

следование собственных частот хлыста как предмета транспортирования.— В кн.: Лесн. хоз-во, лесн., бум. и деревообраб. пром-сть. Киев: Будивельник, 1974, вып. 3. [3]. Гастев Б. Г., Мельников В. И. Основы динамики лесовозного подвижного состава.— М.: Лесн. пром-сть, 1967. [4] Жуков А. В., Кадошко Л. И. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом их колебаний.— Минск: Наука и техника, 1978. [5]. Закревский П. Б. Изменение объемного веса ствола и кроны растущих деревьев по высоте.— Тр. ЦНИИМЭ. Вопросы технологии лесосечных работ. Химки, 1972, № 123. [6]. Коротяев Л. В. Исследование жесткости хлыстов.— Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1978, № 1. [7]. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем.— М.: Наука, 1967. [8]. Хегай В. К. Определение частот свободных колебаний дерева.— В кн.: Машины и орудия для механизации лесозаготовок. Л.: ЛТА, 1975. (Сб. науч. тр.: Вып. 4). [9]. Храпцов Г. Ф. Результаты исследования изгибных колебаний хлыстов.— Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. журн., 1978, № 1. [10]. Цофин З. С. Исследование колебательных характеристик пакетов хлыстов, перевозимых по лесовозным дорогам.— Тр./ ЦНИИМЭ, 1969, вып. 98.

Поступила 30 октября 1985 г.

УДК [630*377.1 : 621.86.063.2] : 621.873

О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ СКОРОСТЕЙ РАБОЧИХ ДВИЖЕНИЙ КРАНА И ГРЕЙФЕРА

В. Г. ВАСИЛЬЕВ

СНПЛО

В связи с разработкой грузоподъемных машин, оборудованных грейферами, возникла необходимость найти рациональные соотношения параметров крана и грейфера. Одна из основных характеристик — их производительность. Ее выбирают из условия минимума приведенных затрат на эксплуатацию крана и обслуживаемых им механизмов. Производительность крана определяется грузоподъемностью и скоростями рабочих движений крана и грейфера.

Поставим задачу: определить оптимальные соотношения между скоростями рабочих движений крана и грейфера. Для ее решения удобнее воспользоваться мощностями приводов крана и грейфера.

Продолжительность выполнения краном какой-либо технологической операции

$$T_{\Sigma} = \varphi_1(N_1, l_1, \eta_1, P_1, \alpha_1) + \varphi_2(N_2, l_2, \eta_2, P_2, \alpha_2) + \dots + \varphi_n(N_n, l_n, \eta_n, P_n, \alpha_n) + r_1 - r_2, \quad (1)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ — функции, указывающие, что существуют зависимости между продолжительностью рабочего перемещения и соответственно влияющими на него факторами;

N_1, N_2, \dots, N_n — мощность приводов механизмов крана и грейфера;

l_1, l_2, \dots, l_n — соответствующее рабочее перемещение крана и грейфера;

$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ — КПД соответствующего кранового механизма;

P_1, P_2, \dots, P_n — сопротивление перемещению грейфера, а также рабочих органов грейфера с грузом или без него;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — величина, учитывающая различные другие факторы, влияющие на продолжительность рабочего перемещения;

r_1 — случайная величина, отражающая сумму продолжительности времени между включениями механизмов;

r_2 — случайная величина, отражающая сумму продолжительности времени совместной работы механизмов.

Допустим, что все аргументы функций φ , кроме N , постоянны. Для этого случая выражение (1) можно записать так:

$$T_{\text{ц}} = f_1(N_1) + f_2(N_2) + \dots + f_n(N_n) + r_1 - r_2. \quad (2)$$

Здесь $f_1(N_1); f_2(N_2), \dots, f_n(N_n)$ — функции, отражающие зависимость продолжительности времени выполнения какой-либо операции от мощности соответствующего привода (перемещение грейфера в пространстве, его раскрытие и закрытие, поворот).

Выражение (2) — целевая функция, ограничение для которой:

$$N_1 + N_2 + \dots + N_n = N_{\text{общ}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{общ}}$ — общая мощность всех электродвигателей крана и грейфера.

