звена для ЗСМ, СЗМ и ЗМ используется вальщик верхолаз осуществляющий обрезку сучьев и спил дерева.

Схема В – транспортировка древесины (дерево, хлыст, сортимент) с использованием грузовой платформы. Данная схема предусматривает использование грузовой платформы для доставки лесозаготовительного оборудования, на место заготовки, с последующим её использованием для транспортировке древесины.

Целесообразней проводить расчет часовой производительности, т.к. время смены в течение суток может меняться из-за погодных условий.

$$P_d = \frac{Q_{max}}{T_{ц}} \quad (1)$$

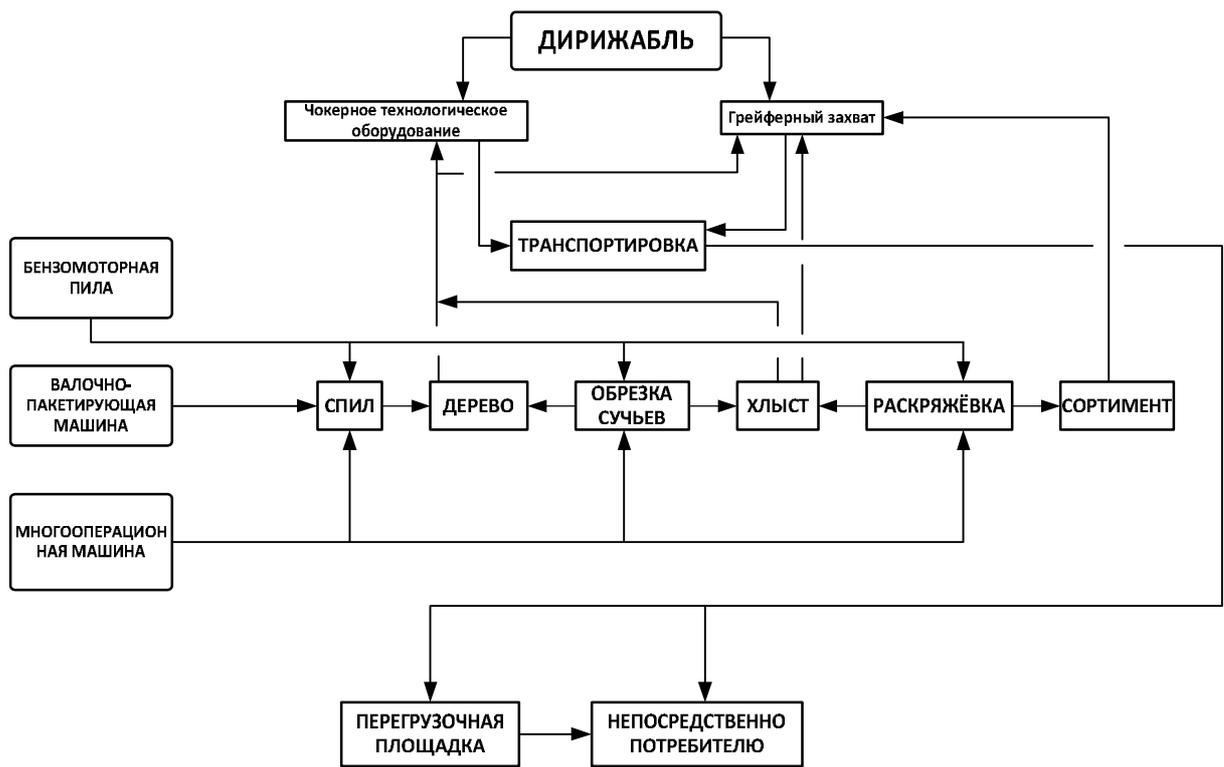
где  $Q_{max}$  – максимальная рейсовая (полезная) нагрузка, кг;  $T_{ц}$  – время цикла, с.

Для схемы Б, максимальная рейсовая нагрузка будет равна максимальному объему ствола дерева ( $Q_{max}=q_{max}$ ), так как конструктивные особенности технологического оборудования применяемого по данной схеме на транспортировке древесины не позволяют транспортировать за один приём, более одного ствола. Для всех остальных логистических схем  $Q_{max}$  будет определяться по формуле (3).

