

УДК 621.869

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

В.В. Минин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
E-mail: mininV@rambler.ru

На основе апостериорной информации получены уравнения, определяющие основные параметры универсальных малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом. Для расчетов производительности машины с различной эксплуатационной массой получены наиболее вероятные значения грузоподъемности, мощности двигателя и времени цикла. Проведена оценка эффективности.

Ключевые слова:

Универсальный малогабаритный погрузчик, эксплуатационные параметры, эффективность.

Key words:

Skid-steer loader, operation factors, efficiency.

Эффективным путем снижения доли ручного труда в строительстве является совершенствование существующих и создание новых перспективных моделей универсальных малогабаритных погрузчиков (УМП) с бортовым поворотом, имеющих широкую номенклатуру сменных рабочих органов. Значительный опыт проектирования УМП [1, 2] доказывает необходимость всестороннего анализа конструктивных исполнений данного типа машин с целью принятия решения о значениях эксплуатационных параметров создаваемого конкурентоспособного образца, рис. 1.



Рис. 1. Опытный образец УМП «Соболь», созданный по результатам исследований в СФУ и ОАО КЗПТ

Проведена предварительная оценка эффективности на основе конструктивных параметров производимых серийно моделей. Во внимание приняты значения параметров 104 моделей, выпускаемых фирмами: Amca International, Claeys, Clark Equip. Co. Davis Welding & Mtg. Co., Erickson Corp., Ford, FAI Compact S. p. A., Hydra-Mac. Inc., International Harvester, John Deere, JI Case Company, Northwestern Motor Co., Owatonna Mfg. Co., Prime Mover Co.,

Sperry New Holland, Thomas Equip. Ltd. (США); Gehl Co., H. S. International, Lanz IBN (Германия); Toyota (Япония). Такая оценка на этапе проектирования обеспечивает реализацию наиболее эффективного решения по значению главного параметра — эксплуатационной массы G , а также установление области эффективного применения в условиях эксплуатации при соблюдении условий конструктивно-размерного подобия образцов. В условиях отсутствия экономических данных, а также показателей надежности машин, выпускаемых зарубежными фирмами, точная оценка по приведенным удельным затратам (интегральному показателю оценки эффективности) практически невозможна. В таких условиях профессором В.И. Баловневым [3, 4] рекомендуется использовать обобщенный показатель оценки

$$\Pi_{NG} = \frac{N_{уд} G}{\Pi_t^2},$$

где $N_{уд}$ — мощность двигателя, Π_t — техническая производительность погрузчика.

Условие степени совершенства машины записывается в виде

$$\Pi_{NG} \rightarrow \min.$$

Оценивая эффективность по данному критерию, делают допущение — рассматривают образцы УМП, предполагая их одинаковую надежность.

Часовая техническая производительность определена по известной зависимости

$$\Pi_t = 3600 \frac{V_k \rho_p \varphi_p}{T_{\text{ц}} k_p},$$

где V_k — вместимость основного ковша; ρ_p — плотность разрабатываемого материала; φ_p , k_p — коэффициенты наполнения ковша и разрыхления материала, соответственно; $T_{\text{ц}}$ — время цикла.

Время цикла $T_{\text{ц}} = t_n + t_p + t_{\text{н}} + t_o + t_x + t_{\text{оп}}$, с, где t_n , t_o — время наполнения и опорожнения ковша, соответственно; t_p , t_x — время рабочего и холостого хода, соответственно; t_n , $t_{\text{оп}}$ — время подъема и опускания стрелы, соответственно.

Составляющие времени цикла (подъема и опускания ковша) приняты по наиболее вероятным значениям в соответствии с полученными математическими моделями. Время выполнения рабочего хода при поворотном способе работы определяли по зависимости

$$t_p = L_p / v_x + L_p / v_p,$$

где L_p – расстояние рабочего хода; v_p, v_x – скорость движения погрузчика при рабочем и холостом ходе, соответственно.