Оптимальные скорости рабочих движений, с точки зрения максимальной производительности крана, для данной общей мощности — скорости, а следовательно, и мощности, обеспечивающие минимальную продолжительность времени цикла.

Введем вспомогательную функцию Лагранжа

$$L(N_1, N_2, \dots, N_n, \lambda) = f_1(N_1) + f_2(N_2) + \dots + f_n(N_n) + r_1 - r_2 - \lambda(N_1 + N_2 + \dots + N_n - N_{\text{общ}}). \quad (4)$$

Здесь L — знак функции Лагранжа;

λ — множитель Лагранжа.

Найдем обычный минимум вспомогательной функции Лагранжа. Необходимое условие существования экстремального значения функции — равенство нулю ее частных производных. Получим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial N_1} = f'_1(N_1) - \lambda = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial N_2} = f'_2(N_2) - \lambda = 0; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial L}{\partial N_n} = f'_n(N_n) - \lambda = 0. \end{cases}$$

Нетрудно заметить, что частные производные равны между собой

$$f'_1(N_1) = f'_2(N_2) = \dots = f'_n(N_n). \quad (5)$$

Характер условного экстремума функции определяется знаком второго дифференциала функции Лагранжа

$$\begin{aligned} d(dL) &= d\left(\frac{\partial L}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial L}{\partial N_2} dN_2 + \dots + \frac{\partial L}{\partial N_n} dN_n\right) = \\ &= \frac{\partial^2 f_1(N_1)}{\partial^2 N_1} dN_1^2 + \frac{\partial^2 f_2(N_2)}{\partial^2 N_2} dN_2^2 + \dots + \frac{\partial^2 f_n(N_n)}{\partial^2 N_n} dN_n^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Выражение (6) всегда положительно, так как вторая производная от функции вида $t = \frac{k}{N}$ (где k — постоянный коэффициент) положительна.

Следовательно, функция Лагранжа имеет минимум при любых положительных значениях мощностей.

С помощью соотношения (5) можно решить две задачи: 1) определить общую мощность крана при заданной продолжительности времени выполнения какой-либо технологической операции; 2) определить длительность выполнения технологической операции при заданной общей мощности крана и грейфера.

Рассмотрим для примера козловой кран ЛТ-62 с грейфером ЛТ-59А.

Длительность выполнения технологической операции, например подача хлыстов из запаса на разделку, существенным образом зависит от условий эксплуатации крана. Расчет необходимо вести для усредненных условий работы.

Как показали исследования СНПЛО, кран ЛТ-62 с грейфером ЛТ-59А наиболее рационально использовать на складах с запасом хлыстов от 12,5 до 50 тыс. м³ [1]. Предположим, что средний запас хлыстов 22,7 тыс. м³, средний грузооборот склада 223,5 тыс. м³ [2].

Для данного грузооборота примем нижний склад с тремя полуавтоматическими линиями ЛО-15С, две из которых находятся в пролете крана, а третья — в стороне. В этом случае длина штабеля хлыстов составит 236 пог. м. Среднее расстояние перемещения пакета хлыстов из запаса на раскрывку складывается из половины длины штабеля хлыстов, половины длины эстакады и длины противопожарного разрыва между запасом и эстакадой и равен 178 м. Средний подъем грейфера 5 м, средняя длина пробега тележки по мосту крана 20 м, средний угол поворота грейфера 90°.

Известно соотношение между продолжительностью времени подъема груза $t_{\text{под}}$, мин, и номинальной мощностью двигателя подъема $N_{\text{под}}$ кВт:

$$t_{\text{под}} = \frac{P_{\text{под}} h_{\text{ср}}}{59,976 \eta_{\text{под}} N_{\text{под}}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{под}}$ — номинальное усилие подъема, Н;

$h_{\text{ср}}$ — средняя высота подъема, м;

$\eta_{\text{под}}$ — КПД механизма подъема.

Для крана ЛТ-62 $t_{\text{под}} = 0,35$, $N_{\text{под}} = 68$ кВт. Подставив эти значения в выражение (7), получим числовое значение совокупности остальных величин.

