

МЕТОДИКА ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ

Ложечко В.П.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, область рациональной работы катка, критерии подбора комплекта, компьютерная программа.

Аннотация. Разработана методика подбора оптимального комплекта катков для уплотнения асфальтобетонных смесей, реализованная в виде компьютерной программы. Методика основана на определении для каждого катка области рациональной работы, где пластические деформации под вальцом катка распространяются на всю толщину слоя, не вызывая его разрушения, и расчете приращения плотности смеси от прохода к проходу. Основными критериями при выборе комплекта являются достижение нормативной плотности асфальтобетона по всей толщине слоя при минимальных затратах и сроках выполнения работ. По результатам расчетов определяется рациональная технологическая схема укатки для выбранного комплекта катков, что весьма ценно для качественной и эффективной организации дорожных работ.

METHOD OF SELECTION OF OPTIMAL SETS OF ROAD ROLLERS

Lozhechko V.P.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: asphalt concrete mixture, the area of rational work of the roller, criteria for selection of the set, computer program.

Abstract. The method of selecting the optimal set of rollers for compaction of asphalt concrete mixtures realized in the form of the computer program has been developed. The method is based on determining for each roller the area of rational work, where plastic deformations under the roller roll extend to the whole depth of the layer without causing its destruction and calculating the increment of the density of the mixture during rolling process. The main criteria when choosing a set of rollers are to achieve the normative density of asphalt concrete at minimum costs and terms of execution of works. Based on the results of calculations, the rational technological scheme of rolling is determined for the selected set of rollers, which is very valuable for the qualitative and effective organization of road works.

Предлагаемая методика предназначена для использования в дорожно-строительных организациях и представляет собой компьютерную технологию формирования из имеющегося парка дорожных катков оптимальных комплектов, способных выполнить требуемые объемы работ по уплотнению асфальтобетонных смесей в заданные сроки с наименьшими затратами.

Принцип подбора заключается в следующем. Зная области рациональной работы всех катков, на каждом этапе уплотнения выбираются только те из них, которые могут обеспечить прирост плотности в кратчайшие сроки. Таким образом формируются несколько вариантов комплектов (звеньев) катков, которые затем сравниваются по технико-экономическим показателям, и на основании этого выбирается наиболее выгодный вариант. Все необходимые

расчеты осуществляются по разработанной программе для ЭВМ PODBOR. Алгоритм выбора оптимального комплекта катков представлен на рис. 1.

