

УДК 629.017

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
И ВЫБОРА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН  
МЕТОДАМИ АНАЛИЗА ЧЕТВЕРТОЙ КООРДИНАТЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА**

*В.И. Баловнев, Б.С. Советбеков*

Рассмотрен метод анализа четвертой координации рабочего процесса при оптимизации режимов эксплуатации и выборе транспортно-технологических машин.

*Ключевые слова:* технологические машины; технологические операции; дорожно-строительные; землеройные машины.

---

**OPTIMIZATION OF MODES OF OPERATION AND CHOICE  
OF TRANSPORT TECHNOLOGICAL MACHINES BY THE METHODS  
OF ANALYSIS OF THE FOURTH COORDINATE OF WORKING PROCESS**

*V.I. Balovnev, B.S. Sovetbekov*

The article deals with a method of the analysis of the fourth coordination of working process on the optimization of operation modes and the choice of transport-technological machines.

*Key words:* technological machines; technological operations; road-building; digging cars.

Строительное производство оснащается техникой различного назначения и типоразмера, машинами многоцелевого назначения и компьютеризированным манипуляторным оборудованием. Этим обеспечивается существенный рост производительности труда и качества строительства.

Эффективное использование техники – важный резерв интенсификации строительства. Разработка методики эффективного использования машин и оценки технического уровня дорожной и коммунальной техники в зависимости от условий эксплуатации, является одним из путей решения проблем получения высокой прибыли.

Определение оптимальных параметров техники и её выбор в зависимости от условий эксплуатации основывается на системе показателей, обеспечивающих объективную оценку получаемого решения и выбор оптимального результата.

Система показателей для оценки эффективности транспортно-технологических машин, связанных в единую структуру, была сформирована с учетом рассмотрения машины, состоящей из ряда основных подсистем. Система показателей

разработана на основе анализа интегрального показателя удельных эксплуатационных затрат, приведенных к часу работы машины (руб./ч), или себестоимости работ, измеряемой в руб./ед. продукции (руб./кг, руб./м<sup>3</sup> и т. п.) [1, 2].

*Наиболее доступным и менее затратным методом интенсификации строительной техники является обеспечение работы техники в условиях, в которых техника дает наибольший эффект.* Большое значение приобретает методика проектирования и выбора машин с оптимальными параметрами в зависимости от условий эксплуатации. Разработка методов обеспечения применения техники с оптимальными параметрами для заданных условий эксплуатации, в которых машина с определенными параметрами дает наибольший эффект, является существенным резервом интенсификации строительства.

Система показателей имеет ряд недостатков. Показатели не учитывают противоречивые требования ряда рабочих операций к техническим параметрам машин. Основные технологические операции машины – разработка материала, его пе-

ремещение, холостой ход и др. – рассматриваются отдельно. Не учитывается возможное взаимовлияние операций, которые в ряде случаев предъявляют к техническим параметрам машины противоречивые требования. Так процесс разработки грунтов транспортно-технологическими машинами требует больших тяговых усилий и, следовательно, большой массы. Процесс холостого хода, наоборот, – большей скорости и меньшей массы. Продолжительность рабочих операций дорожно-строительных, землеройных и многоцелевых машин определяется в основном экспериментально на базе испытания экспериментального образца.

Система показателей требует развития и дополнения. Разработка и анализ показателя четвертой координаты (продолжительности) рабочего процесса –  $t_{ц}$  позволяет избежать отмеченных недостатков.

На рынке строительной и транспортно-технологической техники потребитель стремится приобрести не только надежную машину, но и сопутствующие нематериальные услуги.

Потребителю техники необходимо знать в каких условиях эксплуатации машина с конкретными техническими параметрами обеспечивает работу с наибольшим эффектом, или ответить на обратный вопрос – какую машину необходимо выбрать из предлагаемых на рынке для решения конкретных производственных задач с наибольшим эффектом.

Четвертая координата (продолжительность) рабочего процесса: или всего рабочего цикла  $t_{ц}$  определяет величину других технико-эксплуатационных показателей и ряда коммерческих, рыночных показателей. На основании минимизации математической модели показателя  $t_{ц}$  на этапе формирования задания на проектирование могут быть установлены в зависимости от условий эксплуатации оптимальные основные исходные технические параметры машины: масса  $m_{омм}$ , мощность  $N_{омм}$ , грузоподъемность  $G_{омм}$ , вместимость ковша  $q_{омм}$ ,  $t_{ц\ min}$ ,  $\Pi_{max}$ , цена единицы продукции  $C_{уд\ min}$  и др. Эти показатели являются функциями времени продолжительности технологического цикла машины  $t_{ц}$ .

