

УДК 656.13:338.47

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАШИН В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р., Гладков В.Ю.

ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

В настоящее время значительная часть федеральных автодорог в России имеют высокую степень износа и исчерпали свою пропускную способность. Постоянные заторы, особенно в крупных городах, значительно снижают скорости движения, что резко увеличивает транспортные издержки. Решение этой проблемы возможно только путем масштабного строительства новых и реконструкции существующих автодорог, осуществляемого дорожно-строительными организациями. В свою очередь, высокоэффективная деятельность таких организаций в настоящее время может быть обеспечена только с использованием высокопроизводительной современной техники, работоспособность которой необходимо поддерживать на возможно больший период эксплуатации. В настоящее время в условиях строительства линейно-протяженных объектов эксплуатации специализированной техники осуществляется на базе парков. В статье разработан алгоритм формирования парка специализированных машин по критерию минимума стоимости единицы объема дорожно-строительных работ. Предложено экономическое обоснование выбора типа «приобрести в парк новую машину или продолжать эксплуатировать имеющуюся» на основе математических методов.

Ключевые слова: парк специализированных машин, возраст дорожно-строительных машин, надежность дорожно-строительной техники, математические методы

EFFECTIVE USE OF SPECIALIZED MACHINES FOR DIFFERENT ENVIRONMENTS AND ROAD COMPANIES

Kravchenko I.N., Miasnikov A.V., Shaibakov R.R., Gladkov V.Y.

Federal State military institution of higher education «Military-Technical University», Balashikha, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

A significant part of the federal highways in Russia have a high degree of wear and have exhausted their capacity. Persistent congestion, especially in large cities, significantly reduce the speed, which dramatically increases the transport costs. The solution of these problems is possible only through large-scale construction of new and reconstruction of existing roads, ongoing road construction companies. High activity of construction organizations can currently only be achieved with the use of modern high technology, performance of which can be maintained at a longer period of operation. Currently under construction are linearly extended objects operation of road construction and specialized equipment is based on the parks. The article describes an algorithm of forming of specialized machines park by a minimum unit cost of construction. Proposed economic rationale for the selection of the «get to the park a new machine or continue to operate the existing» using mathematical methods.

Keywords: park of specialized machines, obsolescence of road machinery, reliability of road construction equipment, mathematical methods

При формировании парков специализированной техники наряду с обеспечением количественного состава необходимо учитывать её нормальное функционирование при заданных условиях эксплуатации. Причем, затраты на поддержание техники в исправном состоянии должны быть минимальны при условии выполнения дорожно-строительных работ в полном объеме и в заданные сроки.

В сложившейся ситуации, когда существующие комплекты машин устарели, и при этом отсутствуют возможности полной замены машин, на первое место выходят технические и экономические критерии оптимизации парков [2, 3]. Себестоимость производства единицы объема работ позволяет учесть все затраты, связанные с поддержанием парка техники в работоспособном состоянии, затраты, учитывающие потери из-за внезапного отказа и срыва графика производства работ, амортизационные отчисления, а также затраты, связанные

с производством работ в сложных грунтовых и климатических условиях [4].

В дорожном строительстве в качестве единицы объема работ удобно использовать 1 м³ земляных работ, 1 м² дорожного покрытия, либо 1 км построенной дороги.

В тех случаях, когда доля работ по устройству дорожных одежд является доминирующей (при строительстве дорог в нулевых отметках, в равнинной местности), за единицу объема работ можно принять стоимость 1 километра дороги. В этом случае можно составить целевую функцию по критерию минимума доли затрат на техническое обеспечение себестоимости дорожно-строительной продукции:

$$C_{1\text{км}}^{\text{дор}} = C_M + C_{\text{маш}}^{\text{нов}} + C_{\text{маш}}^{\text{им}} \longrightarrow \min, \quad (1)$$

где C_M – стоимость материалов в 1 км дороги; $C_{\text{маш}}^{\text{нов}}$ – затраты на эксплуатацию новых машин в парке; $C_{\text{маш}}^{\text{им}}$ – затраты на эксплуатацию уже имеющихся в парке дорожно-

строительных машин со средним уровнем износа.

