

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСОПОГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

In work is brought methods of the calculation of the expenses to energy on loading lumber different facility to mechanizations in timber array. For study of the change the output value from influence different technical and technological conditions on accounting model is organized experiment with use the methods of the nonlinear programming. The Results of the analysis witness that more economical is technology of the loading wood at manipulator in contrast with use on data operation caterpillar jaw loader. Using given methods allows to motivate the parameters of the technological equipping the load machines and mechanism, as well as define the rational schemes of the location of the piles lumber and technology for transportation wood on loading platform with provision for minimization of the expenses to energy.

Введение. Энергоемкость операций различных технологических процессов является одним из показателей, используя который можно дать объективную оценку как вновь создаваемым машинам, так и существующим и проанализировать влияние различных факторов и лесорастительных условий на производительность машин. При этом исключается влияние таких субъективных факторов, как квалификация оператора, техническое состояние машины, качество эксплуатационных материалов и др. [1].

Следует отметить, что показатель энергоёмкости используется многими исследователями при обосновании параметров лесозаготовительной техники и разработке технологических процессов. Множество подобных расчетов основано на разработанной в Ленинградской лесотехнической академии В. Г. Кочегаровым методике определения энергоёмкости лесозаготовительных операций [2]. Однако анализ литературных источников показал, что расчету затрат энергии при осуществлении процессов погрузки древесины в лесных массивах дано незначительное освещение. Поскольку данный вид лесозаготовительных операций является одним из наиболее трудоемких и дорогостоящих, существует необходимость в разработке методики оценки эффективности применения различных средств механизации с использованием показателей, учитывающих технические и эксплуатационные параметры как самой техники, так и предмета труда.

С целью последующего выбора и обоснования параметров лесопогрузочной техники, а также для определения более рациональной технологии погрузочных работ с учетом энергоёмкости нами рассмотрены способы их ведения в лесных массивах. В Республике Беларусь на рассматриваемых операциях используются челюстные гусеничные перекидные лесопогрузчики ПЛ-1В и агрегатированные гидроманипуляторами лесовозы и сортиментовозы различных марок.

Для возможности сопоставления энергоёмкости различных операций на лесозаготовительных работах, как правило, определяют затраты энергии, необходимые для освоения 1 га площади леса (кВт · ч / га), так как это позволя-

ет учитывать и таксационные показатели лесонасаждений, и как вспомогательным пользуются показателем удельной энергоёмкости процесса, т. е. расходом энергии на 1 м³ заготовленного леса (кВт · ч/м³). Условия, при которых происходит процесс погрузки, достаточно разнообразны и описываются большим числом факторов [3], что не позволяет использовать удельную энергоёмкость в качестве критерия выбора оптимальной технологии. Для количественной оценки влияния объема погружаемых лесоматериалов на выходную величину в дальнейших расчетах будем использовать ликвидный запас древесины, заготовленной на площади в 1 га.

1. Энергоемкость погрузки хлыстов гусеничными перекидными лесопогрузчиками. Затраты энергии на выполнение процесса погрузки ПЛ-1В, $\mathcal{E}_{п.ч}$ подразделяются на следующие технологические операции: преодоление сопротивления сдвигаемой части штабеля при горизонтальном перемещении челюсти захвата $\mathcal{E}_{сдв}$; захват пачки при подъеме нижней челюсти $\mathcal{E}_{зак}$; поворот технологического оборудования с пачкой в вертикальной плоскости $\mathcal{E}_{п.п}$; поворот стрелы в вертикальной плоскости в обратном направлении $\mathcal{E}_{п.с}$; раскрытие и закрытие челюстей захвата $\mathcal{E}_{р.з}$; рабочее и холостое движение погрузчика между штабелем и лесовозом $\mathcal{E}_{дв}$, т. е.

$$\mathcal{E}_{п.ч} = \mathcal{E}_{сдв} + \mathcal{E}_{зак} + \mathcal{E}_{п.п} + \mathcal{E}_{п.с} + \mathcal{E}_{р.з} + \mathcal{E}_{дв}. \quad (1)$$

