УДК 656.13:338.47

ОПТИМИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ ПАРКОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

[1]Кравченко И.Н., [1]Мясников А.В., [1]Шайбаков Р.Р., [2]Чепурин А.В.

[1]ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет», Балашиха;

[2]Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина, Москва, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

Исследованы условия строительства автомобильных дорог при которых целесообразно использование мобильных парков специализированных машин. Выявлено, что постоянное удаление строящихся участков автомобильной дороги от района размещения парка машин влечет за собой дополнительные затраты на непроизводительные пробеги автомобильной техники и охрану машин. Также значительное влияние на эффективность работы мобильного парка оказывает стоимость демонтажа его оборудования и монтажа на новом месте. В статье предложены методики, позволяющие минимизировать указанные затраты на основе экономико-математического моделирования и экстремального анализа. В качестве основного критерия принят радиус действия мобильного парка. Использование упрощенной методики целесообразно при строительстве дорог с минимальной высотой земляного полотна, в регионах с равнинной местностью, в степных районах. Детализированная методика эффективна в любых условиях строительства, но требует сбора большого количества исходных данных и тщательного учета особенностей региона строительства. Предварительные расчеты показали, что оптимальное значение радиуса действия парка находится в пределах от 10 до 30 км в зависимости от количества машин в парке и состава его инфраструктуры.

Ключевые слова: мобильные парки специализированных машин, радиус действия мобильного парка, экономико-математические методы

OPTIMIZATION OF MOBILE SPECIALIZED PARKS FROM A REGIONAL PERSPECTIVE CONSTRUCTION OF THE ROAD

[1]Kravchenko I.N., [1]Miasnikov A.V., [1]Shaibakov R.R., [2]Chepurin A.V.

[1]Military Technical University, Balashikha;

[2]Moscow State University named after V.P. Agroengineering Goryachkina, Moscow, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

The conditions for the construction of roads for which the appropriate use of mobile specialized parks. Revealed that the permanent moving of built road from park's deployment area entails additional expenses for non-productive runs of machines. Significant impact on the efficiency of the mobile park has a cost of dismantling and installation of its equipment at the new location. The article suggests methods to minimize these costs on the basis of economic and mathematical modeling and extreme analysis. The main criterion adopted by operation radius of the mobile park. The simplified method is useful when building roads with a minimum height of roadbed, in regions with flat terrain. The detailed method is effective in all conditions of construction, but requires a large number of input data and careful consideration of the construction characteristics of the area. Calculations showed that the optimum operation radius of the park is in the range of 10 to 30 kilometers, depending on the number of machines in the park and of its infrastructure.

Keywords: mobile park of specialized machines, optimal activity radius of machine park, economic and mathematical methods

В системе технического обеспечения дорожного строительства важная роль отводится организации парков специализированных (дорожных и строительных) машин. При организации парков приходится решать такие важные вопросы, как обеспечение своевременного технического обслуживания и ремонта машин [2, 5], обеспечение сохранности техники в нерабочее время, а также повышение коэффициента использования машин по времени за счет сокращения времени непроизводительных пробегов. На сегодня создана достаточно прочная научная база решения указанных вопросов. Однако она не в полной мере отвечает требованиям дорожного строительства, имеющего линейный характер. Последнее обстоятельство требует применения мобильных парков специализированных машин, подходы к формированию и организации работы которых имеют существенные отличия от традиционных стационарных парков.

Линейный характер дорожного строительства вызывает противоречие между стремлением как можно реже перебазировать мобильный парк (экономя на затратах по подготовке территории парка) и возрастанием потерь от «холостых» пробегов машин от парка до головного участка строящейся дороги. Минимизация указанных потерь является **целью исследования**, изложенной в настоящей работе.

Мобильный парк обычно размещается в начале трассы строящейся дороги, с последующим периодическим перемещением на расстояние $R_{пар}$ (рис. 1).