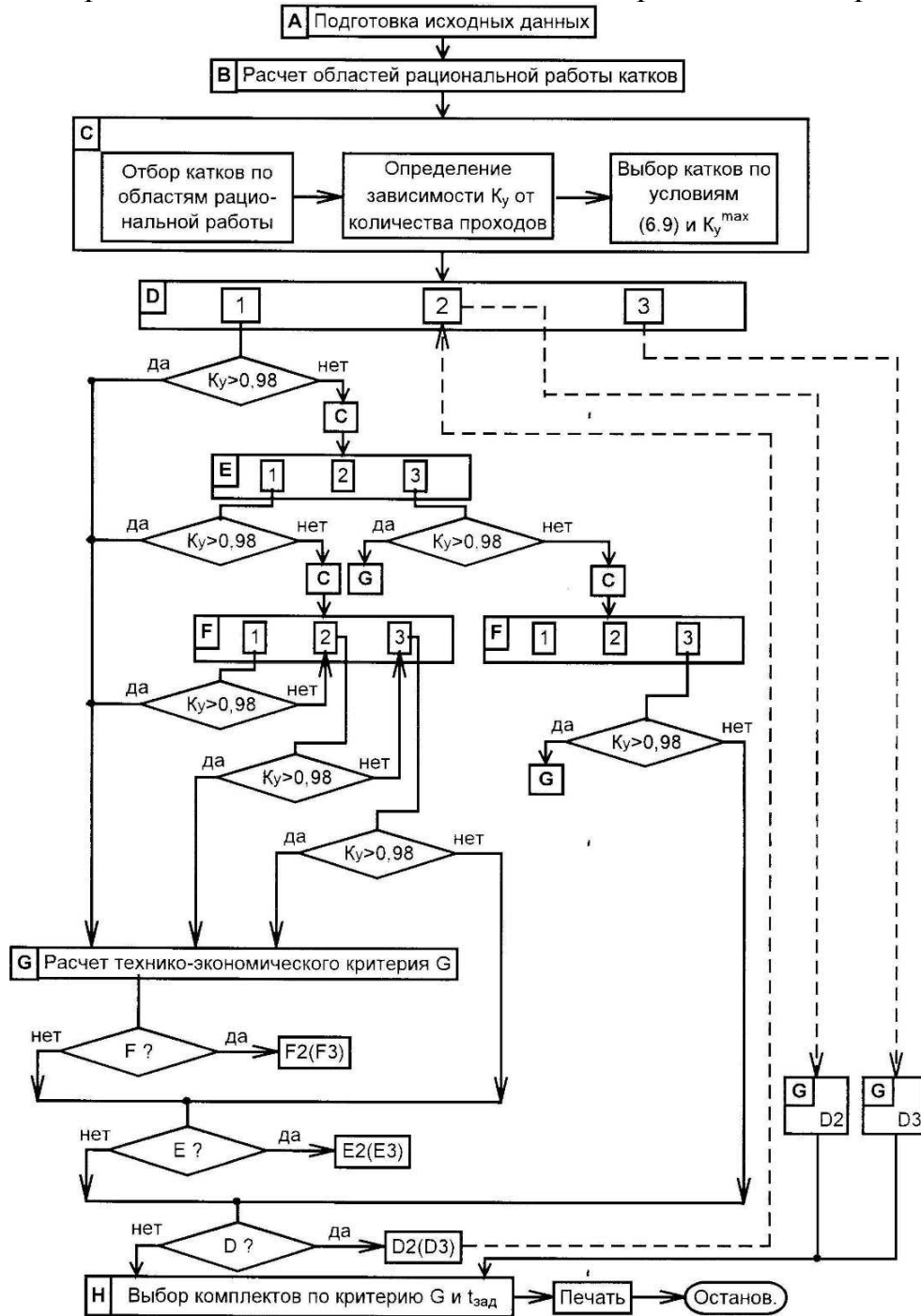


Рис. 1. Алгоритм подбора оптимального комплекта катков

Для реализации программы расчета сначала необходимо сформировать банк исходных данных (уровень А), который должен содержать сведения о параметрах и эксплуатационных расходах катков всего парка. В программу вводятся и параметры технологического процесса: тип смеси, толщина уплотняемого слоя - $h_{сл}$, ширина уплотняемой полосы - $B_{пл}$, длина захватки - L_3 , предлагаемый объем - $F(m^2)$ и заданный срок выполнения работ - $t_{зад}$, значения начальной плотности K_0 и температуры T_n смеси, а также их конечные значения - $K_y = 0,98$ и $T_{кон} = 70^\circ C$. Как показывает практика, после асфальтоукладчика без вибробруса $K_0 = 0,86-0,90$, с вибробрусом - $K_0 = 0,92-0,94$, а $T_n = 120-130^\circ C$.

Кроме того, здесь же необходимо указать расчетные значения температуры окружающего воздуха - T_B и скорости ветра - V_B , используя которые, вычисляется время, отводимое на уплотнение асфальтобетона, по формуле [1]

$$t_y = 2 h_{сл}^{1,5} / (1 + \kappa V_B) * (T_H - T_{кон}) / (T_{кон} - T_B), \quad (1)$$

где $\kappa = 0,1$ - постоянный коэффициент. Это время характеризует период, в течение которого уплотняемый слой остывает до температуры $T_{кон}$.

После подготовки исходных данных, по изложенной в работе [2] методике находятся области рациональной работы для каждого из имеющихся в парке катков, включая вибрационные и пневмоколесные (уровень **B**). Пример такой области для катка массой 8 тонн показан на рис. 2. Здесь представлены области рациональной работы катка в статическом (30 кН/м) и вибрационном (45 Гц) режимах. Верхняя граница областей соответствует условию $\tau = [\tau]$, а нижняя – условию $h_p = h_{сл}$, где τ и $[\tau]$ – соответственно текущее и допустимое значения касательных напряжений в слое, h_p - глубина развития пластических деформаций в уплотняемом слое асфальтобетона. Таким образом, кривые $\tau=[\tau]$ и $h_p=h_{сл}$ ограничивают область допустимых значений коэффициента уплотнения и температуры асфальтобетона, при которых пластические деформации распространяются на всю глубину слоя, не вызывая его разрушения.

