

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт машиностроения, материалов и транспорта
Высшая школа транспорта

Работа допущена к защите
Директор высшей школы
_____ А.А. Грачев
« ____ » _____ 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА КАТКОВ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

по направлению подготовки (специальности) 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»

Направленность (профиль) 23.04.02_08 «Инжиниринг транспортно-технологических систем»

Выполнила
студентка гр.3342302/80801 <подпись> Н.В. Николаева

Руководитель
профессор, д.т.н. <подпись> В.П. Ложечко

Консультант
по нормоконтролю
доцент, к.т.н. <подпись> Д.Г. Плотников

Санкт-Петербург

2020

областей рациональной работы катков и выбору их оптимальных комплектов.

6. Консультанты по работе:

7. Дата выдачи задания: 01.10.2019

Руководитель ВКР _____ **В.П. Ложечко**

Задание принял к исполнению: 01.10.2019

Студент _____ **Н.В. Николаева**

РЕФЕРАТ

На 90 с., 41 рисунок, 6 таблиц, 1 приложение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АСФАЛЬТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ, УПЛОТНЯЕМЫЙ СЛОЙ, ДОРОЖНЫЙ КАТОК, ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ, ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАБОТЫ, ОПТИМАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ КАТКОВ.

Тема выпускной квалификационной работы: «Методика выбора оптимального комплекта катков для уплотнения асфальтобетонной смеси».

Работа посвящена выявлению закономерностей влияния параметров и режимов работы дорожных катков на эффективность уплотнения асфальтобетонных смесей.

Целью ВКР являлась разработка методики и программы выбора оптимального комплекта катков, позволяющих повысить эффективности их использования при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей.

В ходе выполнения магистерской диссертации были выполнены следующие работы:

1. Исследовано влияние параметров и режимов работы катков на эффективность уплотнения асфальтобетона.
2. Обоснованы области рациональной работы разных типов катков при укатке асфальтобетонных смесей, различных по структуре и толщине уплотняемого слоя.
3. Разработана методика выбора оптимальных комплектов катков.
4. Разработан алгоритм и программа для ЭВМ по определению рациональных областей работы катков и выбору их оптимальных комплектов.

Разработанная программа предназначена для использования в организациях, занимающихся строительством и ремонтом автомобильных дорог; а также в ВУЗах, при выполнении студентами практических и лабораторных работ.

ABSTRACT

90 pages, 41 figures, 6 tables, 1 appendices.

KEYWORDS: ASPHALT MIX, SEALED LAYER, ROAD ROLLER, OPTIMAL MODES OF OPERATION, AREA OF RATIONAL WORK, OPTIMUM SET OF ROLLERS.

The subject of the graduate qualification work is "The methodology of choosing the optimal set of rollers for compaction of asphalt mix".

The work is devoted to identifying patterns of influence of parameters and operating modes of road rollers on the effectiveness of compaction of asphalt mixtures.

The aim of the graduate qualification work is to develop a methodology and program for selecting the optimal set of rollers to improve the efficiency of their use in compaction of hot asphalt mixtures.

In the course of the master's thesis, the following works were completed:

1. The influence of the parameters and operating modes of the rollers on the effectiveness of compaction of asphalt concrete was investigated.
2. Areas of rational operation of different types of rollers when rolling asphalt mixes, different in structure and thickness of the compacted layer were substantiated.
3. A methodology for choosing the optimal sets of rollers was developed.
4. An algorithm and a computer program to determine the rational areas of the rollers and the choice of their optimal sets were developed.

The developed program is intended for use in organizations involved in the construction and repair of roads; as well as in universities, when students perform practical and laboratory work.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДОРОЖНЫМИ КАТКАМИ.....	9
1.1 Асфальтобетон и его основные свойства.....	9
1.2 Дорожные катки для уплотнения асфальтобетонных покрытий.....	17
2 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ.....	30
2.1 Влияние параметров катка на напряженно-деформированное состояние слоя асфальтобетона.....	30
2.2 Определение оптимальных и рациональных режимов работы катков	40
3 МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА КАТКОВ	47
3.1 Обоснование методики.....	47
3.2 Алгоритм выбора оптимального комплекта катков.....	53
4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ КАТКОВ.....	59
4.1 Описание программы и ее возможностей	59
4.2 Рекомендации по пользованию программой	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ	80

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности и сельского хозяйства тесно связано с расширением сети автомобильных дорог, увеличением объёма работ по содержанию, ремонту и реконструкции действующих магистралей.

Выполнение этих мероприятий на базе высокоэффективной дорожно-строительной техники и оборудования обеспечивает существенную экономию материальных, энергетических и трудовых ресурсов, наряду с применением современных технологий и новых технологических операций.

В настоящее время дорожное строительство развивается в направлении увеличения прочности и долговечности дорог, что обуславливает применение для устройства дорожных одежд дорогостоящих материалов. Однако вложенные средства и затраченные усилия оказываются напрасными, если нет чётких технологических рекомендаций по производству работ.

Для экономии ресурсов, а также времени, затрачиваемого для строительства дорог с асфальтобетонным покрытием, необходимо иметь рационально подобранный комплект катков для уплотнения асфальтобетонной смеси. Если такой комплект выбран правильно, то работы, ведущиеся по уплотнению асфальтобетонной смеси, будут идти быстрее, что скажется на сроках сдачи дорожного покрытия.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.

Важнейшим фактором в решении задачи эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей и достижения нормативной плотности является правильный выбор типов дорожных катков и режимов их работы. Подбор оптимальных комплектов катков для уплотнения асфальтобетонных смесей является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит получать высококачественное асфальтобетонное покрытие, отличающееся своей прочностью и долговечностью.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ – взаимодействие рабочих органов катков с уплотняемой средой.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ – выявление закономерностей влияния параметров и режимов работы дорожных катков на эффективность уплотнения асфальтобетонных смесей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – разработка методики и программы выбора оптимального комплекта катков с целью повышение эффективности их использования при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие частные задачи:

1. Исследовать влияние параметров и режимов работы катков на эффективность уплотнения асфальтобетона.
2. Обосновать области рациональной работы разных типов катков при укатке асфальтобетонных смесей, различных по структуре и толщине уплотняемого слоя.
3. Разработать методику выбора оптимальных комплектов катков.
4. Разработать алгоритм и программу для ЭВМ по определению рациональных областей работы катков и выбору их оптимальных комплектов.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ предусматривает комплексный подход, включающий:

- анализ взаимодействия рабочих органов катков с уплотняемой асфальтобетонной смесью;
- разработку аналитического описания процесса уплотнения асфальтобетона дорожными катками на различных этапах укатки;
- обоснование методики выбора оптимальных комплектов катков;
- разработку алгоритма и программы выбора комплектов катков.

1 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДОРОЖНЫМИ КАТКАМИ

1.1 Асфальтобетон и его основные свойства

В настоящее время наиболее распространенными дорожными покрытиями являются асфальтобетонные. Асфальтобетонные покрытия характеризуются широким спектром положительных качеств. К основным из них можно отнести: высокую механическую прочность, способность к упругим и пластическим деформациям, хорошее сцепление шин с покрытием, высокую демпфирующую способность и т.д.

Асфальтобетоном называют материал, получающийся в результате уплотнения специально приготовленной (асфальтобетонной) смеси, состоящей из щебня или гравия, песка, минерального порошка и битума в рационально подобранных соотношениях.

Щебень (гравий) в асфальтобетоне образует пространственный каркас, который, в основном, определяет прочностные показатели покрытия. Роль песка сводится к заполнению межзернового пространства каркаса. Щебень наряду с песком образует минеральный остов асфальтобетонного покрытия.

Битум является основным структурообразующим компонентом асфальтобетона. За счет битума между минеральными частицами образуются прочные адгезионные связи, благодаря чему отдельные зерна образуют прочный монолит, способный противостоять механическим усилиям и действию атмосферных факторов. Степень взаимодействия вяжущего и минерального наполнителя является важнейшим фактором, определяющим прочность, долговечность, деформативность и плотность асфальтобетона.

Битум в асфальтобетоне находится в структурированном и объемном состояниях. В зависимости от химического состава и температуры существенно изменяется его вязкость. Для повышения теплоустойчивости вяжущего в состав асфальтобетонной смеси добавляют минеральный порошок, который, обладая большой площадью поверхности, притягивает к себе значительную часть битума. В результате битум из объемного переходит в пленочное,

структурированное состояние. При объединении битума с минеральным порошком формируется микроструктура асфальтобетона. При определенном их соотношении достигается наивысшая прочность бинарной системы битум - минеральный порошок. Это значит, что при определенной концентрации минерального порошка в смеси формируется пространственная структура с достаточно прочными связями, которые, в свою очередь, зависят от природы и дисперсности порошка.

Таким образом, асфальтобетон представляет собой один из наиболее сложных строительных материалов. Эта сложность обусловлена, главным образом, особенностями его структуры, большой зависимостью свойств от различных факторов, особенно от температуры. Это отличает его от большинства других материалов, применяемых для устройства дорожных покрытий. При высоких температурах асфальтобетон обладает свойствами вязко-пластичного материала, а по мере остывания, все сильнее проявляются его упругие свойства.

По ГОСТ 9128-2013 по плотности (пористости) смеси разделяются на высокоплотные, с остаточной пористостью 1–2,5%; плотные, обладающие остаточной пористостью 2,5–5%, пористые с остаточной пористостью 5–10% и высокопористые – 10%. В зависимости от наибольшего размера минеральных зерен различают асфальтобетоны: крупнозернистые с размером зерен до 40 мм, мелкозернистые - до 20 мм и песчаные, содержащие размеры зерен до 10 мм. По вязкости применяемого битума и температуре укладки различают горячие и холодные смеси.

Выбор состава асфальтобетона зависит от специфики его работы в покрытии. Так, пористый асфальтобетон предназначен только для устройства нижнего слоя – биндера. Верхние слои покрытия укладывают только из плотных асфальтобетонов.

Наиболее широкое применение в дорожном строительстве нашел горячий асфальтобетон. Покрытия из этого материала более устойчивы к действию транспортных нагрузок и атмосферных факторов. Важнейшая особенность

покрытий из горячего асфальтобетона – короткий срок их формирования, практически заканчивающийся с завершением процесса уплотнения покрытия и остыванием его до температуры окружающего воздуха. Движение автомобилей по такому покрытию может быть открыто уже через несколько часов после его укладки. Короткий срок формирования покрытия связан с быстрым нарастанием вязкости битума по мере охлаждения. Так, в диапазоне температур 130-70°С коэффициент вязкости, в зависимости от марки битума, увеличивается в 5-10 раз. Это обстоятельство диктует необходимость проведения всех работ по доставке смеси, ее укладке и уплотнению в сжатые сроки.

Плотность, прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия в значительной степени определяются качеством уплотнения смеси. Получение высокой плотности асфальтобетонного покрытия обеспечивается соответствующим качеством асфальтобетонной смеси и ее температурой, выбором параметров и режимов работы катков, сочетанием и последовательностью смены машин различных типов, т.е. технологией уплотнения слоя асфальтобетона.

Основным правилом уплотнения является соблюдение соответствия между силовыми параметрами катка и физико-механическими характеристиками уплотняемого материала.

Силовое воздействие катка вызывает в слое процесс развития и накопления необратимых пластических деформаций. Закономерности их развития и накопления по глубине слоя под рабочим органом катка определяют эффективность процесса уплотнения.

В процессе уплотнения происходит упрочнение асфальтобетонного слоя, за счет взаимного сближения минеральных зерен, перераспределения битума и выжимания вовлеченного в смесь воздуха. Уплотнение асфальтобетона приводит к увеличению значений модуля деформации, сцепления и угла внутреннего трения, определяющих пластические свойства асфальтобетона, также значительно увеличивается объемная масса, снижается пористость, покрытие приобретает необходимую плотность, прочность и водостойчивость.

Таким образом, в результате уплотнения рыхлой асфальтобетонной смеси получается качественно новый материал - асфальтобетон.

Асфальтобетон относится к упруго-вязко-пластичным материалам, для которых характерным является зависимость деформации не только от величины, но и времени действия нагрузки. Однако учет фактора времени затрудняет решение обычных задач. Поэтому для характеристики прочности асфальтобетона часто пользуются предельными напряжениями, при которых начинается нарушение сплошности материала.

Качество готового покрытия оценивается рядом показателей, важнейшими из которых являются коэффициент уплотнения K_y и показатель водонасыщения W . Покрытие считается уплотненным, если $K_y \geq 0,98$. Коэффициент уплотнения находится как отношение объемной массы вырубki, взятой из покрытия, к объемной массе стандартного образца, переформованного из той же вырубki по ГОСТ 12801-98. Коэффициент уплотнения характеризует общее количество пор, как закрытых, так и открытых. Идеальный коэффициент уплотнения можно получить при виброуплотнении смеси в соответствии с государственным стандартом. Коэффициент плотности и эффективность виброуплотнения будут зависеть непосредственно от используемой техники и составляющих смеси. Нужной плотности асфальтобетона можно достичь и при использовании обычных машин, при этом результат будет зависеть от веса и вида техники, числа проходов, состава асфальтобетонной смеси.

Величина водонасыщения характеризует эффективное поровое пространство, т.е. объем пор, сообщающихся между собой и атмосферой. ГОСТ 9128-2013 регламентирует иметь показатель водонасыщения для пористых асфальтобетонов из горячих смесей равный $W = 4-10\%$ по объему и высокопористых $W = 10-18\%$ по объему.

Основной особенностью горячего асфальтобетона как дорожно-строительного материала является сильная зависимость прочностных и

деформативных свойств от температуры и прочности смеси. Основными физико-механическими характеристиками асфальтобетона являются: модуль деформации E , коэффициент Пуассона μ , угол внутреннего трения φ , сцепление C и предел прочности σ_p .

Понятие "модуль деформации" широко используется в механике грунтов [45] для оценки способности грунта сопротивляться внешним нагрузкам. Модуль деформации, в отличие от модуля упругости, учитывает не только обратимую, но и остаточную деформацию.

Опытами установлено [1], что σ_p и E асфальтобетонной смеси с понижением температуры прогрессирующе возрастают. При этом модуль деформации, т.е. жесткость материала, растет быстрее, чем предел прочности. Так при снижении температуры смеси от 160 до 80°C модуль возрастает почти в 15 раз, тогда как σ_p всего в 4 раза. Это обстоятельство затрудняет процесс уплотнения асфальтобетонной смеси. Трудности связаны с невозможностью полной компенсации прироста жесткости за счет увеличения нагрузки. Следовательно, при уплотнении снижение эффективности неизбежно и требуемую плотность материала можно достичь только путем приложения повторных нагрузок.

Это положение несколько улучшается при уплотнении тонких слоев асфальтобетона, когда на σ_p и E слоя сказывается влияние основания [17]. Последнее, обладая более высокой прочностью и жесткостью, повышает общий, эквивалентный модуль деформации, а также предел прочности материала. В большинстве случаев при этом происходит некоторое выравнивание темпов роста предела прочности и модуля, что облегчает процесс уплотнения.

Эквивалентный модуль E_3 имеет промежуточное значение между модулями деформации основания и уплотняемого слоя и зависит от толщины последнего. Чем меньше толщина уплотняемого слоя, тем E_3 ближе к модулю основания [43]. По данным большинства исследователей, при уплотнении

асфальтобетонных смесей жесткость основания начинает сказываться при $h_{\text{сл}} \leq 2d_{\text{шт}}$, где $h_{\text{сл}}$ – толщина уплотняемого слоя, $d_{\text{шт}}$ – диаметр штампа.

Исследования, проведенные в производственных условиях [1], дают представление об изменении E_3 с понижением температуры средnezернистой асфальтобетонной смеси (рисунок 1.1). Модуль деформации уложенного на основание слоя измерялся модулемером конструкции Н.Я.Хархута. За счет жесткости основания модуль увеличивался примерно в 1,3 раза при рыхлом и в 1,2 раза при плотном материале.

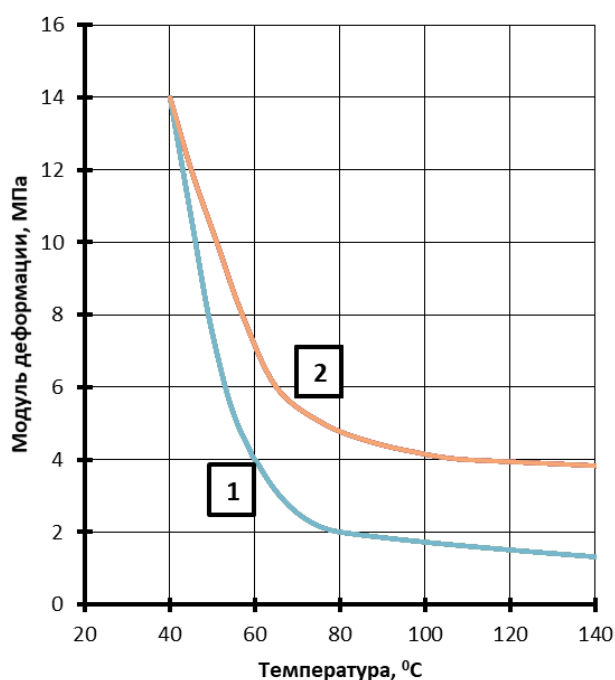


Рисунок 1.1– Влияние температуры на модуль деформации средnezернистого асфальтобетона по данным [1]: 1- неуплотненный слой; 2- уплотненный слой

На рисунке 1.1 видно, что жесткость уплотненной и неуплотненной асфальтобетонной смеси повышается по весьма сходным зависимостям. В зоне высоких температур (100...140°C) модуль деформации уплотненной смеси в 4 раза превышает значения, которые соответствуют ее неуплотненному состоянию. При дальнейшем понижении температуры различие в модулях уменьшается и при температурах менее 50°C становится весьма незначительным, что объясняется преобладающим влиянием температуры, которое как бы поглощает воздействие других факторов на процесс повышения модуля. Это положение подтверждается и результатами экспериментов,

проведенных Стефанюк Е.Л. [42] (рисунок 1.2), которые позволяют сказать, что влияние степени уплотнения и толщины слоя на изменение модуля деформации перекрывается температурным фактором.

