

УДК 338.312

DOI 10.52928/2070-1632-2021-56-5-38-43

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАШИН
КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ***д-р экон. наук, проф. Н.А. ДУБРОВСКИЙ, Е.С. ВЕРЕТЕННИКОВА, О.А. КАМЕКО**(Полоцкий государственный университет)**N. Dubrovsky ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6975-12222>;**E. Veretennikova ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2358-2210>;**O. Kameko ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8536-6049>*

Рассмотрена система определения различных производительностей машин. Разработан метод расчета производительности группы машин с учетом надежности работы машин в любой период времени. Предложена методика определения эксплуатационной производительности машин, позволяющая оценить эффективность применения машин и процессов планирования, организации и управления.

Ключевые слова: *производительность машин, эксплуатационная производительность, производительность группы машин, продолжительность рабочего времени машин.*

Введение. Одним из основных показателей, характеризующих рабочие машины, является их производительность. Авторы [1–3] считают, что единицей времени, применительно к которой определяется производительность, может служить час, смена, сутки, месяц, год. Отмечено также, что прямой пропорциональной зависимости между временем и производительностью нет. Связано это с наличием различных перерывов в работе машин. Отсутствие прямой пропорциональной зависимости между временем, в течение которого машина используется, и выполненным объемом работ, находит соответствующее отражение при классификации видов и норм производительности машин. Авторами различных исследований [2–4] отмечено, что производительность машин зависит от их конструктивных особенностей, характера производимого продукта, квалификации и мастерства рабочих, характера организации смежных процессов, режима работы машины и др.

В работах [1–3] выделено три понятия производительности машин: теоретическая, техническая и эксплуатационная. Все три производительности могут быть получены расчетным путем.

Теоретическая производительность – это производительность машин за один час непрерывной работы при условном материале и расчетных скоростях движения рабочих органов и является максимально возможной в расчетных условиях. Теоретическая производительность служит исходной базой для определения технической и эксплуатационной производительности.

Техническая производительность дает возможность судить о существующих резервах использования отдельных видов машин. Она позволяет совместно с другими показателями дать общую оценку конструктивно-эксплуатационным качествам новой машины. Однако для оценки эффективности машин и процессов, планирования, организации и управления требуется определять эксплуатационную производительность.

Эксплуатационная производительность машины определяется ее конструкцией, принятой технологией и организацией выполнения механизированных работ, характером смежных процессов и строительства в целом. В зависимости от учитываемых факторов выделены следующие разновидности эксплуатационной производительности:

– эксплуатационная часовая производительность, которая учитывает регламентируемые перерывы (нормируемые затраты);

– эксплуатационная среднечасовая производительность, которая рассчитывается на один час смены, т.е. с учетом в составе этого времени неустранимых или трудно устранимых потерь по организационным и метеорологическим причинам (ненормируемые затраты);

– эксплуатационная среднечасовая производительность машин при рыхлении грунта на объекте. Эта производительность определяется с учетом всех потерь времени, имеющих место в работе машин на объекте, т.е. внутрисменных и целосменных;

– эксплуатационная годовая производительность рассчитывается на год работы с учетом как внутрисменных, так и целосменных перерывов;

– эксплуатационная часовая производительность группы машин.

Основная часть. Эксплуатационная часовая производительность определяется по формуле:

$$P_{мч} = \frac{V_o}{T_{пол}}, \quad (1)$$

где V_o – проектный объем подготовленного к выемке мерзлого грунта при разработке объекта, м³;
 $T_{пол}$ – полезное рабочее время машины при рыхлении грунта, ч.

Значение V_0 определяется как произведение длины объекта L_0 , его ширины B_0 и высоты H_0 , т.е.

$$V_0 = L_0 \cdot B_0 \cdot H_0. \quad (2)$$

Полезное рабочее время

$$T_{пол} = T_{мо} \cdot K_{пер1}, \quad (3)$$

где $T_{мо}$ – время оперативной работы машины на объекте, ч;

$K_{пер1}$ – коэффициент перехода от времени чистой работы машины внутри смены к полезному рабочему времени.