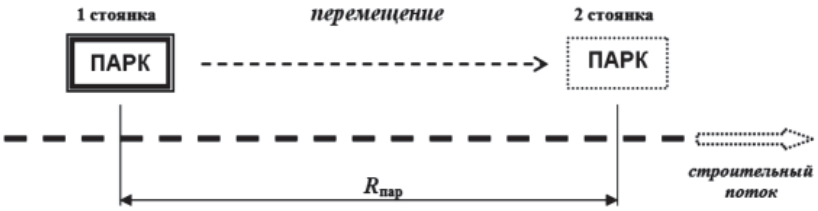

Рис. 1. Расчетная схема для определения оптимального радиуса использования парка: $R_{пар}$ – протяженность участка дороги, на котором техническое обеспечение строительных работ выполняется с одного месторасположения парка, км

Решение задачи может быть осуществлено по упрощенной и детализированной методикам с использованием методов экстремального анализа. Упрощенная методика исходит из допущения, что наибольшее количество машин, участвующих в строительстве, задействованы на устройстве дорожной одежды. Такая ситуация наблюдается при строительстве дорог в нулевых отметках, в равнинных районах либо в степной местности. В этом случае в качестве критерия эффективности использования дорожно-строительной техники может быть принят минимум стоимости 1 м² покрытия, приходящегося на площадь дороги, построенной в радиусе действия парка между очередными перемещениями.

Математическая постановка данной задачи сводится к нахождению оптимального значения $R_{пар}$ и может быть выражена зависимостью:

$$T_n = f(R_{пар}, C_1), \qquad (1)$$

где T_n – время работы парка на одном месте (время между двумя очередными перебазированиями); C_1 – стоимость 1 м² дороги с учетом ее строительства при нахождении парка на одном месте.

В зависимости (1) достаточно сложно выразить влияние $R_{пар}$ на стоимость 1 м² дороги. Для этого необходимо стоимость площади дороги протяженностью $R_{пар}$ разделить на суммарные затраты по доставке техники на объекты работ и затраты на перебазирование самого парка. Стоимость площади дороги легко определить по проекту. Значительно сложнее рассчитать затраты на содержание и перебазирование парка.

Если затраты на перебазирование могут быть рассчитаны по расценкам на монтаж и демонтаж оборудования, то затраты на эксплуатацию машин из-за их многообразия расценками не охвачены (доставка гусеничной техники может осуществляться на трейлерах либо с оставлением на строящейся дороге с соответствующей охраной и обслуживанием). В связи с тем, что доля транспортных затрат в стоимости материалов достигает 60 %, в качестве основных машин парка следует принять автомобили. Техника на автомобильном ходу в межсменный период может находиться в парке, но при этом необходимо учитывать ежесуточные затраты на выдвижение этой техники к месту производства работ. Таким образом, допустив некоторое упрощение, целевую функцию можно записать в виде:

$$C_1 = C_М + C_{тр} + C_{мд}^{1м^2} \to \min, \qquad (2)$$

где $C_М$ – стоимость материалов в 1 м² дороги ($C_М$ не зависит от $R_{пар}$); $C_{тр}$ – стоимость транспортных работ, определяемая по формуле:

$$C_{тр} = \frac{C_{1ткм} \cdot R_{пар}}{2 \cdot S}, \qquad (3)$$

где $C_{1ткм}$ – стоимость 1 тонно-километра перевозки дорожно-строительных материалов (стоимости перевозок могут быть определены по действующим тарифам в зависимости от класса груза), руб.; S – площадь дороги, которая может быть устроена из 1 т материалов, м²; $C_{мд}^{1м^2}$ – стоимость демонтажа, перебазирования и монтажа парка на новом месте, отнесенная к стоимости 1 м² дороги, определяемая по формуле:

$$C_{мд}^{1м^2} = \frac{C_{мд}^{\Sigma} + C_{пб}}{1000 \cdot b \cdot R_{пар}}, \qquad (4)$$

где $C_{мд}^{\Sigma}$ – суммарная стоимость демонтажа и монтажа сооружений и оборудования парка, руб.; b – ширина строящейся дороги, м; $C_{пб}$ – стоимость перебазирования парка, определяемая по формуле:

$$C_{пб} = Q \cdot C_{1ткм}^{пар} \cdot R_{пар}, \qquad (5)$$

где Q – масса сооружений и оборудования парка, т; $C_{1ткм}^{пар}$ – стоимость 1 тонно-километра перевозки сооружений и оборудования парка, руб.