При определении преобладающих (наиболее вероятных) значений основных параметров (Z – грузоподъемность, N – установочная мощность двигателя, Y – вместимость основного ковша), а также параметров, характеризующих время цикла (t_n, t_{on} – подъема и опускания стрелы, соответственно), для ряда интервалов значений УМП проведена оценка по функции плотности распределения этих величин. Использовалась программа восстановления плотности вероятности, где оценка функции $P(t)$ найдена в виде разложения по системе тригонометрических функций:

$$\varphi_k(t) = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cos \left[(2k-1) \frac{\pi}{2} t \right]; t \in [A, B]; k = 1, 2, \dots, n,$$

а число членов разложения в зависимости от объема выборки выбрано с помощью метода структурной минимизации риска. Оценка плотности вероятности $P(t)$ производилась на основе решения интегрального уравнения Фредгольма первого рода:

$$\int Q(t-\tau)P(\tau)d\tau = F(t); \quad Q(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t \geq 0 \\ 0, & \text{если } t < 0. \end{cases}$$

При проведении статистических исследований вышеперечисленных параметров значения главного параметра УМП приняты на трех интервалах: 700...1500, 1500...2500 и 2500...3500 кг.

В результате исследований получены формулы для оценки:

- функции плотности вероятности грузоподъемности:

$$P(Z_1) = 0,002 \left\{ \begin{aligned} &1,7 \cos(1,57 Z_1) + \\ &+0,76 \cos(4,71 Z_1) + \\ &+0,46 \cos(7,85 Z_1) \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times \{0,002(Z_1 - 250)\};$$

$$Z_1 \in (250, 750); G \in (500, 1500);$$

$$P(Z_2) = 0,001 \{1,46 \cos(1,57 Z_2) - 0,32 \cos(4,71 Z_2)\} \times$$

$$\times \{0,001(Z_2 - 300)\};$$

$$Z_2 \in (300, 1100); G \in (1500, 2500);$$

$$P(Z_3) = 0,001 \{1,3 \cos(1,57 Z_3) - 0,87 \cos(4,71 Z_3)\} \times$$

$$\times \{0,001(Z_3 - 600)\};$$

$$Z_3 \in (600, 1100); G \in (2500, 3500);$$

- мощности двигателя:

$$P(N_1) = 0,05 \left\{ \begin{aligned} &1,48 \cos(1,57 N_1) - 0,73 \cos(4,71 N_1) - \\ &-0,76 \cos(7,85 N_1) \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times \{0,05(N_1 - 5)\};$$

$$N_1 \in (5, 25); G \in (500, 1500);$$

$$P(N_2) = 0,03 \{1,53 \cos(1,57 N_2) - 0,13 \cos(4,71 N_2)\} \times$$

$$\times \{0,03(N_2 - 15)\};$$

$$N_2 \in (15, 45); G \in (1500, 2500);$$

$$P(N_3) = 0,02 \{1,26 \cos(1,57 N_3) - 0,93 \cos(4,71 N_3)\} \times$$

$$\times \{0,02(N_3 - 19)\};$$

$$N_3 \in (19, 50); G \in (2500, 3500);$$

- вместимости основного ковша:

$$P(Y_1) = 3,3 \{1,28 \cos(1,57 Y_1) - 0,88 \cos(4,71 Y_1)\} \times$$

$$\times \{3,3(Y_1 - 0,1)\};$$

$$Y_1 \in (0,1; 0,4); G \in (500, 1500);$$

$$P(Y_2) = 1,8 \left\{ \begin{aligned} &29,5 \cos(1,57 Y_2) - 650,9 \cos(4,71 Y_2) - \\ &-1224,6 \cos(7,85 Y_2) \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times \{1,8(Y_2 - 0,25)\};$$

$$Y_2 \in (0,25; 0,8); G \in (1500, 2500);$$

$$P(Y_3) = 1,3 \{1,3 \cos(1,57 Y_3) - 0,5 \cos(4,71 Y_3) -$$

$$-0,004 \cos(7,85 Y_3) - 0,73 \cos(10,99 Y_3)\} \times$$

$$\times \{1,3(Y_3 - 0,25)\};$$

$$Y_3 \in (0,1; 1); G \in (2500, 3500);$$

- времени подъема стрелы:

