

**В. И. Баловнев, д-р техн. наук, проф.**

ГОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МАДИ)  
Москва, Россия

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ ПО АНАЛИЗУ ЧЕТВЕРТОЙ КООРДИНАТЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАШИНЫ**

Рассмотрены вопросы определения оптимальных технических параметров землеройной техники на основе анализа теоретической модели четвертой координаты (времени) рабочего процесса методом минимизации продолжительности рабочего цикла машины.

Строительные организации, в ряде случаев, несут существенные потери, которые являются, прежде всего, следствием недостаточного внимания вопросам эффективного использования своих основных ресурсов – строительных машин. Потребитель на современном рынке строительной техники стремится приобрести не только хорошую машину. Возникает необходимость в приобретении машин с оптимальными параметрами, которые обеспечивают работу машины в соответствующих условиях эксплуатации с наибольшим эффектом. Кризисные тенденции, периодически проявляющиеся в развитии экономики, подчеркивают эту необходимость.

Наиболее доступным и менее затратным методом интенсификации строительной техники является определение оптимальных параметров и выбор высокоэффективных машин в зависимости от условий эксплуатации. Однако существующие методы определения оптимальных параметров и выбора землеройной техники не учитывают в полном объеме многообразие проявления эксплуатационно-технических факторов и требуют уточнения и развития.

Определение оптимальных параметров машин требует наличия объективных показателей оценки эффективности. Рекомендуется в качестве таких показателей использовать систему технико-экономических показателей.

Производительность машины (конструктивная, техническая, эксплуатационная), которая определяет количество единиц продукции, выработанной за единицу времени, определяется как

$$\Pi = \frac{q}{t_u}, \quad \Pi = \frac{q \cdot k_n \cdot k_u}{t_u \cdot K_p}, \quad \Pi = \frac{q \cdot k_1}{t_u}, \quad \text{ед. прод./ед. врем.}$$

$$\text{Удельная энергоёмкость } N_{y\partial} = \frac{N}{\Pi} \text{ или } N_{y\partial} = \frac{N \cdot t_u}{q}.$$

$$\text{Удельная материалоемкость } m_{y\partial} = \frac{m}{\Pi} \text{ или } m_{y\partial} = \frac{m \cdot t_u}{q}.$$

Обобщенный удельный показатель энергоёмкости и материалоемкости

$$P_{Nm} = \frac{Nm}{P^2} \quad \text{или} \quad P_{Nm} = \frac{N \cdot m \cdot t_u^2}{q^2}.$$

Себестоимость единицы продукции  $C_{y\partial}$  устанавливается по известной рыночной цене машино-часа и максимальной производительности

$$C_{y\partial} = \frac{C_{мч} \cdot t_u}{q}.$$

Выше приняты следующие обозначения:  $m$  – масса машины, кг;  $N$  – мощность двигателя, Вт;  $P$  – производительность конструктивная, м<sup>3</sup>/с;  $q$  – единица продукции, вместимость ковша и др. (м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, м, кг и др.);  $C_{мч}$  – цена работы машины в единицу времени (например, машино-часа), р./ч;  $C_{y\partial}$  – цена единицы продукции р./м<sup>3</sup>;  $k_1 = 3600 \cdot k_u k_n / K_p$ ;  $k_u$  – коэффициент использования машины по времени;  $k_n$  – коэффициент заполнения рабочего органа материалом, использования грузоподъемности и др.;  $K_p$  – коэффициент разрыхления материала;  $t_u$  – время рабочего цикла, с.

Время рабочего цикла  $t_u$  определяет величину других технико-эксплуатационных показателей. Последние являются функциями времени рабочего цикла машины  $t_u$ . Оптимальные значения этих показателей определяются в значительной степени оптимальным, наименьшим значениям показателя  $t_u$ . Величина  $t_u$  является четвертой координатой рабочего процесса машины. Формированию и анализу теоретической модели четвертой координаты процесса не уделялось должного внимания в системе расчетов землеройной техники. Эта величина определялась в основном экспериментальными измерениями.