Используя зависимости (3), (4) и (5), запишем целевую функцию (2) в виде:

$$C_1 = C_М + \frac{C_{1ткм} \cdot R_{пар}}{2 \cdot S} + \frac{C_{мд}^{\Sigma} + Q \cdot C_{1ткм}^{пар} \cdot R_{пар}}{1000 \cdot b \cdot R_{пар}^2} \to \min. \qquad (6)$$

Полученную зависимость продифференцируем по $R_{пар}$ и приравняем дифференциал к нулю:

$$\frac{dC_1}{dR_{пар}} = 0 + \frac{C_{1ткм}}{2 \cdot S} - \frac{C^{\Sigma}_{мд}}{1000 \cdot b \cdot R^2_{пар}} = 0. \quad (7)$$

Решим уравнение относительно $R_{пар}$:

$$\frac{C_{1ткм}}{2 \cdot S} = \frac{C^{\Sigma}_{мд}}{1000 \cdot b \cdot R^2_{пар}}; \quad (8)$$

$$R_{пар} = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot C^{\Sigma}_{мд}}{1000 \cdot b \cdot C_{1ткм}}}. \quad (9)$$

В полученной зависимости (9) наиболее сложным является определение затрат на монтаж и демонтаж оборудования парка $C^{\Sigma}_{мд}$. Эти данные калькулируются на основе стоимости подготовительных работ (оформление временного отвода или аренды земельного участка, подключение к сетям электро- и водоснабжения), стоимости работ по монтажу сооружений, оборудования и инфраструктуры парка на новом месте (определяемой по сборникам расценок ТЕР и ФЕР) и стоимости работ по демонтажу сооружений парка.

В качестве примера рассчитаем по данной методике величину $R_{пар}$ для парка автосамосвалов при следующих исходных данных: $C^{\Sigma}_{мд} = 3\,941{,}5$ тыс. руб.; $C_{1ткм} = 0{,}004$ тыс. руб.; $b = 15$ м; $S = 4$ м²/т. Тогда, используя зависимость (9), получим:

$$R_{пар} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot 3941{,}5}{1000 \cdot 15 \cdot 0{,}004}} = 22{,}9 \text{ км}. \quad (10)$$

Как уже отмечалось, предложенная методика является упрощенной. Для более точных расчетов в методике необходимо учитывать тот факт, что техника парка участвует в создании всех слоев дорожной конструкции (земляного полотна, подстилающего слоя, слоев дорожной одежды). В связи с этим в детализированной методике следует учесть перебазирование техники, используемой при устройстве всех элементов дорожной конструкции. В качестве критерия эффективности следует принять минимум стоимости 1 км дороги длиной $R_{пар}$.

В этом случае зависимость (1) примет вид:

$$T_n = f(R_{пар}, C^{дор}_{1км}), \quad (11)$$

где $C^{дор}_{1км}$ – стоимость 1 км дороги с учетом ее строительства при нахождении парка на одном месте.

В детализированной методике определяется требуемое количество машин для устройства каждого конструктивного слоя (по сборникам ГЭСН). Затем рассчитывается общее количество машин в парке, которые задействуются на производстве строительных работ. Далее вся используемая техника разбивается на две группы:

1. Машины, возвращающиеся в конце суток для обслуживания и хранения в парк (как правило, это экскаваторы и транспортные средства);

2. Машины, остающиеся в межсменный период на линии или специально отводимой площадке на дороге (асфальтоукладчики, катки, бульдозеры).

Первая группа техники требует дополнительных расходов на ежедневное перемещение к объектам работ и обратно, причем эти расходы увеличиваются с возрастанием $R_{пар}$. Стоимость пробега по маршруту «парк – объект работ» и обратно может быть определена по сборнику ССЦ. Затраты на хранение машин второй группы будут слагаться из размера заработной платы персонала охраны, а также затрат на подготовку площадок стоянки машин (если они необходимы). Такие стоянки могут потребоваться при полностью развернутом строительном потоке, длина которого может составлять от 2 до 5 км [1]. Поэтому в конце суток машины должны собираться в одном месте для удобства их охраны. По мере продвижения строительного потока месторасположение таких площадок необходимо периодически менять.

Среднюю длину потока можно обозначить как $L_{пот}$. При этом количество стоянок техники, оставляемой на дороге при нахождении парка в одном районе, составит:

$$N_{площ} = \frac{R_{пар}}{L_{пот}}. \quad (12)$$

Тогда стоимость хранения техники 2-й группы на дороге в нерабочее время составит:

$$C^{Т2}_{хр} = \frac{C^{охр}_{1сут} \cdot n_{охр} \cdot R_{пар}}{V_{пот}} + C_{пл} \cdot N_{площ}, \quad (13)$$

где $C^{охр}_{1сут}$ – суточный тариф охранника; $n_{охр}$ – количество охранников; $V_{пот}$ – скорость строительного потока; $C_{пл}$ – стоимость устройства одной площадки хранения.