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 1, составляющие, входящие в формулу (1), могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\mathcal{E}_{сдв} = cF_{ш}l_{сдв}nv_i/\eta_{х.ч}, \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_{зак} = cQ_{п.ц}\omega nv_i/(\eta_m\eta_T), \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{п.п} = c(Q_{п.у} + Q_{с.з})\theta nv_i/(\eta_m\eta_T), \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_{п.с} = cQ_{с.з}\theta nv_i/(\eta_m\eta_T), \quad (5)$$

$$\mathcal{E}_{р.з} = cF_{р.з}2r\omega nv_i/(\eta_m\eta_T), \quad (6)$$

$$\mathcal{E}_{дв} = c \cdot (2Q_T + Q_{п.ч}) \cdot Bnv_i\psi_m/\eta_{х.ч}. \quad (7)$$

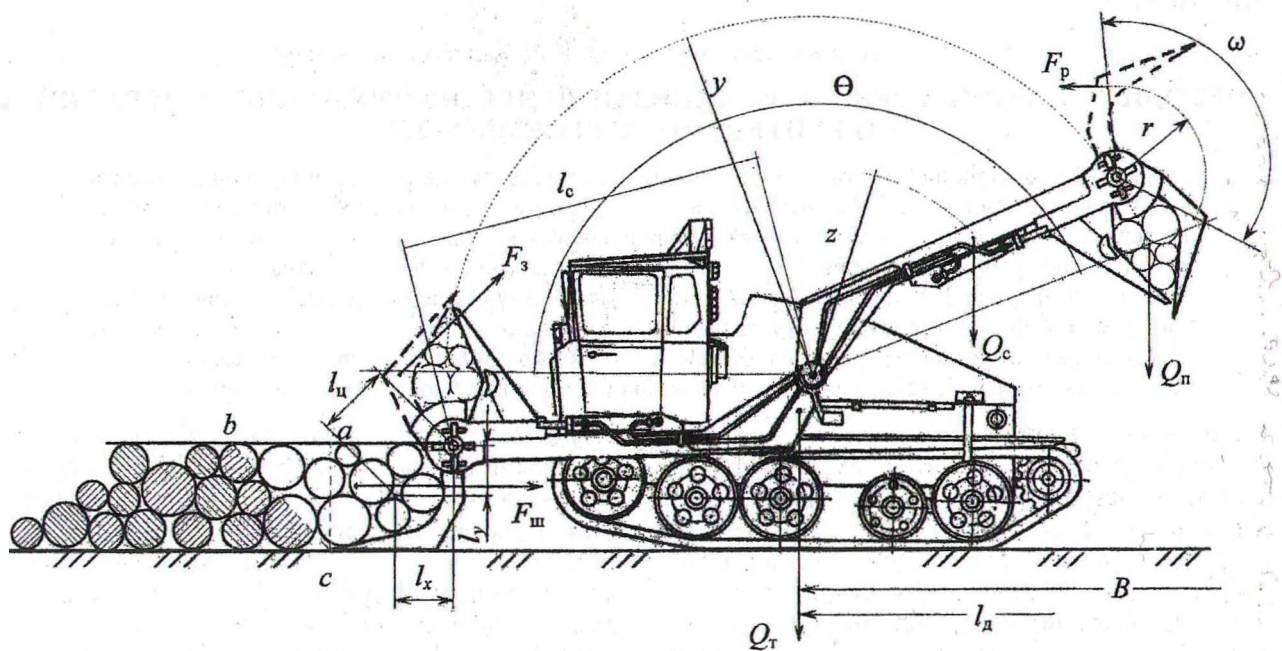


Рис. 1. Расчетная схема по определению энергоемкости процесса погрузки гусеничным лесопогрузчиком перекидного типа