$$P(T_{n1}) = 0,27 \{1,3 \cos(1,57 T_{n1}) - 0,9 \cos(4,71 T_{n1})\} \times$$

$$\times \{1,3(T_{n1} - 3)\};$$

$$T_{n1} \in (3, 6); G \in (500, 1500);$$

$$P(T_{n2}) = 0,3 \left\{ \begin{aligned} &1,5 \cos(1,57 T_{n2}) - 0,52 \cos(4,71 T_{n2}) - \\ &-0,51 \cos(7,85 T_{n2}) \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times \{0,3(T_{n2} - 3)\};$$

$$T_{n2} \in (3, 6); G \in (1500, 2500);$$

$$P(T_{n3}) = 0,5 \{1,35 \cos(1,57 T_{n3}) - 0,66 \cos(4,71 T_{n3})\} \times$$

$$\times \{0,5(T_{n3} - 4)\};$$

$$T_{n3} \in (4, 6); G \in (2500, 3500);$$

- времени опускания стрелы:

$$P(T_{o1}) = 0,67 \{1,23 \cos(1,57 T_{o1}) - \cos(4,71 T_{o1})\} \times$$

$$\times \{0,67(T_{o1} - 2,75)\};$$

$$T_{o1} \in (2,75; 4,25); G \in (500, 1500);$$

$$P(T_{o2}) = 0,3 \left\{ \begin{aligned} &-0,22 \cdot 10^4 \cos(1,57 T_{o2}) - \\ &-0,11 \cdot 10^5 \cos(4,71 T_{o2}) - \\ &-0,8 \cdot 10^4 \cos(7,85 T_{o2}) \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times \{0,3(T_{o2} - 2)\};$$