Возвращаясь к формуле (2), целевую функцию с учетом затрат на перемещение техники на линии можно записать в виде:

$$C_{1км}^{дор} = C_М + C_{тр}^{Т1} + C_{хр}^{Т2} + C_{мд}^{1км} \longrightarrow \min, \quad (14)$$

где $C_М$– стоимость материалов, как и в зависимости (2), не связанная с $R_{пар}$; $C_{тр}^{Т1}$ – затраты на пробег машин 1-й группы до места выполнения работ и их возвращение по окончании работ. Эту стоимость можно найти как часть стоимости машино-часа машин первой группы [4].

Следовательно, доля затрат на перемещение техники и возвращение ее назад будет определяться по формуле:

$$C_{тр}^{Т1} = \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}85 \cdot C_{МЧ i} \cdot N_i^{Т1} \cdot R_{пар}}{V_i}, \quad (15)$$

где n – количество видов машин 1-й группы; $C_{МЧ i}$ – стоимость машино-часа i-го вида машин; $N_i^{Т1}$ – количество машин на автомобильном ходу i-го вида; V_i – средняя скорость пробега до места производства работ. Коэффициент 0,85 отражает долю затрат от стоимости машино-смены, приходящуюся на перемещение машин от парка до линии и возвращение обратно в парк (рис. 2).

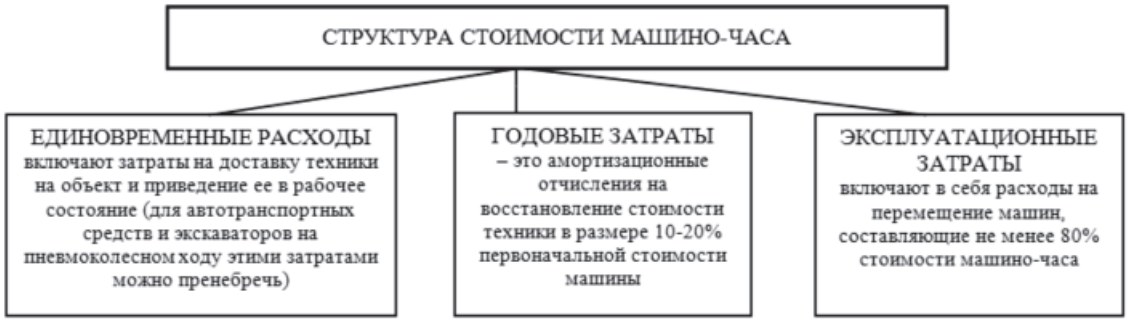

Рис. 2. Структура стоимости машино-часа строительных машин

С учетом выражений (12), (13) и (15) целевая функция (14) примет вид:

$$C_{1км}^{дор} = C_М + \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}85 \cdot C_{МЧ i} \cdot N_i^{Т1} \cdot R_{пар}^{охр}}{V_i} + \left(\frac{C_{1сут} \cdot n_{охр}}{V_{пот}} + \frac{C_{пл}}{L_{пот}} \right) \cdot R_{пар} + \frac{C_{мд}^{\Sigma}}{R_{пар}} \to \min. \quad (16)$$

Для удобства расчета можно использовать следующие обозначения:

$$A = \sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}85 \cdot C_{МЧ i} \cdot N_i^{Т1}}{V_i}; \quad (17)$$

$$B = \frac{C_{1сут}^{охр} \cdot n_{охр}}{V_{пот}} + \frac{C_{пл}}{L_{пот}}. \quad (18)$$

С учетом этих обозначений зависимость (16) примет вид:

$$C_{1км}^{дор} = C_М + A \cdot R_{пар} + B \cdot R_{пар} + \frac{C_{мд}^{\Sigma}}{R_{пар}} \longrightarrow \min. \quad (19)$$

Продифференцировав формулу (19) по $R_{пар}$, получим:

$$\frac{dC_{1км}^{дор}}{dR_{пар}} = A + B - \frac{C_{мд}^{\Sigma}}{R_{пар}^2} = 0. \quad (20)$$