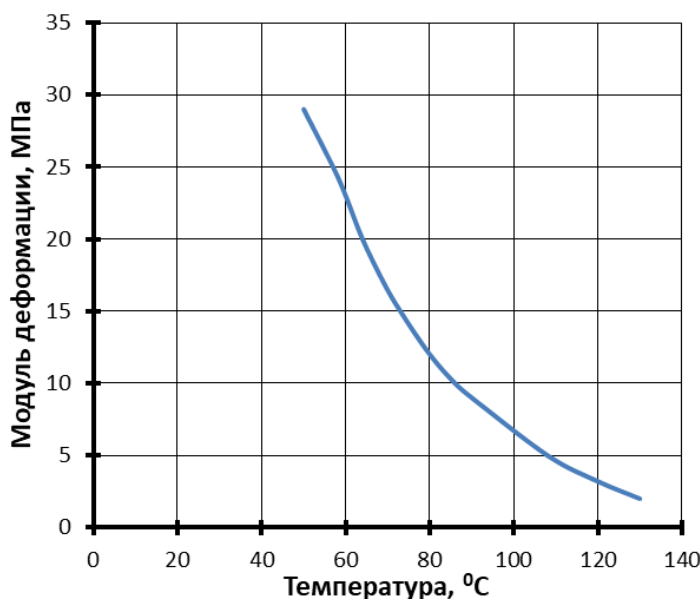


Рисунок 1.2– Влияние температуры на модуль деформации песчаного асфальтобетона при $K_u = 0,9$

Влияние температуры и плотности на модуль деформации в производственных условиях исследовалось в работе [2]. В процессе экспериментов смесь уплотнялась катком Д-469А. После каждого прохода измерялась температура и модуль деформации асфальтобетона (модулемером). Авторы приходят к выводу, что наибольшее приращение E_s имеет место при первых 2-3 проходах катка. В дальнейшем приращение модуля идет, в основном, за счет снижения температуры смеси.

Исследование коэффициента Пуассона μ для асфальтобетонов проводились в работах [12, 36, 38]. Большинство авторов считают, что для асфальтобетона коэффициент Пуассона может быть принят постоянным. По данным Иванова Н.Н. $\mu = 0,3$; Кононова В.Н. – $\mu = 0,25$; Калужского А.Я. и Батракова О.Т. – $\mu = 0,3 - 0,4$. Эти значения соответствуют готовому покрытию при температурах его эксплуатации.

Сергеева Т.Н. [38] определяла коэффициент Пуассона асфальтобетонов в разрезной металлической форме при температурах 40-120°C через коэффициент бокового давления ξ

$$\mu = \xi / (1 + \xi); \quad \xi = \sigma_x / \sigma_y,$$

где σ_x, σ_y – горизонтальные и вертикальные напряжения.

Она установила, что при кратковременном действии нагрузки (это характерно для укатки) коэффициент Пуассона слабо зависит от плотности и температуры смеси, поэтому для песчаного асфальтобетона рекомендуется принимать $\mu=0,15$, для мелкозернистого – $\mu=0,16$.

Сиденко В.М. и др. [39] установили, что сцепление сильно изменяется от температуры и связано с последней зависимостью

$$T = A/T^n,$$

где T – температура асфальтобетона; A – постоянный коэффициент n – показатель степени. Отмечается, что угол внутреннего трения φ не зависит от температуры.

Калерт А.А. [11] в своей работе пришел к выводу, что φ возрастает с увеличением плотности и повышением процентного содержания щебня в смеси. Им установлено, что сцепление в мелкозернистом асфальтобетоне на 10% выше, чем в среднезернистом.

Исследования Линейцевой Л.И. [18] показали сильную зависимость сцепления и независимость внутреннего трения от температуры. Полученная зависимость сцепления от температуры мелкозернистой смеси представлена на рисунке 1.3. Здесь же дана зависимость $\varphi = f(T)$. Обе кривые на рисунке 1.3 получены с учетом изменения плотности смеси по мере остывания. Установлено, что при возрастании K_y с 0,9 до 0,98 сцепление увеличивается в 4 раза. С учетом этого в диапазоне температур 100 - 60°C величина C изменяется от 0,015 до 0,14 МПа, т.е. почти в 10 раз, а φ только в 1,5 раза.

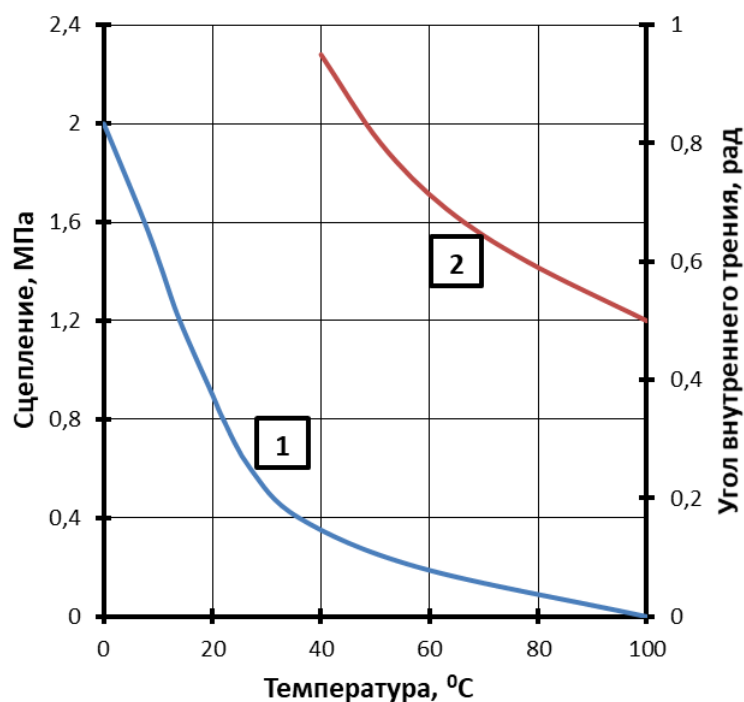


Рисунок 1.3 – Зависимости сцепления (1) и угла внутреннего трения (2) в мелкозернистом асфальтобетоне от температуры

Таким образом, анализ изменения в процессе уплотнения физико-механических характеристик асфальтобетона показывает, что последний относится к трудноуплотняемым материалам. Такие материалы требуют для их качественного уплотнения постоянного согласования параметров уплотняющих средств с изменяющимися во времени свойствами самого материала, а также многократного приложения нагрузки. Уплотняемость асфальтобетона зависит, в основном, от его состава, температуры и толщины уплотняемого слоя.

Вследствие нарастания плотности и снижения температуры смеси в ходе уплотнения непрерывно возрастают ее жесткость и прочность, что обуславливает, с одной стороны, необходимость, а с другой, возможность постоянного повышения уплотняющей нагрузки.

1.2 Дорожные катки для уплотнения асфальтобетонных покрытий

Важным аспектом строительства дорожных покрытий является уплотнение асфальтобетонной смеси, уложенной на подготовленное основание. Задачей такой операции является получение асфальтобетона, обладающего следующими качествами: высокая сопротивляемость колееобразованию,

долговечность, трещиностойкость и другие. Для устройства дорожных покрытий существующей нормативно-технической документацией регламентируется использование комплектов машин. Комплекты состоят из самоходного асфальтоукладчика, катков различных типоразмеров и вспомогательных машин с соответствующими приспособлениями [15].

Из анализа исследования [5], посвященному изучению уплотняющей способности асфальтоукладчиков можно сделать вывод, что эти современные машины не могут обеспечить требуемый коэффициент уплотнения дорожного покрытия, регламентированный СНиП 3.06.03-85, поэтому возникает необходимость применять катки на завершающем этапе работ.

Изучение процессов взаимодействия рабочих органов дорожных машин с уплотняемым материалом, а также усовершенствование существующих и разработка новых конструкций катков выполняется в различных университетах: БГТУ, МАДИ, СПбГАСУ, СПбПУ и другие, а также специалистами ЗАО «ПО «Ирмаш» (г. Брянск), ОАО «Раскат» (г. Рыбинск) и проч.

Наибольший вклад в совершенствование конструкций катков и формирование теории уплотнения асфальтобетонных смесей внесли работы Бадалова В.В., Иванченко С.Н., Ложечко В.П., Носова С.В., Пермякова В.Б., Шестопалова А.А., Hirsch V., Pellinen T.K. и др. [2, 9, 10, 20, 27, 30, 31, 47, 49, 50].

Исходя из всех вышеперечисленных исследований, можно разделить дорожные катки для уплотнения асфальтобетонных смесей по характеру силового воздействия на уплотняемую среду на [22]:

1. Машины статического действия:

- катки с гладкими металлическими вальцами;
- катки с гладкими металлическими обрешеченными вальцами;
- катки на пневматических шинах.

2. Машины динамического действия:

- вибрационные катки с металлическими вальцами;
- катки осциллирующего действия.

3. Машины комбинированного действия:

- сочетание вибрационного и пневматического рабочего органа.

Каждый тип катков выпускается с различными конструктивными параметрами: по массе, рабочим скоростям, размерам рабочего органа, устройству вибратора и т.д.

Уплотняющее воздействие статического катка со стальными вальцами (рисунок 1.4) зависит от его статического веса, а также от диаметра вальца.

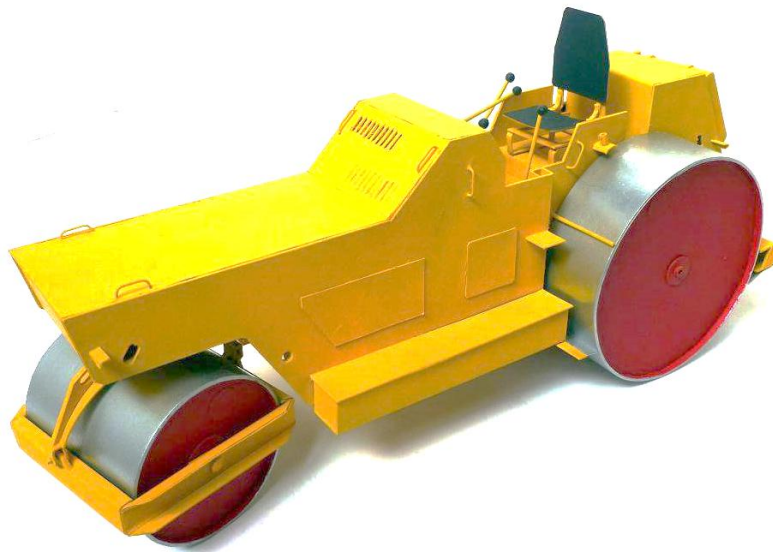


Рисунок 1.4 – Статический гладковальцовый каток ДУ-48Б

Гладковальцовые катки в зависимости от массы можно разделить на три класса: легкие – до 6 т, средние – 6-8 т, тяжелые – более 10 т. Разделение на эти классы позволяет использовать катки на начальной, основной и заключительной стадиях уплотнения. Дополнительными параметрами работы статического катка, оказывающими влияние на качество конечного дорожного покрытия, являются скорость движения машины и количество проходов по одному следу.

В начале укатки скорость должна быть до 1,5-2,0 км/ч, на основной стадии – в диапазоне 3-5 км/ч, а на заключительном этапе не превышать 2-3 км/ч [15]. Необходимое количество проходов определяется исходя из типа и

температуры асфальтобетонной смеси, толщины слоя материала и скорости движения уплотняющего средства.

Статические гладковальцовые катки отличаются от других высокой надежностью и простотой в использовании, однако обладают рядом существенных недостатков. К их числу относятся: низкая производительность и высокая металлоемкость.

Вопросы уплотнения асфальтобетонных смесей вибрационными катками (рисунок 1.5) были рассмотрены в работах [7, 8, 13, 14, 23, 25, 26, 43 и др.]. Авторами была установлена высокая эффективность вибрации при уплотнении асфальтобетонов. В работах А.Ф. Зубкова, Ю.Я. Коваленко, Н.Я. Хархута показано, что вибрационный каток по эффекту уплотнения эквивалентен катку статического типа, но с большей массой. Для подсчета коэффициента эффективности вибрационной нагрузки $K_э$ Коваленко Ю.Я. получил следующую зависимость [14]

$$\sigma_{эКВ} = K_э \cdot \sigma_в, \quad (1.1)$$

где $K_э = f(\nu, P/Q, T, K_y, h_{сл})$, $\sigma_{эКВ}$ – напряжения, возникающие от действия статической нагрузки и эквивалентные напряжениям от вибрационного воздействия; $\sigma_в$ – напряжения, вызванные силой тяжести вибровальца; ν – частота колебаний вибровозбудителя; P – вынуждающая сила; Q – сила тяжести вибровальца. Такой подход позволяет использовать схему взаимодействия жесткого вальца статического действия с уплотняемым материалом для оценки уплотнения вибрационным вальцом [21].



Рисунок 1.5 – Вибрационный каток RV-7.0

Вибрационный каток всегда имеет более высокую производительность, за счет создания более интенсивного воздействия на уплотняемый материал, чем статический каток того же веса. На жестких смесях эти различия выражены еще сильнее. Применение вибрационных катков позволило значительно ускорить процесс укатки при одновременном снижении металлоемкости машин.

Вибрационное воздействие влияет на физико-механические характеристики уплотняемого материала, повышая его деформативную способность. Под действием вибрации уменьшается коэффициент трения между вальцом и асфальтобетонной смесью [7], что приводит к большей подвижности материала в зоне контакта и, как следствие, его более плотной упаковке. Поверхность, укатанная вибрационными катками, имеет более высокие показатели прочности и водостойкости и соответственно обладает большим сроком службы. Рабочий орган вибрационного катка совершает несколько циклов нагружения асфальтобетона за один проход, из-за этого существенно сокращается необходимое количество проходов машины по одному следу и общее время укатки дорожной поверхности. По мнению ряда авторов [7, 15] вибрационное уплотнение асфальтобетона следует производить при скорости 1,5-2,0 км/ч, что позволяет обеспечить наилучшее сочетание качества укатки и темпов выполняемых работ.

Если параметры вибрационных катков и режимов уплотнения будут принимать свои оптимальные значения, то производительность данного типа уплотняющих машин будет наивысшей и будет эквивалентна показателям статического катка, обладающего в 3-4 раза большей массой, что подтверждается исследованиями Зубкова А.Ф., Коваленко Ю.Я. и др. [8, 14, 15, 42]. Авторами установлено, что такая высокая эффективность уплотнения может быть достигнута лишь при температурах выше 80°С.

Вибрационные воздействия особенно эффективны на средней стадии уплотнения в температурном диапазоне 90-120°С, когда смесь обладает уже достаточной прочностью и в состоянии выдерживать динамические нагрузки, но вместе с тем еще подвижна. На этой стадии уплотнения виброкаток эквивалентен по достигаемому эффекту статическому, линейное давление которого в 3 - 3,5 раза выше вибрационного. К концу уплотнения этот показатель снижается до 1,5 [44].

Основными недостатками этих катков являются их низкая надежность, что объясняется высокими динамическими нагрузками в узлах при работе вибровозбудителей, а также низкие эргономические показатели.

Уплотнение дорожно-строительных материалов катками на пневматических шинах изучалось в работах [3, 28, 33, 40, 43, 46 и др.], где было установлено, что рациональным является применение пневмошинных катков для уплотнения толстых слоев асфальтобетона, поскольку при этом достигается наибольшая производительность работ.

Пневмоколесные катки (рисунок 1.6) осуществляют уплотнение материала набором колес, расположенных на одной оси, и имеют, как правило, независимую подвеску каждого колеса. Отличительной особенностью таких катков является деформация рабочих органов в процессе уплотнения асфальтобетонной смеси, в результате чего увеличивается площадь контакта шины с дорожной поверхностью, время оказываемого на материал силового

воздействия и глубина уплотнения, что позволяет сократить количество проходов по одному следу и повысить скорость укатки [15, 33].



Рисунок 1.6 – Статический пневмоколесный дорожный каток RC-12SS

В своих исследованиях Путьк А.И. отмечает, что пневмоколесные катки обладают высокой производительностью только на начальном этапе укатки асфальтобетонной смеси при температуре 140-115°C, когда смесь легко уплотняется, а это снижает степень их применения в рабочем процессе [33, 34]. Из этого следует, что для обеспечения качества уплотнения необходимо совместное использование гладковальцовых и пневмошинных катков.

Пневматическую шину следует рассматривать как гибкий штамп, однако это сильно усложняет теоретическое исследование взаимодействия пневматика с уплотняемым материалом. Экспериментальные исследования показали, что нормальные напряжения по ширине контакта распределяются равномерно. Если давление воздуха в шине больше 0,4 МПа, то при взаимодействии с уплотняемым материалом шину можно считать жесткой [33]. Поэтому взаимодействие пневмошины с уплотняемым материалом можно свести к схеме для жесткого вальца путем замены пневматика эквивалентным ему по уплотняющей способности статическим вальцом диаметром $D_э$, который предлагается определять следующим образом [6]

$$D_э = D_0 + \frac{h_{ш}}{h} \cdot (D_0 - 2 \cdot h - h_{ш}), \quad (1.2)$$

где D_0 – диаметр недеформированной шины; $h_{ш}$ – нормальная деформация шины; h – деформация уплотняемого материала.

К недостаткам пневмокатков следует отнести их высокую стоимость, меньшую ровность покрытия по сравнению с гладковальцовыми катками. Последнее связано со значительными колебаниями пневмокатков в процессе укатки, что вызывает необходимость их использования только в комплекте с гладковальцовыми катками.

