

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ПАРКА ЩЕБНЕРАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ И ПОЛИВОМОЕЧНЫХ МАШИН

Журавлев А.Г.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

Ключевые слова: методика расчета количества щебне­разбрасывателей (поливомоечных машин), технологические автодороги, обеспыливание, противогололедная обработка.

Аннотация. При обслуживании карьерных технологических автодорог большегрузного транспорта требуется большой объем работ по противопылевой обработке летом и противогололедной – зимой. Известные методики расчета требуемого количества щебне­разбрасывателей (ЩР) и поливомоечных машин (ПМ) основаны на пропорциональности парка протяженности автодорог или усредненной производительности. Более точный расчет возможен на основе имитационного моделирования, однако такой подход трудоемкий и неудобен для практических расчетов. Поэтому разработана методика расчета производительности поливомоечных машин и щебне­разбрасывателей, обеспечивающая точность с доверительной вероятностью не ниже 95% (что сопоставимо с помаршрутным способом расчетом или на основе моделирования, и на 20-50% выше расчета по средним величинам), но при этом характеризуемая простотой (в отличие от помаршрутного расчета и моделирования). Установлены зависимости производительности ЩР и ПМ от их типоразмера и протяженности обрабатываемых автодорог, а также их требуемого рабочего парка от тех же факторов. Разработанная методика может применяться для расчета требуемого парка щебне­разбрасывателей и поливомоечных машин, а также машин аналогичного действия в практике проектирования системы обслуживания технологических автодорог. Предложен алгоритм оптимизации рабочего парка ЩР (ПМ) благодаря возможности распределения машин при последовательной обработке участков дорог согласно их приоритетности.

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE PRODUCTIVITY AND FLEET OF GRAVEL SPREADERS AND WATER WASHING MACHINES

Zhuravlev A.G.

Institute of Mining of Ural branch of Russian academy of sciences, Ekaterinburg

Keywords: methodology for calculating the number of gravel spreaders (washing machines), technological highways, dedusting, deicing treatment.

Abstract. When servicing quarry technological highways of heavy-duty transport, a large amount of work is required on anti-dust treatment in summer and deicing in winter. Well-known methods for calculating the required number of gravel spreaders (GS) and irrigation washing machines (WM) are based on the proportionality of the park length of highways or average productivity. A more accurate calculation is possible on the basis of simulation modeling, but this approach is time-consuming and inconvenient for practical calculations. Therefore, a method has been developed for calculating the productivity of irrigation machines and gravel spreaders, which provides accuracy with a confidence probability of at least 95% (which is comparable to the route-by-route calculation or based on modeling, and 20-50% higher than the calculation of average values), but at the same time characterized by simplicity (unlike route-by-route calculation and modeling). The dependences of the productivity of the SR and PM on their standard size and the length of the treated roads, as well as their required working park on the same factors are established. The developed methodology can be used to calculate the required fleet of gravel spreaders and washing machines, as well as machines of a similar action in the practice of designing a maintenance system for technological highways. An algorithm for optimizing the working park of the GS (WM) is proposed due to the possibility of distributing machines during sequential processing of road sections according to their priority.

Введение

Состояние карьерных автодорог существенно влияет на производительность карьерного автотранспорта [1], поэтому важным аспектом является их обеспыливание и борьба с гололедом [2-7]. В научно-технической, методической литературе и нормативных документах [8-10] отсутствует подробная прикладная методика расчета требуемого количества щебне­разбрасывателей (ЩР) и поливо-оросительных машин (ПМ) для облуживания

технологических автодорог большегрузного автотранспорта горнодобывающих предприятий. Технология работы ЩР и ПМ заключается в повторении основных действий: доставке материала к обрабатываемому участку дороги и его нанесению на поверхность дороги. В большинстве литературных источников количество ЩР (ПМ) дается как норма на протяженность дорог.

Сложность такого расчета заключается в переменном расстоянии доставки щебня или оросительного состава до каждого участка автодороги. Соответствующим образом меняется продолжительность выполнения операций, а соответственно, расчет производительности машин требует сложного суммирования, что на практике представляет трудоемкую задачу, при этом ввиду значительного объема графо-аналитических расчетов высока вероятность ошибок. Возможно решение такой задачи имитационным компьютерным моделированием [11], однако разработка такого ПО также является трудоемкой.

В связи с этим требуется разработка методики расчета производительности и потребного парка ЩР и ПМ. Поскольку алгоритм их работы практически идентичен методика может быть выполнена единой с некоторыми отступлениями в соответствии с особенностями каждого типа машин.

Теоретическая проработка

Структура рабочего цикла ЩР (ПМ): загрузка машины на складе; доставка до обрабатываемого участка; обработка участка; возвращение к месту загрузки.

Расчетная схема представлена на рисунке 1.