Тогда суммарные затраты энергии составят, кВт · ч / га:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{п.ч} = & cnv_i \cdot \{1/(\eta_m \eta_T) \cdot [Q_n(l_d \omega + y\theta) + \\ & + 2(Q_c z \theta + F_{p3} r \omega)] + \\ & + (F_{ш} l_{сдв} + (2Q_T + Q_n) B \psi_M) / \eta_{х.ч}\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где c – коэффициент пропорциональности (1/3600); n – число погружаемых пачек с площади леса в 1 га; Q_T , Q_c , Q_n – силы веса гусеничного погрузчика, его стрелы и пачки лесоматериалов соответственно, кН; $F_{ш}$ – усилие (кН), затрачиваемое погрузчиком на горизонтальное перемещение части штабеля, ограниченной внутренней поверхностью нижней челюсти и гранью призмы bc , на расстояние $l_{сдв}$, м (пример расчета $F_{ш}$ приведен в источнике [4]); F_{p3} – среднее усилие на плече r при раскрытии и закрытии челюстей на угол ω (рад), кН; B – расстояние перемещения лесопогрузчика от штабеля до лесовоза, м; ψ_M – коэффициент сопротивления движению лесопогрузчика; y , z , l_c , θ – линейные и угловые координаты перемещения центра тяжести предмета труда и технологического оборудования; $l_{ц}$ – расстояние от оси поворота челюсти до оси пачки в месте захвата, м; v_i – коэффициент, учитывающий увеличение затрат энергии за счет непроизводительных движений рабочих устройств машины ($v_i = 1, 1 \dots 1,3$); η_m , η_T , $\eta_{х.ч}$ – КПД устройств, передающих энергию от двигателя машины к приводу соответствующего технологического оборудования, самого технологического оборудования и ходовой части соответственно ($\eta_m = 0,7$; $\eta_T = 0,8$; $\eta_{х.ч} = 0,8$).

Проведем некоторые преобразования:

$$\begin{aligned} Q_n = m_n g, \quad Q_c = m_c g, \quad Q_T = m_T g, \\ n = q \rho_n / m_n, \quad l_{ц} = \sqrt{l_x^2 + l_y^2}, \end{aligned}$$

для упрощения расчета можно принять $y = l_c$, $z = l_c / 2$. В приведенных зависимостях m_n , m_T , m_c – масса пачки, гусеничного погрузчика и его стрелы соответственно, т; g – ускорение силы веса, м/с²; q – запас леса на 1 га, м³; ρ_n – плотность древесины в пачке, т/м³.

Тогда окончательное выражение для определения суммарных затрат энергии примет вид

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{п.ч} = & \frac{cq \rho_n v_i}{m_n} \cdot \left\{ \frac{1}{\eta_m \eta_T} \cdot [m_n g \cdot (\sqrt{l_x^2 + l_y^2} \times \right. \\ & \times \omega + l_c \cdot \theta) + 2 \cdot (m_c g l_c \theta / 2 + F_{p3} r \omega)] + \\ & \left. + (F_{ш} l_{сдв} + (2m_m + m_n) \cdot g B \psi_M) / \eta_{х.ч} \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

2. Энергоемкость погрузки сортиментов гидроманипуляторными средствами. Затраты энергии на выполнение процесса погрузки самогружающимися сортиментовозами $\mathcal{E}_{с.с}$ (рис. 2, а) включают следующие технологические операции: подъем и опускание пачки сортиментов $\mathcal{E}_{hп}$; поворот пачки сортиментов в горизонтальной плоскости $\mathcal{E}_{lп}$; подъем и опускание ($\mathcal{E}_{hм}$), а также поворот ($\mathcal{E}_{lм}$) стрелы манипулятора без груза; захват и выгрузка пачки $\mathcal{E}_{з,в}$, т. е.

$$\mathcal{E}_{с.с} = \mathcal{E}_{hп} + \mathcal{E}_{lп} + \mathcal{E}_{hм} + \mathcal{E}_{lм} + \mathcal{E}_{з,в}. \quad (10)$$