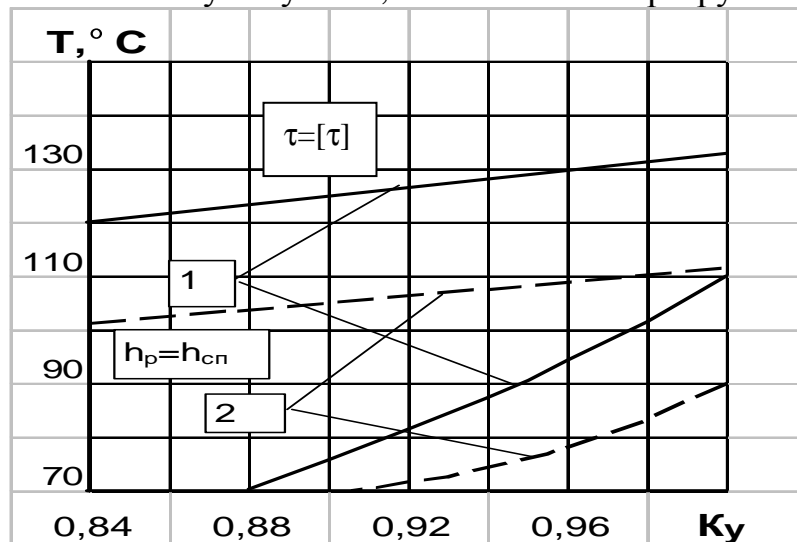


Рис. 2. Области рациональной работы катка:
1 - статический режим; 2 - вибрационный режим

Далее область рациональной работы конкретного катка сопоставляется со значениями начальной плотности и температуры начала уплотнения. Если точка с координатами (T_H, K_0) попадает в область рациональной работы, то данный каток участвует в дальнейших расчетах. Если же точка не попадает в указанную область, то на этом этапе расчетов данный каток не используется.

Для катков, отобранных на основании их областей рациональной работы, определяются зависимости изменения коэффициента уплотнения K_y от количества проходов (уровень **C**). Финашин В.Н. и Соколов В.А. предложили для определения коэффициента уплотнения в ходе укатки следующее выражение:

$$K_y = K_0 + K_n \cdot \ln n, \quad (2)$$

где K_0 - начальное значение коэффициента уплотнения; K_n - коэффициент интенсивности уплотнения; K_y - коэффициент уплотнения после n проходов

катка. Коэффициент интенсивности уплотнения изменяется в процессе укатки и зависит как от параметров смеси, так и параметров рабочего органа катка.

В этой связи можно записать, что $K_{ni} = f(q, D, T, K_y)$, где q и D – соответственно линейное давление и диаметр вальца катка. Используя метод анализа размерностей, эту зависимость для мелкозернистого асфальтобетона нам удалось привести к виду [2]

$$K_{ni} = 0,028 (\rho g D^2 / q)^{-2,65} K_{yi-1}^{-3,2} (T_{i-1} / T_0)^{3,48}. \quad (3)$$

где K_{ni} - коэффициент интенсивности уплотнения на i -м проходе катка;

ρ - стандартная плотность асфальтобетона; g – ускорение свободного падения; K_{yi-1} - коэффициент уплотнения после $i-1$ -го прохода катка; T_{i-1} - температура асфальтобетона после $i-1$ -го прохода катка; T_0 - постоянная температура (125°C).

В процессе укатки температура асфальтобетона падает. Иноземцев А.А. [3] предложил определять среднюю по толщине слоя температуру асфальтобетона в процессе остывания из выражения

$$T = T_b + (T_{t=0} - T_b) e^{-V_T t}, \quad (4)$$

где $T_{t=0}$ - температура асфальтобетона в начальный момент времени (при $t=0$);

T - температура в момент времени t ; T_b - температура воздуха; V_T - скорость остывания асфальтобетона.