Зависимость мощности механизма подъема от длительности времени подъема имеет вид

$$t_{\text{под}} = \frac{23,52}{N_{\text{под}}}. \quad (8)$$

Аналогично найдем соотношение между временем и мощностями других механизмов крана и грейфера. Продолжительность работы механизма передвижения крана $t_{\text{пер.к}}$ зависит от мощности механизма передвижения крана $N_{\text{пер.к}}$

$$t_{\text{пер.к}} = \frac{82,4}{N_{\text{пер.к}}}. \quad (9)$$

Соотношение между длительностью работы механизма передвижения тележки $t_{\text{пер.т}}$ и мощностью привода $N_{\text{пер.т}}$ выразится следующим образом:

$$t_{\text{пер.т}} = \frac{5,5}{N_{\text{пер.т}}}. \quad (10)$$

Зависимость продолжительности времени закрытия $t_{\text{закр}}$ и открытия $t_{\text{откр}}$ челюстей грейфера ЛТ-59А и от мощности привода $N_{\text{закр}}$ можно записать так:

$$t_{\text{закр}} = \frac{10,7}{N_{\text{закр}}}; \quad (11)$$

$$t_{\text{откр}} = \frac{6,5}{N_{\text{закр}}}. \quad (12)$$

Длительность времени поворота грейфера по часовой стрелке $t_{\text{пов.г}_1}$ и против часовой стрелки $t_{\text{пов.г}_2}$ определяется мощностью привода механизма поворота грейфера $N_{\text{пов.г}}$

$$t_{\text{пов.г}_1} = \frac{1,5}{N_{\text{пов.г}}}; \quad (13)$$

$$t_{\text{пов. г}_2} = \frac{1}{N_{\text{пов. г}}} \quad (14)$$

Продолжительность времени выполнения перегрузки хлыстов $T_{\text{ц}}$ из запаса на эстакаду можно выразить следующим образом:

$$T_{\text{ц}} = 4t_{\text{под}} + 2t_{\text{пер. к}} + 2t_{\text{пер. т}} + t_{\text{закр}} + t_{\text{откр}} + t_{\text{пов. г}_1} + t_{\text{пов. г}_2} + r_1 - r_2 \quad (15)$$

Выражение (15) верно, если принять, что скорости рабочих движений крана и грейфера равны как во время работы с грузом, так и без него. Не будем учитывать длительность разгона и торможения крана, крановой тележки, грейфера при подъеме и опускании, а также продолжительность времени разгона и торможения грейферных механизмов.

Подставив в уравнение (15) выражения (8)–(14), получим:

$$T_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot 23,52}{N_{\text{под}}} + \frac{2 \cdot 82,4}{N_{\text{пер. к}}} + \frac{2 \cdot 5,5}{N_{\text{пер. т}}} + \frac{6,5 + 10,7}{N_{\text{закр}}} + \frac{1 + 1,5}{N_{\text{пов. г}}} + r_1 - r_2 \quad (16)$$

Используя условие (5), найдем соотношения между мощностями:

$$\frac{4 \cdot 23,52}{N_{\text{под}}^2} = \frac{2 \cdot 82,4}{N_{\text{пер. к}}^2} = \frac{2 \cdot 5,5}{N_{\text{пер. т}}^2} = \frac{17,2}{N_{\text{закр}}^2} = \frac{2,5}{N_{\text{пов. г}}^2},$$

отсюда

$$N_{\text{под}} = 0,76N_{\text{пер. к}}; \quad N_{\text{под}} = 2,95N_{\text{пер. т}}; \quad N_{\text{под}} = 2,34N_{\text{закр}}; \quad N_{\text{под}} = 6,13N_{\text{пов. г}}$$

или

$$N_{\text{под}} = 0,76N_{\text{пер. к}} = 2,95N_{\text{пер. т}} = 2,34N_{\text{закр}} = 6,13N_{\text{пов. г}}$$

Из полученных соотношений видно, что мощность грейфера, используемая на разжим челюстей, должна более чем в 2,5 раза превосходить мощность привода механизма поворота грейфера.