Составляющие, входящие в формулу (10), могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\mathcal{E}_{h_n} = \frac{c(Q_n + Q_m/3)2h n k_y k_c v_i}{\eta_m \eta_T}; \quad (11)$$

$$\mathcal{E}_{l_n} = \frac{c(Q_n + Q_m/3)l_m \alpha n k_y k_c v_i}{\eta_m \eta_T}; \quad (12)$$

$$\mathcal{E}_{h_m} = \frac{cQ_m 2h/3 n k_y k_c v_i}{\eta_m \eta_T}; \quad (13)$$

$$\mathcal{E}_{l_m} = \frac{cQ_m l_m/3 \alpha n k_y k_c v_i}{\eta_m \eta_T}; \quad (14)$$

$$\mathcal{E}_{h_n} = \frac{c(P_{зах} + P_{отк})\eta \phi n v_i}{\eta_m \eta_T}. \quad (15)$$

Тогда суммарные затраты энергии, составят, кВт · ч / га:

$$\mathcal{E}_{с.с} = \frac{c n v_i}{\eta_m \eta_T} \cdot \{k_y k_c \cdot [(2h + \alpha l_m) \times (Q_n + 2 \frac{Q_m}{3})] + (P_{зах} + P_{отк}) \cdot \phi \eta\}, \quad (16)$$

где k_y – коэффициент увеличения пути укладки сортиментов в пакетирующее устройство по отношению к расчетному ($k_y = 1,05 \dots 1,2$); k_c – коэффициент совмещения операций ($k_c = 0,8$); h – средняя высота подъема и опускания груза, м; α – угол поворота манипулятора, ($\alpha = \pi \dots \pi/3$ рад); l_m – вылет манипулятора, м; Q_m – вес манипулятора, кН; $P_{зах}$, $P_{отк}$ – среднее усилие на плече r_1 при захвате дерева и открытии клещевин соответственно на угол ϕ (рад), кН; r_1 – средний радиус захвата, м.

Силы веса Q_m , Q_n выразим соответственно через массу и ускорение свободного падения, а число пачек n – исходя из известного запаса и плотности пачки.

Тогда зависимость (16) примет вид

$$\mathcal{E}_{с.с} = \frac{c q p_n v_i}{m_n \eta_m \eta_T} \cdot \{g k_y k_c \cdot [(2h + \alpha l_m) \times (m_n + 2 \frac{m_m}{3})] + (P_{зах} + P_{отк}) \cdot \phi \eta\}. \quad (17)$$

Этой формулой удобно пользоваться при определении энергоемкости погрузки отдельного гидроманипуляторного средства. При сравнении существующих и обосновании параметров новых лесопогрузочных средств целесообразно выразить массу пачки через грузовой момент M (кНм), вылет l_m (м) и коэффициент использования грузоподъемности манипулятора k_T , т. е.

$$m_n = \frac{M}{g l_m} k_T. \quad (18)$$

Тогда окончательное выражение для определения суммарных затрат энергии примет вид

$$\mathcal{E}_{с.с} = \frac{c q p_n v_i l_m g}{M k_T \eta_m \eta_T} \cdot \{g k_y k_c \cdot [(2h + \alpha l_m) \times (\frac{M k_T}{l_m g} + 2 \frac{m_m}{3})] + (P_{зах} + P_{отк}) \cdot \phi \eta\}. \quad (19)$$

3. Энергозатраты на погрузку хлыстов
два приема манипулятором лесовоза. Погрузка хлыстов гидроманипуляторами, установленными на лесовозах, может производиться по одной из нескольких схем, выбор которой зависит от конструкции, грузового момента и вылета манипулятора. При достаточном грузовом моменте (180–240 кНм) для свободного перемещения длинномерных грузов и наличии на стреле гидроманипулятора упоров процесс формирования пакета хлыстов на лесовозе осуществляется по аналогии со схемой погрузки сортиментов. Однако говорить о повсеместном использовании данного способа не приходится ввиду того, что лесопромышленный комплекс страны насчитывает всего лишь несколько единиц таких механизмов. В основном для самопогрузки древесины в хлыстах применяют другую технологическую схему (рис. 2, б), при которой хлыст не вывешивается полностью, а погрузка осуществляется в два приема (поочередное укладывание на коник тягача и коник роспуска комлевой и вершинной частей хлыста).