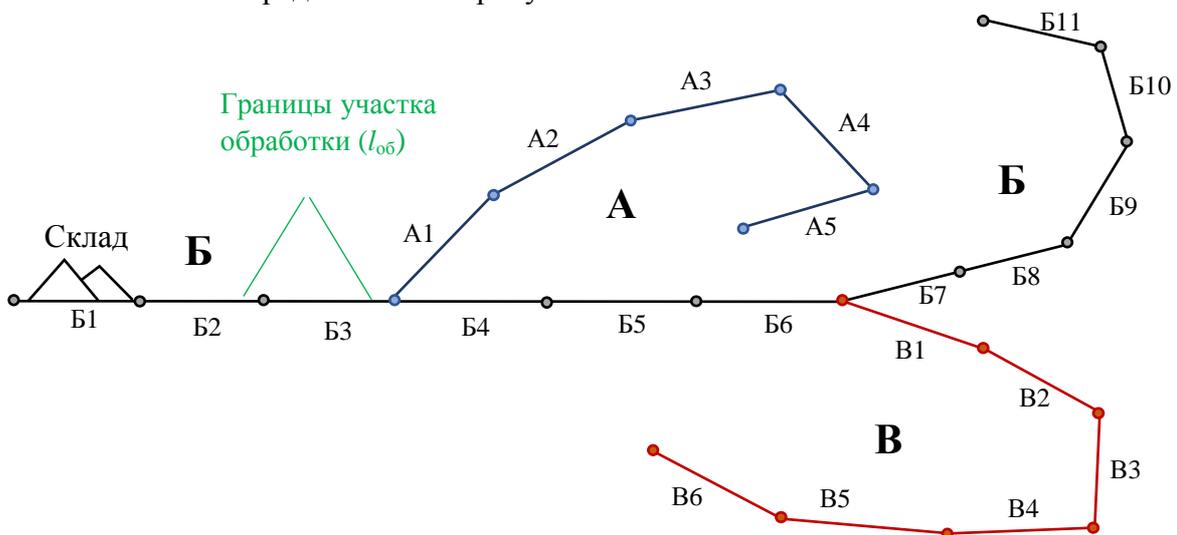


Рис. 1. Схема к расчету производительности щебнеразбрасывателей и поливо-моечных машин

Производительность ЩР (ПМ) определим следующим образом

$$P_{\text{ЩР(ПМ)}} = \frac{S_{\text{обработки}}}{T_{\Sigma}} = \frac{1000L_{\text{д}} \cdot B_{\text{д}} \cdot k_{\text{шид}}}{T_{\Sigma}}, \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (1)$$

где $S_{\text{обработки}}$ – площадь обрабатываемых автодорог, м^2 ; T_{Σ} – общее время обработки сети автодорог, ч; $L_{\text{д}}$ – протяженность сети автодорог, км; $B_{\text{д}}$ – ширина обрабатываемых автодорог, м; $k_{\text{шид}}$ – коэффициент использования ширины автодорог (в зависимости от сезона, особенностей конструкции автодорог, их типа в соответствии с установленной на предприятии схемой движения).

Будем считать, что ширина $B_{\text{д}}$ всех рассматриваемых автодорог в сети одинакова или различается незначительно и может быть принята в расчетах одинаковой.

$$T_{\Sigma} = \frac{t_{\text{загр}}}{60} + T_{A1} + T_{A2} + \dots + T_{B1} + T_{B2} + \dots + T_{B1} + \dots + \frac{t_{\text{ман}}}{60}, \text{ ч}, \quad (2)$$

где $t_{\text{загр}}$ – время пребывания на пункте загрузке (в т.ч. ожидание загрузки, маневры, загрузка, выезд со склада/заправки), мин; T_{A1} , T_{B1} и т.д. – продолжительность движения к участку, его

обработки и возвращения к месту загрузки/заправки, ч; $t_{ман}$ – продолжительность маневров на обрабатываемом участке, в т.ч. разворот, мин.

Значения $t_{загр}$ и $t_{ман}$ достаточно просто определяются опытным путем. Продолжительность движения к участку, его обработки и возвращения к складу может быть определена расчетно двухуровневым суммированием: по участкам дороги и по отдельным дорогам в сети с учетом количества проходов следующим образом

$$T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{N_{\Delta}} \left[\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} \left(\frac{(i-1) \cdot l_{об}}{v_{mz(i)}} + \frac{l_{об}}{v_{p(i)}} + \frac{i \cdot l_{об}}{v_{mn(i)}} \right) \cdot \frac{B_{\Delta} \cdot k_{шд}}{b_{ЩР(ПМ)}} \right] + \sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60}, \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (3)$$

где $v_{p(i)}$ – скорость рабочего движения ЩР (ПМ) на обрабатываемом участке, км/ч; $v_{тп(i)}$, $v_{тп(i)}$ – скорость движения соответственно груженого и порожнего ЩР (ПМ) в транспортном режиме, км/ч; j – количество автодорог в составе сети; i – количество участков в пределах дороги; $l_{об}$ – протяженность участка обработки, м; N_{Δ} , $N_{уч(j)}$ – количество автодорог в сети и участков в каждой j -й автодороге; $b_{ЩР(ПМ)}$ – ширина обработки дроги за один проход ЩР (ПМ), м.