Устранить недостатки и полнее использовать преимущества пневмокатков позволяют комбинированные катки. Они обычно состоят из пневмоколесного силового агрегата и шарнирно-сочлененного с ним гладкого вибрационного вальца (см. рисунок 1.7). Высокий уплотняющий эффект обеспечивается одновременным воздействием пневмоколес и вибровальца. Свою эффективность данная разновидность дорожных катков доказала только при укатке слоев асфальтобетонной смеси с толщиной 10-15 см [13, 15, 24].



Рисунок 1.7 – Комбинированный каток ДУ-58

Параметры некоторых отечественных катков для уплотнения асфальтобетонных покрытий приведены в таблице 1.1.

К основным параметрам катков, определяющих их уплотняющую способность, относятся: нагрузка на валец, его размеры и рабочая скорость

катка. Эффект уплотнения зависит от оптимального выбора этих параметров с учетом свойств уплотняемого материала.

Анализ существующего парка катков позволил установить диапазоны изменения указанных параметров: диаметр вальца $D = 0,8 - 1,8$ м; ширина вальца $B = 0,8 - 2,5$ м; линейное давление $q = 8 - 85$ кН/м и скорость катка $V_k = 0,8 - 3,0$ м/с.

Линейное давление вальца является мерой силового воздействия на уплотняемый материал и определяется как отношение силы тяжести катка, приходящейся на валец, к его ширине. По этому показателю принято разделять катки на: легкие – $q < 30$ кН/м, средние – $q < 30 - 60$ кН/м, и тяжелые – $q > 60$ кН/м.

Таблица 1.1 – Параметры отечественных катков для уплотнения асфальтобетонных покрытий

№ п/п	Каток	Линейное давление q , кН/м	Частота колебаний вибратора ν , Гц	Диаметр вальца (шины) D , мм	Ширина уплотняемой полосы B_n , м	Рабочая скорость катка V_k , км/ч	Масса катка m , т	Мощность двигателя, N , кВт	Отношение P/Q	Тип катка
1	ДУ-31А	-	-	1070	1920	7,5	16	66	-	пневмо
2	ДУ-47Б	34	45	1200	1400	7,5	8,5	44	2,88	статик/ вибро
3	ДУ-48	72	-	1600	1850	6,6	5,6	44	-	статик
4	ДУ-63	31	40	1200	1700	7	8,5	44	4,5	статик/ вибро
5	ДУ-82	11,9	50	800	1330	10	3,5	25,7	3,8	статик/ вибро
6	ДУ-84	32	24	1600	2000	5,4	14	110	3,49	комбинированный
7	ДУ-96	24,7	50	1070	1500	10,5	7,2	44	3,45	статик/ вибро
8	ДУ-98	33,8	40	1200	1700	10	11,5	57,4	2,63	статик/ вибро
9	ДУ-100	-	-	1070	2000	10,5	14	57,4	-	пневмо
10	RV-7,0 DD	22	40	1200	1700	6	7,5	70,6	4,7	вибро
11	RC-24 SS	-	-	1070	2075	7	24	103	-	пневмо
12	RV-11,0 DS	32,5	55	1200	1700	6	11	70,6	3,5	комбинированный

По существующей технологии [32] уплотнение горячих асфальтобетонных смесей производят в интервале температур от 120-130⁰С до 70⁰С. Начинают уплотнение легкими или средними катками, а заканчивают тяжелыми. Обычно организуют комплект (звено) машин, состоящий из одного-двух катков легкого (среднего) типа и двух-трех тяжелых катков. Укатку производят до тех пор, пока не исчезнут следы от прохода задних вальцов тяжелых катков. При этом общее количество проходов катков по следу согласно СНиП должно равняться 26-30. Однако это не всегда гарантирует получение требуемой степени уплотнения, тем более что в дорожно-строительных организациях практически отсутствуют средства оперативного контроля плотности асфальтобетона.

Степень уплотнения покрытия зависит от контактных давлений (напряжений), развивающихся под рабочими органами катков. В трудах Хархута Н.Я. [43] было показано, что наиболее интенсивно процесс уплотнения происходит, когда контактные давления σ_k близки к пределу прочности асфальтобетона σ_p , т.е. при условии

$$\sigma_k = (0,9 - 1,0) \cdot \sigma_p \quad (1.3)$$

Замена в процессе укатки одного типоразмера катка другим позволяет изменить контактные давления, но эти изменения обычно носят ступенчатый характер и поэтому не вполне соответствуют указанному условию. Максимальные контактные давления можно найти по формуле Н.Я. Хархута

$$\sigma_{max} = \sqrt{q \cdot E_э / R}, \quad (1.4)$$

где $E_э$ – эквивалентный модуль деформации слоя.

Площадь контакта рабочего органа катка с покрытием от прохода к проходу уменьшается, что связано с увеличением жесткости материала. Это приводит к постепенному повышению напряжений под вальцами. Согласно (1.4), это повышение пропорционально росту модуля деформации.

Следует заметить, что при соблюдении условия (1.3) достигается максимальная производительность укатки. Однако, это обычно сопряжено с

повышенными материальными и энергетическими затратами. С экономической точки зрения указанное обстоятельство может свести на нет эффект от роста производительности.

Для повышения эффективности укатки необходимо установить значения оптимальных контактных давлений на всем протяжении укатки, которые позволяли бы уплотнять материал по всей толщине слоя с минимальными затратами. Пока такие надежные данные отсутствуют, хотя попытки установить значения оптимальных σ_k для уплотнения асфальтобетона имели место [31, 33].

Тем не менее, даже зная оптимальные значения σ_k , существующие катки не смогут по своим параметрам полностью им соответствовать, так как отсутствует возможность регулирования контактного давления катков в необходимых пределах, а при смене катков σ_k изменяются ступенчато.

Таким образом, на основе проведенного анализа парка катков для асфальтобетона, можно сделать вывод о том, что дорожные катки, применяемые в настоящее время, обладают недостаточной универсальностью и не могут выполнять укатку смеси на протяжении всего процесса уплотнения из-за их узкого диапазона регулирования силовых воздействий, оказываемых на слой. Вследствие этого возникает необходимость содержания большого парка дорожных машин, а также сохраняется потребность в использовании комплекта катков с различными контактными давлениями, оказываемыми на уплотняемый материал, с постоянно изменяющимися физико-механическими свойствами. Комплект может состоять как из двух, так и из большего количества катков. Из-за этого существующая технология уплотнения отличается сложной организацией, большими простоями оборудования и высокой зависимостью от человека. Все эти факторы приводят к снижению производительности катков в составе комплекта машин и увеличению себестоимости укатки дорожного покрытия.

Для достижения максимальной эффективности уплотнения катки должны иметь возможность плавного изменения контактных давлений под рабочими органами на протяжении всего процесса укатки [15, 20], что объясняет наличие на рынке многообразия дорожных машин, постепенно увеличивающихся по своей массе и габаритам. Другими словами, по мере выполнения соответствующего количества проходов, после которых воздействие на материал уже неэффективно, производится смена средства уплотнения другим катком с более высокими силовыми параметрами. Для каждого типа дорожных катков согласно создаваемым уплотняющим воздействиям определены рациональные температурные диапазоны их применения.

В этой связи весьма актуальна задача разработки методики выбора оптимального комплекта катков, чтобы была возможность быстрее, удобнее и качественнее подбирать необходимый комплект катков для строительства заданных объемов асфальтобетонных покрытий с наименьшими затратами.

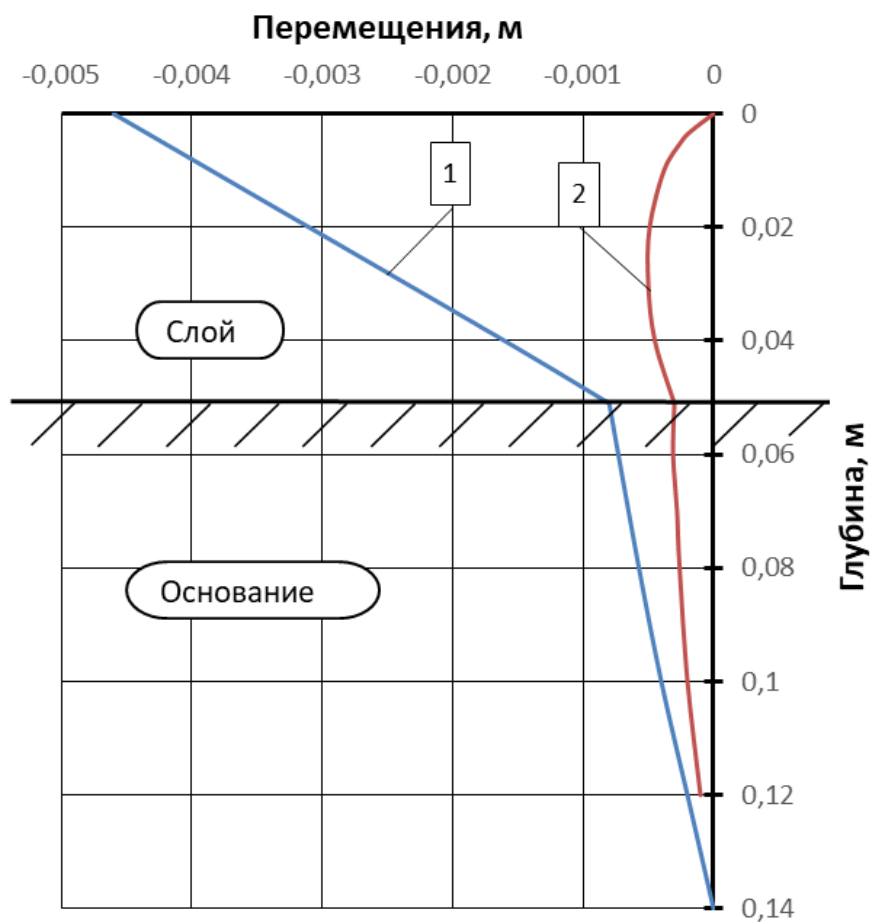
2 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ

2.1 Влияние параметров катка на напряженно-деформированное состояние слоя асфальтобетона

Основными параметрами рабочего органа катка, влияющими на напряженно-деформированное состояние (НДС) слоя асфальтобетона и степень его уплотнения, являются диаметр D и ширина B вальца, нагрузка на валец Q . Обычно принимают $B = 1,2D$ [43]. В качестве нагрузки принято использовать линейное давление $q = Q/B$. Каждый из этих параметров оказывает различное влияние на НДС уплотняемого слоя. Их влияние зависит также от этапа уплотнения, характеризуемого температурой и плотностью асфальтобетона.

Используя метод конечных элементов, в работе [20] по специальной программе была проведена серия расчетов при различных сочетаниях параметров рабочего органа и уплотняемого слоя. Результаты расчетов получены в узловых точках сетки конечных элементов, что позволяет исследовать влияние указанных параметров как по глубине, так и по длине зоны контакта.

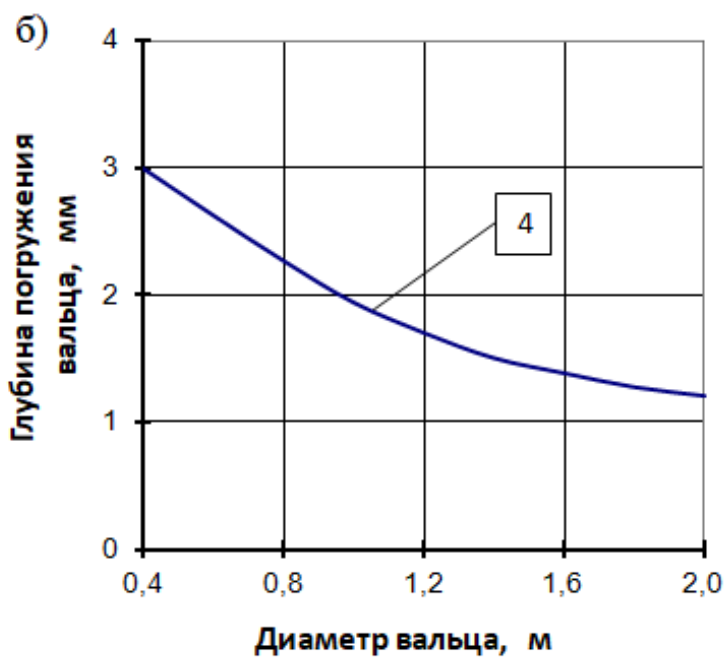
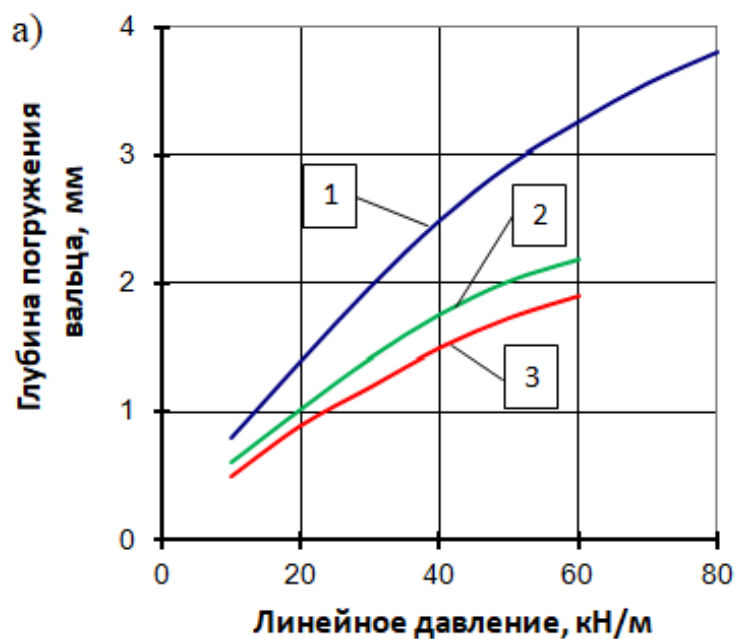
На рисунке 2.1 представлены графики, характеризующие изменение вертикальных перемещений под осью вальца и горизонтальных перемещений на краю зоны контакта по глубине слоя. Горизонтальные перемещения слоя под осью вальца равны 0. Из рисунка 2.1 видно, что максимум вертикальных перемещений находится на поверхности контакта под осью вальца, а максимум горизонтальных перемещений – примерно в середине слоя и смещен от оси на расстояние половины длины контакта. Вертикальные перемещения значительно превосходят по величине горизонтальные. На границе слоя и основания графики перемещений имеют излом, что обусловлено влиянием основания на характер изменения перемещений по глубине слоя. Вертикальные перемещения изменяются по зависимости близкой к линейной и в пределах толщины слоя асфальтобетона убывают быстрее, чем в основании.



1- вертикальные перемещения под осью вальца,
2- горизонтальные перемещения.

Рисунок 2.1 – Изменение перемещений по глубине слоя

На рис. 2.2 показано влияние параметров вальца и слоя на величину максимальных вертикальных перемещений (глубину погружения вальца). Они увеличиваются при возрастании q и уменьшаются с увеличением D .



- 1- $D=1,6$ м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,975$;
- 2- $D=0,8$ м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,94$;
- 3- $D=0,6$ м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,9$;
- 4- $q=50$ кН/м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,92$.

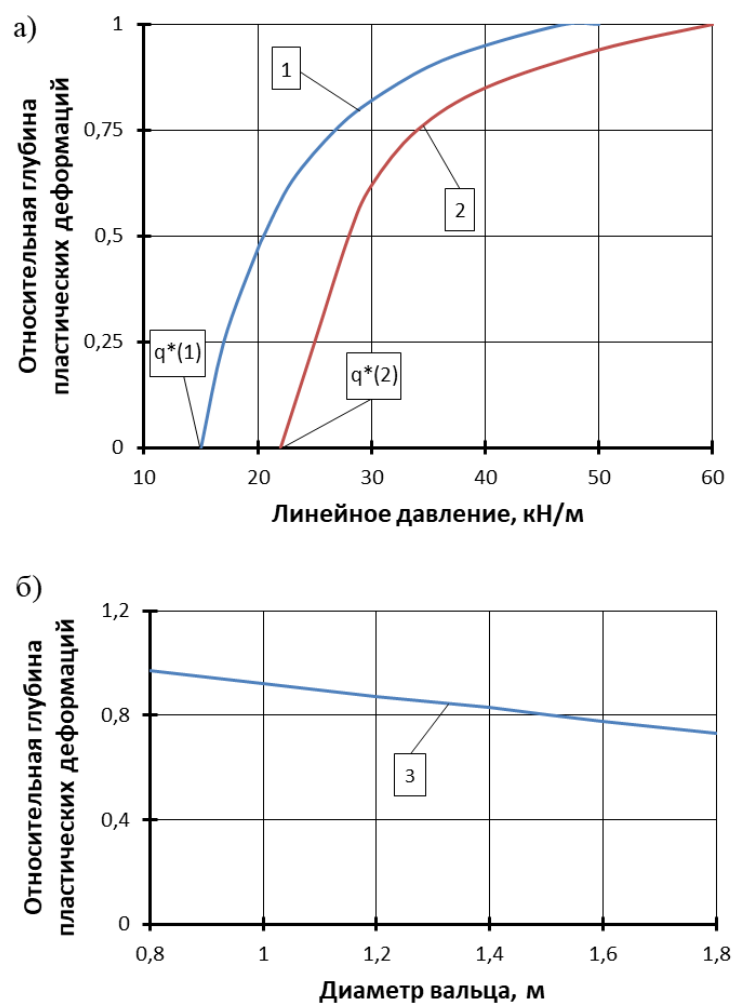
Рисунок 2.2– Влияние линейного давления и диаметра вальца на глубину погружения

Уплотнение асфальтобетонной смеси происходит в зоне пластических деформаций, размеры которой зависят от параметров рабочего органа катка, температуры и плотности материала. В этой связи для обоснования выбора параметров рабочего органа и режимов работы катка необходимо установить

зависимость между этими параметрами и глубиной развития пластических деформаций на различных стадиях укатки.