Целевая функция (1) отражает влияние возраста техники на стоимость единицы объема дорожно-строительных работ и позволяет экономически обосновать соотношение новых и подержанных машин в формируемом парке.

В процессе решения проблемы комплектования парков строительных машин существует необходимость построения многоступенчатой иерархической системы взаимосвязанных математических моделей. Для построения математической модели формирования парков специализированной техники можно предположить, что известны предполагаемые физические объемы работ, их технологическая структура, номенклатура средств механизации, необходимых для выполнения работ, затраты на обслуживание и выработка каждой конкретной машины [5]. Для оптимизации решений необходимо выработать некоторый алгоритм комплектования парков техники при следующих данных:

– известны основные показатели по каждой единице техники (наработка, возраст, технические характеристики);

– установлен минимально допустимый уровень технической готовности для каждого типоразмера машин;

– определены удельные затраты на единицу наработки каждой машины.

Требуется определить, какие типоразмеры машин и в каком количестве нужно иметь, чтобы затраты на выполнение всего планируемого объема работ были минимальными. Алгоритм определения оптимального парка техники приведен ниже.

Прогнозируются объемы работ на строительных площадках. Объектам присваивается собственный порядковый номер, по которому производится подбор парка машин. По возможности объемы планируемых работ должны рассчитываться по нескольким методикам с учетом факторов нестабильности рынка и нормальных рисков.

Выбирается исходный типоразмерный ряд машин таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму простой машины на базе механизации, т.е. ведущая машина должна быть полностью укомплектована вспомогательными машинами. Необходимо выявить определяющие параметры для сопоставления техники, после чего найти зависимость между определяющими параметрами, и составить графики кривых равной эффективности.

Устанавливается усредненная годовая выработка машин, определяемая по формуле:

$$B_{ij} = \sum_{j=1}^n B_{vij} p_{ij}, (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

где B_{vij} – годовая выработка i -го типоразмера машин на j -м объекте; p_{ij} – априорная вероятность использования i -го типоразмера машин на j -м объекте.

Вычитаем из годовой выработки машины объем работ на объекте и производим анализ выполнения следующих условий:

• если годовая выработка меньше планируемого объема работ на объекте ($B_{ij} - V_j < 0$), то машина исключается из расчета по данному объекту.

• если годовая выработка больше планируемого объема работ на объекте ($B_{ij} - V_j \geq 0$), то расчет продолжается дальше.

Рассчитывается продолжительность работ машины i -го типоразмера:

$$n_{ij} = V_j / P_{ij}, \quad (3)$$

где V_j – объем работ на объекте, м³; P_{ij} – производительность машины в данных условиях на j -м объекте, м³/смена.

Производится сравнение продолжительности работ с требуемой (заказчиком или по графику производства работ). При этом машины, продолжительность работы которых превышает требуемые показатели, исключаются из расчета. Если продолжительность работ жестко не ограничена, то в исходных данных указывается «продолжительность 365» и все машины попадают в расчет:

$$n_j^{пл} - n_{ij} \geq 0, \quad (4)$$

где $n_j^{пл}$ – плановая продолжительность работ на j -м объекте, дни; n_{ij} – расчетная продолжительность работ выполняемых i -й машиной на j -м объекте, дни.

Для рассмотрения технологических резервов составляется модель выполнения работ на объекте, исходя из различных возможных технологических схем производства работ (рис. 1). При этом входными критериями являются технические характеристики машины, характеристики условий производства работ, максимальные пути перемещения техники при производстве работ, дополнительные условия, ограничивающие производительность (стесненность, условия экологической, пожарной безопасности и т.д.). Выходными показателями являются продолжительности работ и возможные резервы времени.

Определение удельных затрат y_{ij} (руб./м³ или руб./км) на выполнение работ по формуле:

$$y_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(C_{ij} \cdot X_{ij} \cdot k_{ii} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri})}{V_j} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где C_{ij} – совокупные затраты на эксплуатацию, обновление и ремонт на ед. объемов работ; X_{ij} – количество машин i -го типа-размера; k_{ri} – коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ;

k_{vi} – коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации; k_{ri} – коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ; V_j – объем работ на объекте.