Если заменить мгновенные скорости на участках усредненными скоростями \bar{v}_{mz} , \bar{v}_p и \bar{v}_{mn} (их значения можно определить статистически по данным автоматизированного учета, например в Wenko), то они будут неизменны для всех участков и могут быть вынесены за скобки сумм. Тогда с учетом преобразований получим

$$T_{\Sigma} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\Delta}} \left[\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} \left((i-1) \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mn} + \bar{v}_{mz} \cdot \bar{v}_{mn} + i \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mz} \right) \right] \cdot l_{об} \cdot B_{\Delta} \cdot k_{шд}}{1000 \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mn} \cdot \bar{v}_{mz} \cdot b_{ЩР(ПМ)}} + \sum_{i=1}^{N_{\Delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\Delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60}, \text{ ч.} \quad (4)$$

Протяженность участков обработки для машин одного типоразмера и модели будет одинакова и определяется следующим образом

$$l_{об} = \frac{V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho}{\rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где $V_{щр(пм)}$ – вместимость бункера ЩР (цистерны ПМ), м³; $\rho_{щр(пм)}$ – требуемый расход щебня (раствора/воды), т/м²; ρ – плотность щебня насыпная (для ЩР) или воды/раствора (для ПМ), т/м³.

Подставив (5) в (4), получим

$$T_{\Sigma} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\Delta}} \left[\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} \left((i-1) \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mn} + \bar{v}_{mz} \cdot \bar{v}_{mn} + i \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mz} \right) \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_{\Delta} \cdot k_{шд}}{1000 \cdot \bar{v}_p \cdot \bar{v}_{mn} \cdot \bar{v}_{mz} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2} + \sum_{i=1}^{N_{\Delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\Delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60}, \text{ ч.} \quad (6)$$

Производительность машин только наполовину определяет количество требуемых машин. Вторым важным параметром является требуемая интенсивность выполнения работ по обработке поверхности автодорог. Ее можно рассчитать как среднюю в виде отношения общего объема работ, планируемого на данный парк машин, к нормированному времени его выполнения:

$$I_{ЩР(ПМ)} = \frac{1000 \cdot L_{\Delta} \cdot B_{\Delta} \cdot k_{шд}}{T_{обр}}, \text{ м}^2/\text{ч}, \quad (7)$$

где $T_{обр}$ – нормированное время или периодичность обработки поверхности автодорог заданной протяженности или площади, ч.

$T_{обр}$ определяется следующим образом.

1) В процессе строительства дорог – по проектному времени на операции увлажнения слоев.

2) В процессе эксплуатации дорог – либо по нормативному времени на обработку всей сети дорог или наиболее значимых из них (например, по технологическим соображениям или по условиям безопасности при содержании дорог), либо по интенсивности ухудшения свойств поверхности автодорог.

$$a) \text{ Для щебнеобразователя} \quad T_{обр} = h_{щ} \cdot k_y / \Delta_{сн}, \text{ ч}, \quad (8)$$

где $h_{щ}$ – средняя высота выступания щебенки над поверхностью дороги, мм (для кубовидного щебня: фракции 20...40 мм $h_{щ} = 20$ мм, фракции 40...70 мм $h_{щ} = 40$ мм, фракции 70...120 мм $h_{щ} = 70$ мм; для лещадного щебня указанные значения $h_{щ}$ принимать с коэффициентом 1,2); k_y – коэффициент уплотнения снега при движении транспорта по автодороге (для пушистого снега $k_y = 4-5$, для мелкого плотного или влажного $k_y = 3-4$); $\Delta_{сн}$ – интенсивность снегопада, мм/ч (при среднем снегопаде $\Delta_{сн} = 5-10$ мм/ч, при сильном снегопаде $\Delta_{сн} = 15-30$).

$$b) \text{ Для поливо-оросительной машины} \quad T_{обр} = (w_{обр} - w_{мин}) / \Delta_{всх}, \text{ ч}, \quad (9)$$

где $w_{обр}$ – влажность поверхности автодороги после обработки, г/л; $w_{мин}$ – допустимая минимальная влажность автодороги, г/л; $\Delta_{всх}$ – интенсивность высыхания поверхности автодороги, (г/л)/ч (в теплый летний день с переменной облачностью 20-30 (г/л)/ч, при ярком солнце летом 40-50 (г/л)/ч).

Расход воды или раствора на орошение дороги для целей обеспыливания (без связующих растворов) определяется требуемым уровнем увлажнения поверхностного слоя на глубину просачивания:

$$P_{ПМ} = (w_{обр} - w_{мин}) \cdot h_{пр} / \rho_p, \text{ л/м}^2, \quad (10)$$

где $h_{пр}$ – глубина просачивания воды в поверхность дороги, определяемая свойствами материала дорожной одежды, его уплотнением, наличием обработки поверхности вяжущими и т.п., мм; ρ_p – плотность воды или раствора, которым обрабатывается дорога, г/л.

При обработке дороги обеспыливающими растворами, проявляющими свои свойства после высыхания, их расход определяется рекомендациями изготовителя обеспыливающего состава с учетом его свойств.