В качестве обобщающего показателя эффективности машины следует использовать продолжительность рабочего цикла  $t_u$ . Такая обобщающая модель включает в себя систему моделей: сил сопротивлений; тяговых усилий, развиваемых двигателем; энергетических соотношений, обеспечивающих реализацию выполнения каждой операции и другие условия эксплуатации; и является обобщающим показателем технико-эксплуатационной эффективности работы машины в зависимости от условий эксплуатации.

Математическая модель времени рабочего цикла определяется суммой времени отдельных технологических операций машины. Аналитические зависимости для расчета времени рабочего цикла рассмотрены в работах [1, 2]. Для машины с последовательным выполнением операций время рабочего цикла  $t_u$ , определяется по формуле

$$t_u = \sum_1^n \frac{A_i}{N_i} \rightarrow \min,$$

где  $t_u$  – время рабочего цикла машины, с;  $t_i$  – время отдельной рабочей операции машины, с;  $n$  – количество операций, выполняемых машиной за рабочий цикл;  $A_i$  – работа сил сопротивлений при выполнении соответствующей операции, Нм;  $N_i$  – мощность, которая может быть реализована машиной на выполнение операции, Нм/с.

Математическая модель времени отдельных операций определяется отношением математических моделей работы сил сопротивлений при выполнении операции к математическим моделям мощности, которая может

быть реализована машиной на выполнение соответствующей операции.

Теоретическая модель продолжительности рабочего цикла землеройно-транспортной машины (бульдозера, рыхлителя, скрепера, автогрейдера, погрузчика) и других аналогичных технологических систем в упрощенной форме записи имеет вид:

$$t_u = \frac{A}{m} + \frac{mB}{N},$$

где  $A, B$  – размерные аналитическо-экспериментальные коэффициенты, зависящие от вида машины и условий эксплуатации [1, 2].

Здесь первое слагаемое определяет продолжительность рабочих операций (копания и перемещения грунта и др.); второе – продолжительность операции возвращения машины в забой или холостой ход.

Обобщение  $t_u$  на подобные объекты техники осуществляется использованием отношений подобия:

$N = k_2 \cdot m$ ;  $N = k_3 \cdot q$ ;  $q = k_{13} \cdot N$ ;  $q = k_{15} \cdot m$ ;  $F = k_{31} \cdot N$ ;  $C_{мч} = k_{32} \cdot q$ , где  $k_2$  (Вт/кг),  $k_3$  (Вт/м<sup>3</sup>),  $k_{13}$  (м<sup>3</sup>/Вт),  $k_{15}$  (м<sup>3</sup>/кг),  $k_{31}$  (м<sup>2</sup>/Вт),  $k_{32}$  (р./с·м<sup>3</sup>) – размерные коэффициенты подобия, величина которых следует из анализа критериев подобия системы «машина-среда» [2].

На основании рассмотренных положений формируются математические модели других основных показателей оценки эффективности техники.

Производительность  $\Pi = \frac{q}{\frac{A}{m} + \frac{mB}{N}}$ , м<sup>3</sup>/с.

Удельная энергоёмкость  $N_{y\partial} = \frac{1}{k_{13}} \left( \frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)$ , Вт·с/м<sup>3</sup>.

Удельная материалоемкость  $m_{y\partial} = \frac{1}{k_{15}} \left( \frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)$ , кг·с/м<sup>3</sup>.

Обобщенный удельный показатель энергоёмкости и материалоемкости

$$\Pi_{Nm} = \frac{k_3}{k_{15}} \left( \frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)^2, \text{ Вт·кг·с}^2/\text{м}^6.$$

Себестоимость единицы продукции  $C_{y\partial} = k_{32} \left( \frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)$ , р/м<sup>3</sup>.

Аналогично формируются и другие показатели, зависящие от продолжительности рабочего цикла  $t_u$ .