На рисунке 2.3 показано влияние диаметра вальца и линейного давления на относительную глубину развития пластической деформации $h_p/h_{сл}$, где h_p — глубина развития пластической деформации, $h_{сл}$ — толщина уплотняемого слоя. Из рисунка 2.3,а видно, что при увеличении линейного давления величина параметра $h_p/h_{сл}$ возрастает, стремясь к своему максимальному значению равному 1. Это означает, что при определенной нагрузке пластическая зона развивается на всю глубину уплотняемого слоя и при дальнейшем увеличении нагрузки $h_p = h_{сл}$. На оси линейных давлений имеется точка q^* , в которой $h_p/h_{сл} = 0$. При линейных давлениях меньших или равных q^* деформирование слоя асфальтобетона происходит без пластических деформаций, а следовательно, и без уплотнения. Положение точки q^* зависит от параметров рабочего органа катка и асфальтобетона. Глубина развития пластической деформации изменяется неравномерно при возрастании q . Примерно до середины слоя пластические деформации растут интенсивно при увеличении линейного давления, а по мере приближения к основанию темп их роста снижается.

На рисунке 2.3,б показано влияние диаметра вальца катка на относительную глубину развития пластических деформаций. Из рисунка видно, что с увеличением D глубина развития пластических деформаций уменьшается. Это связано со снижением величины контактных давлений по мере увеличения диаметра вальца. Поэтому и нагрузка, необходимая для начала развития необратимых деформаций, возрастает с увеличением диаметра: $q_2^* > q_1^*$ (рисунок 2.3,а).



- 1 - $D=1,6$ м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,97$;
 2 - $D=1,8$ м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,97$;
 3 - $q=12,5$ кН/м, $T=100^{\circ}\text{C}$, $K_y=0,97$.

Рисунок 2.3 – Влияние линейного давления и диаметра вальца на глубину пластических деформаций

Влияние температуры и коэффициента уплотнения на относительную глубину пластических деформаций показано на рисунке 2.4. Из рисунка 2.4,а следует, что при фиксированных параметрах рабочего органа катка и плотности асфальтобетона, имеется интервал температур, в котором пластические деформации развиваются на всю глубину уплотняемого слоя. И, наоборот, существует такое значение температуры, ниже которого пластические деформации отсутствуют. Аналогично и влияние плотности (рисунок 2.4,б). С ее увеличением глубина пластических деформаций уменьшается, а после достижения некоторого значения плотности пластические деформации слоя отсутствуют. Следовательно, в процессе уплотнения при снижении

температуры и повышении плотности асфальтобетона интенсивность уплотнения снижается. Поэтому каждый каток может уплотнять асфальтобетон только на определенном этапе укатки.

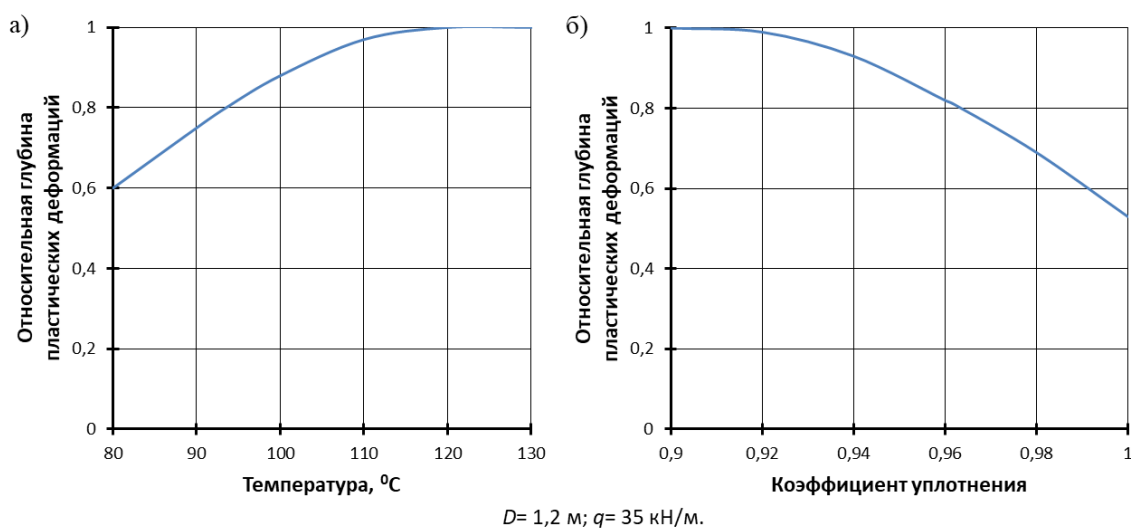


Рисунок 2.4 – Влияние температуры и коэффициента уплотнения на глубину пластических деформаций

Увеличение глубины пластической зоны сопровождается увеличением ее размеров, которые характеризуются площадью поперечного сечения. На рисунке 2.5 показано изменение размера пластической зоны при увеличении линейного давления. При определенной нагрузке пластические деформации распространяются на всю глубину уплотняемого слоя. Дальнейшее увеличение размера пластической зоны происходит за счет пластического течения вдоль границы слой-основание. Глубина пластической зоны при этом остается постоянной и равной $h_{сл}$. Таким образом, основание оказывает влияние на характер развития пластических деформаций. Пока $h_p < h_{сл}$ размер пластической зоны увеличивается в вертикальном и горизонтальном направлениях. После того, как $h_p = h_{сл}$, пластическая зона увеличивается только в горизонтальном направлении.

В процессе уплотнения происходит упрочнение асфальтобетона, что приводит к увеличению значений модуля деформации, сцепления и угла внутреннего трения, определяющих его пластические свойства. Поэтому, по мере уплотнения при постоянных параметрах рабочего органа катка, размер

пластической зоны уменьшается, что приводит к снижению интенсивности уплотнения. Повысить интенсивность можно, только увеличив уровень напряженного состояния асфальтобетона. Этому можно достичь, если повысить силовое воздействие катка на уплотняемый материал. Однако, развивающиеся при этом напряжения не должны превышать предела прочности материала.

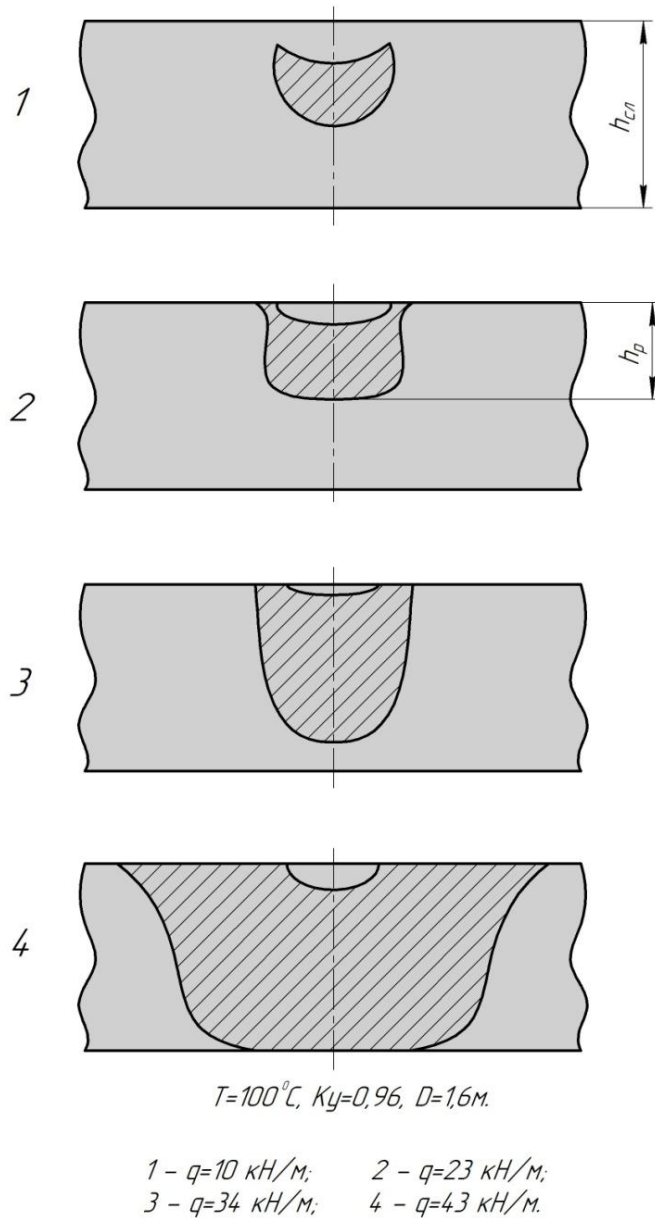


Рисунок 2.5 – Развитие пластических деформаций при увеличении линейного давления

Эффект уплотнения асфальтобетона зависит от его деформативных свойств и параметров рабочего органа катка. Для выбора этих параметров необходимо иметь функциональные зависимости между ними и характеристиками свойств асфальтобетона. Выше говорилось о том, что

основными параметрами рабочего органа катка являются линейное давление и диаметр вальца, а асфальтобетона – температура и плотность.

Плотность и температура асфальтобетона изменяются в процессе укатки от прохода к проходу катка. В пределах одного прохода температуру можно считать постоянной, так как ее изменения незначительны.

В работе [20] показано, что для выбора параметров и режимов работы катка можно использовать показатель $h_p/h_{сл}$. В качестве целевой функции при выборе оптимальных параметров и режимов катка удобно использовать разность $h_p - h_{сл}$. Оптимальным параметрам будет соответствовать минимум этой целевой функции.

Выбор параметров катка следует производить из условия развития пластических деформаций по всей толщине слоя, но при этом уровень напряжений в слое не должен превышать допустимого значения, т. е. $\tau \leq [\tau]$.

В [20] были получены уравнения, описывающие поверхности напряжений и глубины пластической зоны. Эти уравнения имеют вид

$$\tau = (C \cdot q/D) \cdot \left(\rho \cdot g \cdot \frac{D^2}{q}\right)^{h_1} \cdot K_y^{h_2} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{h_3}, \quad (2.1)$$

$$h_p = B \cdot D \cdot \left(\rho \cdot g \cdot \frac{D^2}{q}\right)^{h_4} \cdot K_y^{h_5} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{h_6}, \quad (2.2)$$

где $C, B, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$ – постоянные коэффициенты, определяемые по таблице 2.1, q – линейное давление катка, D – диаметр вальца, ρ – плотность смеси, K_y – коэффициент уплотнения, T_0 – постоянная температура смеси 125°C, T – текущая температура смеси. Значения D и q , при которых максимальные напряжения $\tau \leq [\tau]$, а $h_p = h_{сл}$, являются решением уравнений (2.1) и (2.2). Последние на плоскости $D - q$ отображаются двумя кривыми. Одна соответствует значениям диаметра и линейного давления, при которых $h_p = h_{сл}$, вторая – значениям, при которых $\tau = [\tau]$. Точка пересечения кривых определяет параметры вальца, удовлетворяющие обоим этим условиям. В зависимости от значений $K_y, T, h_p, [\tau], q_{min}, q_{max}, D_{min}, D_{max}$ эта точка может быть за пределами или внутри интервалов q и D . В последнем случае, в

качестве оптимальных принимаются значения, соответствующие точке пересечения. Если точка находится за пределами интервалов q и D , это означает, что решение системы уравнений (2.1) и (2.2) отсутствует.

Задача выбора параметров рабочего органа может быть решена методами теории оптимизации. В стандартной форме записи задача будет иметь вид:
минимизировать

$$f(x) = h_{\text{сл}} - h_p = h_{\text{сл}} - B \cdot D \cdot \left(\rho \cdot g \cdot \frac{D^2}{q}\right)^{h_4} \cdot K_y^{h_5} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{h_6} \quad (2.3)$$

при ограничениях

$$g_1(x) = (C \cdot q/D) \cdot \left(\rho \cdot g \cdot \frac{D^2}{q}\right)^{h_1} \cdot K_y^{h_2} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{h_3} - [\tau] \leq 0, \quad (2.4)$$

$$g_2(x) = h_{\text{сл}} - h_p \geq 0 \quad (2.5)$$

Границами изменения переменных являются следующие:

$$10 \text{ кН/м} \leq q \leq 90 \text{ кН/м}; \quad 0,8 \text{ м} \leq D \leq 1,8 \text{ м}. \quad (2.6)$$

В качестве исходных данных задачи должны быть заданы T , K_y , начальная допустимая точка переменных, погрешность вычисления целевой функции и оптимальных значений переменных. Под допустимой точкой подразумеваются такие значения q и D , которые удовлетворяют ограничениям (2.4) и (2.5) и границам (2.6). За начальное приближение рекомендуется принимать минимальное значение q и среднее значение D из выбранного диапазона переменных. Решение задачи выбора оптимальных параметров ведется методом комплексов, алгоритм которого приводится в [35]. Результатом расчетов являются оптимальные значения q и D , соответствующие заданным значениям температуры и плотности асфальтобетона. В качестве допускаемых принимаются касательные напряжения (МПа), определяемые по уравнению [20]

$$\tau = 0,323 \cdot (T/T_0)^{-5,25} \cdot (K_y/K_0)^{2,15}, \quad (2.7)$$

где T – температура смеси; K_y – коэффициент уплотнения; $T_0 = 125^\circ\text{C}$, $K_0 = 0,9$.

Для практического использования силовое воздействие катка удобно характеризовать показателем q/R [43], связывающим воедино искомые параметры q и D . Данный показатель учитывает весовые (нагрузка на валец) и геометрические (радиус R и ширина B вальца) параметры катка. Через отношение q/R прослеживается взаимосвязь конструктивных параметров катка с технологическими параметрами процесса уплотнения.

Расчеты показали [20], что зависимость q/R (для оптимальных соотношений q и D) может быть описана степенной функцией (МН/м^2)

$$(q/R)_{\text{опт}} = 0,04 \cdot K_y^{9,15} \cdot (T/T_0)^{-2,76}, \quad (2.8)$$

представляющей собой поверхность, в соответствии с которой следует в процессе укатки изменять показатель q/R с целью достижения максимальной эффективности катка. Регулировать величину q/R возможно, изменяя радиус вальца, либо путем баллаستировки катка.

Графическое отображение (2.8) на плоскости $q/R - T$ с учетом изменения K_y представлено на рисунке 2.6 кривой 1. Теоретическая зависимость хорошо согласуется со значениями q/R , рекомендуемыми в работе [13] (кривая 2).

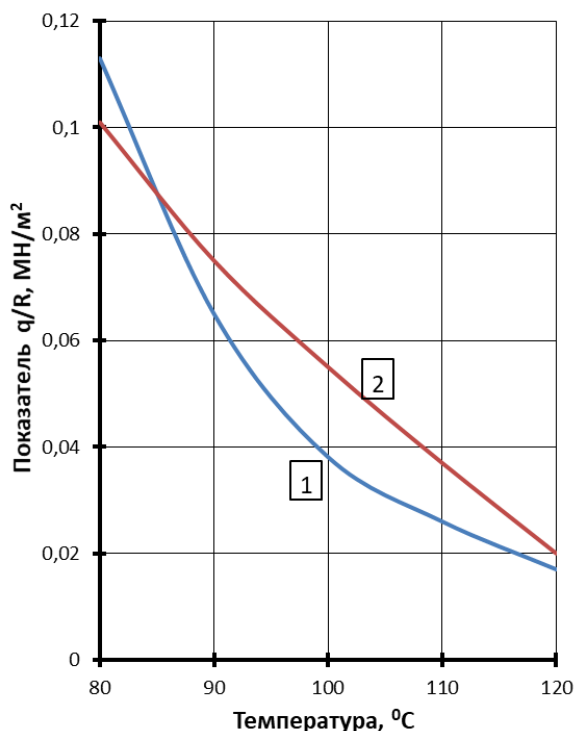


Рисунок 2.6 - Изменение показателя силового воздействия q/R в процессе уплотнения:
1 – оптимальная зависимость; 2 – зависимость по данным [13]

Обращает на себя внимание тот факт, что отечественная промышленность до последнего времени не выпускала гладковальцовых дорожных катков с показателем $q/R \leq 0,04 \text{ МН/м}^2$. Тем самым была ограничена возможность эффективно использовать самые выгодные для уплотнения температуры – свыше 100°C . В связи с этим представляется своевременным начатый в 2005 году выпуск катков ДУ-82 (АО "Раскат" г. Рыбинск), которые имеют показатель $q/R \cong 0,032 \text{ МН/м}^2$.

2.2 Определение оптимальных и рациональных режимов работы катков

Уплотнение слоя асфальтобетонной смеси осуществляется катками разных типов и различных типоразмеров. Каждый каток используется в определенном интервале температуры и плотности асфальтобетона, когда его параметры позволяют достигать наибольшего эффекта уплотнения при условии отсутствия разрушения уплотняемого слоя. Максимальное уплотнение смеси достигается, когда пластические деформации развиваются равномерно на всю глубину слоя.

Говоря об условии соблюдения сплошности уплотняемого материала, следует заметить, что обычно при уплотнении прочность асфальтобетона оценивают предельными сжимающими напряжениями σ_p . При этом основным условием уплотнения является следующее: $\sigma_k < \sigma_p$, т.е. напряжение на поверхности контакта (контактные давления) уплотняющего средства с асфальтобетонной смесью должны быть меньше предельных. С другой стороны, контактные давления должны быть достаточными для развития в материале необратимых деформаций.

В настоящей работе в качестве минимально необходимых для эффективного уплотнения контактных давлений предлагается использовать максимальные вертикальные напряжения, при которых глубина развития пластических деформаций равна толщине уплотняемого слоя и которые, учитывая вышеизложенное, можно назвать оптимальными.