Метод определения времени оперативной работы машины на рыхлении зависит от особенностей производства работ. Так, если объект разрабатывается без деления его на участки и в один слой ($n_y = 1$, $n_p = 1$), захватки расположены вдоль и требуется устройство въездов, то

$$T_{мо} = \left(\frac{B_0 - B_{ср}}{l_{пр}} + 1 \right) \cdot \left[\frac{(L_0 + 2H_0 \cdot \text{ctg } \alpha) \cdot n_{нс}^{пр}}{v_{ср}} + n_{нс}^{пр} \cdot n_{зл} \cdot \left(\frac{L_{он}}{v_{он}} + \frac{L_{под}}{v_{под}} + \frac{L_{пер}}{v_{пер}} \right) \right], \quad (4)$$

где $B_{ср}$ – ширина следа рыхления, образуемого в грунте рабочим органом машины, м;

$l_{пр}$ – расстояние между центрами соседних продольных следов рыхления, м;

α – угол въезда в град;

$n_{нс}^{пр}$ – число проходов, делаемых по одному продольному следу рыхления;

$n_{зл}$ – количество захваток, на которое делится объект по длине;

$L_{ом}$ – опускание или подъем рабочего органа машины при переезде с одной позиции на другую, м;

$v_{он}$ и $v_{под}$ – скорость опускания и подъема рабочего органа машины, м/ч;

$L_{пер}$ и $v_{пер}$ – расстояние и скорость переезда машины с одного прохода на другой, м и м/ч.

Значение $K_{пер1}$ зависит от проектных величин времени регламентированных перерывов в работе машин $T_{пр}$, в процентах нормы времени и проектной величины времени нециклической работы машины $T_{рн}$, процент нормы времени:

$$K_{пер1} = \frac{100}{100 - (T_{пр} + T_{рн})}. \quad (5)$$

Ко времени регламентированных перерывов в работе машин относятся:

- затраты времени, связанные с техническим уходом за машиной;
- время перерывов в работе машин, связанных с процессом работы;
- время перерывов в работе машин в периоды отдыха рабочих, участвующих в механизированном процессе.

При выполнении циклических строительно-монтажных процессов отдельные операции имеют нециклический характер. Например, при рыхлении мерзлого грунта имеют место переезды машин с одного участка на другой. Затраты времени на такие операции определяют с помощью нормативных наблюдений или расчетов. Определение затрат времени на перерывы в работе машин в связи с техническим уходом производят на основе инструкций по эксплуатации машин или на основе опыта их эксплуатации. Так, по данным Л.И. Бланка [5], нормируемые затраты рабочего времени для машин с двигателями внутреннего сгорания равны 5% в холодное время и до 3% – в остальное время.

Проектная величина перерывов, связанных с отдыхом рабочих, определяется на основе нормативов. Для машинистов, управляющих нестационарными машинами, экскаваторами, бульдозерами и т.п., она составляет 10%.

Эксплуатационная среднечасовая производительность

$$П_{мсч} = \frac{V_0}{T_p}, \quad (6)$$

где T_p – продолжительность рыхления мерзлого грунта, в часах смены.

$$T_p = T_{mo} \cdot K_{nep1} \cdot K_{nep2}, \quad (7)$$

где K_{nep2} – коэффициент перехода от полезного рабочего времени к времени смены.

Этот коэффициент учитывает влияние на производительность машинных простоев по организационным, метеорологическим и прочим случайным причинам.

Коэффициент K_{nep2} определяют по формуле

$$K_{nep2} = \frac{T_{cm}}{t_{пол}}, \quad (8)$$

где $t_{пол}, T_{cm}$ – соответственно полезное рабочее время внутри смены и общая продолжительность смены.

Различными исследованиями установлено, что продолжительность нерегламентированных перерывов в работе машин значительна. Так, по данным П.И. Моисеева [6], внутрисменные простои машин в строительстве составили 16–20%.

Эксплуатационная производительность машин при рыхлении грунта на объекте

$$P_{мсчo} = \frac{V_o}{T_o}, \quad (9)$$

где T_o – время нахождения машины на объекте, ч.

Время нахождения машины на объекте определяется по формуле применительно к конкретному объекту. В общем виде

$$T_o = T_p + D_v + D_m + D_n, \quad (10)$$

где D_v, D_m и D_n – соответственно выходные и праздничные дни, перерывы, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, непредвиденные перерывы в работе машин.

Продолжительность рабочего времени машины на объекте в днях

$$T_p = \frac{T_{mo} \cdot K_{nep1} \cdot K_{nep2}}{K_{cm} \cdot T_{cm}}, \quad (11)$$

где K_{cm} – коэффициент сменности.