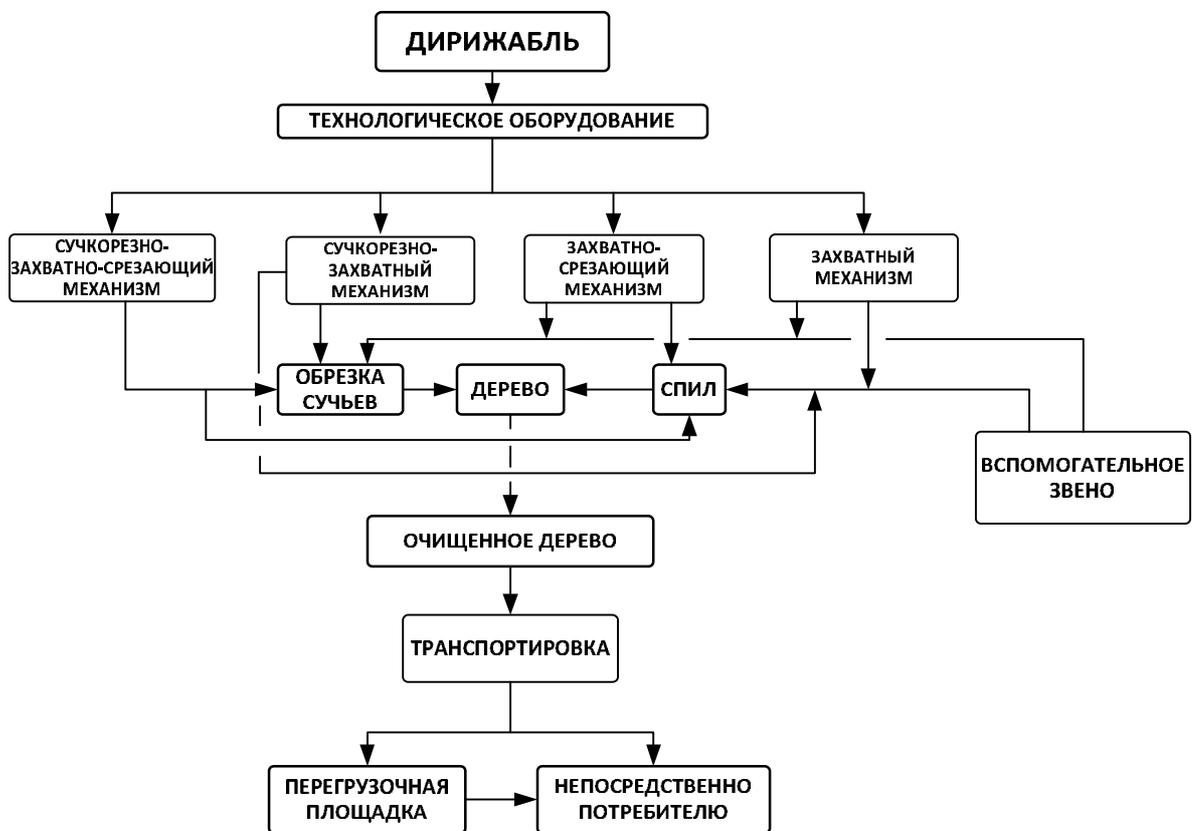
Время цикла определяется по следующей формуле:

$$T_{ц} = T_{в.н.} + T_{н.х.} + T_{с.н.} + T_{з.з.} + T_{в.з.} + T_{з.х.} + T_{с.з.} + T_p \quad (2)$$

где  $T_{в.н.}$  – время, затрачиваемое дирижаблем на взлёт в порожнем направлении, с;  $T_{н.х.}$  – время порожнего хода, с;  $T_{с.н.}$  – время затрачиваемое на снижение в порожнем направлении, с;  $T_{з.з.}$  – время загрузки, с;  $T_{в.з.}$  – время, затрачиваемое на взлёт в грузовом направлении, с;  $T_{з.х.}$  – время грузового хода, с;  $T_{с.з.}$  – время, затрачиваемое на снижение в грузовом направлении, с;  $T_p$  – время разгрузки, с.