Рис. 1. Выбор машин исходя из требований продолжительности работ

Далее необходимо определить затраты на обновление техники с минимальными потерями для эксплуатирующих организаций. Для решения этой задачи необходимо произвести сравнение экономической эффективности того или другого варианта развития событий, т.е. приобрести новую машину или эксплуатировать старую. Это может быть выполнено путем выбора минимальных затрат, приведенных к единице объемов работ:

$$y_{ij} = \frac{\frac{\tilde{N}_{ij}^H \cdot k_{ri} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}}{V_j}}{\frac{C_{ij} \cdot k_{ri} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}}{V_j}} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $C_{ij}^H \cdot k_{ri} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}$ – стоимость эксплуатации новой машины; $C_{ij} \cdot k_{ri} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri}$ – стои-

мость эксплуатации имеющейся в парке машины.

Коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ k_{ri} , определяется исходя из следующих предпосылок. Пусть время, затрачиваемое на подготовку исправной машины к работе и достижения ею рабочих параметров при температуре t , окружающего воздуха в январе для данного региона составляет T часов, а в феврале при t_1 равна T_1 . Тогда, составив график для данного региона, можно вывести зависимость изменения времени достижения машиной рабочих параметров от температуры окружающего воздуха. При этом для новых машин, для которых отсутствуют данные, можно использовать графики от машин, оснащенных подобным силовым оборудованием и рабочими органами. Наиболее простым является метод соотношения затрат на ремонт и техническое обслуживание от температуры и времени года (рис. 2).

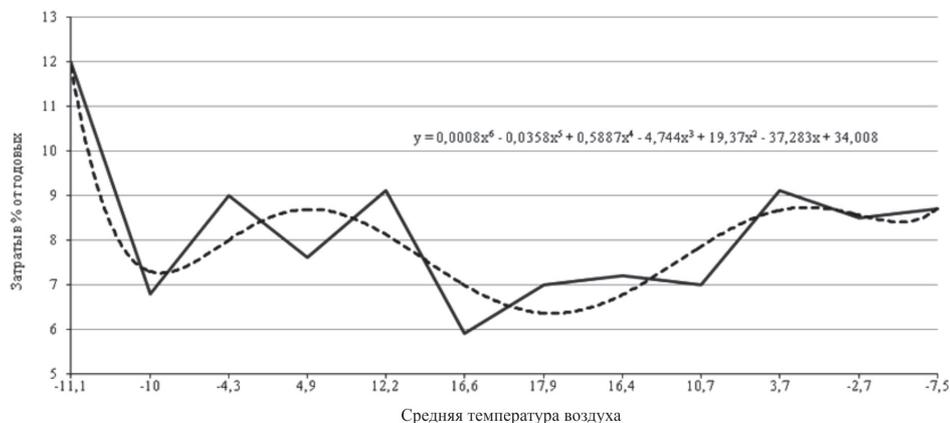


Рис. 2. Зависимость затрат на ТО и Р экскаваторов от времени года

Построив диаграмму, получаем уравнение для определения значения коэффициента от температуры:

$$k_{ti} = (1 + y/100) = 8 \cdot 10^{-6} x^6 - 35,8 \cdot 10^{-5} x^5 + 58,87 \cdot 10^{-4} x^4 - 47,44 \cdot 10^{-3} x^3 + 19,37 \cdot 10^{-2} x^2 - 37,283 \cdot 10^{-2} x + 1,34008.$$

В качестве альтернативы может быть применен метод прогнозирования отказов из-за воздействия низких температур на различные системы.

Коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации k_{vi} , определяем по формуле:

$$k_v = \frac{n_{\text{отк}} + n_{\text{год}}}{n_{\text{год}}}, \quad (8)$$

где $n_{\text{отк}}$ – количество дней простоя из-за отказов в год (определяется путем анализа статистических данных, либо по МДС 12-13.2003); $n_{\text{год}}$ – количество рабочих дней в году.

Коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ k_{rj} , определяем следующим образом.