$$T_{o2} \in (2; 4,5); G \in (1500, 2500);$$

$$P(T_{o3}) = 0,48 \{1,46 \cos(1,57 T_{o3}) - 0,35 \cos(4,71 T_{o3})\} \times$$

$$\times \{0,48(T_{o3} - 2,4)\};$$

$$T_{o3} \in (2,4; 4); G \in (2500, 3500).$$

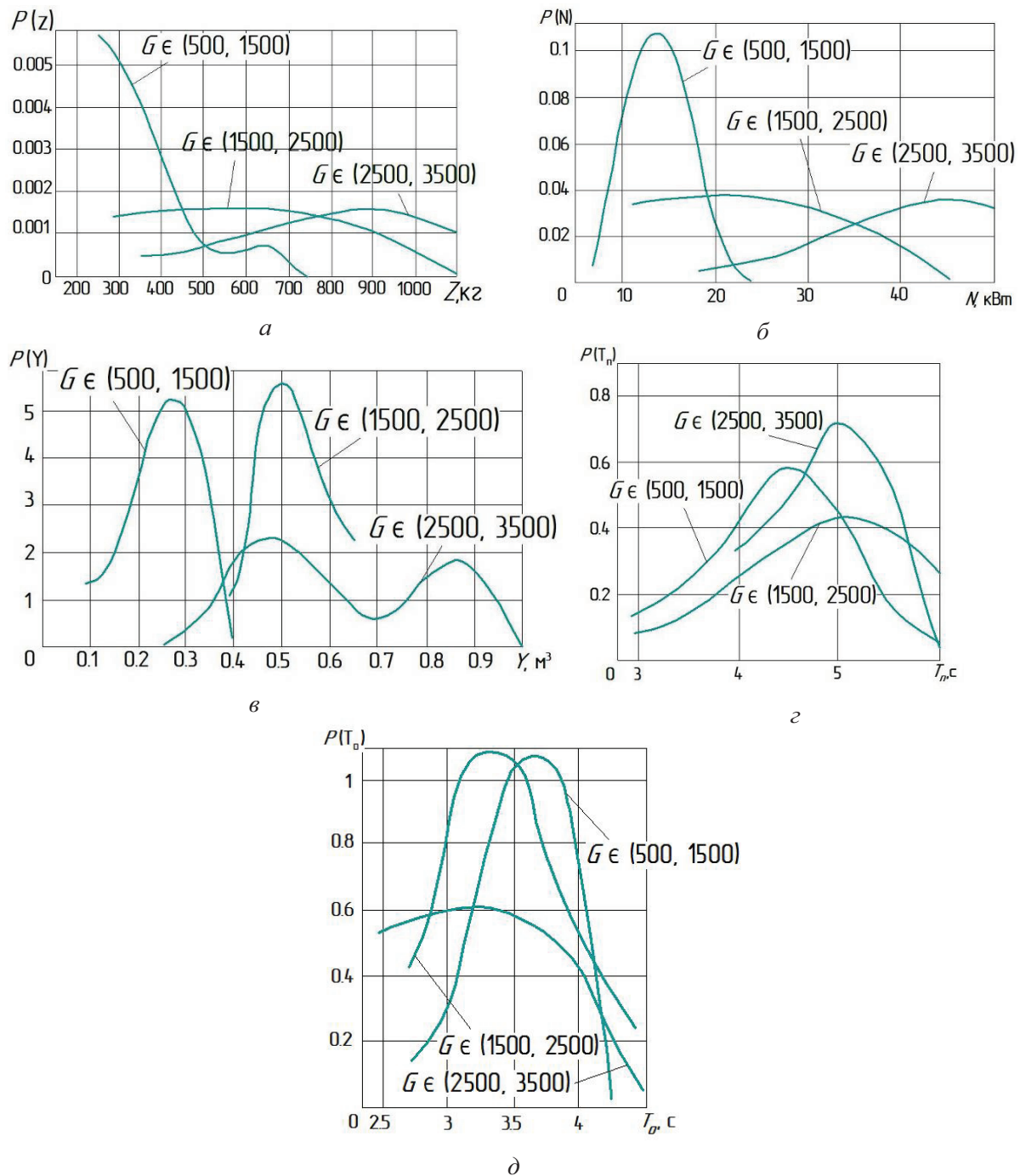


Рис. 2. Графики плотностей вероятностей: а) грузоподъемности; б) мощности двигателя; в) вместимости ковша; г) времени подъема стрелы; д) времени опускания стрелы для различных интервалов значений эксплуатационной массы УМП

На рис. 2, а, представлены функции плотности вероятности грузоподъемности для интервалов значений эксплуатационной массы УМП.

Так, при эксплуатационной массе УМП 500...1500 кг максимум функции плотности вероятности определен при грузоподъемности $Z=250$ кг, 1500...2500 кг – при $N=25$ кВт, 2500...3500 кг – при $Z=600$ кг, 2500...3500 – при $Z=900$ кг. Аналогично получены графики плотности (рис. 2, б) вероятно-

сти мощности двигателя для различных интервалов значений эксплуатационной массы УМП.

Для эксплуатационной массы УМП 500...1500 кг максимум функции плотности вероятности находится при значении мощности двигателя $N=14$ кВт, 1500...2500 кг – при $N=25$ кВт, 2500...3500 кг – при $N=48$ кВт.

На рис. 2, в, показаны графики плотности вероятности вместимости основного ковша для различ-

ных интервалов значений эксплуатационной массы УМП. При эксплуатационной массе УМП 500...1500 кг максимум функции плотности вероятности находится при вместимости ковша $Y=0,25 \text{ м}^3$, 1500...2500 – при $Y=0,5 \text{ м}^3$, 2500...3500 – при двух значениях вместимости ковша: $Y=0,5 \text{ м}^3$ и $Y=0,85 \text{ м}^3$.

На рис. 2, з, даны графики функции плотности вероятности времени подъема стрелы для различных интервалов значений эксплуатационной массы УМП. При эксплуатационной массе УМП 500...1500 кг максимум функции плотности вероятности находится при времени $T_0=3,6 \text{ с}$, 1500...2500 кг – при $T_0=3,25 \text{ с}$, 2500...3500 кг – при $T_0=3,3 \text{ с}$.