А



Б

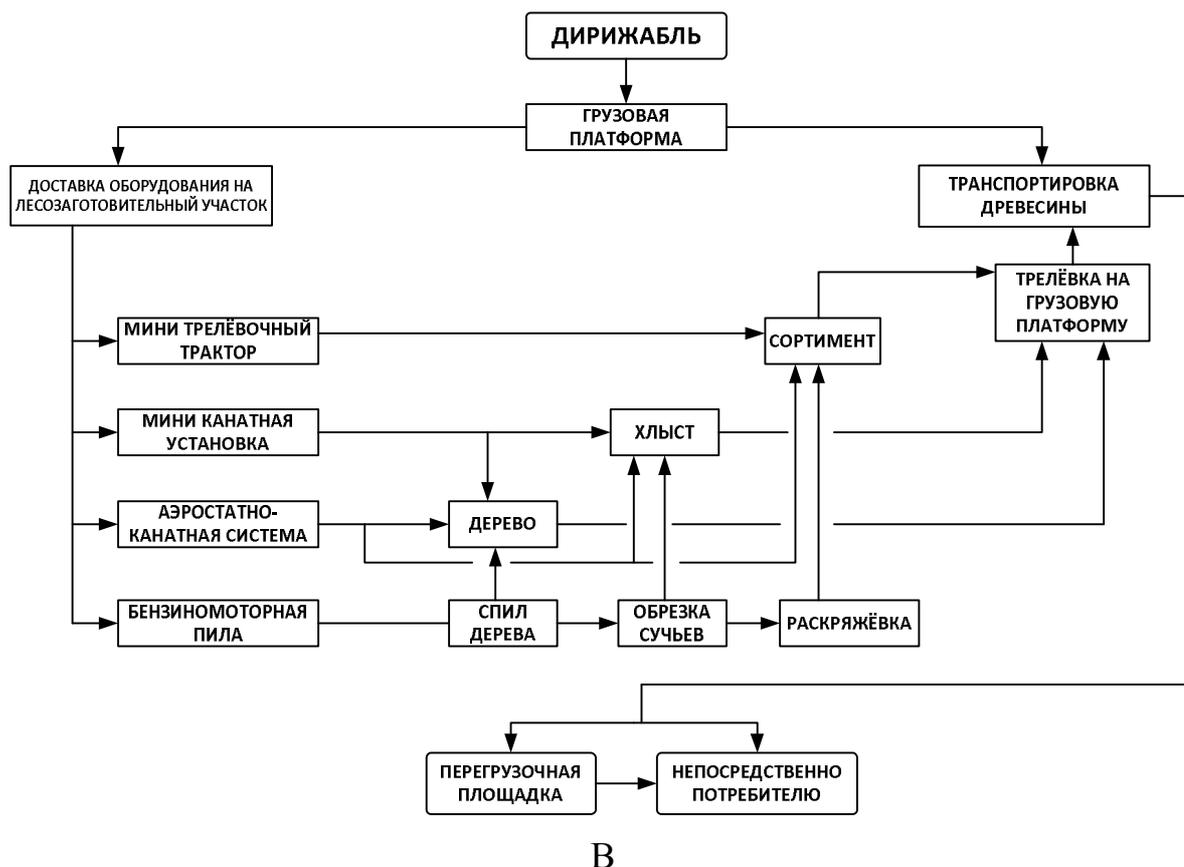


Рис. 1. – Логистика транспортировке древесины с использованием дирижабля:

А - транспортировка спиленного и поваленного древостоя; Б - транспортировка вертикально стоящего дерева без предварительного падения его на землю; В - транспортировка древесины с использованием грузовой платформы.

Для определения максимальной рейсовой нагрузки используется следующая формула:

$$Q_{max} = Q_{г.д.} - (G_{к.д.} + G_{г-в.} + G_{сл.н.})w_{в.д.} \quad (3)$$

где  $Q_{г.д.}$  – грузоподъёмность дирижабля, кг;  $Q_{к.д.}$  – вес конструкции дирижабля, кг;  $Q_{г-в.}$  – вес газа и воздуха в баллонетах дирижабля, кг;  $Q_{сл.н.}$  – вес служебной загрузки, кг;  $w_{в.д.}$  – удельное сопротивление воздуха движению дирижабля.