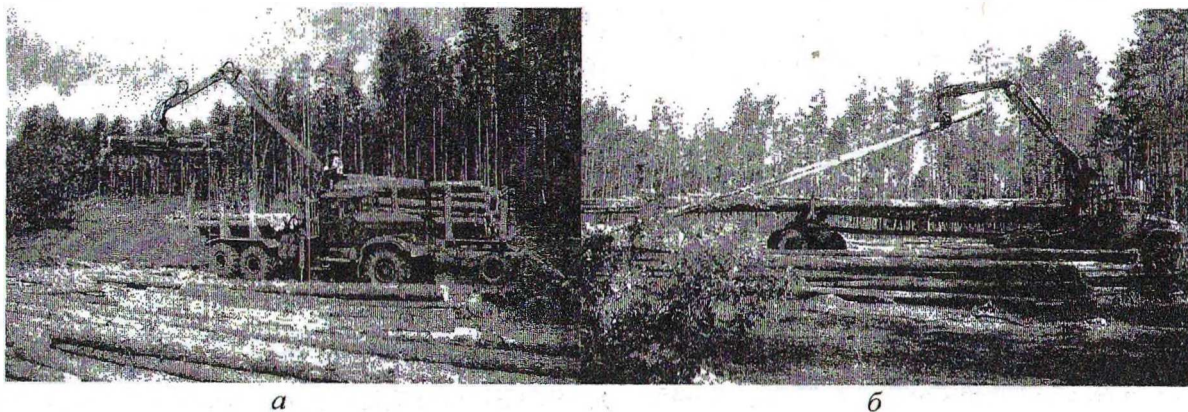


Рис. 2. Погрузка древесины гидроманипуляторными средствами:

а – погрузка сортиментов манипулятором ЛВ-185-10; б – погрузка хлыстов манипулятором Loglift 130

Затраты энергии на выполнение процесса погрузки самогружающимися лесовозами $\mathcal{E}_{с.л}$ (кВт · ч / га) подразделяются на следующие технологические операции: погрузка комлевой $\mathcal{E}_{п.к}$ и вершинной $\mathcal{E}_{п.в}$ частей пачки; движение манипулятора без груза $\mathcal{E}_{h,l,m}$; захват и выгрузка пачки $\mathcal{E}_{з,в}$ хлыстов; подтаскивание пачки $\mathcal{E}_{под}$. В свою очередь, $\mathcal{E}_{п.к}$, $\mathcal{E}_{п.в}$ и $\mathcal{E}_{h,l,m}$ включают составляющие подъема, опускания и поворота соответствующих частей пачки и стрелы манипулятора ($\mathcal{E}_{h,к}$, $\mathcal{E}_{l,к}$, $\mathcal{E}_{h,в}$, $\mathcal{E}_{l,в}$, $\mathcal{E}_{h,m}$, $\mathcal{E}_{l,m}$).

$$\mathcal{E}_{с.л} = \mathcal{E}_{п.к} + \mathcal{E}_{п.в} + \mathcal{E}_{h,l,m} + \mathcal{E}_{з,в} + \mathcal{E}_{под}. \quad (20)$$

Составляющие, входящие в формулу (20), рассчитываются следующим образом:

$$\mathcal{E}_{п.к} = \mathcal{E}_{h,к} + \mathcal{E}_{l,к} = cnv_i k_y k_c / (\eta_m \eta_T) \times (Q_{п.к}' + Q_m/3) \cdot (2h + \alpha_k l_m \mu_d); \quad (21)$$

$$\mathcal{E}_{п.в} = \mathcal{E}_{h,в} + \mathcal{E}_{l,в} = cnv_i k_y k_c / (\eta_m \eta_T) \times (Q_{п.в}' + Q_m/3) \cdot (2h + \beta_v l_m \mu_d); \quad (22)$$

$$\mathcal{E}_{h,l,m} = \mathcal{E}_{h,m} + \mathcal{E}_{l,m} = cnv_i k_y k_c / (\eta_m \eta_T) \times Q_m [4h/3 + l_m (\alpha_k + \beta_v)/3]; \quad (23)$$

$$\mathcal{E}_{з,в} = \frac{c2(P_{зах} + P_{отк}) \cdot nv_i \phi \eta}{\eta_m \eta_T}; \quad (24)$$

$$\mathcal{E}_{под} = \frac{cQ_{п.в} \psi_{п.} \cdot (1 - k'_k) \cdot nv_i k_c l_d}{\eta_m \eta_T}. \quad (25)$$