В этом случае условие взаимодействия уплотняющих средств со средой можно записать в следующем виде:

$$\sigma_{\text{опт}} < \sigma_{\text{к}} < \sigma_{\text{р}} \quad (2.9)$$

Наиболее экономически эффективным является вариант, когда $\sigma_{\text{к}} = \sigma_{\text{опт}}$.

В [20] были выполнены расчеты НДС уплотняемого слоя толщиной 5, 7 и 10 см для мелкозернистой и песчаной смесей. Показатели степени и постоянные коэффициенты в (2.1) и (2.2), полученные по результатам расчетов, представлены в таблице 2.1. При этом предполагалось, что допускаемые касательные напряжения не зависят от толщины слоя и для песчаной смеси они на 15-20 % ниже, чем для мелкозернистой [4]. Кроме того, согласно исследованиям [25], было принято, что модуль деформации смеси при изменении толщины слоя с 5 см до 10 см снижается в 2 раза на начальном этапе уплотнения и на 30% в конце укатки.

Таблица 2.1 – Расчетные значения коэффициентов и показателей степени в (2.1) и (2.2) для разных толщин уплотняемого слоя и типов смеси

Тип смеси	Толщина слоя, см	Параметр	Постоянные коэффициенты и показатели степени				
			τ	C	$h1$	$h2$	$h3$
			h_p	B	$h4$	$h5$	$h6$
Мелкозернистая	5	τ	8,89	0,39	0,39	-1,55	
		h_p	0,052	-0,679	-7,12	2,02	
	7	τ	7,226	0,33	0,33	-1,16	
		h_p	0,042	-0,51	-7,19	0,95	
	10	τ	5,6	0,31	0,31	-1,1	
		h_p	0,032	-0,452	-7	0,9	
Песчаная	5	τ	6,489	0,35	0,35	-1,17	
		h_p	0,036	-0,359	-5,971	1,014	
	7	τ	9,8	0,232	0,232	-1,28	
		h_p	0,047	-0,272	-4,31	0,74	
	10	τ	5,06	0,39	0,39	-1,55	
		h_p	0,102	-0,67	-7,12	2,02	

Разработанная модель процесса взаимодействия вальца катка с уплотняемым материалом позволяет устанавливать допустимые области работы

дорожных катков с неизменяемыми параметрами q и D . Для этого необходимо решить оптимизационную задачу, где целевая функция имеет вид (2.3) при ограничениях (2.4) и (2.5). Переменными параметрами в этом случае являются температура и плотность асфальтобетонной смеси, изменяющиеся в следующих границах: $70^{\circ}\text{C} \leq T \leq 140^{\circ}\text{C}$ и $0,8 \leq K_y \leq 1,0$. В качестве исходных данных принимаются диаметр и линейное давление вальца, а для виброкатков рассчитывается еще и коэффициент эффективности K_3 .

Коэффициент эффективности находится по формуле [20]

$$K_3 = 1,06 \cdot K_y^{-4,3} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,46} \cdot \left(\frac{\nu}{\nu_0}\right)^{-0,31} \cdot \left(\frac{P}{Q}\right)^{0,45}, \quad (2.10)$$

где $T_0 = 125^{\circ}\text{C}$, $\nu_0 = 25$ Гц – постоянные.

В пространстве выражения (2.1) и (2.2) описывают соответственно поверхности действующих касательных напряжений и глубины пластических деформаций. На рисунке 2.7,а поверхность действующих напряжений τ пересекается с поверхностью допускаемых напряжений $[\tau]$. Проекция линии пересечения делит плоскость $K_y - T$ на две подобласти, в одной из которых действующие напряжения меньше допускаемых, а в другой – больше. Поверхность глубины пластических деформаций на рис. 2.7,б пересекается с плоскостью, соответствующей толщине уплотняемого слоя. Проекция линии их пересечения делит плоскость $K_y - T$ на две подобласти, в одной из которых пластические деформации охватывают весь уплотняемый слой по толщине, а в другой – только его часть. Таким образом, проекции линий $\tau = [\tau]$ и $h_p = h_{\text{сл}}$ на плоскость $K_y - T$ ограничивают область допустимых значений K_y и T , при которых пластические деформации распространяются на всю глубину слоя, не вызывая его разрушения.

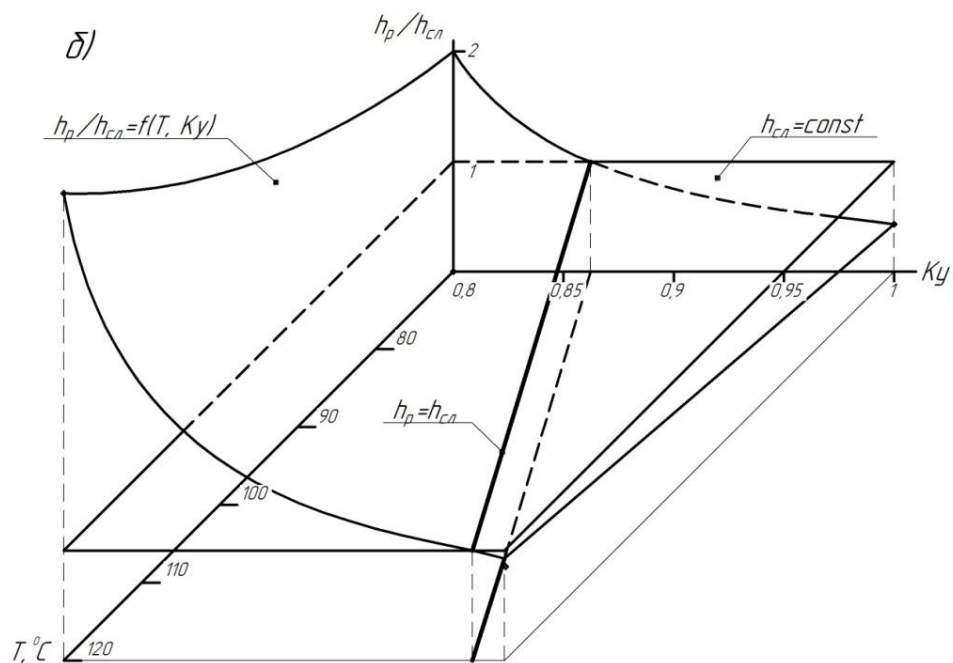
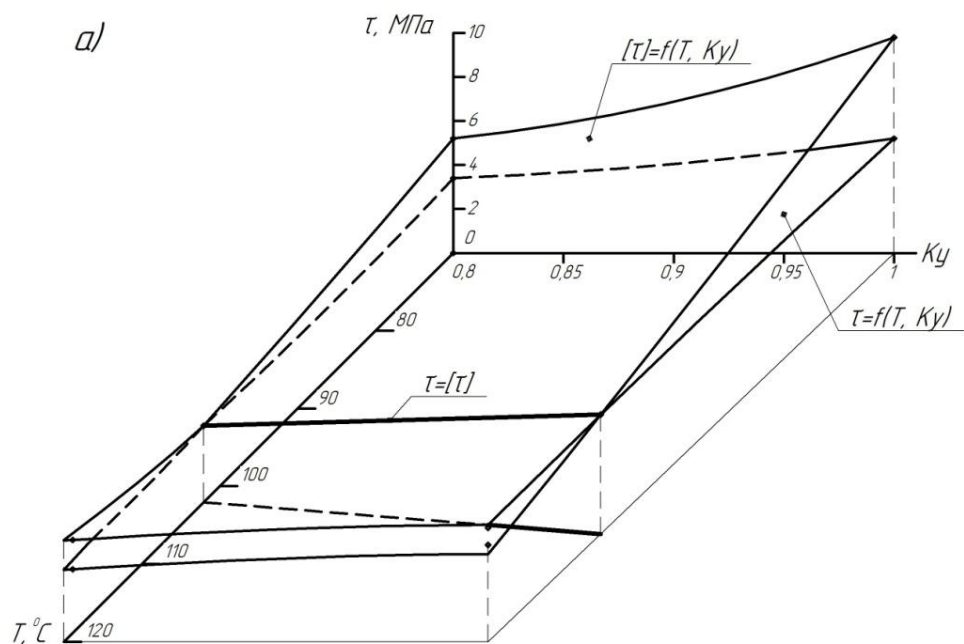


Рисунок 2.7 – Зависимости касательных напряжений и глубины зоны пластических деформаций от температуры и плотности асфальтобетона

По аналогии с задачей выбора оптимальных параметров рабочего органа катка здесь можно найти оптимальное соотношение показателей K_y и T (наиболее близкое к точке пересечения линий $\tau = [\tau]$ и $h_p = h_{cn}$), когда при заданных q и D процесс уплотнения наиболее эффективен. Однако, поддерживать постоянным соотношение T и K_y невозможно, так как это

противоречит сущности процесса уплотнения, да и просто неосуществимо. Поэтому целесообразно вести укатку, ориентируясь на область допустимых значений температуры и плотности асфальтобетона, которая фактически является областью рациональной (возможной) работы выбранного катка.

Примеры полученных областей рациональной работы представлены на рисунках 2.8 – 2.9. Параметры дорожных катков принимались согласно таблице 1.1. На всех рисунках области рациональной работы ограничены сверху линией $\tau = [\tau]$, а снизу – $h_p = h_{сл}$.

Характер изменения области рациональной работы от толщины уплотняемого слоя можно проследить на примере катка ДУ-47. Сравнение зависимостей на рисунке 2.8 показывает, что с увеличением толщины слоя площадь возможной области работы уменьшается. При этом верхняя граница области, определяющая прочность слоя, несколько поднимается. При $K_y = 0,86$ (плотность после укладчика) с изменением толщины слоя с 5 до 10 см граница поднимается со 122°C до 136°C . Более существенно сдвигается нижняя граница. Так, если при толщине слоя 5 см катком ДУ-47 можно достичь $K_y = 1$, то при толщине 7 и 10 см максимально достигаемый коэффициент уплотнения составляет соответственно 0,97 и 0,89. Это говорит о том, что использовать ДУ-47 как каток статического действия при уплотнении слоя в 10 см и более нецелесообразно. Кроме того, с увеличением толщины слоя для достижения необходимой плотности следует начинать укатку при более высоких температурах.

Область рациональной работы катка ДУ-47 с включенным вибровозбудителем показана на рисунке 2.8,а пунктирными линиями. При этом отличительной особенностью является возможность работы катка при более низких температурах: $80-100^\circ\text{C}$. Однако нормативную плотность виброкаток позволяет достигать при температуре выше 85°C . Работая без вибрации, ДУ-47 позволяет достичь нормативной плотности $K_y = 0,98$ на мелкозернистой смеси толщиной 5 см только при температуре более 100°C .

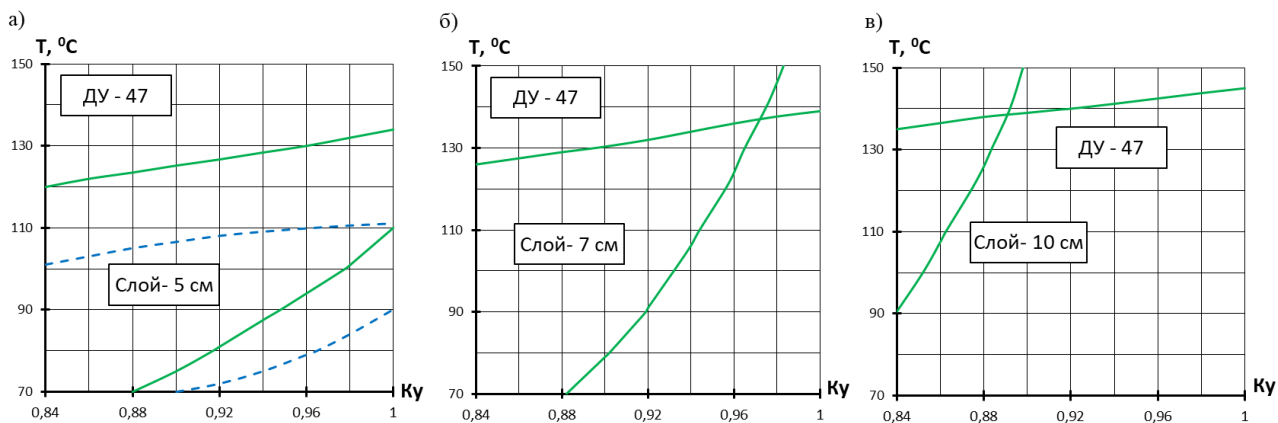


Рисунок 2.8 – Области рациональной работы катка ДУ-47 при толщине слоя мелкозернистой смеси: а) – 5 см; б) – 7 см; в) – 10 см; в статическом (сплошная линия) и вибрационном (пунктирная линия) режимах

Сопоставляя рисунки 2.8,а и 2.9,а, можно заметить, что с увеличением линейного давления катка область рациональной работы смещается в сторону более низких температур и более высоких плотностей асфальтобетона. Это обстоятельство хорошо согласуется с тем положением, что по мере уплотнения и остывания смеси необходимо переходить к все более тяжелым каткам.

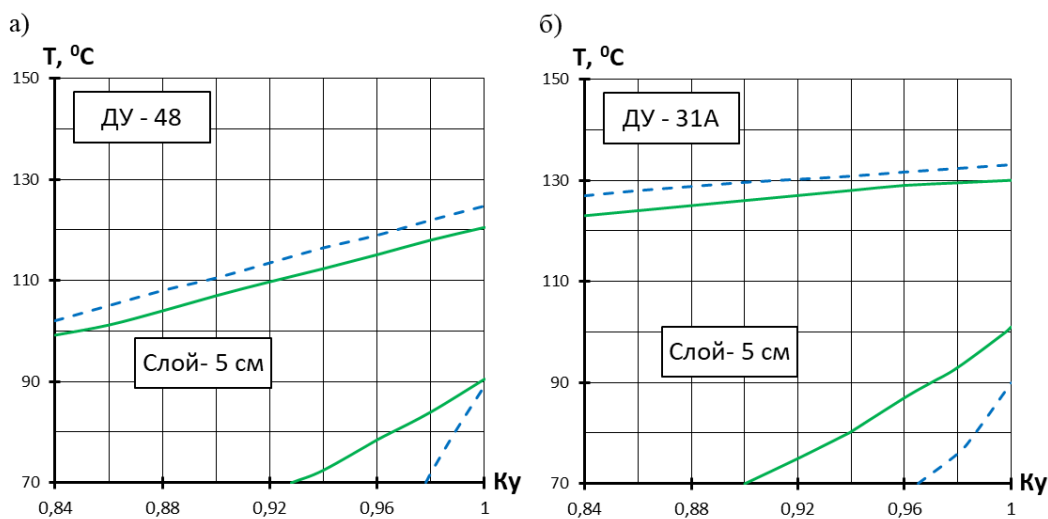


Рисунок 2.9 – Области рациональной работы статического катка ДУ-48 и пневмокатка ДУ-31А при толщине слоя 5 см для мелкозернистой (сплошная линия) и песчаной (пунктирная линия) смесей

Каток ДУ-48, имеющий высокое линейное давление, можно применять только при температурах не выше 110 - 120°C (рисунок 2.9,а).

Пневмокатком ДУ-31А можно начинать укатку мелкозернистой смеси при $T \cong 125^\circ\text{C}$ и достигать $K_y = 0,98$ при $T \geq 95^\circ\text{C}$ (рисунок 2.9,б). При

температуре ниже 95°C каток ДУ-31А применять не рекомендуется ввиду невозможности уплотнения слоя до норматива по всей глубине.

При уплотнении песчаных смесей наблюдается расширение областей работы всех катков (рисунок 2.9 – пунктирные линии). Это происходит, как за счет поднятия верхней границы, так и за счет смещения вправо нижней границы области. Данная картина объясняется лучшей деформативной способностью песчаных смесей по сравнению с мелкозернистыми, т.е. возможностью более глубокой проработки слоя при одинаковом силовом воздействии. В остальном характер изменения областей для песчаной и мелкозернистой смесей ничем качественно не отличается.

Области рациональной работы катка ДУ-63 без вибрации и в двух вибрационных режимах показаны на рисунке 2.10. Сопоставление кривых на рисунке 2.10,б показывает, что указанные области при частотах 45 и 30 Гц отличаются друг от друга незначительно (до 7°C). Это обстоятельство позволяет усомниться в целесообразности использования двух режимов вибрации, дающих близкие по уплотняющему эффекту результаты. Предпочтительным является режим с частотой вибрации 30 Гц (вынуждающая сила 75 кН), позволяющий для слоя 5 см достигать нормативной плотности при $T \geq 90^\circ\text{C}$.