Грузоподъёмность дирижабля определяется по формуле (4) [9-10]:

$$Q_{z.d.} = (V_{н.г.} \cdot (\gamma_{ат.} - \gamma_{г.}) + (V_{н.в.} \cdot \rho_{под.с.})) \cdot q \quad (4)$$

где  $V_{н.г.}$  - объём баллонет с несущим газом, м<sup>3</sup>;  $V_{н.в.}$  - объём отсеков для нагретого воздуха, м<sup>3</sup>;  $\gamma_{ат.}$  и  $\gamma_{г.}$  - плотность атмосферного воздуха и несущего газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{под.с.}$  - удельная подъёмная сила нагретого воздуха, кг/м;  $q$  - ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с.

Вес конструкции дирижабля определяется по формуле (5):

$$G_{кон} = G_{кор} + G_{с.у.} + G_{обор.} \quad (5)$$

где  $G_{кор}$  - вес корпуса (оболочки) дирижабля, кг;  $G_{с.у.}$  - вес силовой установки, кг;  $G_{обор.}$  - вес оборудования, кг.

Вес корпуса дирижабля определяется по формуле (6):

$$G_{кор(обол)} = G_{м} + G_{всп.} \quad (6)$$

где  $G_{м}$  - вес материи оболочки, кг;  $G_{всп.}$  - вес вспомогательных деталей, кг.

Вес материи оболочки определяется по формуле (7):

$$G_{м} = S \cdot q_{1м}^2 \quad (7)$$

где  $S$  - полная площадь поверхности оболочки дирижабля, м<sup>2</sup>;  $q_{1м}^2$  - вес 1 м<sup>2</sup> материи оболочки, кг.

Вес силовой установки определяется по следующей формуле (8):

$$G_{с.у.} = C_l \cdot h \cdot G^{2/3} \quad (8)$$

где  $C_l$  - удельный вес силовой установки дирижабля, кг/кВт;  $h$  - коэффициент мощности;  $G$  - весовое воздухоизмещение дирижабля, кг.

Коэффициент мощности определяется по формуле (9):

$$h = \frac{\mathcal{V}_{max}}{687 K} \quad (9)$$

где  $\mathcal{V}_{max}$  - максимальная скорость полёта, м/с;  $K$  - пропульсивный коэффициент или моторно-аэродинамическое совершенство.

Пропульсивный коэффициент определяется по формуле (10):

$$K = \frac{2\eta_E}{C_V} \quad (10)$$

где  $\eta_e$  – коэффициент полезного действия винта ( $\eta_e=0,6-0,75$ );  $C_V$  – объёмный коэффициент лобового сопротивления.

Коэффициент лобового сопротивления определяется по формуле (11):

$$C_V = \frac{V_{об.д.}}{l_d \cdot D_d^2} \quad (11)$$

где  $l_d$  и  $D_d$  – длина и диаметр дирижабля, м.

Вес газа и воздуха в баллонетах дирижабля определяется по формуле (12):

$$G_{г.в.} = \left[ \frac{V_{в.бал.}}{V_d} + \frac{V_d - V_{в.бал.}}{V_d} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_{гр}} \right] \cdot G \quad (12)$$

$$\frac{V_d - V_{в.бал.}}{V_d} = \frac{\rho_h}{\rho_o} - \text{зависит от заданной высоты полёта дирижабля.}$$

где  $V_d$  – объём дирижабля ( $V_{бал.} = V_{ат.под.} + V_{н.г.}$ ), м<sup>3</sup>;  $V_{в.бал.}$  – объём воздуха в баллонетах, м<sup>3</sup>;  $\rho_h$  и  $\rho_o$  – плотность воздуха на заданной высоте и у поверхности земли.

Вес служебной загрузки определяется по формуле (13):

$$G_{сл.н.} = G_{эк.} + G_m \quad (13)$$

где  $G_{эк.}$  – вес экипажа, кг;  $G_m$  – вес топлива, кг.

Вес экипажа определяется по формуле (14):

$$G_{эк.} = n \cdot \delta_{1чел.} \quad (14)$$

где  $n$  – количество операторов, чел;  $\delta_{1чел.}$  – вес одного оператора, кг.

Вес топлива определяется по формуле (15):

$$G_m = \frac{\tau \cdot C_e \cdot h \cdot G_{взл.}^{2/3}}{2}$$

(15)

где  $\tau$  – время полёта дирижабля, ч;  $C_e$  – удельный расход топлива, кг/кВт·ч.