Возьмем известную формулу определения рабочего парка и преобразуем ее с учетом вышеприведенных зависимостей применительно к ЩР (ПМ):

$$N_{ЩР(ПМ)} = \frac{I_{ЩР(ПМ)}}{P_{ЩР(ПМ)}} = \frac{\frac{1000 \cdot L_d \cdot B_d \cdot k_{шд}}{T_{обр}}}{\frac{1000 \cdot L_d \cdot B_d \cdot k_{шд}}{T_{\Sigma}}} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{обр}}, \text{ ед.} \quad (11)$$

Преобразуя дальше, получим

$$N_{ЩР(ПМ)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_d} \left[\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} \left((i-1) \cdot \overline{v_p \cdot v_{mn}} + \overline{v_{m2} \cdot v_{mn}} + i \cdot \overline{v_p \cdot v_{m2}} \right) \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_d \cdot k_{шд}}{1000 \cdot \overline{v_p \cdot v_{mn} \cdot v_{m2}} \cdot P_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2 \cdot T_{обр}} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_d} N_{уч(i)} \cdot \frac{t_{загр}}{60 \cdot T_{обр}} + \sum_{i=1}^{N_d} N_{уч(i)} \cdot \frac{t_{ман}}{60 \cdot T_{обр}} =$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^{N_d} \left[\overline{v_p \cdot v_{mn}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} (i-1) + \overline{v_{m2} \cdot v_{mn}} \cdot N_{уч(j)} + \overline{v_p \cdot v_{m2}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} (i) \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_d \cdot k_{шд}}{1000 \cdot \overline{v_p \cdot v_{mn} \cdot v_{m2}} \cdot P_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2 \cdot T_{обр}} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_d} N_{уч(i)} \cdot \frac{t_{загр}}{60 \cdot T_{обр}} + \sum_{i=1}^{N_d} N_{уч(i)} \cdot \frac{t_{ман}}{60 \cdot T_{обр}} \quad (12)$$

С целью упростить расчеты и сделать их однолинейными аппроксимируем слагаемые из выражения (11): $\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} (i-1)$ и $\sum_{i=1}^{N_{уч(j)}} (i)$ графоаналитическим методом (рис. 2) и подставим их в (11):

$$N_{ЩР(ПМ)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\delta}} \left[\frac{\overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 - 0,5 \cdot N_{уч(j)}) + \overline{v_{mz}} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot N_{уч(j)} + \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 + 0,5 \cdot N_{уч(j)})}{1000 \cdot \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2 \cdot T_{обр}} \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_{\delta} \cdot k_{шд} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60 \cdot T_{обр}} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60 \cdot T_{обр}}}{1000 \cdot \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2 \cdot T_{обр}} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60 \cdot T_{обр}} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60 \cdot T_{обр}} \quad (13)$$

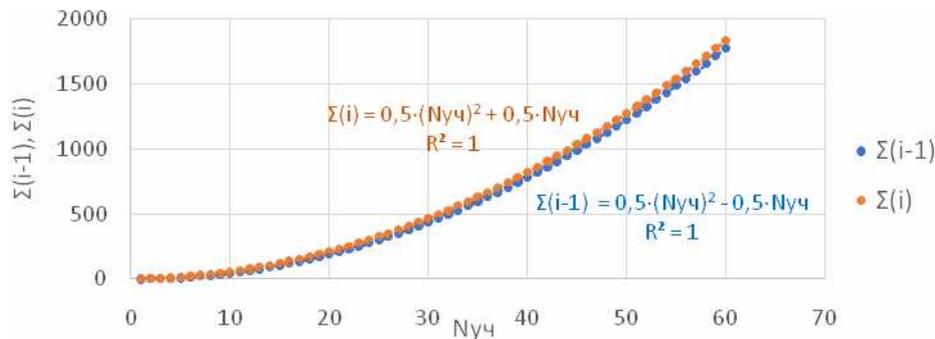


Рис. 2. Аппроксимация кривых $\Sigma(i-1)$ и $\Sigma(i)$ в зависимости от количества участков

Аналогично преобразуются выражения для T_{Σ} и $\Pi_{ЩР(ПМ)}$

$$N_{ЩР(ПМ)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\delta}} \left[\frac{\overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 - 0,5 \cdot N_{уч(j)}) + \overline{v_{mz}} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot N_{уч(j)} + \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 + 0,5 \cdot N_{уч(j)})}{1000 \cdot \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2} \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_{\delta} \cdot k_{шд}}{1000 \cdot \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2} + \quad (14)$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60}, \text{ ч,}$$

$$\Pi_{ЩР(ПМ)} = \frac{1000 \cdot L_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot k_{шд}}{\sum_{j=1}^{N_{\delta}} \left[\frac{\overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 - 0,5 \cdot N_{уч(j)}) + \overline{v_{mz}} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot N_{уч(j)} + \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot (0,5 \cdot N_{уч(j)}^2 + 0,5 \cdot N_{уч(j)})}{1000 \cdot \overline{v_p} \cdot \overline{v_{mn}} \cdot \overline{v_{mz}} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2} \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_{\delta} \cdot k_{шд}} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\delta}} N_{уч(j)} \cdot \frac{t_{ман}}{60}, \text{ м}^2/\text{ч.} \quad (15)$$

Если до начала рассматриваемой дороги от склада необходимо транспортировать щебень на некоторое расстояние L_m , то время на это можно определить как

$$T_m = \frac{L_m}{v_{mz}} + \frac{L_m}{v_{mn}}, \text{ ч,} \quad (16)$$

где L_m – расстояние транспортирования щебня щебневыбрасывателем до начала обрабатываемой дороги, км.