Количество выходных и праздничных дней определяется по календарю с учетом конкретной привязки работы машины к объекту. Перерывы, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, определяются на основе данных управлений Гидрометеослужбы. Продолжительность перерывов по непредвиденным причинам и содержания резерва машин не должна превышать 3% календарного времени за вычетом выходных и праздничных дней.

При разработке мерзлых грунтов объем рыхления зависит от глубины промерзания. Исходя из этого разработка грунта на одинаковых по размеру объектах, осуществляемая в разные периоды зимы, будет продолжаться различное время. Связано это как с различной производительностью машин на рыхлении, так и с различными потерями времени, имеющими место в их работе.

Годовая производительность

$$P_{год} = \sum_{i_{г1}}^{n_o} P_{мсчo i} \cdot T_{o i}, \quad (12)$$

где n_o – количество объектов, на которых машина работает в течение года.

Количество объектов принимается таким, что

$$\sum T_{o i} \leq T_{годмг}, \quad (13)$$

где $T_{годмг}$ – количество часов в году, в течение которых осуществляется разработка мерзлых грунтов.

При разработке мерзлого грунта на объекте в зависимости от его размеров, сроков выполнения работ, производительности машин и т.п., одновременно могут использовать несколько машин. В данном случае требуется определять производительность группы машин Π_{zm} .

Количество машин, осуществляющих рыхление в любой момент времени, представляет собой случайную дискретную величину, поэтому и Π_{zm} является также величиной случайной. Для определения Π_{zm} необходимо знать ее значения за различные периоды времени и соответствующие им вероятности. Поскольку работа любой машины при рыхлении независима от других машин, вероятности отказов каждой машины практически равны между собой. В таких условиях для определения закона распределения и математического ожидания Π_{zm} применяют формулу Бернулли [7]. При определении $M(\Pi_{zm})$ необходимо учитывать то, что режим работ может быть одинаковым для всех машин или каждая из них работает по своему графику.

Если режим работы машин одинаковый, то $M(\Pi_{zm})$ определяется следующим образом. Исходя из анализа работы машин на объектах определяется вероятность их надежной работы «р» и вероятность того, что они простаивают:

$$q = 1 - p. \tag{14}$$

Исходя из производственных условий определяют количество машин n_m , которые будут осуществлять рыхление грунта. Определяют значения, которые может принимать количество одновременно работающих машин (дискретная случайная величина). Например, если грунт рыхлится двумя машинами, т.е. $n_m = 2$, то количество работающих машин m_p принимает значения 2, 1 и 0, т.е. работает две машины, одна и ни одной. После определения m_p рассчитывается производительность каждой выделенной группы машин:

$$\Pi_{pmp} = \Pi_{mob} \cdot m_p. \tag{15}$$

Рассчитывается вероятность работы каждой выделенной группы машин:

$$P_{mpnm} = \frac{n_m!}{m_p!(n_m - m_p)!} \cdot p^{m_p} \cdot q^{n_m - m_p}.$$

Определяется математическое ожидание производительности группы машин:

$$M(\Pi_{zm}) = \sum_{m_p=0}^{n_m} \Pi_{pmp} \cdot P_{mpnm}. \tag{16}$$

Если время работы машин при рыхлении грунта различно, то составляется график режима их использования. На основе полученного графика определяется количество периодов времени (Π_{op}), в течение каждого из которых производительность рыхления грунта Π_{pa} постоянна. Устанавливается количество машин n_{ma} , которые работают в a -м периоде времени. Определяются значения m_{pa} , которые может принимать число работающих в a -м периоде времени машин. Рассчитываются производительности выделенных в каждом a -м периоде времени групп машин:

$$P_{mpnm} = \frac{n_m!}{m_p!(n_m - m_p)!} \cdot p^{m_p} \cdot q^{n_m - m_p}. \tag{17}$$

Определяется математическое ожидание производительности группы машин для рыхления мерзлого грунта:

$$M(\Pi_{zm}) = \sum_{m_p=0}^{n_m} \Pi_{pmp} \cdot P_{mpnm}; \tag{18}$$

$$\Pi_{pmpa} = \Pi_{mob} \cdot m_{pa}. \tag{19}$$

Определяется вероятность надежной работы каждой выделенной в a -м периоде времени группы машин:

$$P_{трапма} = \frac{n_{ма}}{m_{ра}!(n_{ма} - m_{ра})!} \cdot p^{m_{ра}} \cdot q^{n_{ма} - m_{ра}}. \quad (20)$$