Удельное сопротивление воздуха определяется по формуле (16):

$$\omega_{д.в.} = \rho \cdot C_v \cdot V^{2/3} \cdot \vartheta_{п}^2 = \rho \cdot C_v \cdot S \cdot \vartheta_{п}^2 \quad (16)$$

где  $\rho$  – массовая плотность воздуха,  $\frac{\text{кг/с}^2}{\text{м}^4}$ ;  $\vartheta_n$  – скорость полёта дирижабля, м/с;  $S$  – площадь миделевого сечения,  $\text{м}^2$ .

Площадь миделевого сечения определяется по формуле (17):

$$S = \frac{\pi \cdot D_{\text{max}}^2}{4} \quad (17)$$

где  $D$  – диаметр миделя дирижабля (наибольшее по площади текущее сечение), м.

Время, затрачиваемое дирижаблем на взлёт в порожнем направлении определяется по формуле (18):

$$T_{в.п.} = \frac{H_{т.д.}}{\vartheta_{в.д.}} \quad (18)$$

где  $H_{т.д.}$  – транспортная высота полёта дирижабля, м;  $\vartheta_{в.д.}$  – скорость взлёта дирижабля в порожнем направлении, м/с.

Для определения времени порожнего хода дирижабля используется следующая формула:

$$T_{п.х.} = \frac{L_{п.}}{\vartheta_{кр.п.}} \quad (19)$$

где  $L_n$  – расстояние от места взлёта дирижабля до места погрузки, м;  $\vartheta_{кр.п.}$  – крейсерская скорость дирижабля в порожнем направлении, м/с.

Крейсерская скорость дирижабля в порожнем направлении определяется по следующей формуле:

$$\vartheta_{кр.п.} = \sqrt[3]{\frac{75 \cdot N_{кр.} \cdot \eta}{\rho \cdot C_v \cdot V^{2/3}}} \quad (20)$$

где  $N_{кр.}$  – мощность силовой установки в крейсерском состоянии, кВт.

Время снижения дирижабля в порожнем направлении определяется по формуле (21):

$$T_{c.n.} = \frac{H_c}{v_{c.d.}} \quad (21)$$

где  $H_c$  – высота снижения дирижабля, м;  $v_{c.d.}$  – скорость снижения дирижабля, м/с.

Высота снижения дирижабля определяется по формуле (22)

$$H_c = H_{т.д.} - H_3 \quad (22)$$

где  $H_3$  – высота загрузки дирижабля, м.

Время загрузки дирижабля для каждой логистической схемы определяется в зависимости от применяемого технологического оборудования.

Время загрузки по логистической схеме А определяется для дирижабля с грейферным и чокерным технологическим оборудованием.

Время загрузки дирижабля с грейферным захватом определяется по следующей формуле:

$$T_3 = t_{o.g.} + (t_{1m}^3 \cdot Q_{gp}) + t_{n.g.} \quad (23)$$

где  $t_{o.g.}$  – время опускания грейфера, с;  $t_{1m}^3$  – время формирования пачки деревьев в расчёте на 1 м<sup>3</sup> с трелёванной древесины, с;  $Q_{gp}$  – объём пачки формируемый дирижаблям за один приём (определяется в зависимости от геометрических параметров захвата), м<sup>3</sup>;  $t_{n.g.}$  – время поднятия грейфера на транспортную высоту, с.

Время опускания грейфера определяется по формуле (24):

$$t_{o.g.} = \frac{H_d}{v_{o.g.}} \quad (24)$$

где  $H_d$  – высота, на которой находится дирижабль на момент опускания грейферного захвата, м;  $v_{o.g.}$  – скорость опускания грейферного захвата, м/с.

Объём пачки формируемый дирижаблем за один приём определяется по формуле (25):

$$Q_{ep} = \frac{S_3}{S_d} \cdot \varphi \cdot q_{x-d} \quad (25)$$

где  $S_3$  – площадь зева пачкового захвата дирижабля,  $m^2$ ;  $S_d$  – площадь поперечного сечения дерева в месте действия пачкового захвата,  $m^2$ ;  $\varphi$  – коэффициент полнодревесности пачки в захвате ( $\varphi = 0,5 \dots 0,7$ );  $q_{x-d}$  – объём хлыста или дерева,  $m^3$ .

