

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. Рекомендуются 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, м³/с; q – единица продукции, вместимость ковша и др. (м³, м², м, кг и др.); $C_{мч}$ – цена работы машины в единицу времени (например, машино-часа), р./ч; $C_{y\partial}$ – цена единицы продукции р./м³; $k_1 = 3600 \cdot k_u k_n / K_p$; 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/м³), k_{13} (м³/Вт), k_{15} (м³/кг), k_{31} (м²/Вт), k_{32} (р./с·м³) – 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 $\Pi = \frac{q}{\frac{A}{m} + \frac{mB}{N}}$, м³/с.

Удельная энергоемкость $N_{y\partial} = \frac{1}{k_{13}} \left(\frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)$, Вт·с/м³.

Удельная материалоемкость $m_{y\partial} = \frac{1}{k_{15}} \left(\frac{A}{m} + \frac{mB}{N} \right)$, кг·с/м³.

Обобщенный удельный показатель энергоемкости 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/м³.

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./м³).

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 , Π , $N_{y\delta}$, $m_{y\delta}$, Π_{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 , Π 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 , Π 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.