Для практических расчетов удобнее выразить V_T через количество проходов катка. Время, затрачиваемое катком на один проход, можно определить из выражения $t_{пр} = L_3 / V_k$, где L_3 - длина захватки уплотняемой полосы асфальтобетона; V_k - скорость катка. Тогда температура асфальтобетона после i проходов катка определится из выражения:

$$T_i = T_b + (T_{t=0} - T_b) e^{-(V_T / V_k) i \cdot L_3}. \quad (5)$$

Уравнения (2), (3) и (5) позволяют вычислить значения коэффициента уплотнения в зависимости от числа проходов катка. Расчет ведется до тех пор, пока приращение коэффициента уплотнения ΔK_y за проход не станет меньше 0,003. Соответствующее этому условию четное количество проходов n_i используется для вычисления времени, затрачиваемого катком на укатку всей уплотняемой полосы, по формуле:

$$t_i = n_i L_3 m / V_{ki}, \quad (6)$$

где i - порядковый номер катка на каждом из уровней расчета **D**, **E**, **F** (см. рис. 1); V_{ki} - рабочая скорость катка, м/с; $m \cong B_{п} / (B_i - a)$ - число, округляемое до ближайшего большего целого и отражающее необходимое количество переходов катка для уплотнения полосы по всей ширине. Здесь B_i - ширина вальца катка, м; $a = 0,2$ м - величина перекрытия следов.

Из совокупности катков, для каждого из которых известны значения K_{yi} , T_i и t_i , соответствующие количеству проходов n_i , на следующем этапе производится выбор наиболее подходящих по технологическим возможностям машин. Критерием отбора является соблюдение следующих условий:

$$\sum t_i = t_i^D + t_i^E + t_i^F \leq t_y$$

$$h_{pi} \geq h_{сл}, \quad (7)$$

где h_{pi} - глубина зоны пластических деформаций в слое асфальтобетона на n_i - ом проходе. Из всех катков, удовлетворяющих условию (7), в дальнейших расчетах

участвует не более трех, достигших максимальных значений K_y . Они становятся первыми катками (D_i), на основе которых будут формироваться варианты комплектов.

Последующие расчеты уже ведутся по этим вариантам, начиная с $D1$ (рис. 1). Если $K_{y1}^D \geq 0,98$, то уплотнение данным комплектом (катком) закончено и следует переходить к расчету технико-экономического критерия (уровень G). Если нормативная плотность не достигнута, необходимо осуществить выбор следующего катка комплекта. Для этого следует вернуться на уровень C и, после выполнения описанных выше операций, опять выбрать из всего парка не более трех катков, подходящих по условиям (7) и K_y^{\max} . При этом в качестве начальных значений плотности и температуры смеси принимаются K_{yi}^D и T_i^D , соответствующие окончанию укатки предыдущим катком.

Далее цикл вычисления повторяется, начиная с катка $E1$. При переходе на уровень F рассматриваются все три варианта комплекта (звена), в котором первый каток - $D1$, второй - $E1$, а в качестве третьего катка при необходимости выступают по очереди $F1$, $F2$ и $F3$. Для звеньев, достигших $K_y = 0,98$, производится расчет технико-экономического критерия G .

После этого, при наличии нерассмотренных катков на уровне E , осуществляется возврат на этот уровень и по описанной схеме рассчитываются комплекты с катками $E2$ и $E3$. И только затем начинают вычисления последовательно по вариантам (каткам) $D2$ и $D3$, если они есть.

Для расчета технико-экономического критерия G для каждого катка из комплекта находится зависимость полных затрат от времени заданного выполнения объема работ. В качестве критерия G приняты эквивалентные затраты, которые определяются по формуле

$$G_j = (U_{kj} + U_{Tj}/2)t_j/t_{\text{зад}}, \quad (8)$$

где U_k - капитальные постоянные затраты на приобретение техники, руб; U_T - текущие (переменные) затраты, рассчитываемые на период работы техники, руб; t - время выполнения заданного объема работ Q , ч; j - номер выбранного комплекта катков. Затраты U_{kj} , U_{Tj} и время выполнения работ t_j находятся по широко известной методике [4].