Время поднятия грейфера на транспортную высоту определяется по формуле (26):

$$t_{п.г.} = \frac{H_{т.д.}}{v_{п.г.}} \quad (26)$$

где  $H_{т.д.}$  – транспортная высота дирижабля, м;  $v_{п.г.}$  – скорость поднятия грейферного захвата, м/с.

Время загрузки дирижабля с чокерным технологическим оборудованием определяется по формуле (27):

$$T_3 = t_{o.ч.} + t_{ср.ч.д.} \cdot \frac{Q_p \cdot K_p}{q_{хл}} + \frac{l_ч}{v_{от.ч.}} + t_{п.ч.} \quad (27)$$

где  $t_{o.ч.}$  – время опускания чокеров для зацепки деревьев (определяется по формуле 24), с;  $t_{ср.ч.д.}$  – среднее время чокеровки одного дерева, с;  $Q_p$  – рейсовая нагрузка,  $m^3$ ;  $K_p$  – коэффициент использования расчётного объёма пачки;  $l_ч$  – расстояние, на которое должен отойти чокеровщик после зацепки пачки, согласно техники безопасности, м;  $v_{от.ч.}$  – скорость отхода чокеровщика на безопасное расстояние, м/с;  $t_{п.ч.}$  – время поднятия чокеров на транспортную высоту (определяется по формуле 26), с.

Рейсовая нагрузка за один приём дирижабля определяется в зависимости от следующих условий:

1) По условию наличия чокеров для зацепки деревьев

$$Q_{p.ч.} = n_{ч.} \cdot q_{хл.} \quad (28)$$

где  $n_{ч.}$  – количество чокеров, шт;

2) По условию грузоподъёмности

$$Q_{p.гр.} = \frac{Q_{г.д.} \cdot g \cdot (1 - K_{уд.к.суч.})}{\gamma}, \quad (29)$$

где  $K_{уд.к.суч.}$  – коэффициент учитывающий удельный вес крон и сучьев деревьев в общем весе пачки;  $\gamma$  – объемный вес трелюемой древесины, кН/м<sup>3</sup>.

Время загрузки по схеме Б определяется для дирижабля с ЗСМ, СЗСМ, СЗМ и ЗМ.

Время загрузки дирижабля с ЗСМ определяется по формуле (30):

$$T_3 = t_{o.м.} + t_{н.м.} + t_{c.д.} + t_{n.д.} \quad (30)$$

где  $t_{o.м.}$  – время опускания механизма к назначенному в рубку дереву (определяется по формуле 24), с;  $t_{н.м.}$  – время наводки механизма на дерево, с (в расчётах следует принимать  $t_{н.м.} = 7 \dots 10$  с);  $t_{c.д.}$  – время спиливания дерева, с;  $t_{n.д.}$  – время, затрачиваемое на подъём спиленного дерева (определяется по формуле 26), с.

Время спиливания дерева определяется по формуле (31):

$$t_{c.д.} = \frac{\pi \cdot d_{к.с.}^2}{4 \cdot \Pi_{ч.} \cdot K_{ч.}} \quad (31)$$

где  $d_{к.с.}$  – диаметр дерева в комлевом срезе, м;  $\Pi_{ч.}$  – производительность чистого пиления захватно-срезающей головки (принимается из технической характеристики пильного механизма), м<sup>2</sup>/с;  $K_{ч.}$  – коэффициент использования номинальной  $\Pi_{ч.}$  на срезе дерева ( $K_{ч.} = 0,6 \dots 0,8$ ).

Диаметр дерева в комлевом срезе определяется по формуле (32):

$$d_{к.с.} = C_c \cdot d_{м.с} \quad (32)$$

где  $C_c$  – коэффициент формы ствола (зависит от породы дерева);  $d_{м.с.}$  – диаметр дерева вместе среза головки, м.

Время загрузки дирижабля с СЗСМ нисходящего типа действия определяется по формуле (33):

$$T_3 = t_{н.м.} + t_{о.м.} + t_{об.с.} + t_{с.д.} + t_{н.д.} \quad (33)$$

где  $t_{об.с.}$  – время, затрачиваемое на обрезку сучьев, с.