С учетом этого общее время на обработку дороги будет определяться выражением

$$N_{ЩР(ПМ)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\partial}} \left[\frac{v_p \cdot v_{mn} \cdot (0,5 \cdot N_{yч(j)}^2 - 0,5 \cdot N_{yч(j)}) + v_{mz} \cdot v_{mn} \cdot N_{yч(j)}}{v_p \cdot v_{mz} \cdot (0,5 \cdot N_{yч(j)}^2 + 0,5 \cdot N_{yч(j)})} \right] \cdot V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho \cdot B_{\partial} \cdot k_{уд}}{1000 \cdot v_p \cdot v_{mn} \cdot v_{mz} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}^2} +, \quad (17)$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_{\partial}} N_{yч(i)} \cdot \frac{t_{загр}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\partial}} N_{yч(i)} \cdot \frac{t_{ман}}{60} + \sum_{i=1}^{N_{\partial}} N_{yч(i)} \cdot \left(\frac{L_m}{v_{mz}} + \frac{L_m}{v_{mn}} \right), \text{ ч.}$$

Тогда для расчета парка удобнее использовать выражение (10), подставив в него результат расчета из (16).

Для простоты аналитических вычислений выразим $N_{yч}$ через параметры ЩР (ПМ) и обрабатываемых автодорог, считая, что ширина всех участков единичной автодороги одинакова на всем ее протяжении

$$N_{yч(j)} = \frac{L_{\partial(j)}}{l_{\partial}} = \frac{1000 \cdot L_{\partial(j)} \cdot \rho_{ЩР(ПМ)} \cdot b_{ЩР(ПМ)}}{V_{ЩР(ПМ)} \cdot \rho} \quad (18)$$

Результаты исследования и их анализ

Разработанная методика позволила установить зависимости производительности ЩР и ПМ и рабочего их парка от протяженности обрабатываемых автодорог и типоразмера этих машин (вместимости бункера/цистерны). Как видно из рисунков 3 и 4 они носят нелинейный характер, что отличает разработанную методику от других, поскольку она позволяет учесть фактор челночного движения с многократным последовательным проходом обрабатываемых участков дорог по мере удаления каждого последующего обрабатываемого участка.

Приведенные на рисунке 4 зависимости математически верны, однако как видно, парк существенно зависит от расстояния. Целесообразно найти способ его уменьшения без потери скорости и качества обработки автодорог. Логический анализ показал, что формула (12) дает возможность рассчитать требуемое количество ЩР только при одновременной их работе на всей сети автодорог. С учетом этого оптимизация количества ЩР (ПМ) может осуществляться выделением приоритетов в обработке автодорог с определением критического времени на их обработку. Участки по приоритетам обрабатываются последовательно по мере убывания приоритета. Наибольший приоритет отдается основным технологическим автодорогам, характеризующимся наибольшим грузооборотом и осложненными условиями (например, съезды, виражи и т.п.). Высвобождающиеся ЩР (ПМ) по мере обработки наиболее приоритетных участков переходят на следующие по приоритету. В таблице 1 показано преимущество такого подхода, позволяющее сократить расчетный парк без ущерба для скорости и качества выполнения работ. Видно, что учет переброски машин по мере высвобождения на дороги более низкого приоритета дает заметное сокращение парка ЩР (ПМ) (в данном случае на 34%).

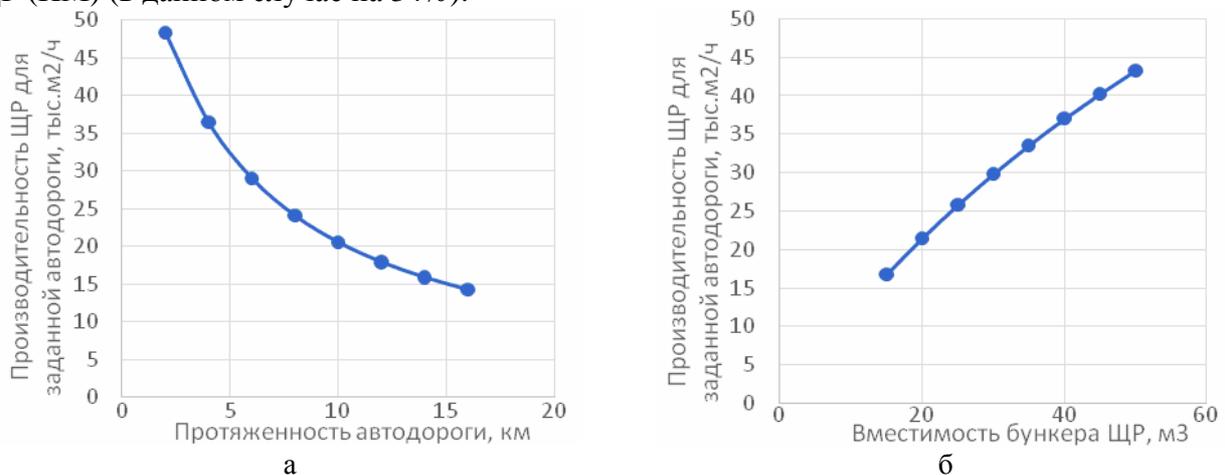


Рис. 3. Расчетная производительность щебнеразбрасывателя: а) в зависимости от протяженности дорог; б) в зависимости от вместимости бункера