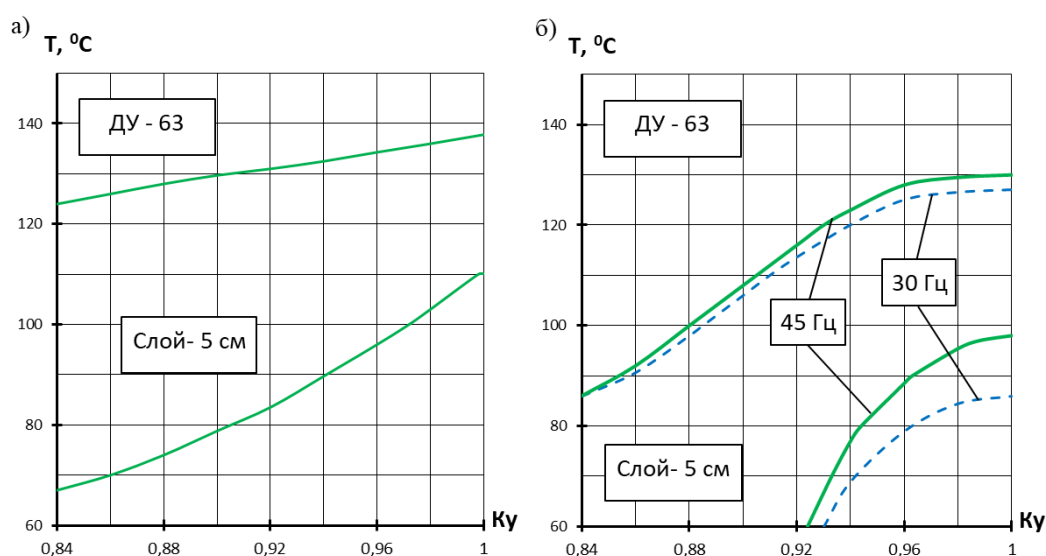


Рисунок 2.10 - Области рациональной работы катка ДУ- 63 на мелкозернистой смеси:
а) в статическом режиме; б) в вибрационном режиме на частотах 30 и 45 Гц

3 МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА КАТКОВ

3.1 Обоснование методики

Рассмотренные выше области работы катков являются основой для выбора комплектов (звеньев) уплотняющих машин и организации их работы по рациональным технологическим схемам укатки. Однако для практического использования полученные данные удобно представлять в виде зависимости коэффициента уплотнения от количества проходов катка $K_y = f(n)$, где n – число проходов катка по следу. С этой целью, по результатам производственных испытаний катков в ПО "Ленавтодор" [29], была уточнена закономерность изменения коэффициента уплотнения в процессе укатки.

Финашин В.Н. и Соколов В.А. предложили для определения коэффициента уплотнения следующее выражение

$$K_y = K_0 + K_{ин} \cdot \ln(n + 1), \quad (3.1)$$

где K_y – коэффициент уплотнения после n проходов катка; K_0 – значение коэффициента уплотнения при начале работы катка; n – количество двойных проходов катка по следу; $K_{ин}$ – коэффициент интенсивности уплотнения. Как показали проведенные испытания коэффициент интенсивности уплотнения в (3.1) в процессе уплотнения изменяется. Так, для катка ДУ-48 на первых двух проходах $K_{ин} = 5,77 \cdot 10^{-2}$, а для 8 проходов $K_{ин} = 3,79 \cdot 10^{-2}$. В работе [19] указано, что коэффициент интенсивности уплотнения также зависит от параметров рабочего органа катка, поэтому можно записать $K_{ин} = f(q, D, T, K_y)$.

Используя метод анализа размерностей, эту зависимость можно представить в виде [20]

$$K_{ин} = C_{ин} \cdot (\rho \cdot g \cdot D^2 / q)^{a_1} \cdot (K_{yn-1})^{a_2} \cdot \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^{a_3}, \quad (3.2)$$

где $K_{ин}$ – коэффициент интенсивности уплотнения на n -м проходе катка; $C_{ин}$ – постоянный коэффициент; K_{yn-1} – коэффициент уплотнения после $n - 1$ -го прохода катка; T_n – температура асфальтобетона после n -го прохода катка; T_0 – постоянная температура (125°C); a_1, a_2, a_3 – показатели степени.

Численные значения коэффициента $C_{и}$ и показателей степени были определены, используя результаты испытаний различных катков [29]. После вычислений выражение для коэффициента интенсивности уплотнения мелкозернистого асфальтобетона приняло вид

$$K_{ин} = 0,028 \cdot (\rho \cdot g \cdot D^2 / q)^{-2,65} \cdot (K_{yn-1})^{-3,2} \cdot \left(\frac{T_n}{T_0}\right)^{3,48} \quad (3.3)$$

В процессе укатки температура асфальтобетона падает. Скорость остывания уплотняемого слоя зависит от его теплофизических характеристик и толщины, температуры воздуха и скорости ветра.

Закономерность остывания асфальтобетона изучалась в работах [4, 17, 37 и др.]. Костельов М.П. [16] предложил ряд экспериментальных зависимостей, характеризующих динамику остывания асфальтобетонной смеси при разных температурах окружающего воздуха и толщинах уложенного слоя (рисунок 3.1).

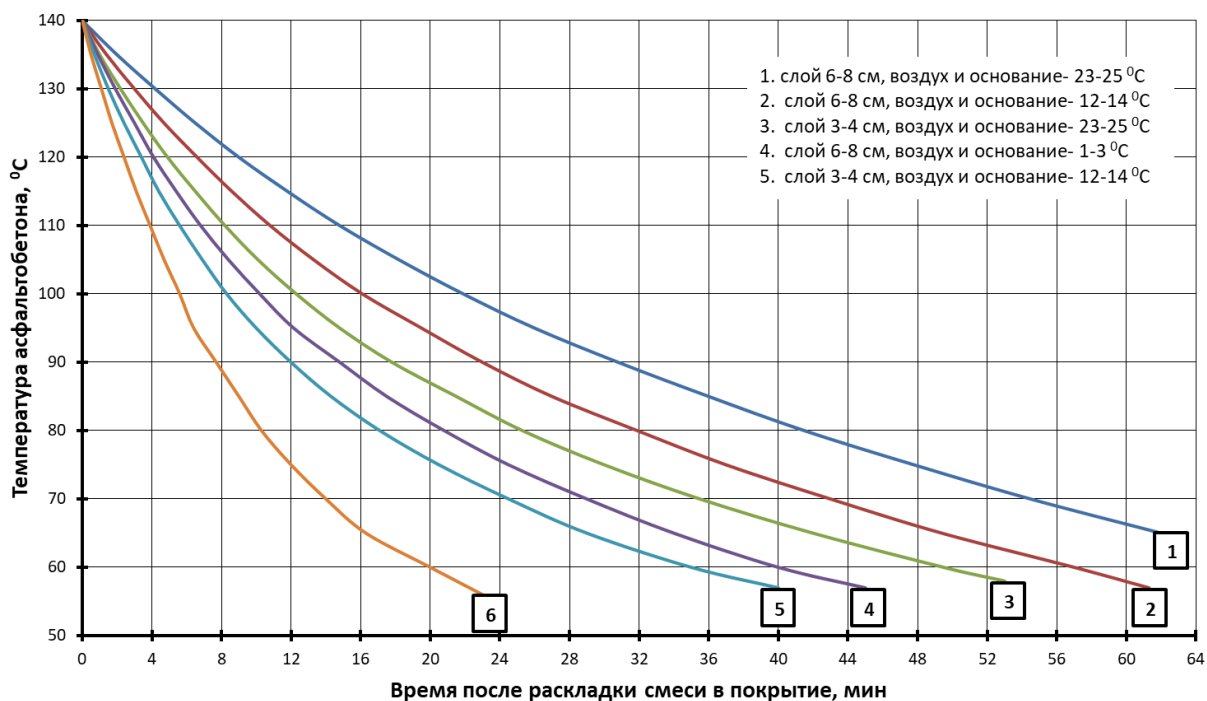


Рисунок 3.1 – Изменение температуры слоев асфальтобетонной смеси во времени

Для всех представленных на рисунке 3.1 кривых были составлены уравнения регрессии, показанные в таблице 3.1 и использованные в

дальнейшем для определения температуры асфальтобетона после проходов катков.

Таблица 3.1 – Уравнения регрессии для зависимостей на рисунке 3.1

Кривая №	Уравнение регрессии (T – температура смеси, °С; t – время, мин)
1	$T = 2,609 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 5,281 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 4,485 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - 2,583 \cdot t + 140$
2	$T = 6,01 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 7,911 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - 3,487 \cdot t + 139,8$
3	$T = 1,623 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 2,391 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 1,389 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 4,601 \cdot t + 139,6$
4	$T = 3,392 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 4,146 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 2,007 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 5,567 \cdot t + 139,9$
5	$T = 5,963 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 6,515 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 2,806 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 6,681 \cdot t + 139,6$
6	$T = 1,063 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 - 1,056 \cdot 10^{-2} \cdot t^3 + 4,285 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 9,201 \cdot t + 139,7$

Для практических расчетов удобнее выразить временной параметр через количество проходов катка. Согласно [22] время, затрачиваемое катком на один двойной проход по следу (туда-сюда), можно определить из выражения

$$t_{\text{пр}} = 2 \cdot L_3 / V_k, \quad (3.4)$$

где L_3 – длина захватки полосы асфальтобетона; V_k – рабочая скорость катка.

Уравнения (3.1), (3.3), (3.4) и уравнения регрессии (см. таблицу 3.1) позволяют вычислить значения коэффициента уплотнения в зависимости от числа проходов катка [19]. Расчетные зависимости коэффициента уплотнения от числа проходов катка ДУ-47 при уплотнении мелкозернистой смеси толщиной 7 см представлены на рисунке 3.2 совместно с экспериментальными данными [20]. Последние отражают результаты испытаний, в ходе которых после 2 – 4 проходов катка из покрытия брали вырубку. Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей свидетельствует об их хорошей сходимости. Максимальное среднеквадратическое отклонение не превышает 0,004.

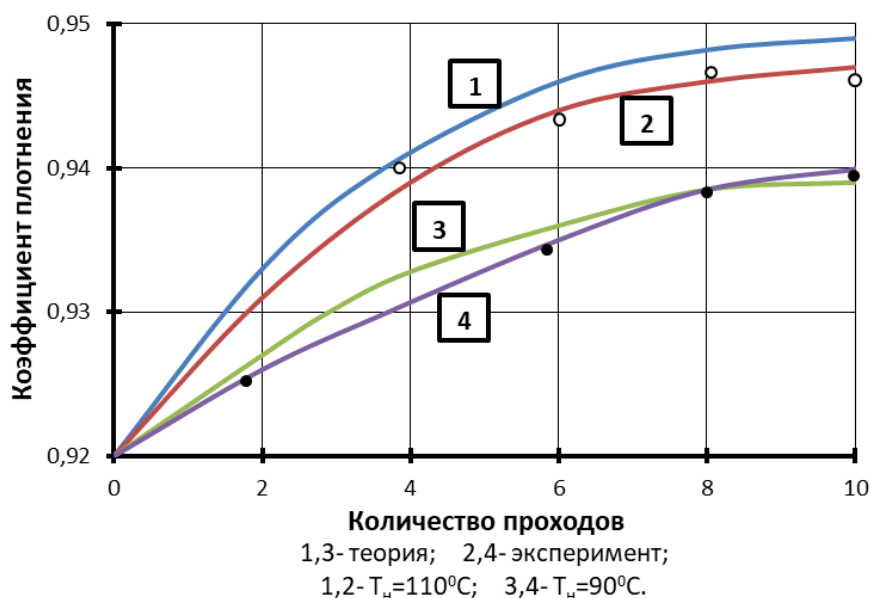


Рисунок 3.2 – Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей коэффициента уплотнения от количества проходов катка ДУ-47

Уплотнение катком ДУ-47 начиналось при одинаковом $K_y = 0,92$, но при различных температурах. Кривые 1 и 2 соответствуют начальной температуре $T_n = 110^\circ\text{C}$, когда согласно рис. 2.8,б глубина развития пластической деформации равна толщине слоя. Кривые 3 и 4 на рисунке 3.2 получены для $T_n = 90^\circ\text{C}$, когда в процессе уплотнения каток находился вне области рациональной работы ($h_p \leq h_{сл}$). Из графиков видно, что в первом случае за 10 проходов асфальтобетон был уплотнен до $K_y = 0,947$, а во втором – до $K_y = 0,939$. При работе катка в рекомендуемой области величины $K_y = 0,939$ можно достичь всего за 5 проходов. Следовательно, за счет оптимизации режимов работы катков можно существенно повысить их производительность.

В работе [20] были рассчитаны рациональные технологические схемы уплотнения слоя мелкозернистого асфальтобетона толщиной 5 см. В качестве примеров были приняты 3 схемы уплотнения и соответственно 3 звена катков. Первое звено включало катки ДУ-47, ДУ-48 и ДУ-49А, второе – катки ДУ-31А и ДУ-49А, третье – катки ДУ-47 и ДУ-49А. В третьем звене ДУ-47 работал в начале укатки как статический, а затем как вибрационный каток.

Рациональные технологические схемы работы трех разных звеньев представлены на рисунках 3.3 и 3.4. На графиках указаны зоны работы катков и

температуры начала укатки T_n . Из рисунка 3.3 видно, что выбранная схема уплотнения позволяет достигать $K_y = 0,98$ за 22 прохода против общепринятых для такого звена 26-30 проходов. На рисунке кривая “в” получена при скорости остывания асфальтобетона $4^\circ\text{C}/\text{мин}$. Если по какой-либо причине скорость остывания будет меньше, то эффективность укатки возрастет. Это подтверждается кривыми “а” и “б”, которые соответствуют скоростям остывания $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ и $2^\circ\text{C}/\text{мин}$.

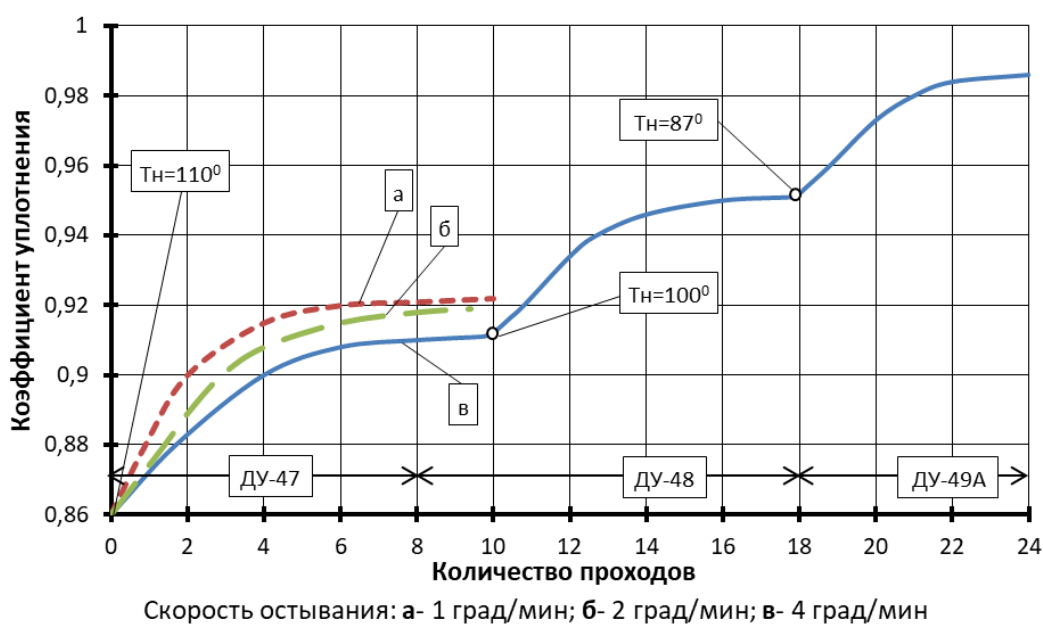


Рисунок 3.3 – Рациональная технологическая схема работы звена катков

На рисунке 3.4,а показаны две технологические схемы укатки звеном, состоящим из пневмошинного катка ДУ-31А и тяжелого катка ДУ-49А. Схемы различаются только параметрами уплотняемого материала в начале укатки. Так, если начинать уплотнение при температуре 110°C и $K_y = 0,86$, это звено катков не обеспечит требуемого качества уплотнения. Но, если начать укатку катком ДУ-31А при предельной для него температуре 125°C , то значения $K_y = 0,98$ можно достичь за 14 проходов.

При определенных технологических условиях нормативной плотности можно добиться за 18 проходов, используя лишь каток ДУ-47. Для этого следует совершить сначала 10 проходов с отключенным вибровозбудителем, а затем, включив его, сделать остальные проходы. Однако для достижения

необходимой ровности покрытия в звено добавляют тяжелый трехвальцовый каток ДУ-49А. В этом случае рациональная технологическая схема примет вид, указанный на рисунке 3.4,б.

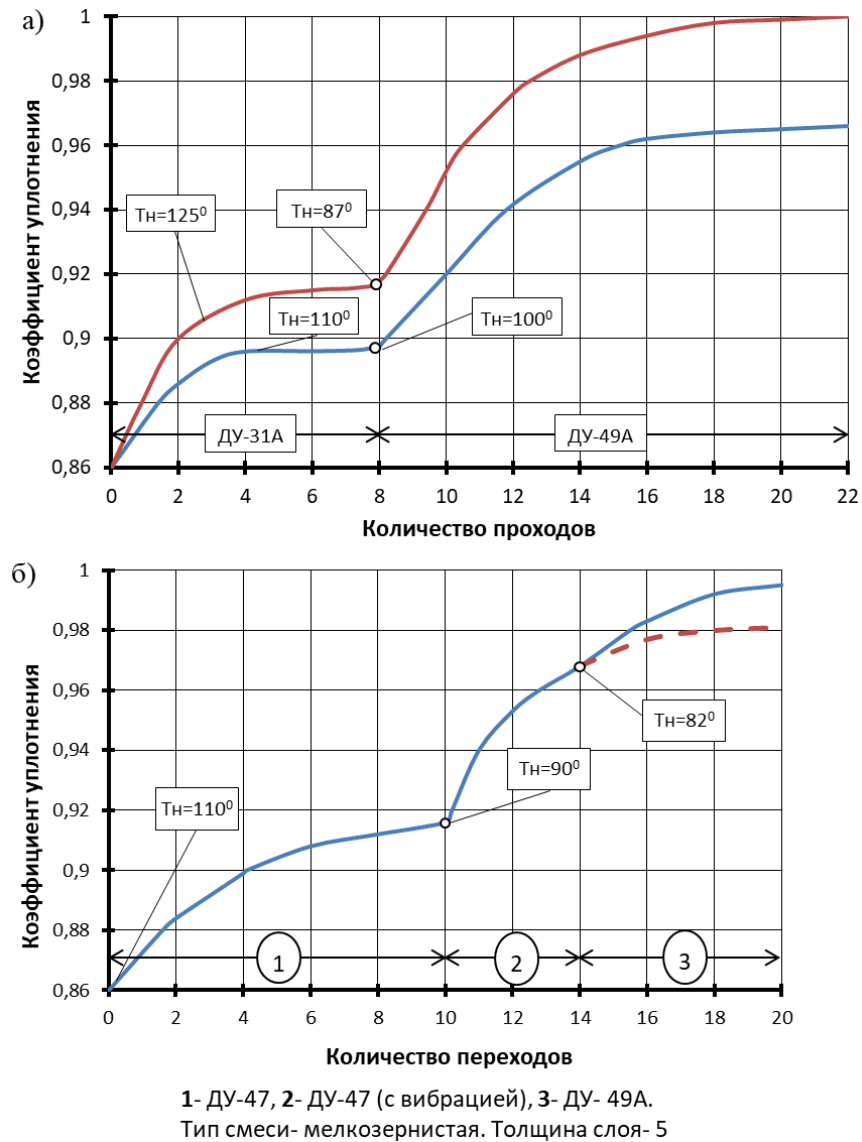


Рисунок 3.4 – Рациональные технологические схемы работы звеньев катков

Таким образом, представленные результаты позволяют оценить возможности любого катка, определить его место в технологическом процессе и подобрать оптимальный состав комплекта (звена) катков, имея в виду, что в этом случае катки работают в оптимальном режиме.