Суммарные затраты энергии на самопогрузку хлыстов составят:

$$\mathcal{E}_{с.л} = \frac{cnv_i}{\eta_m \eta_T} \cdot \{k_y k_c \cdot [(Q_{п.к}' + \frac{Q_m}{3}) \cdot (2h + \alpha_k l_m \mu_d) + Q_m \cdot (4h + l_m (\alpha_k + \beta_v))/3 + (Q_{п.в}' + Q_m/3) \cdot (2h + \beta_v l_m \mu_d) + Q_{п.в} \psi_{п.} \times (1 - k'_k) \cdot l_d / k_y] + 2 \cdot (P_{зах} + P_{отк}) \cdot \phi \eta\}. \quad (26)$$

Проведем аналогичные формулам (17–19) преобразования полученной зависимости.

Тогда выражение для определения энергоемкости примет вид зависимости (27), где α_k , β_v – углы поворота комлевой ($\alpha_k = \pi/3 \dots \pi$ рад) и вершинной ($\beta_v = \pi/6 \dots \pi/4$ рад) частей хлыста; k'_k , k'_v – коэффициенты распределения веса пачки (дерева) между захватным органом и штабелем при поднятии за комель и вершину соответственно ($k'_k = 0,7$, $k'_v = 0,65$); μ_d – коэффициент увеличения затрат энергии на преодоление сопротивления повороту части пачки, находящейся в шта-

беле; l_d – средняя длина пути подтаскивания пачки (хлыста), м; $\psi_{п.}$ – коэффициент сопротивления движению части пачки, волочащейся по грунту.

$$\mathcal{E}_{с.л} = \frac{cqp_{п.} v_i l_m g}{Mk_T \eta_m \eta_T} \cdot \{gk_y k_c \cdot [(\frac{l_m g k'_k}{Mk_T} + \frac{m_m}{3}) \cdot (2h + \alpha_k l_m \mu_d) + \frac{m_m}{3} \cdot (4h + l_m + (\alpha_k + \beta_v)) + (\frac{l_m g k'_v}{Mk_T} + \frac{m_m}{3}) \cdot (2h + \beta_v l_m \mu_d) + \frac{l_m g \psi_{п.} \cdot (1 - k'_k) \cdot l_d}{Mk_T k_y}] + 2 \cdot (P_{зах} + P_{отк}) \cdot \phi \eta\}. \quad (27)$$

Для определения оптимальных значений факторов, влияющих на рабочий процесс машин, по зависимостям (9), (19), (27) для каждого из описанных способов погрузки лесоматериалов решена задача однокритериальной многопараметрической оптимизации с граничными условиями на основе метода нелинейного программирования. С целью получения статистической зависимости критерия оптимизации от исследуемых факторов выбран В-план второго порядка с проведением опытов на трех уровнях варьирования.

Результаты исследований показали, что изменение энергоемкости неравномерное и интенсивность возрастания энергозатрат увеличивается с уменьшением массы груза. При ее уменьшении с 3,2 до 1 т энергоемкость процесса погрузки возрастает на 38–40%. Затраты энергии на грузовое и холостое перемещение гусеничного лесопогрузчика являются самыми значительными составляющими суммарной энергоемкости (рис. 3, а). Так, при средних значениях прочих факторов и изменении расстояния удаления штабеля от лесовоза с 8 до 40 м энергоемкость возрастает с 44 до 115 кВт ч/га.

Оптимизированное значение энергоемкости погрузки хлыстов ПЛ-1В составило 31 кВт ч/га.