**Четвертая координата в виде математической модели** показателя эффективности предложена в 1985 г. в работах [1, 2].

Математическая модель показателя  $t_{ц}$  представляет зависимость, которая включает в себя систему математических моделей, определяющих тягово-энергетический режим работы машины в зависимости от условий эксплуатации: сил сопротивлений, тяговых усилий, развиваемых двигателем, энергетических соотношений, обеспечива-

ющих реализацию выполнения каждой операции, условия эксплуатации. Такой показатель является обобщающим показателем эффективности работы машины. Рациональное решение определяется минимизацией функции продолжительности времени рабочего процесса машины или группы машин для получения конечного полезного продукта.

**Четвертая координата** – продолжительность рабочего цикла (операции) используется при расчете производительности машины. Однако существующая методика рекомендует время рабочего цикла определять экспериментально на основе известных параметров существующих машин в заданных условиях эксплуатации, главным образом, на этапе оценки готовой машины.

Предлагаемая методика заключается в использовании при расчетах *математических моделей четвертой координаты*. На этапе расчетов оптимальных параметров *величина четвертой координаты (продолжительности) рабочего цикла формируется в виде математических моделей*. Четвертая координата устанавливается для отдельной операции или для нескольких операций, выполняемых в определенной последовательности, определяемой режимом работы машины или для процессов, выполняемых в режиме совмещения операций.

Машины с последовательным выполнением операций, цикличные машины (рыхлители, землеройно-транспортные, экскаваторы с дополнительным оборудованием бульдозеры или погрузчики и др.) характеризуются временем рабочего цикла  $t_{ц}$ , определяемого по формуле:

$$t_{ц} = \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow \min, c,$$

где  $t_i$  – время рабочей операции машины,  $c$ ;  $n$  – количество операций, выполняемых машиной.

Продолжительность работы машин, работающих параллельно, определяется по продолжительности времени наиболее продолжительного цикла машины. Время группы комплекта машин (ГКМ) определяется аналогично.

Рабочие органы с совмещением рабочих операций – условие совмещения операций определяется равенством продолжительностей совмещаемых операций:

$$t_i = t_j.$$

**Четвертая координата процесса или продолжительность рабочего цикла, операции** представляется в виде математической зависимости от технико-эксплуатационных параметров процесса на основании законов механики, связывающих

работу действующих сил, время и мощность. Математические модели четвертой координаты (продолжительности) рабочих операций, цикла определяются на основании отношения *математических моделей работы сил сопротивлений* при выполнении операции к *математическим моделям мощности*, которая может быть реализована машиной на выполнение соответствующей операции.

$$t_{и} = \sum_1^n t_i \rightarrow \min, \text{с, или}$$

$$t_{и} = \sum_1^n \frac{A_i}{N_i} \rightarrow \min, \text{с,}$$

где  $t_{и}$  – время рабочего цикла машины, с;  $t_i$  – время отдельной рабочей операции машины, с;  $n$  – количество операций, выполняемых машиной за рабочий цикл;  $A_i$  – математическая модель работы сил сопротивлений при выполнении соответствующей операции

$$A_i = W_i \times l_p, \text{Н} \times \text{м,}$$

где  $W_i$  – математическая модель сил сопротивления, преодолеваемых машиной в процессе выполнения технологической операции, Н;

$l_p$  – путь перемещения машины или рабочего органа при выполнении операции, м;

$N_i$  – математическая модель мощности, которая может быть реализована машиной для выполнения соответствующей операции,

$$N_i = P_i \times v_p, \text{Н} \times \text{м/с,}$$

где  $P_i$  – математическая модель максимальной активной силы, развиваемой машиной на рабочем органе, которая может быть реализована для преодоления сил сопротивления, Н;

$v_p$  – скорость операции, определяемая технологическими ограничениями, м/с.

Функция является непрерывной. Все величины ( $N$ ,  $P$  и  $l$ ), кроме определяемой, рассматриваются в качестве независимых аргументов. Корреляционные связи при решении поставленной задачи затрудняют получение искомым параметров, они отражают следствие и затрудняют установление причины явления.