При работе машин в однородных условиях и соблюдении правил эксплуатации и текущего обслуживания для получения прогнозных оценок возможно применение теоремы П.Л. Чебышева, когда среднearифметическое достаточно большого числа случайных величин утрачивает характер случайности, но при этом должно выполняться условие:

$$n \geq D(x)/\xi^2 (1 - P_d(t)), \quad (9)$$

где $D(x)$ – дисперсия прогнозируемой величины; ξ – допустимая ошибка прогноза; $P_d(t)$ – доверительная вероятность; n – число воспроизведений события.

Если режимы нагружения меняются в процессе работ на объекте, но при этом выполняется условие (9), то отказ рассчитывается как результат суммарного воздействия.

Однако при реальной эксплуатации воздействие различных факторов достаточно неоднородно, поэтому целесообразно применение метода предельных потоков [1]. Согласно центральной предельной теореме, закон распределения суммы достаточно большого числа независимых случайных величин при соблюдении некоторых нежестких ограничений сколь угодно близок к нормальному. Предельными являются также законы Пуассона и Вейбулла-Гнеденко. Если не выполняются все рассмотренные условия, возможно построение мгновенного закона распределения, характеризующий объект прогнозирования в конкретных условиях, при помощи существующих программных средств.

Пусть в сложных условиях работало M машин, а в облегченных эксплуатацион-

ных условиях – N (все машины одного типа, мощности и т.д.). При этом за сложные принимаются условия, которые отличаются от условий, когда производительность машин максимальна, а нагрузка на узлы и системы соответствует расчетной. В результате в M машинах за единицу времени произошло m отказов, а в другой группе – n . Тогда вероятность отказа машин парка техники при работе в тяжелых грунтовых условиях будет выражаться следующим образом:

$$P(t) = \frac{m}{m+n}. \quad (10)$$

Для решения задачи необходимо определить, какова вероятность того, что в процессе эксплуатации отказ в тяжелых условиях произойдет хотя бы один раз:

$$P(S_R = x) = C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x}, \quad (11)$$

где k – общее число испытаний; x – число появления события; p – вероятность появления события; C – число сочетаний событий.

Подставив значения, получим, что вероятность хотя бы одного отказа в сложных условиях равна:

$$P(S_k = 1) = C_k^1 \cdot \left(\frac{m}{m+n}\right)^1 \cdot \left(1 - \frac{m}{m+n}\right)^{k-1}. \quad (12)$$

Так как специализированный парк состоит из различных типов техники, необходимо быть уверенным, что все машины будут исправны и не произойдет срыва работ. Для этого определяем математическое ожидание случайной величины, которое будет выражаться следующим образом:

$$M(t) = x_1 \cdot P_1 + x_2 \cdot P_2 + \dots + x_n \cdot P_n, \quad (13)$$

где x_n – значение, принимаемое случайной величиной; P_n – вероятность появления.

Очевидно, что согласно условиям задачи, выражение (13) примет вид:

$$M(t) = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (14)$$

Зная вероятности появления отказов у того или иного типа машин, можно вывести коэффициенты k_{ri} . Делаем следующие предпосылки и ограничения:

– число испытаний k не превышает 365 (число дней в году);

– максимальное число появления события X (отказов) находится в пределах $1 \leq X \leq 365$;

– коэффициент k_{ri} находится в пределах $1 \leq k_{ri} \leq 2$ (здесь 1 – не произошло ни одного отказа и дополнительные затраты не потребуются, 2 – произошло 365 отказов, и машина простояла в ремонте весь год).

Тогда для вычисления коэффициента необходимо решить систему уравнений:

$$k_{ri} = \begin{cases} 1, P(S_{365} = 0) = C_{365}^0 \cdot p^0 \cdot (1-p)^{365-0} \\ k_r, P(S_k = x) = C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x} \\ 2, P(S_{365} = 365) = C_{365}^{365} \cdot p^{365} \cdot (1-p)^{365-365} \end{cases}. \quad (15)$$

Решая эту систему, получим:

$$k_{ri} = \frac{2 \cdot C_k^x \cdot p^x \cdot (1-p)^{k-x}}{p^{365}}. \quad (16)$$

При определении коэффициента следует учитывать, что за отказ принимается неисправное состояние машины. Если отказ не был устранен за один день, то он переходит на другой день, т.е. x будет равняться 2 и т.д.