При погрузке сортиментов и хлыстов гидроманипуляторами основными факторами, влияющими на энергоемкость, являются грузовой момент M , кНм, и вылет, l , м. Установлено, что для варианта погрузки пачек сортиментов при $l = 2$ м и уменьшении величины M с 240 до 60 кНм выходная величина изменяется незначительно и составляет 14–17 кВт ч/га, тогда как при $l = 8,4$ м и таком же изменении грузового момента энергоемкость резко возрастает с 49 до 99 кВт ч/га (рис. 3, б). Оптимизированное значение искомого показателя при погрузке сортиментов составило 13 кВт ч/га.

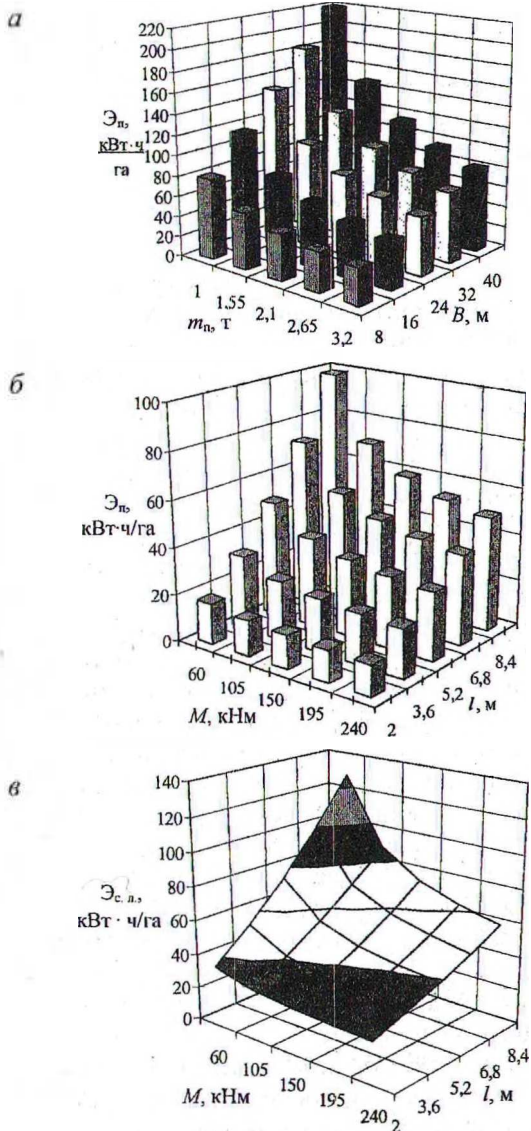


Рис. 3. Зависимость энергоёмкости процесса погрузки от основных факторов: а – гусеничным лесопогрузчиком; б – хлыстов манипулятором; в – сортиментов манипулятором

Энергоёмкость погрузки хлыстов манипуляторами различной грузоподъёмности колеблется в пределах 22–127 кВт ч/га при оптимизированном значении 24 кВт · ч/га (рис. 3, в).

Закключение. В результате проведенного анализа установлено, что менее энергозатратной, удовлетворяющей требованиям длительной лесозаготовки и основным критериям ресурсосбережения для большинства комбинаций варьируемых факторов, является технология погрузки древесины при помощи гидроманипуляторных средств, что наряду с более экологичными условиями производства оправдывает постепенный переход предприятий лесозаготовительной отрасли при осуществлении рассматриваемых операций на данного рода технику.

Литература

1. Матвейко, А. П. Технология и машины лесосечных работ: учебник для вузов / А. П. Матвейко, А. С. Федоренчик. – Минск.: Технопринт, 2002. – 480 с.
2. Кочегаров, В. Г. Технология и машины лесосечных работ: учебник для вузов / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 392 с.
3. Ермалицкий, А. А. Производственные условия и средства механизации погрузочных работ на лесосеках / А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 104–107.
4. Гороховский, К. Ф. Основы технологических расчетов оборудования лесосечных и лесоскладских работ: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Гороховский, Н. В. Лившиц. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 256 с.