Для определения оптимальных параметров машин в зависимости от условий эксплуатации на основе анализа математической модели *четвертой координаты (продолжительности) рабочего цикла машины* предложен метод анализа, минимизации математических моделей продолжительности рабочего цикла (операции). Любая технологическая машина может быть представлена в качестве циклической или с совмещенными рабочими операциями [1, 2].

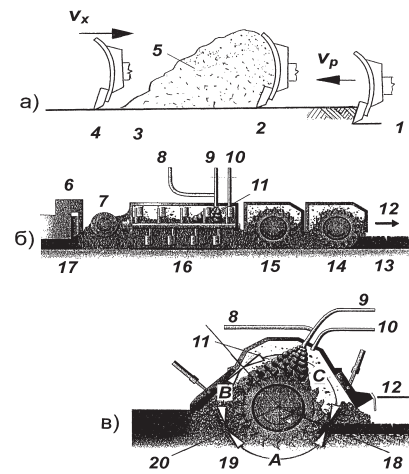


Рисунок 1 – Структурные схемы

выполнения рабочих операций во времени:

а – машины и рабочие органы с последовательным, свободным выполнением рабочих операций; б – машины и многоцелевые рабочие органы с жесткой схемой последовательным выполнением рабочих операций; в – многоцелевые, роторные рабочие органы с жесткой схемой последовательным выполнением рабочих операций: 1 – опускание отвала, резание грунта; 2 – перемещение грунта отвалом; 3 – подъем отвала; 4 – холостой ход, откат бульдозера; 5 – призма волочения; 6 – уплотнительный рабочий орган; 7 – распределительный шнек; 8 – вода; 9 – горячий битум; 10 – цементно-водная эмульсия; 11 – вспененный битум; 12 – направление работы; 13 – поврежденный старый слой; 14 – раздвижной фрезерный барабан; 15 – нераздвижной фрезерный барабан; 16 – двухвальный смеситель принудительного действия; 17 – уложенный новый слой; 18 – поврежденный асфальтобетонный слой и неукрепленный слой основания; 19 – фрезерно-смесительный ротор; 20 – новая смесь; А – рыхление материала, В – дополнительное перемешивание материала, С – перемешивание материала с вяжущим веществом

Процесс формирования и анализ математической модели четвертой координаты включает ряд этапов.

1. Определяется концепция и место машины в технологическом процессе, последовательность выполнения операций, возможность их совмещения и вероятность появления. Устанавливается структурная модель процесса.
2. Определяются математические модели, определяющие продолжительность каждой отдельной операции.
3. Устанавливаются модели, определяющие связи подобия между параметрами машины.

4. Определяется общая математическая модель продолжительности всего рабочего цикла машины.
5. Устанавливаются оптимальные технические параметры машины методом минимизации четвертой координаты.

Структурная модель рабочего процесса транспортно-технологической машины и рабочие органы машин с различными видами структурных схем выполнения рабочих операций приведены на рисунке 1. Вид и последовательность выполнения операций определяются технологией строительных работ, конструкцией машины и рабочего органа. Продолжительность дополнительных операций – опускание рабочего органа (ковша, отвала)  $t_0$ , заглубление рабочего органа в материал  $t_3$ , подъем рабочего органа с материалом  $t_{пд}$ , подъем пустого рабочего органа  $t_{пд,х}$ , выгрузка материала  $t_в$ , позиционирование  $t_п$  определяются аналитически.

Обобщенные математические модели четвертой координаты (продолжительности) рабочего цикла машин получают путем подстановки соотношений подобия  $N = k_2 \times m$ ,  $q = k_{13} \times N$  и др. в математическую модель продолжительности рабочего цикла машины.

Математические модели четвертой координаты рабочего цикла  $t_ц$ , являются основой для

определения технико-эксплуатационных параметров конкретного вида техники в зависимости от условий эксплуатации, например, на основании  $dt_ц/dm = 0$  получают оптимальную массу соответствующей машины, и другие технико-эксплуатационные параметры [1–3].

Метод минимизации четвертой координаты позволяет оценить концепции инновационных технических систем, определить оптимальные параметры и решить задачи по выбору традиционной техники в зависимости от условий эксплуатации.

#### Литература

1. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные машины: учеб. пособие / В.И. Баловнев. Омск: Омский дом печати, 2006. 320 с.
2. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 1; Кн. 2: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 401 с.
3. Balovnev V.I. Methods of Scale Modeling of Operating Processes of Highway Construction Machines. Published for the United States Department of Agriculture and the National Science Foundation, Washington, D.C., 1985. 229 p.