Время обрезки сучьев определяется по формуле (34):

$$t_{об.с.} = \frac{H_{д.}}{v_{пр.}} \quad (34)$$

где  $H_{д.}$  – высота дерева, м;  $v_{пр.}$  – скорость протаскивания механизма, м/с (принимается из технической характеристики).

Время загрузки дирижабля с СЗСМ восходящего типа действия определяется по формуле (35):

$$T_3 = t_{о.м.} + t_{н.м.} + t_{з.д.} + t_{об.с.} + t_{об.х.м.} + t_{с.д.} + t_{н.д.} \quad (35)$$

где  $t_{з.д.}$  – время, затрачиваемое на захват дерева, с (в расчётах следует принимать  $t_{з.д.} = 3 \dots 5$  с);  $t_{об.х.м.}$  – время, затрачиваемое на обратный ход механизма, после обрезки сучьев, с.

Время обратного хода механизма, после обрезки сучьев определяется по формуле (36):

$$t_{об.х.м.} = \frac{H_{д.}}{v_{о.м.}} \quad (36)$$

где  $v_{о.м.}$  – скорость обратного хода механизма, м/с (принимается из технической характеристики).

Время загрузки дирижабля с ЗМ определяется по формуле (37):

$$T_3 = t_{о.м.} + t_{н.м.} + t_{з.д.} + t_{с.д.в.} + \frac{L_в}{v_{от.в.}} + t_{н.д.} \quad (37)$$

где  $t_{c.д.в.}$  – время, затрачиваемое на спиливания дерева вальщиком, с (определяется по формуле 31);  $l_6$  – расстояние, на которое должен отойти вальщик после спиливания дерева, согласно техники безопасности, м;  $\vartheta_{от.6}$  – скорость отхода вальщика на безопасное расстояние, м/с.

Время загрузки по схеме В определяется по формуле (38) для дирижабля с грузовой транспортной платформой

$$T_3 = t_{н.к.} + t_{о.к.} + t_{з.к.} + t_{п.п.} \quad (38)$$

где  $t_{н.к.}$  – время наводки захватного крюка на грузовую платформу, с;  $t_{о.к.}$  – время, опускания захватного крюка, с (определяется по формуле 24);  $t_{з.к.}$  – время, зацепления грузовой платформы к крюку, с;  $t_{п.п.}$  – время поднятия грузовой платформы на транспортную высоту, с (определяется по формуле 26).

Время зацепления платформы к крюку определяется по формуле (39):

$$t_{з.п.к.} = n_c \cdot t_{lc} \quad (39)$$

где  $n_c$  – количество зацепочных строп грузовой платформы, с;  $t_{lc}$  – время затрачиваемое на зацепление грузовой платформы в расчёте на одну стропу, с.

Время взлёта дирижабля в грузовом направлении определяется по формуле (18) аналогично времени взлёта в порожнем направлении.

Время грузового хода дирижабля определяется по следующей формуле:

$$T_{г.х.} = \frac{L_{р/пл.}}{\vartheta_{кр.п.}} \quad (40)$$

где  $L_{р/пл.}$  – расстояние преодолеваемое дирижаблем до места доставки древесины, м;  $\vartheta_{кр.п.}$  – крейсерская скорость в грузовом направлении, м/с.

Крейсерская скорость дирижабля в грузовом направлении определяется по формуле (41):

$$\vartheta_{\text{кр.гр.}} = \left[ \frac{75 \cdot N_{\text{потр}} \cdot \eta}{\rho \cdot (C_{\text{уд}} \cdot V_{\text{д}}^{\frac{2}{3}} + C_{\text{ХГ}} \cdot S_{\text{Г}})} \right]^{1/3} \quad (41)$$

где  $C_{\text{ХГ}}$  – коэффициент лобового сопротивления груза;  $S_{\text{Г}}$  – площадь миделевого сечения груза, м<sup>2</sup>.

Время разгрузки дирижабля для схемы А, Б и В в расчётах можно принимать  $T_p = 10 \dots 40$  с.