3.2 Алгоритм выбора оптимального комплекта катков

Одним из практических результатов проведенных исследований является разработка методики выбора оптимальных комплектов катков для уплотнения различных асфальтобетонных смесей. 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 в заданные сроки с наименьшими затратами.

Принципы выбора были изложены Ложечко В.П. в [19, 20] и заключаются в том, что, зная области рациональной работы всех катков (см. раздел 2.2), на каждом этапе уплотнения выбираются только те из них, которые могут обеспечить прирост плотности в кратчайшие сроки. Таким образом, формируются несколько вариантов комплектов, которые затем сравниваются по технико-экономическим показателям, и на основании этого выбирается наиболее выгодный вариант.

В настоящей работе, по сравнению с [19], внесены изменения, позволяющие осуществить необходимые расчеты по специально разработанной программе для ЭВМ, алгоритм которой представлен на рисунке 3.5.

Для реализации программы расчета сначала необходимо сформировать банк исходных данных, который должен содержать сведения о параметрах и эксплуатационных расходов катков всего парка, имеющегося в дорожно-строительной организации. В программу вводятся и параметры технологического процесса: тип смеси; $h_{сл}$ – толщина укладываемого слоя, $B_{п}$ – ширина уплотняемой полосы, L_3 – длина захватки, F – предполагаемый объем работ, $t_{зад}$ – заданный срок выполнения работ; K_0 – значение начальной плотности; T_n – значение начальной температуры, а также их конечные значения – $K_y = 0,98$ и $T_{кон} = 70^{\circ}C$.

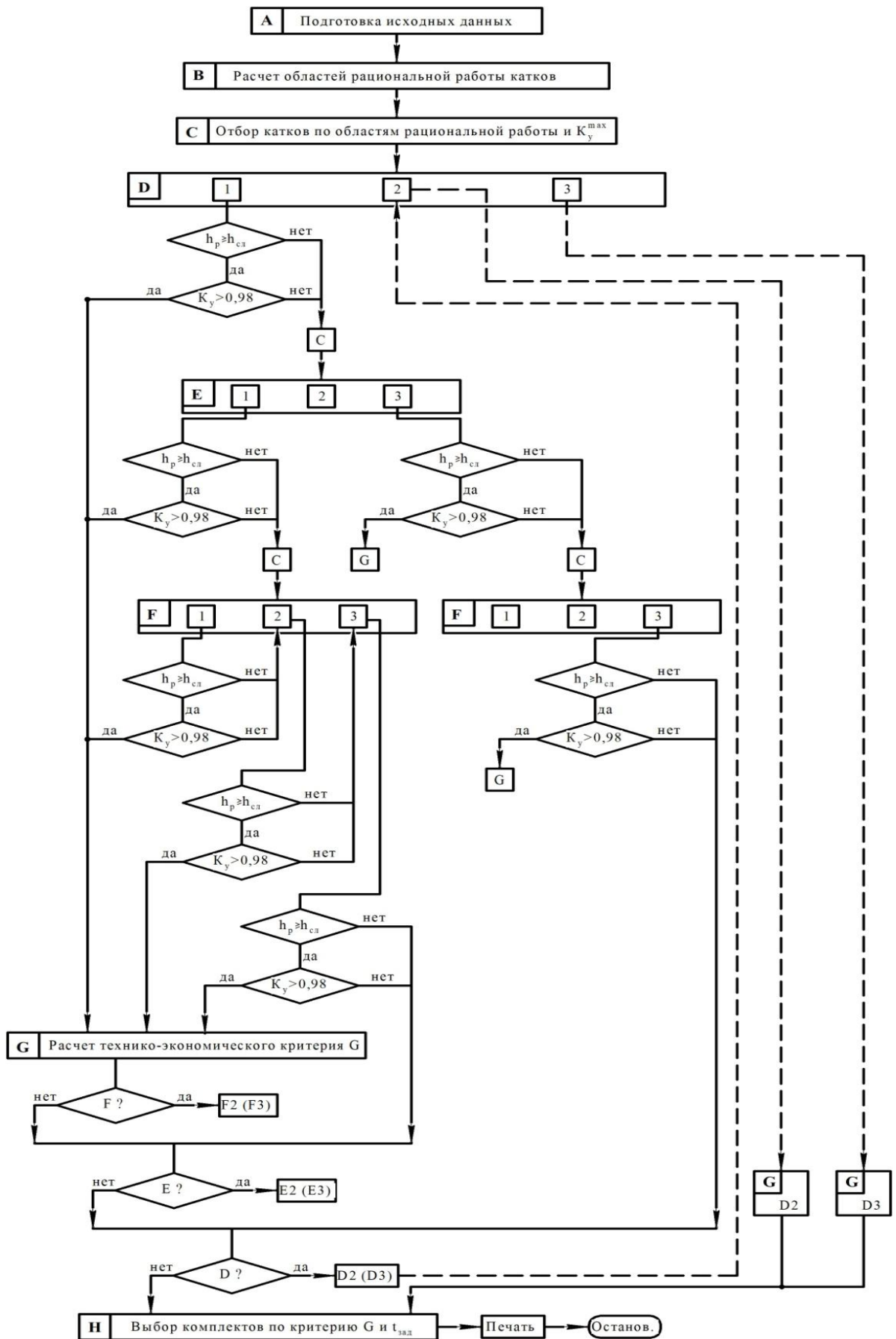


Рисунок 3.5 – Алгоритм выбора оптимального комплекта катков

Кроме того, здесь же необходимо указать расчетные значения температуры окружающего воздуха T_B и скорости ветра V_B (м/с), используя которые, вычисляется максимальное время (в минутах), отводимое на уплотнение асфальтобетона, по предложенной О.А. Якуниным и Н.В. Горелышевым формуле [48]

$$t_y = 2,63 \cdot h_{сл}^{1,5} / (1 + k \cdot V_B) \cdot (T_H - T_{кон}) / (T_{кон} - T_B), \quad (3.5)$$

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

Как показывает практика, после асфальтоукладчика без вибробруса $K_0 = 0,86 - 0,90$, с вибробрусом – $K_0 = 0,92 - 0,94$, а $T_H = 120 - 130^{\circ}\text{C}$. Впрочем, все указанные показатели могут быть уточнены с учетом конкретных производственных условий.

После подготовки исходных данных, согласно [19], по (2.3) – (2.5) находятся области рациональной работы всех катков, которые затем сопоставляются 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. На начальном этапе рассматриваются только гладковальцовые катки статического действия, работающие на скоростях не более 2 м/с, а также пневмошинные катки.

Для катков, отобранных на основании их областей рациональной работы, по (3.1), (3.3), (3.4) и уравнения регрессии (см. таблицу 3.1) определяются время двойного прохода – $t_{прп}$, температура смеси после прохода – T_n и зависимости изменения K_{yn} от числа проходов. Расчет ведется до тех пор, пока приращение коэффициента уплотнения ΔK_y за двойной проход не станет меньше 0,003.

Второй и последующие проходы катка рассчитываются с учетом укатки им всей уплотняемой полосы. Время, затрачиваемое катком на уплотнение всей полосы, вычисляется по формуле

$$\sum t_i = 2 \cdot n_i \cdot L_3 \cdot (m + 1) / V_{ki}, \quad (3.6)$$

где n_i – количество двойных проходов катка по следу; i – порядковый номер катка на каждом уровне расчета D, E, F (см. рисунок 3.5); 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. В формуле (3.6) выражение $(m + 1)$ учитывает и время на переходы катка с одного следа на другой.

На следующем шаге проводится проверка технологических возможностей машины [19]. Критерием соответствия является соблюдение условий

$$\begin{cases} \sum t_i = t_i^D + t_i^E + t_i^F \leq t_y, \\ h_{pi} \geq h_{сл}, \end{cases} \quad (3.7)$$

где h_{pi} – глубина зоны пластических деформаций в слое асфальтобетона на n_i -ом проходе катка. Выражение (3.7) показывает, что время уплотнения полосы всеми катками комплекта ($\sum t_i$) не должно превышать время t_y , отводимое на уплотнение асфальтобетона в данных производственных условиях, а уплотняемый слой смеси должен прорабатываться на всю глубину.

Если при $n_i \leq 2$ имеем $\Delta K_y \leq 0,003$ или не выполняется условие (3.7), то данный каток отбрасывается и расчет ведется для следующего катка уровня D . Если же указанные требования не выполняются лишь при n_i более 2, то данный каток становится первым катком комплекта $D1$. Условие $n_i \leq 2$ проверяется только для катков уровня D .

Последующие расчеты ведутся, начиная уже с выбранного катка $D1$ (см. рисунок 3.5). Если $K_{y1}^D \geq 0,98$, то уплотнение данным комплектом (катком) закончено и следует переходить к расчету технико-экономического критерия

(уровень G) [19]. Если нормативная плотность не достигнута, необходимо осуществить выбор следующего катка комплекта. Для этого следует вернуться на уровень C и после соответствующих операций опять выбрать из всего парка не более трех любых катков, подходящих по условиям (3.7) и K_y^{max} . Это будут катки $E1$, $E2$, $E3$. 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 вычислений повторяется, начиная с катка $E1$. При переходе на уровень F рассматриваются все три варианта комплекта, в котором первый каток – $D1$, второй – $E1$, а в качестве третьего катка (при необходимости) выступают по очереди $F1$, $F2$ и $F3$. Для комплектов катков, 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 , в соответствии с [19], 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

$$G_j = \left(U_{kj} + \frac{U_{Tj}}{2} \right) \cdot \frac{t_j}{t_{зад}}, \quad (3.8)$$

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.

Время выполнения заданного объема работ определяется по формуле

$$t_j = F/\Pi, \quad (3.9)$$

где F – предполагаемый объем работ, m^2 ; Π – производительность комплекта катков, $m^2/\text{смена}$.

Производительность комплекта катков определяется по формуле

$$\Pi = 8 \cdot k \cdot B_{\Pi} \cdot L_3 / \sum t, \quad (3.10)$$

где 8 – количество часов в смене; k – коэффициент использования машины по времени, $k = 0,8 - 0,9$; $\sum t$ – время, за которое комплект уплотнил слой, час.

В результате проведенных расчетов будем иметь ряд комплектов катков, удовлетворяющих всем поставленным требованиям и способных выполнить необходимый объем работ в заданные сроки по рациональным технологическим схемам укатки. Для каждого комплекта рассчитываются 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, включая области рациональной работы катков и технологические схемы работы комплектов, выводится на экран для принятия окончательного решения по выбору комплекта катков с учетом обстоятельств и не экономического характера.

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 [19]. Например, на базе катка ДУ-96 можно иметь два типа катков: статического действия и вибрационного.

4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ КАТКОВ

4.1 Описание программы и ее возможностей

Программа для ЭВМ разработана на языке программирования общего назначения - Java, который является одним из самых распространенных и популярных языков программирования.

Текущей версией является Java 12, которая вышла в марте 2019 года. Сегодня Java превратилась из просто универсального языка в целую платформу и экосистему, которая объединяет различные технологии, используемые в целом ряде задач: от создания десктопных приложений до написания крупных веб-порталов и сервисов. Кроме того, язык Java активно применяется для создания программного обеспечения для целого ряда устройств: обычных ПК, планшетов, смартфонов и мобильных телефонов, а также для бытовой техники.

Написанное на Java приложение можно запустить на любой платформе, если на ней установлена среда исполнения Java (JRE, Java Runtime Environment).

Разработанная программа состоит из трех основных шагов со следующими условными названиями:

- 1) Парк катков;
- 2) Расчетные параметры;
- 3) Самые экономичные комплекты катков.

Все промежуточные расчеты для выбора оптимальных комплектов катков отображаются в консоли. Далее подробнее расскажем о каждом шаге программы.

Шаг 1 – Парк катков

На данном шаге на экране монитора отображается весь парк дорожных катков, которые принимают участие в дальнейших расчетах, с указанием необходимых для расчетов технико-экономических параметров катков. Окно с парком катков представлено на рисунке 4.1.

База катков хранится в отдельном файле .xml, в котором, при необходимости, можно отредактировать данные по каткам: добавить или удалить катки, изменить их параметры.

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 1

Парк катков

Каток	Линейное статическое давление, q, кН/м	Частота колебаний вибровозбудителя, γ, Гц	Диаметр вальца, D, мм	Внешний диаметр пневмоколеса, Dпневно, мм	B-ширина вальца, мм	Vк– рабочая скорость катка, км/ч	Отношение P/Q	Тип катка	Стоимость катка, руб	Амортизационные отчисления, руб./маш.-ч	Затраты на энергоносители, руб./маш.-ч
ДУ-96	28		1070		1500	10,5	3,4	статик	4225000	540,94	424,25
ДУ-96	28	50	1070		1500	10,5	3,4	вибро	4225000	540,94	551,53
ДУ-98	33,7		1200		1700	10	2,6	статик	3810000	487,8	523,35
ДУ-98	33,7	40	1200		1700	10	2,6	вибро	3810000	487,8	680,36
ДУ-100	34,3		1070	1070	2000	5,5		пневно	3310000	423,79	665,19
ДУ-47Б	34		1200		1400	7,5	2,8	статик	670000	85,78	429,58
ДУ-47Б	34	45	1200		1400	7,5	2,8	вибро	670000	85,78	558,45
ДУ-84	32		1600	1070	2000	5,4	3,4	комбинированный (пневно и статик)	4515000	578,07	1139,63
ДУ-84	32	24	1600		2000	5,4	3,4	комбинированный (пневно и вибро)	4515000	578,07	1481,52
RV-7,0 DD	22	55	1200		1700	6	4,7	вибро	4225000	540,94	612,38
RV-11,0 DS	32,5		1070	1070	1700	6	3,5	комбинированный (пневно и статик)	4100000	524,93	612,38
RV-11,0 DS	32,5	55	1200		1700	6	3,5	комбинированный (пневно и вибро)	4100000	524,93	796,09
RC-24 SS	56,7		1070	1070	2075	7		пневно	6300000	806,61	839,39
ДУ-48	72		1600		1850	6,5		статик	300000	38,4	429,58
ДУ-63	31	40	1200		1700	7	4,5	вибро	800000	102,42	429,58
ДУ-63	31		1200		1700	7	4,5	статик	800000	102,42	558,45
ДУ-82	11,9		800		1330	10	3,7	статик	1500000	192,05	259,21
ДУ-82	11,9	50	800		1330	10	3,7	вибро	1500000	192,05	336,97

Показать график(и) рациональной работы катка

Назад Вперед Закрыть

Рисунок 4.1 – Окно с парком катков

На первом шаге программы, помимо параметров катков, можно посмотреть графики их рациональной работы. При открытии программы графики рациональной работы будут строиться по стандартным значениям, которые прописаны на втором шаге. Если пользователь хочет изменить эти области, то необходимо перейти на второй шаг, внести соответствующие изменения в расчетные параметры, вернуться на предыдущий шаг и снова открыть графики рациональной работы катков, которые требуются.

Расчет затрат на эксплуатацию дорожных катков производился согласно пособию [41].

Сметные затраты по эксплуатации дорожных катков определяются на основе расхода машино-часов, приходящихся на единицу строительного-

монтажных работ и сметной цены одного машино-часа каждой машины, участвующей в выполнении единицы работ.

Сметная цена одного машино-часа представляет собой сметную величину затрат на содержание и эксплуатацию дорожных катков в расчете на единицу машинного времени – один машино-час. Она учитывает усредненные условия эксплуатации машинного парка.

В состав сметных расценок на эксплуатацию машин ($C_{\text{маш.}}$) входят согласно МДС 81-3.99 следующие статьи затрат (руб./маш.-ч)

$$C_{\text{маш.}} = A + P + Б + З + Э + С + Г + П, \quad (4.1)$$

где A – амортизационные отчисления на полное восстановление; P – затраты на выполнение всех видов ремонта, диагностирование и техническое обслуживание; $Б$ – затраты на замену быстроизнашивающихся частей; $З$ – оплата труда рабочих, управляющих машиной (машинистов, водителей); $Э$ – затраты на энергоносители; $С$ – затраты на смазочные материалы; $Г$ – затраты на гидравлическую и охлаждающую жидкость; $П$ – затраты на перебазировку машин с одной строительной площадки на другую строительную площадку, включая монтаж машин с выполнением пусконаладочных операций, демонтаж, транспортировку с погрузочно-разгрузочными операциями.