Суммарная мощность крана ЛТ-62 с грейфером ЛТ-59А равна 130 кВт. Мощность двигателей крана ЛТ-62 при ПВ = 25 %: механизм подъема груза 2 · 34 кВт; механизм передвижения крана 2 · 17,5 кВт; механизм передвижения грузовой тележки крана 9 кВт; привод грейфера 18 кВт.

Введем условное среднее время цикла $T'_{\text{ц}}$. Данная величина соответствует продолжительности выполнения технологической операции при последовательном выполнении движений, каждое из которых начинается при прекращении работы предыдущего:

$$T'_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot 23,52}{68} + \frac{2 \cdot 82,4}{35} + \frac{11}{9} + \frac{17,2}{18} + \frac{2,5}{4,5} = 8,82 \text{ мин.}$$

Приравняем полученную величину к выражению (16)

$$8,82 = \frac{4 \cdot 23,52}{N_{\text{под}}} + \frac{2 \cdot 82,4}{N_{\text{пер. к}}} + \frac{2 \cdot 5,5}{N_{\text{пер. т}}} + \frac{17,2}{N_{\text{закр}}} + \frac{2,5}{N_{\text{пов. г}}}$$

Зная соотношение между мощностями, найдем их значения: $N_{\text{под}} = 34,8$ кВт; $N_{\text{пер. к}} = 46$; $N_{\text{пер. т}} = 12$; $N_{\text{закр}} = 15$ кВт.

Видно, что наиболее рациональный расклад мощностей осуществляется при увеличении скорости передвижения крана. При той же длительности выполнения технологической операции (подача хлыстов из запаса на эстакаду), мы могли бы сократить суммарную мощность на 22 кВт.

Если увеличение скорости передвижения крана нежелательно, наложим ограничение на мощность механизма передвижения, т. е. оставим ее прежней, тогда:

$$8,82 = \frac{4 \cdot 23,52}{N_{\text{под}}} + \frac{2 \cdot 82,4}{35} + \frac{2 \cdot 5,5}{N_{\text{пер. т}}} + \frac{17,2}{N_{\text{закр}}} + \frac{2,5}{N_{\text{пов. г}}}$$

Отсюда найдем значения мощностей: $N_{\text{под}} = 44$ кВт; $N_{\text{пер. к}} = 35$; $N_{\text{закр}} = 19$; $N_{\text{пер. т}} = 15$ кВт; $N_{\text{общ}} = 113$ кВт.

В данном случае значительно увеличивается скорость передвижения тележки. Наложим ограничение на мощность механизма передвижения тележки и примем ее равной 9 кВт, тогда

$$8,82 = \frac{4 \cdot 23,52}{N_{\text{под}}} + \frac{2 \cdot 82,4}{35} + \frac{2 \cdot 55}{9} + \frac{17,2}{N_{\text{закр}}} + \frac{2,5}{N_{\text{пов. г}}},$$

отсюда мощности примут следующие значения: $N_{\text{под}} = 52$ кВт; $N_{\text{пер. к}} = 35$; $N_{\text{пер. т}} = 9$; $N_{\text{закр}} = 22$ кВт; $N_{\text{общ}} = 118$ кВт.

Как видно из результатов расчетов, можно значительно снизить (на 12 кВт) общую мощность крана и грейфера. Увеличение мощности привода грейфера не повлечет за собой каких-либо существенных изменений в конструкции грейфера.

Так же решается и обратная задача: путем более рационального перераспределения мощностей добиться снижения средней продолжительности выполнения технологической операции.

Следовательно, полученные расчетные зависимости позволяют выбрать оптимальные соотношения между скоростями рабочих движений крана и грейфера в зависимости от условий работы грузоподъемного механизма.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Васильев Г. М. Нижний склад: перспективы механизации.— Лесн. пром-сть, 1984, № 4. [2]. Расчет экономической эффективности и оптовой цены. Перегрузчик хлыстов ЛТ-62.— Свердловск: СНПЛО, 1981.

Поступила 2 августа 1984 г.