Решение зависимости (20) позволяет получить формулу оптимального радиуса действия парка с одной стоянки:

$$R_{пар} = \sqrt{\frac{C_{мд}^{\Sigma}}{A + B}}. \quad (21)$$

Подставив в выражение (21) значения A и B, запишем формулу определения $R_{пар}$ в окончательном виде:

$$R_{пар} = \sqrt{\frac{C_{мд}^{\Sigma}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{0{,}85 \cdot C_{МЧ i} \cdot N_i^{Т1}}{V_i} + \frac{C_{1сут}^{охр} \cdot n_{охр}}{V_{пот}} + \frac{C_{пл}}{L_{пот}}}}. \quad (22)$$

Предварительные расчеты показали, что оптимальное значение $R_{пар}$ находится в пределах от 10 до 30 км в зависимости от количества машин в парке и состава его инфраструктуры. Работоспособность предлагаемой методической базы доказана на

примере деятельности конкретной дорожно-строительной организации, осуществлявшей строительство федеральной автомобильной дороги «Дон» [3]. При этом радиус действия парка может быть сокращен, если строительная организация использует технику, перемещение которой является дорогостоящим. И наоборот, $R_{пар}$ может быть значительно увеличен, если велики затраты на подготовку документации и оплату стоимости земли при оборудовании нового района базирования парка. Этот фактор имеет наибольшее значение при строительстве дороги в центральных районах России, где стоимость земли наибольшая.

Выводы

1. Предлагаемые методики расчета позволяют минимизировать затраты и потери при обеспечении своевременного технического обслуживания и ремонта специализированных машин и могут быть использованы для обоснования частоты перемещения мобильных парков.

2. При расчете радиуса действия мобильного парка необходимо тщательно подготавливать исходную информацию, в полной мере учитывающую конкретные экономические особенности региона. Рассмотренные методики позволяют решать задачи экономического обоснования эффективности мобильных парков специализированных машин, с учетом конструктивных особенностей транспортного строительства.

Список литературы

1. Кравченко И.Н. Методика выбора критериев оптимизации при формировании парков дорожно-строительной техники / И.Н. Кравченко, А.В. Мясников, Р.Р. Шайбаков // Материалы VIII международной научно-практической конференции. – София: «Бял ГРАД-БГ», 2012. – С. 58–70.

2. Организация технического сервиса специализированных машин и их рабочего оборудования / И.Н. Кравченко, А.В. Мясников, Р.Р. Шайбаков и др. // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 30–36.

3. Мальцев Ю.А. Организационные и экономические аспекты применения мобильных парков машин в дорожном строительстве: монография / Ю.А. Мальцев, А.В. Мясников, А.Н. Горобец. – Балашиха: ВТУ, 2009. – 152 с.

4. Мясников А.В. Оптимизация работы мобильных парков дорожных машин / Ю.А. Мальцев, А.В. Мясников // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4. – С. 21–23.

5. Прохоров С.В. Анализ влияния эксплуатационных факторов на принципы формирования парков строительной техники // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 2. – С. 34–37.

References

1. Kravchenko I.N., Miasnikov A.V., Shaibakov R.R. Materialy 8 mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «sovremennye problemy mirovoy nauki» (Proc. 8th Int. Conf. «Modern issues of world science»). Sofia, 2012, vol. 39, pp. 58–70.

2. Kravchenko I.N., Miasnikov A.V., Shaibakov R.R. Stroitelnye i dorozhnye mashiny – Construction and road building machinery, 2013, no. 1, pp. 30–36.

3. Maltsev Yu.A., Miasnikov A.V., Gorobets A.N. Organizatsionnye i ekonomicheskie aspekty primeneniya mobilnykh parkov mashin v dorozhnom stroitelstve [Organizational and economic aspects of the use mobile parks in the road construction]. Balashikha, VTU Publ., 2009, 152 p.

4. Miasnikov A.V., Maltsev Yu.A. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli – Science and technology of the road sector, 2008, no. 4, pp. 21–23.

5. Prokhorov S.V. Stroitelnye i dorozhnye mashiny – Construction and road building machinery, 2012, no. 2, pp. 34–37.

Рецензенты:

Кушнарев Л.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Логистика агротехсервиса», МГАУ им. В.П. Горячкина;

Ерофеев М.Н., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции», ФГБВОУ ВПО «Военно-технический университет» Министерства обороны.

Работа поступила в редакцию 19.02.2013