Рассчитывается математическое ожидание производительности группы машин в a -м периоде времени:

$$M(\Pi_{ра}) = \sum_{a=1}^{n_{огр}} \Pi_{трапма} \cdot P_{трапма}. \quad (21)$$

Рассчитывается равенство:

$$\sum T_a M(\Pi_{ра}) = V_0, \quad (22)$$

где T_a – продолжительность a -го периода времени, ч.
Находится время работы группы машин на объекте:

$$T_{зм} = \sum_{a=1}^{n_{огр}} T_a. \quad (23)$$

Рассчитывается производительность группы машин:

$$\Pi_{зм} = \frac{V_0}{T_{зм}}. \quad (24)$$

Заключение. Таким образом, предложенный метод позволяет определять производительность группы машин с учетом надежности их работы в любой период времени. Значение $\Pi_{зм}$ позволит осуществлять оперативное управление группами машин, правильно учитывать их работу, динамику производства, планировать взаимоувязанную работу различных машин на объекте.

Разработанная методика определения эксплуатационной производительности машин позволяет оценивать эффективность применения машин и процессов, планирования, организации и управления, что позволит повысить эффективность механизированных процессов при производстве продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домбровский, Н.Г. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов / Н.Г. Домбровский. – М. : Стройиздат, 1961. – 318 с.
2. Казаринов, В.М. Основные направления научных исследований в области механизма строительства / В.М. Казаринов // Механизация строительства. – 1972. – № 9. – С. 8–10.
3. Ланцов, В.Д. Прогнозирование эффективности механизации / В.Д. Ланцов. – Л. : Стройиздат, 1973. – 160 с.
4. Епифанов, С.П. Методика выбора эффективных способов комплексной механизации строительных работ / С.П. Епифанов. – М. : Стройиздат, 1957. – 176 с.
5. Бланк, Л.И. Методические рекомендации по планированию показателей использования машин и численности рабочих в управлениях и трестах механизации / Л.И. Бланк. – М. : Стройиздат, 1980. – 59 с.
6. Моисеев, П.И. Задачи технического прогресса в строительстве / П.И. Моисеев // Механизация строительства. – 1983. – № 12. – С. 2–4.
7. Усубаматов, Р.Н. О математических моделях производительности технологических машин / Р.Н. Усубаматов, Т.Э. Сартов, А.И. Оморова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2018. – № 2(46). – С. 120–127.

REFERENCES

1. Dombrovskii, N.G. (1961). *Povyshenie proizvoditel'nosti odnokovshovykh ekskavatorov [Improving the productivity of single-bucket excavators]*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
2. Kazarinov, V.M. (1972). *Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy v oblasti mekhanizma stroitel'stva. Mekhanizatsiya stroitel'stva*, (9), 8-10. (In Russ.).

3. Lantsov, V.D (1973). *Prognozirovanie effektivnosti mekhanizatsii [The prediction of the efficiency of mechanization.]*. Leningrad : Stroiizdat. (In Russ.).
4. Epifanov, S.P. (1957). *Metodika vybora effektivnykh sposobov kompleksnoi mekhanizatsii stroitel'nykh rabot [Methodology for selecting effective methods of complex mechanization of construction works.]*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
5. Blank, L.I. (1980). *Metodicheskie rekomendatsii po planirovaniyu pokazatelei ispol'zovaniya mashin i chislennosti rabochikh v upravleniyakh i trestakh mekhanizatsii [Methodological recommendations for planning indicators of the use of machines and the number of workers in the departments and trusts of mechanization]*. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
6. Moiseev, P.I. (1983). Zadachi tekhnicheskogo progressa v stroitel'stve. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, (12), 2–4. (In Russ.).
7. Usubamatov, R.N. (2018). O matematicheskikh modelyakh proizvoditel'nosti tekhnologicheskikh mashin. *Izvestiya Kyr-gyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*, (2), 120–127. (In Russ.).

Поступила 11.03.2021

MACHINE OPERATING PRODUCTIVITY AS AN INDICATOR OF THE EFFICIENCY OF ITS APPLICATION

N. DUBROVSKY, E. VERETENNIKOVA, O. KAMEKO

The article considers the system identify the different productivities of the machines. A method has been developed for determining the productivity of a group of machines, taking into account the reliability of the machines at any time. A method is proposed for determining the operational productivity of machines, which allows assessing the effectiveness of the use of machines and processes of planning, organization and management.

Keywords: *productivity of machines, operational productivity, productivity of a group of machines, working time of machines.*