### Заключение

Предложенная математическая модель по определению производительности дирижаблей при разработке труднодоступных лесных территорий, позволит:

- 1) Оценить эффективность дирижаблей при разработке различных видов лесных участков.
- 2) Выбрать оптимальный вариант логистической схемы при транспортировке древесины, а, следовательно, и подобрать технологическое оборудование.
- 3) Дать экономическую оценку транспортной составляющей лесозаготовительного процесса с использованием дирижаблей.

### Литература

1. Ковалёв А.П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока // Хабаровск: ФГУ «ДальНИИЛХ», 2004. С. 270.
2. Бернотас Р. В. Технология трелёвки в горных условиях с использованием воздушного транспорта. Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри с международным участием, 2013. С. 117-123
3. L. Ward Johnson. An Aerial Alternative. // Logging & Sawmilling Journal, August, 1994. – pp. 17-20.

4. Абузов А.В., Казаков Н.В., Дмитриева И.Н. Особенности использования вертолётов на лесозаготовительных операциях // Инженерный вестник Дона, №3, 2014 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2469).
5. Козловский В.Б., Худоленко О.В., Дервянко В.С. Аэростатические летательные аппараты для отраслей экономики. М.: Воздушный транспорт, 2007. 480 с.
6. Рябухин П.Б., Абузов А.В. Аэростатические аппараты и их применение в лесной промышленности // Юбилейный сборник научных трудов ДВЛТИ «Вопросы совершенствования технологий и оборудования в лесопромышленном комплексе и строительстве». Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 1998. С. 75-80.
7. Шегельман И.Р., Кузнецов А.В., Скрыпник В.И., Баклагин В.Н. Методика оптимизаций транспортно-технологического освоения лесосырьевой базы с минимизацией затрат на заготовку древесины и вывозку древесины// Инженерный вестник Дона, №4 (часть 2), 2012 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1284](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1284).
8. Daniel Y. Guimier, G. Vern. WellBurn Logging with heavy-lift airships. // FERIC, Technical Report № TR-58, May, 1984. – 115 p.
9. Бойко Ю.С. Воздухоплавание: Привязное. Свободное. Управляемое. – М.: Изд-во МГУП. 2001 – 462 с.
10. Бойко Ю.С. Воздухоплавание в изобретениях. – М: Транспорт, 1999. – 352 с.

### References

1. Kovalyov A.P. Ekologo-lesovodstvennyye osnovy rubok v lesakh Dal'nego Vostoka. [ Ecological and silvicultural basics of logging in the forests of the Far East]. Khabarovsk: FGU “DaliNIILKH”, 2004. p. 270.

2. Bernotas R.V. Materialy XIV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchyonykh. Aspirantov I studentov v g. Neryungri s mezhdunarodnym uchastiem, 2013. pp. 117-123
3. L. Ward Johnson. An Aerial Alternative. Logging and Sawmilling Journal, August, 1994. p. 17-20.
4. Abuzov A.V., Kazakov N.V., Dmitrieva I.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №3, 2014 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2469](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2469).
5. Kozlovskiy V.B., Khudolenko O.V., Derevyanko V.S. Aerostatische letatel'nye apparaty dlya otrasley ekonomiki [Aerostatic aircraft for industries]. M.: Vozdushnyy transport, 2007. 480 p.
6. Ryabukhin P.B., Abuzov A.V. Yubileynnyy sbornik nauchnykh trudov DVLTI «Voprosy sovershenstvovaniya tekhnologiy i oborudovaniya v lesopromyshlennom komplekse i stroitel'stve». Khabarovsk: Izd-vo KhGTU, 1998. pp. 75-80.
7. Shegel'man I.P., Kuznetsov A.V., Skrypnik V.I., Baklagin V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №4 (chast' 2), 2012 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1284](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1284).
8. Guimier, D.Y. and G. Vern, 1984. Well Burn Logging with heavy-lift airships. FERIC, Technical Report, TR-58, May: 115 p.
9. Boyko Yu.S. Vozdukhoplavanie: Privyaznoe. Svobodnoe. Upravlyaemoe. [Aeronautics: Tied. Free. Managed]. M: Izd-vo MGUP, 2001. 462 p.
10. Boyko Yu.S. Vozdukhoplavanie v izobreteniyakh. [Aeronautics in inventions]. M: Transport, 1999. 352 p.