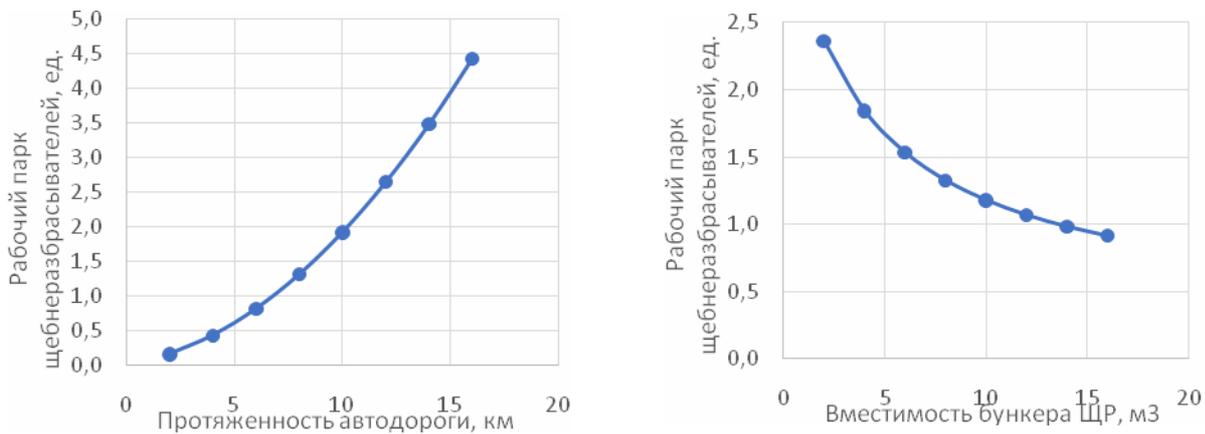


Рис. 4. Расчетный рабочий парк щебнеабразивателей: а) в зависимости от протяженности дорог; б) в зависимости от вместимости бункера

Как правило, на горнодобывающих предприятиях целесообразно выделять не более 5 приоритетов по скорости обработки автодорог, а зачастую количество приоритетов не превышает 3.

Исследование показало, что в большинстве случаев расчет дает для одного из приоритетов (как правило, наивысшего) наибольший парк, поскольку для наивысшего приоритета нет вышестоящих приоритетов, от которых за счет высвобождения машин по мере выполнения работы можно ожидать резерва. Максимум также характерен для дорог тех приоритетов, которые имеют короткое время на обработку в сравнении с вышестоящими приоритетами. Именно такой случай отражен на расчетной схеме (рис. 5). Оптимизация парка машин осуществляется таким образом, чтобы за нормативное время, соответствующее завершению обработки автодорог приоритета, имеющего максимум расчетного парка (N_3 по рисунку 5) по формуле (10), были обработаны все автодороги данного и более высоких приоритетов, при этом время окончания каждого приоритета не должно быть более установленного для этого приоритета предела. Если после этого наблюдается невыполнение плана обработки для последующих приоритетов автодорог, то оптимизация повторяется аналогичным образом, при этом расчетной точкой является время T_i , соответствующее данному приоритету.

Табл. 1. Пример упрощенного расчета потребного парка щебнеабразивателей

| Вид расчета | Приоритет | | | Итоговый парк | Примечание |
|---|-----------|-----|-----|---------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| Норматив времени на обработку всех дорог данного приоритета, ч | 1,5 | 4,5 | 10 | – | – |
| Рабочий парк при одновременной их работе по дорогам всех приоритетов, ед. | 4,6 | 1,1 | 1,3 | 7,0 | Рассчитан как сумма парка по каждому приоритету. Общее время обработки всех дорог 2,3 ч |
| Рабочий парк при последовательной переброске их по приоритетам, ед. | 4,6 | 1,7 | 2,3 | 4,6 | Рассчитан как максимум из расчетных парков по отдельным приоритетам |

Примечание: данный расчет не обеспечивает рациональное значение парка ЦР (ПМ).

Оптимизированный парк будет равен

$$N_{onm} = \frac{T_{\Sigma \max}}{t_{\max}}, \quad (19)$$

где \max – номер приоритета с максимальным расчетным парком, если он не равен 1; $T_{\Sigma \max}$ – расчетная продолжительность обработки всех дорог с приоритетом i ;

t_{\max} – продолжительность обработки дорог с приоритетом, для которого имеет место максимальным расчетный парк (по рис. 5 это t_3).

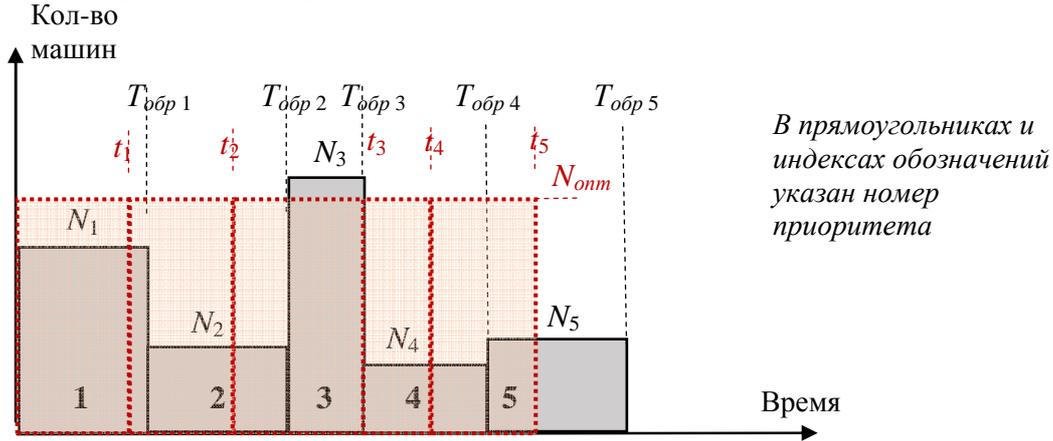


Рис. 5. Схема к расчету потребного парка ЦР (ПМ) с учетом приоритетов

Из схемы рисунка 5 видно, что уточненное время (пунктирные фигуры) на обработку дорог 3-го приоритета равно:

$$t_{\max} = t_3 = T_{обp3} - t_1 - t_2 = T_{обp.max} - \sum_{i=1}^{\max-1} (t_i), \text{ ч}, \quad (20)$$

где $T_{обp.max}$ – нормированное время обработки автодорог, относящихся к приоритету с наибольшим частным расчетным парком (по схеме рис. 5 – это N_3), ч; t_i – продолжительность обработки дорог данного приоритета (с номером i) парком машин N_{onm} , ч.

При этом продолжительность обработки дорог каждого из приоритетов:

$$t_i = \frac{T_{\Sigma i}}{N_{onm}}, \text{ ч}, \quad (21)$$

Тогда из (19) получим:

$$N_{onm} = \frac{T_{\Sigma \max}}{T_{обp \max} - \sum_{i=1}^{\max-1} \left(\frac{T_{\Sigma i}}{N_{onm}} \right)} = \frac{T_{\Sigma \max}}{T_{обp \max} - \frac{1}{N_{onm}} \cdot \sum_{i=1}^{\max-1} (T_{\Sigma i})}, \quad (22)$$

Выразив из (21) N_{onm} получим выражение для расчета оптимизированного значения рабочего парка ЦР (ПМ):

$$N_{onm} = \frac{\sum_{i=1}^{\max} (T_{\Sigma i})}{T_{обp \max}}. \quad (23)$$

Таким образом, рабочий парк ЦР (ПМ) оптимизируется следующим образом.

- а) Сеть автодорог разбивается на части согласно приоритету времени обработки.
- б) Для автодорог каждого из заданных приоритетов рассчитывается индивидуальное время на выполнение работ как разница нормированного времени данного и предыдущего приоритета.
- в) Для каждого приоритета по этому времени определяется потребный парк по формуле (10) и другим согласно входящим в (10) величинам.
- г) Предварительным значением расчетного парка ЦР (ПМ) является максимальный из расчетных частных парков по п. «в».
- д) Если хотя бы один из приоритетов, не являющихся 1-м, имеет расчетный парк выше 1-го приоритета, то осуществляется оптимизация парка для него по формуле (19).
- е) Если оптимизированный парк по п. «д» оказался менее какого-либо из частных, то оптимизация повторяется уже для того приоритета, где обнаружено превышение.
- ж) Окончательно значение расчетного рабочего парка принимается по последнему оптимизированному значению.

Табл. 2. Пример расчета и оптимизации парка ЩР (ПМ)

| Параметр | Приоритет | | | ВСЕГО |
|--|------------|------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Сумм. протяженность дорог данного приоритета, м | 8502 | 6249 | 15315 | 30066 |
| Сумм. площадь обработки дорог, тыс. м ² | 202 | 148 | 364 | 714 |
| Норматив времени на обработку всех дорог данного приоритета, ч | 1,5 | 4,5 | 5 | 11 |
| Норматив времени на обработку за вычетом высших приоритетов, ч | 1,5 | 3,0 | 0,5 | 5 |
| Требуемое время обработки всех дорог данного приоритета на 1 машину, ч | 6,9 | 5,0 | 12,5 | 24,4 |
| Рабочий парк для данного приоритета (послед-но по приоритетам), ед. | 4,6 | 1,7 | 25,1 | 25,1 |
| Рабочий парк (оптимизировано), ед. | 4,6 | 1,7 | 5,0 | 4,9 |
| | Стадия I | | | Стадия II |

Примечание: зеленым цветом выделено итоговое оптимизированное количество машин.

Для поливомоечных машин расчет парка целесообразно выполнять по следующим принципам:

а) периодичность обработки выбирается по расчету скорости высыхания поверхности по формуле (9) для наиболее характерных метеоусловий (облачно, солнечно, ветренно); для горнодобывающих предприятий, пыль которых представляет повышенную опасность для экологии или здоровья, в обязательном порядке расчет выполняется по наименьшему времени высыхания поверхности после обработки;

б) в зависимости от протяженности и разветвленности автодорог, а также грузооборота парк ПМ может быть оптимизирован для его уменьшения с учетом выделения приоритетов, как показано выше для щебнеразбрасывателей, при этом:

– расчетная периодичность по п. а назначается как предельное нормированное время на обработку автодорог 1-го приоритета, а в отдельных случаях 2-го приоритета;

– для дорог более низкого приоритета нормированное время на обработку назначается более длительным исходя из рационального значения парка или иных соображений в соответствии с конкретными особенностями предприятия;

– рассчитывается и оптимизируется парк ПМ в соответствии с вышеприведенной методикой для ЩР.

Заключение

1. Разработана методика расчета производительности поливомоечных машин и щебнеразбрасывателей, обеспечивающая точность с доверительной вероятностью не ниже 95% и характеризующаяся простотой.