Выбирается машина с минимальными удельными затратами по выполнению объемов работ на объекте.

Машина ставится на обслуживание и на период работы на объекте исключается из расчета. При этом объем работ вычитается из годовой выработки для данной машины.

Производится анализ по следующему объекту (п.п. 2, 3, 4, 5, 6). При этом в расчет берутся машины, которые свободны от выполнения работ на других объектах.

После выполнения работ на одном объекте машина освобождается и снова попадает в расчет, при этом, помимо удельных затрат, сравниваются остаточные ресурсы машин (наработка).

Рассчитываются суммарные затраты на выполнение всего объема работ.

Определяются остаточные наработки для каждой машины, исключаются те из них, у которых остаточная наработка на конец расчетного периода превышает 30% и производится повторный расчет. Для распределения машин во времени используется счетчик машино-смен, который позволяет строить календарный график эксплуатации машин, что в свою очередь облегчает планирование и проведение ТО и Р техники.

Определяются минимумы приведенных затрат для i -го типоразмера при работе на j -м объекте по формуле:

$$y_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ij} \cdot X_{ij} \cdot k_{ti} \cdot k_{vi} \cdot k_{ri})}{V_j} \rightarrow \min, \quad (17)$$

где C_{ij} – совокупные затраты на эксплуатацию, обновление и ремонт; X_{ij} – количество машин i -го типоразмера; k_{ti} – коэффициент влияния температуры на удорожание работ; k_{vi} – коэффициент влияния возраста техники на стоимость эксплуатации; k_{ri} – коэффициент влияния условий эксплуатации и структуры работ; V_j – объем работ на объекте.

Вычисляются оптимальные объемы работ, выполняемые каждым типоразмером машин. При этом объем работ должен быть выполнен полностью на каждом участке, своевременно и с минимальными затратами. Для решения этой задачи можно воспользоваться одним из численных методов, например, методом дефектов.

Производится уточненный расчет эксплуатационных затрат и выбирается оптимальный парк техники с минимальными показателями.

При необходимости производится повторный расчет с включением новых машин и оборудования или замены одних машин другими многофункциональными.

Таким образом, вышеизложенный алгоритм позволяет учитывать природно-климатические, экономические и возрастные факторы, увеличивающие затраты на эксплуатацию парка специализированной техники.

Выводы

1. В настоящее время парки дорожно-строительных организаций комплектуются специализированными машинами с разным техническим состоянием, возрастом и техническими характеристиками. Этот факт серьезно отражается на продолжительности, сложности и на стоимости строительства федеральных автодорог.

2. Предложенный в работе алгоритм позволяет оптимизировать состав парков по критерию минимума стоимости единицы объема работ с учетом старения машин, условий эксплуатации и структуры выполняемых работ, в результате чего существенно увеличится эффективность работы дорожно-строительных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Методика выбора критериев оптимизации при формировании парков дорожно-строительной техники // Материалы VIII международной научно-практической конференции. – София: «Бял ГРАД-БГ», 2012. – С. 58.–70.
2. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Оптимизация мобильных парков специализированных машин с учетом региональных особенностей строительства автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. – 2013. – №4 (часть 3). – С. 575 – 579.
3. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Организация технического сервиса специализированных машин и их рабочего оборудования // Строительные и дорожные машины. – 2013. – №1. – С. 30 – 36.
4. Кравченко И.Н., Мясников А.В., Шайбаков Р.Р. Рациональное использование мобильных парков дорожно-строительных машин при строительстве и реконструкции федеральных автодорог // Строительные и дорожные машины. – 2013. – №3. – С. 20 – 24.
5. Прохоров С.В., Ким Б.Г. Инновационный подход к формированию парков техники строительных организаций: монография // Инновации в строительстве и архитектуре. – ВлГУ, 2011. – С. 168 – 184.