Анализ полученных зависимостей показывает, что имеют место оптимальные значения главного технического параметра  $m_{onm}$  машины. Оптимальные масса  $m$  и энергонасыщенность  $N/m$  в зависимости от условий эксплуатации могут быть установлены на основании анализа выражений  $dt_u/dm = 0$  и  $dt_u/d(N/m)$ . При оптимальном значении главных технических параметров  $m_{onm}$  и  $(N/m)_{onm}$  имеют оптимальные значения и другие показатели эффективности  $t_u, \Pi, N_{y\partial}, m_{y\partial}, \Pi_{Nm}, C_{y\partial}$ . Рассматриваемая методика на основании анализа теоретической модели четвертой координаты (времени) рабочего процесса машины методом минимизации продолжительности рабочего цикла позволяет определить главные оптимальные технические параметры машины в зависимости от условий эксплуатации.

Выбор оптимальной землеройной машины в зависимости от заданных условий эксплуатации по техническим параметрам  $m$  и  $N/m$ , которые находятся в технической характеристике машины, на основании минимизации продолжительности рабочего цикла является обоснованным и наиболее простым. Для требуемых условий работы машину из существующих следует выбирать по расчетным показателям  $m_{opt}$  и  $(N/m)_{opt}$ . Выбирают машину с параметрами  $m$  и  $N/m$ , ближайшими к оптимальным. При наличии нескольких машин с одинаковыми  $m$  из них следует выбирать машину с наибольшей величиной  $N/m$ . Машина с такими параметрами дает наибольшую производительность при наименьшей продолжительности рабочего цикла и имеет минимальный показатель энергоемкости и материалоемкости. При наличии нескольких машин с одинаковыми параметрами  $m$  и  $N/m$  расчет уточняется по стоимости единицы продукции  $C_{y\delta}$  (руб./м<sup>3</sup>).

#### Выводы

1. Анализ теоретической модели четвертой координаты (времени) рабочего процесса является важным этапом определения оптимальных технико-эксплуатационных параметров землеройной машины, работающей на традиционных принципах взаимодействия с грунтом. Продолжительность рабочего цикла  $t_y$  – важный показатель оценки эффективности работы машины.

2. Основные технико-эксплуатационные показатели оценки эффективности землеройных машин ( $t_y$ ,  $\Pi$ ,  $N_{y\delta}$ ,  $m_{y\delta}$ ,  $\Pi_{Nm}$ ,  $C_{y\delta}$ ) имеют оптимальные значения в зависимости от главного параметра, например массы  $m$ , и условий эксплуатации. Величина оптимального технического параметра зависит от вида показателя оценки эффективности машины.

3. Машина с техническими параметрами  $m_{opt}$ ,  $(N/m)_{opt}$ , установленными на основе анализа теоретической модели четвертой координаты процесса, имеет оптимальные значения показателей оценки эффективности.

Методика дополняет существующие методы расчета в части установления характера влияния на технические параметры машин факторов, определяющих условия эксплуатации. Методика позволяет установить оптимальное значение основных технических параметров машины (массу  $m_{opt}$ , энергонасыщенность  $N/m$ , мощность  $N$  и др.) в зависимости от условий эксплуатации.

На этапе проектирования установленные технические параметры  $m_{opt}$ ,  $N/m$ ,  $N$ ,  $\Pi$  являются исходной базой для традиционных (силовых, энергетических, прочностных, эргономических, экологических, технико-экономических и других) расчетов.

На этапе эксплуатации методика позволяет устанавливать рациональное значение основных технических параметров машин  $m$ ,  $N/m$ ,  $\Pi$  и других, по которым осуществляется выбор техники в зависимости от условий эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баловнев, В. И.** Многоцелевые дорожно-строительные машины: учеб. пособие / В. И. Баловнев. – Омск : Омский Дом печати, 2006. – 320 с.
2. **Баловнев, В. И.** Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб. пособие / В. И. Баловнев. – Омск : ЗАО «Полиграф», 2010. – 224 с.