На графике функций плотности вероятности времени опускания стрелы рис. 2, д для значения эксплуатационной массы УМП 500...1500 кг максимум функции плотности вероятности находится при времени подъема $T_n=5 \text{ с}$, 1500...2500 кг – при $T_n=4,25 \text{ с}$, а 2500...3500 кг – при $T_n=5 \text{ с}$.

Для преобразования зависимости обобщенного показателя Π_{NG} к виду, удобному для моделирования разработаны аппроксимирующие зависимости основных конструктивных параметров от эксплуатационной массы G :

$$N = -3,42 + 0,015G; \quad Z = 313,49 + 0,14G; \\ V_k = G / (3459,29 + 0,35G).$$

Тогда показатель записывается в виде выражения

$$\Pi_{NG} = \left[\frac{(0,015G - 3,42)(3459,29 + 0,35G^2 \times \left(11 + 3,6L_p / \left(\frac{16,08 - 13979,92/G + 5578904,91/G^2}{5318,2^2 G} \right) \right)^2}{5318,2^2 G} \right] / \text{м}^2/\text{с}.$$

Результаты исследования целевой функции представлены на рис. 3, где показаны области наиболее эффективных значений эксплуатационной массы. Зависимость $\Pi_{NG}=f(G, L_p)$ характеризует средний технический уровень выпускаемых моделей. Характер расчетной функции объясняется нелинейной взаимосвязью вместимости основного ковша и скорости передвижения машины от ее эк-

сплуатационной массы. Видно, что с увеличением дальности транспортирования эффективность применения УМП резко снижается. При одной дальности транспортирования наблюдаются области равной эффективности для различных значений эксплуатационной массы. Это объясняется тем, что для УМП параметр эксплуатационной массы является иррациональным (с увеличением значения эксплуатационной массы показатель оценки эффективности может увеличиваться или уменьшаться).

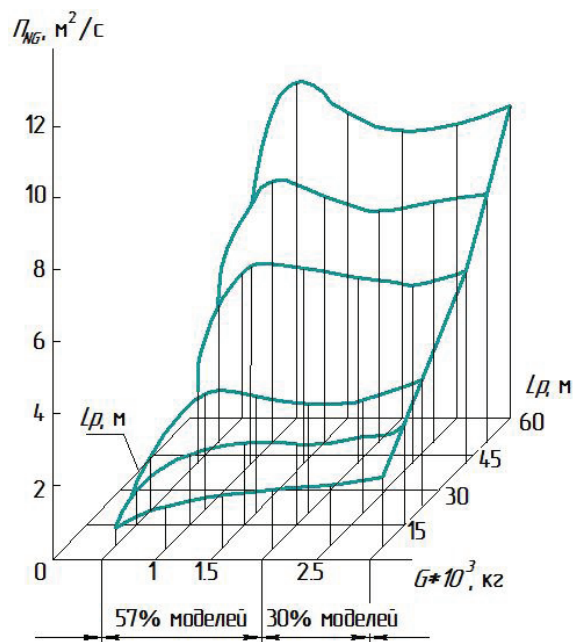


Рис. 3. Зависимость обобщенного показателя эффективности от эксплуатационной массы и дальности транспортировки грунта УМП (стрелками показано количество выпускаемых моделей УМП в процентном отношении к общему объему выпуска)

Разработанные математические модели позволяют на стадии проектирования принимать обоснованные значения основных эксплуатационных параметров УМП, а также определять область эффективной эксплуатации машин различного типа-размера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минин В.В. Некоторые аспекты моделирования и оптимизации параметров подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин // Транспортные средства Сибири: Межвуз. сб. науч. трудов. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – С. 402–405.
2. Минин В.В., Гришко Г.С., Байкалов В.А. Универсальный малогабаритный погрузчик с бортовым поворотом // Инновационное развитие регионов Сибири: Матер. Межрегион. научно-практ. конф. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – Ч. 2. – С. 322–325.

3. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог / под ред. В.И. Беловнева. – 2-е изд. перераб. и доп. – Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
4. Попов В.Г. Оценка эффективности подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. – Череповец: Изд-во ГОУ ВПО ЧГУ, 2005. – 283 с.

Поступила 21.10.2009 г.