2. Установлены зависимости производительности ЩР и ПМ от их типоразмера и протяженности обрабатываемых автодорог, а также их требуемого рабочего парка от тех же факторов. Показано, что они имеют нелинейный характер, что позволяет более точно рассчитать требуемый парк ЩР и ПМ в сравнении с известными ранее методиками, основанными на прямой пропорциональности.

3. Разработанная методика может применяться для расчета требуемого парка ЩР и ПМ, а также машин аналогичного действия в практике проектирования системы обслуживания технологических автодорог, в том числе с оптимизацией количества машин.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №123012300005-3.

Список литературы

1. Стенин Ю.В. Карьерные автодороги – их значимость и проблемы совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №9. – С. 361-367.
2. Сидяков В.А., Колчанов А.Г., Стенин Ю.В. Карьерные автомобильные дороги. Проектирование, строительство, содержание. – М.: Недра, 2011. – 144 с.
3. Умирзоков А.М., Мамбеталин К.Т., Сайдуллозода С.С., Бердиев А.Л. Оценка эффективности эксплуатации автомобильной дороги в горных карьерах // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2021. – №1(132). – С. 98-105. – DOI: 10.46960/1816-210X_2021_1_98.
4. Арефьев С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГУ, 2015. – 20 с.
5. Кошкарлов В.В. Исследование и разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов профилактическими эмульсиями из тяжелых нефтяных остатков: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГУ, 2020. – 16 с.
6. Mickael Le Vern, Ouardia Sediki, Andry Razakamanantsoa, Frédéric Murzyn, Frédérique Larrarte. Experimental Assessment of Dust Emissions on Compacted Soils Degraded by Traffic // Atmosphere, MDPI. 2020, vol. 11(4), pp. 24. DOI: 10.3390/atmos11040369. hal-02873071.
7. Писарев В.С. Басаргин А.А. Методы борьбы с пылью на карьерных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – №1. – С. 69-75.
8. ВНТП 13-1-86. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. – Ленинград: МЧМ СССР, ЧЕРМЕТПРОЕКТ, ГИПРОРУДА, 1986. – 246 с.
9. Булдаков С.И., Силуков Ю.Д., Малиновских М.Д. Содержание и ремонт автомобильных дорог. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 198 с.
10. Белоусов Л.И. Комплексная механизация в дорожном строительстве. – Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2013. – 46 с.
11. Журавлев А.Г., Ченцов П.А. Возможности автоматизированной оптимизации работы транспортных систем карьеров на основе мультиагентного подхода // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №11 (СЦ 37). – С. 141-150. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-141-150.

References

1. Stenin Ju.V. Quarry roads – their significance and problems of improvement // Mining informational and analytical bulletin. 2009, no. 9, pp. 361-367.
2. Sidjakov V.A., Kolchanov A.G., Stenin Ju.V. Quarry roads. Design, construction, maintenance. – M.: Nedra, 2011. – 144 p.
3. Umirzokov A.M., Mambetalin K.T., Sajdullozoda S.S., Berdiev A.L. Evaluation of the efficiency of the operation of the highway in mining pits // Proceedings of the NSTU named after R.E. Alekseev. 2021, no. 1, pp. 98-105. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_1_98.
4. Arefev S.A. Assessment and justification of rational road conditions of operation of heavy-duty dump trucks: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Ekaterinburg: Ural state mining university, 2015. – 20 p.
5. Koshkarov V.V. Research and development of technology for dedusting quarry roads and man-made massifs with preventive emulsions from heavy oil residues: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Ekaterinburg: Ural state mining university, 2020. – 16 p.
6. Mickael Le Vern, Ouardia Sediki, Andry Razakamanantsoa, Frédéric Murzyn, Frédérique Larrarte. Experimental Assessment of Dust Emissions on Compacted Soils Degraded by Traffic // Atmosphere, MDPI. 2020, vol. 11(4), pp. 24. DOI: 10.3390/atmos11040369. hal-02873071.
7. Pisarev V.S., Basargin A.A. Methods of dust control on quarry roads // Interjekspo Geo-Sibir'. 2020, no. 1, pp. 69-75.
8. VNTP 13-1-86. Norms of technological design of mining enterprises of ferrous metallurgy with an open method of development. – Leningrad: MCHM SSSR, CHERMETPROEKT, GIPRORUDA, 1986. – 246 с.
9. Buldakov S.I., Silukov Ju.D., Malinovskih M.D. Maintenance and repair of roads. – Ekaterinburg: Ural state forestry engineering university, 2017. – 198 p.
10. Belousov L.I. Complex mechanization in road construction. – Mogilev: GU VPO «Belarusian-Russian University», 2013. – 46 p.
11. Zhuravlev A.G., Chencov P.A. Possibilities of automated optimization of the operation of quarry transport systems based on a multi-agent approach // Mining informational and analytical bulletin. 2019, no. 11 (SC no. 37), pp. 141-150. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-141-150.

Сведения об авторах:

Information about authors:

| | |
|---|--|
| Журавлев Артем Геннадиевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией juravlev@igduran.ru | Zhuravlev Artem Gennadievich – candidate of technical sciences, assistant professor, laboratory chief |
|---|--|

Получена 17.05.2023