В результате проведенных расчетов имеется ряд комплектов катков, удовлетворяющих всем поставленным требованиям и способных выполнить необходимый объем работ в заданные сроки по рациональным технологическим схемам укатки. В качестве примера на рис. 3 показана такая схема для одного комплекта катков производства ЗАО «Раскат» [5]. Из нее следует, что для достижения нормативного коэффициента уплотнения $K_y = 0,98$ двум каткам: ДУ-96 (в статическом режиме) и ДУ-98 (в вибрационном режиме) массой 7,8 и 11,5 тонн соответственно, необходимо совершить 16-20 проходов по следу. При этом последние проходы необходимо выполнять с отключенным вибратором для получения требуемой ровности покрытия.

Для каждого комплекта рассчитан критерий G и время выполнения объема работ, на основании которых уже на этапе H подбирается 2–3 наиболее экономичных варианта по условиям: $t_j \leq t_{\text{зад}}$ и $G_j \rightarrow \min$. Вся информация по выбранным вариантам выводится на печать для принятия в дальнейшем

управленческих решений с учетом прочих, не нашедших отражения в программе PODBOR, обстоятельств.

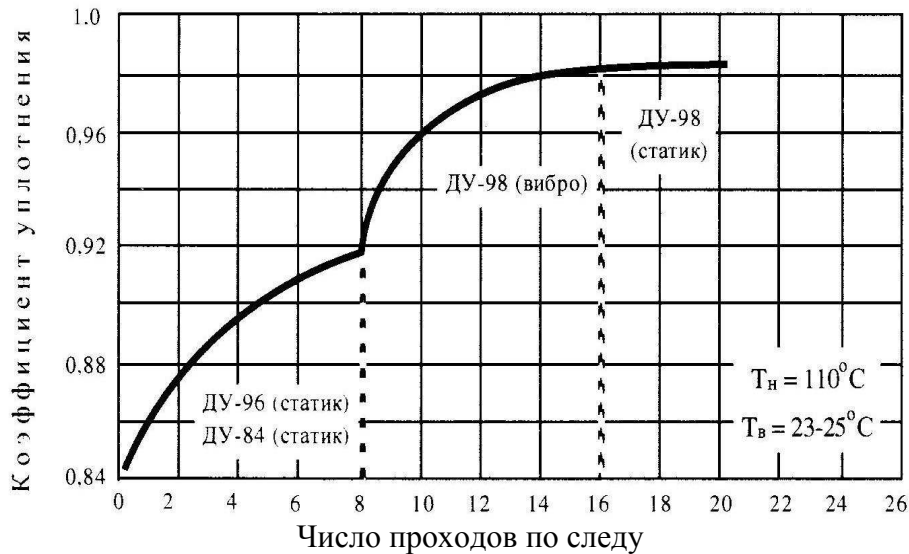


Рис. 3. Рациональная технологическая схема работы комплекта катков при толщине слоя мелкозернистой смеси 8 см

Следует заметить, что на каждом уровне (этапе) число выбранных типов катков не превышает трех. Под типами катков понимаются не только модели, различающиеся по массе, виду рабочего оборудования и характеру воздействия на уплотняемый материал. Здесь даже одна модель катка может выступать в виде нескольких типов. Например, на базе катка ДУ-96 можно иметь три типа катков: статического действия, вибрационного с частотой колебаний $\nu = 40$ Гц и вибрационного с $\nu = 50$ Гц.

Список литературы

1. Якунин О.А., Горельшев Н.В. Исследование процесса охлаждения слоев асфальтобетонной смеси // Тр. СОЮЗДОРНИИ. 1972. Вып. 61. С. 88-97.
2. Ложечко В.П., Петров И.П. Выбор оптимальных параметров и режимов работы дорожных катков // Известия ВУЗов. Строительство. 1998. №1. С. 56-65.
3. Иноземцев А.А. Битумо-минеральные материалы. Л.: Стройиздат, 1972. 152 с.
4. Раннев А.В. и др. Строительные машины / Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1991. 496 с.
5. Ложечко В.П., Шестопалов А.А. Строительные и дорожные машины. Машины для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей: Уч. пособие. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2006. 71 с.

Сведения об авторе:

Ложечко Виктор Петрович – д.т.н., профессор, СПбПУ, г.Санкт-Петербург.