При расчете затрат на эксплуатацию дорожных катков было принято, что все затраты, за исключением затрат A и $Э$, будут считаться одинаковыми. Подробный расчет условно одинаковых затрат приведен в пособии [41], а расчет амортизационных отчислений и затрат на энергоносители представлен ниже.

Амортизационные отчисления на полное восстановление

Нормативный показатель амортизационных отчислений на полное восстановление для дорожных катков ($A_{\text{см}}$) определяется по формуле

$$A_{\text{см}} = \frac{B_c \cdot H_a \cdot K_a}{T \cdot 100}, \quad (4.2)$$

где B_c – средневзвешенная восстановительная стоимость машин данной типоразмерной группы, учитывающая структуру парка по их маркам (моделям) на дату введения в действие сметной расценки, руб. Показатель (B_c) определяется по формуле

$$B_c = Ц + K_{з.д.}, \quad (4.3)$$

где $Ц$ – средневзвешенная цена машин данной типоразмерной группы. Стоимость дорожных катков из таблицы 1.1 представлена в таблице 2.1 (данные по стоимости выпускаемых катков уточнялись в ОАО «Раскат»).

$K_{з.д.}$ – коэффициент затрат на первоначальную доставку, который определяется по фактически сложившемуся уровню затрат, характерному для данного региона. Согласно постановлению Госстроя РФ от 17.12.99 №81, для европейской части страны $K_{з.д.} = 1,15$, для восточной – $K_{з.д.} = 1,3$;

H_a – норма амортизационных отчислений, процент/год. Показатели (H_a) принимаются по установленным единым нормам амортизационных отчислений на машины данного вида и данной типоразмерной группы, утвержденным постановлением Совета Министров СССР от 22 октября 1990 г. № 1072, и в соответствии с действующими положениями по бухгалтерскому учету основных средств. Для самоходных катков $H_a = 16,7$;

K_a – коэффициент к норме амортизационных отчислений, учитывающий отраслевую и региональную специфику использования строительных машин и автотранспортных средств при производстве строительно-монтажных работ, а также интенсивность их использования. Для третьей температурной зоны $K_a = 1$ [41, приложение 1].

T – годовой режим эксплуатации машины, маш.-ч/год. Рекомендуемый показатель годового режима работы строительных машин для третьей температурной зоны $T = 1500$ маш.ч. [41, приложение 1].

Рассчитанные амортизационные отчисления дорожных катков представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1– Стоимость дорожных катков и их амортизационные отчисления

Каток	Стоимость катка, руб.	Амортизационные отчисления, руб./маш.-ч.
ДУ-47Б	670000	85,782
ДУ-48	300000	38,410
ДУ-63	800000	102,427
ДУ-82	1500000	192,050
ДУ-84	4515000	578,071
ДУ-96	4225000	540,941
ДУ-98	3810000	487,807
ДУ-100	3310000	423,790
RV-7,0 DD	4225000	540,941
RC-24 SS	6300000	806,610
RV-11,0 DS	4100000	524,937

Затраты на энергоносители

Нормативный показатель затрат на жидкое топливо (\mathcal{E}_T) допускается определять по формуле

$$\mathcal{E}_T = P_y \cdot M_d \cdot (C_T + Z_T), \quad (4.4)$$

где P_y – удельный расход энергоносителя на единицу мощности двигателя, устанавливаемый и гарантируемый изготовителем, кг/кВт · ч; M_d – паспортная мощность двигателя, кВт; $(C_T + Z_T)$ – цена приобретения топлива данного вида и затраты на его доставку до заправляемой машины, руб./кг. При отсутствии данных по затратам на доставку жидкого топлива до заправляемой машины эти затраты учитываются посредством применения к цене приобретения бензина или дизельного топлива коэффициентов, фактически сложившихся в регионе по данному элементу затрат. Для линейного строительства, для европейской части страны, согласно постановлению Госстроя РФ от 17.12.99 №81 $Z_T = 1,2$.

Затраты на энергоносители при различной работе катков будут разные. Катки в вибрационном режиме, в отличие от катков в статическом режиме, работают на больших скоростях и с включенным вибратором, поэтому они расходуют топлива примерно на 30% больше.

Удельный расход топлива, мощность двигателя и рассчитанные затраты на энергоносители представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2– Затраты на энергоносители

Каток	Удельный расход топлива, кг/кВт · ч	Мощность двигателя, кВт	Затраты на энергоносители, руб./маш.ч.
ДУ-47Б статик	0,242	44	429,58
ДУ-47Б вибро			558,46
ДУ-48 статик	0,242	44	429,58
ДУ-63 статик	0,242	44	429,58
ДУ-63 вибро			558,46
ДУ-82 статик	0,250	25,7	259,21
ДУ-82 вибро			336,97
ДУ-84 пневмо+статик	0,214	132	1139,64
ДУ-84 пневмо+вибро			1481,53
ДУ-96 статик	0,220	47,8	424,26
ДУ-96 вибро			551,54
ДУ-98 статик	0,226	57,4	523,36
ДУ-98 вибро			680,37
ДУ-100 пневмо	0,229	72	665,19
RV-7,0 DD вибро	0,215	70,6	612,38
RC-24 SS пневмо	0,202	103	839,40
RV-11,0 DS пневмо+статик	0,215	70,6	612,38
RV-11,0 DS пневмо+вибро			796,10

После внесения изменений в базу катков, если такие производились, переходим ко второму шагу программы.

Шаг 2 – Расчетные параметры

На втором шаге программы предусматривается ввод исходных данных для выбора комплектов дорожных катков. Окно для ввода данных представлено на рисунке 4.2.

Все строки в данном окне редактируются, в них пользователь может поменять уже имеющиеся стандартные параметры, а также выбрать из выпадающего списка тип смеси, толщину укладываемого слоя и некоторые другие параметры.

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 2

Расчетные параметры

Тип смеси	Мелкозернистая	
Толщина асфальтобетонного слоя, hсл	5	СМ
Ширина укладываемой полосы, Вп	3.75	М
Стандартная плотность смеси, ρ	2330	КГ/М³
Длина захватки, L3		М
Предполагаемый объем, F		М²
Срок выполнения работ, tзад		день 1 смена
Коэффициент уплотнения смеси в начале работы катка, Ко	0.82	
Базовая температура, T0	125	°С
Конечная температура, Tкон	71	°С
Температура окружающего воздуха, Tв	5	°С
Скорость ветра, Vв		М/С
Величина перекрытия, α	20	СМ
Коэффициент инт.уплотнения, Си	0.028	
Температура асфальтобетона в начале укатки, Tн	140	°С
Номер уравнения, №	6, T=1,063*10 ⁻⁴ *t ⁴ -1,056*10 ⁻² *t ³ +4,285*10 ⁻¹ *t ² -9,201*t+139,7	
Коэффициент степени, a1	-2.65	
Коэффициент степени, a2	-3.2	
Коэффициент степени, a3	3.48	
Базовая частота, Vo	25	Гц

Назад Вперед Закрыть

Рисунок 4.2 – Расчетные параметры

После того, как все поля заполнены, переходим к подбору комплектов катков. Подбор комплектов катков осуществляется автоматически, в код программы добавлены необходимые формулы для расчетов из разделов 2 и 3. Ход всех расчетов, производимых программой, можно посмотреть в консоли. Когда все расчеты произведены, открывается третий, заключительный, шаг.

Шаг 3 – Самые экономичные комплекты катков

На данном шаге, на экране монитора, появляется таблица с самыми экономичными комплектами дорожных катков, максимум в этой таблице может быть три комплекта.

Выбор самых экономичных катков также можно посмотреть в консоли программы. Вид таблицы с итогами расчетов представлен на рисунке 4.3.

Самые экономичные комплекты катков				
Комплекты катков	Время укатки захватки, мин	Производительность, кв. м/смена	Время выполнения заданного объема работ, смена	Эксплуатационные затраты, руб./маш.-ч.
ДУ-47Б(статик) + ДУ-48(статик)	11.87	3866.892	13.0	1742.88
RC-24 SS(пневмо)	3.09	14854.369	3.4	2945.65
ДУ-98(статик) + ДУ-48(статик)	10.37	4426.23	11.3	6449.47

Рисунок 4.3 – Пример выбора самых экономичных комплектов катков

При выборе любой строки с комплектом катков пользователь может посмотреть технологическую схему работы комплекта дорожных катков, а также графики рациональной работы катков, входящих в выбранный комплект и, при необходимости, сохранить или распечатать их.

В качестве примера произведем выбор оптимального комплекта дорожных катков. Окно с исходными данными для выбора комплекта дорожных катков представлено на рисунке 4.4.

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 2

Расчетные параметры

Тип смеси: Мелкозернистая

Толщина асфальтобетонного слоя, hсл: 5 см

Ширина укладываемой полосы, Вп: 3.75 м

Стандартная плотность смеси, ρ: 2330 кг/м³

Длина захватки, Lз: 30 м

Предполагаемый объем, F: 50000 м²

Срок выполнения работ, tзад: 15 день 1 смена

Коэффициент уплотнения смеси в начале работы катка, Ко: 0.83

Базовая температура, T0: 125 °C

Конечная температура, Tкон: 70 °C

Температура окружающего воздуха, Tв: 15 °C

Скорость ветра, Vв: 5 м/с

Величина перекрытия, α: 20 см

Коэффициент инт.уплотнения, Си: 0.028

Температура асфальтобетона в начале укатки, Tн: 130 °C

Номер уравнения, №: $4, T = 3,392 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 4,146 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 2,007 \cdot 10^{-1} \cdot t^2 - 5,567 \cdot t + 139,9$

Коэффициент степени, a1: -2.65

Коэффициент степени, a2: -3.2

Коэффициент степени, a3: 3.48

Базовая частота, Vo: 25 Гц

Рисунок 4.4 – Окно ввода исходных данных

На рисунке 4.5 показано, как выглядит расчет дорожного катка в консоли.

```
Расчет катка уровня D = ДУ-47Б(статик)
t11(мин)=0.5
t11+delta t (мин)=2.4
m=4.0
T11=127.63904308019201
Ki11=0.059569845551547373
Ky11=0.8712906704904464
sigmaT11=2.5
T11m=118.950292677632
hp=0.17746806967853718
hp11m=0.15391176401182208
T12=116.97228845099201
Ki12=0.037640955651848294
Ky12=0.9126434869267783
sigmaT12=5.0
T12m=109.757915560432
hp=0.10694928160089882
hp12m=0.09404390566134291
T13=108.116187761792
Ki13=0.02467343767543044
Ky13=0.9468481344456706
sigmaT13=7.5
T13m=102.125280783232
hp=0.07020011402333191
hp13m=0.06256446682609525
T14=100.760281512592
Ki14=0.01716341162223483
Ky14=0.9744715798172074
sigmaT14=10.0
T14m=95.767368846032
hp=0.04961379834528365
Результат расчета. Каток ДУ-47Б(статик) сделал 3 проход(а).
Ky13=0.9468481344456706
T113m=102.125280783232
SigmaT13=7.5
Каток уровня D = ДУ-47Б(статик) не достиг необходимого уровня уплотнения.
Переходим к отбору катков уровня E
```

Рисунок 4.5 – Пример расчета катка ДУ-47Б в консоли программы

После расчетов всех катков и подбора комплектов дорожных катков в консоли производится расчет технико-экономического критерия G согласно (3.8), т.е. экономический расчет. Три самых экономичных комплекта выводятся на экран монитора в третьем шаге программы. Пример экономического расчета, отображаемый в консоли, показан на рисунке 4.6, а результаты этого расчета в виде самых экономичных комплектов катков представлены на рисунке 4.7.

Экономический расчет
 Комплект 1 ДУ-47Б(статик) + ДУ-48(статик)
 Время укатки Сигма t, мин: 11.87
 Производительность, кв.м/смена: 3866.892
 Время выполнения заданного объема работ, смена: 12.93028096
 Расчет затрат, руб: 1742.8791777540712

Комплект 2 ДУ-98(статик) + ДУ-48(статик)
 Время укатки Сигма t, мин: 10.37
 Производительность, кв.м/смена: 4426.23
 Время выполнения заданного объема работ, смена: 11.296295042
 Расчет затрат, руб: 6449.462101051324

Комплект 3 ДУ-98(статик) + ДУ-84(комбинированный (пневно и вибро)) + ДУ-48(статик)
 Время укатки Сигма t, мин: 10.85
 Производительность, кв.м/смена: 4230.415
 Время выполнения заданного объема работ, смена: 11.819171406
 Расчет затрат, руб: 14161.286939864518

Комплект 4 ДУ-98(статик) + ДУ-84(комбинированный (пневно и вибро)) + RC-24 SS(пневно)
 Время укатки Сигма t, мин: 10.21
 Производительность, кв.м/смена: 4495.593
 Время выполнения заданного объема работ, смена: 11.12200326
 Расчет затрат, руб: 22595.212174031974

Выбраны самые экономичные комплекты катков.
 Комплект 1 ДУ-47Б(статик) + ДУ-48(статик). Затраты=1742.8791777540712 руб.
 Комплект 2 ДУ-98(статик) + ДУ-48(статик). Затраты=6449.462101051324 руб.
 Комплект 3 ДУ-98(статик) + ДУ-84(комбинированный (пневно и вибро)) + ДУ-48(статик). Затраты=14161.286939864518 руб.

Рисунок 4.6 – Пример экономического расчета

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 3

Самые экономичные комплекты катков				
Комплекты катков	Время укатки захватки, мин	Производительность, кв.м/смена	Время выполнения заданного объема работ, смена	Эксплуатационные затраты, руб./маш.-ч.
ДУ-47Б(статик) + ДУ-48(статик)	11.87	3866.892	13.0	1742.88
ДУ-98(статик) + ДУ-48(статик)	10.37	4426.23	11.3	6449.47
ДУ-98(статик) + ДУ-84(комбинированный (пневно и вибро)) + ДУ-48(статик)	10.85	4230.415	11.9	14161.29

Показать график работы комплекта Показать график(и) рациональной работы катка

Назад Вперед Закрыть

Рисунок 4.7 – Результаты расчета – самые экономичные комплекты катков

По полученным вариантам комплектов дорожных катков пользователь принимает окончательное решение по выбору комплекта катков с учетом обстоятельств не экономического характера.

В качестве примера выбираем третий комплект катков (ДУ-98 статик, ДУ-84 комбинированный, ДУ-48 статик) и выводим на монитор

технологическую схему его работы (рисунок 4.8), а также области рациональной работы катков, входящих в комплект (рисунки 4.9–4.11).

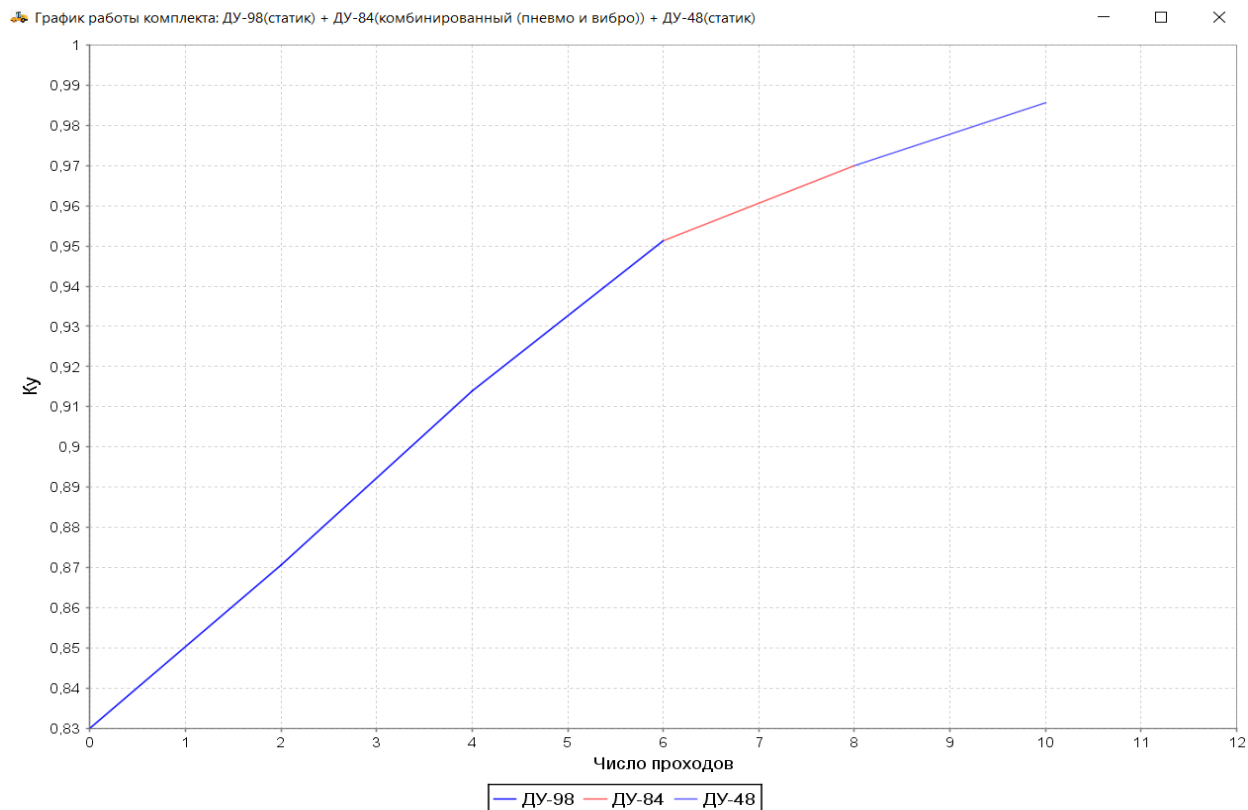


Рисунок 4.8 – Технологическая схема работы оптимального комплекта катков (ДУ-98 статик, ДУ-84 комбинированный, ДУ-48 статик)

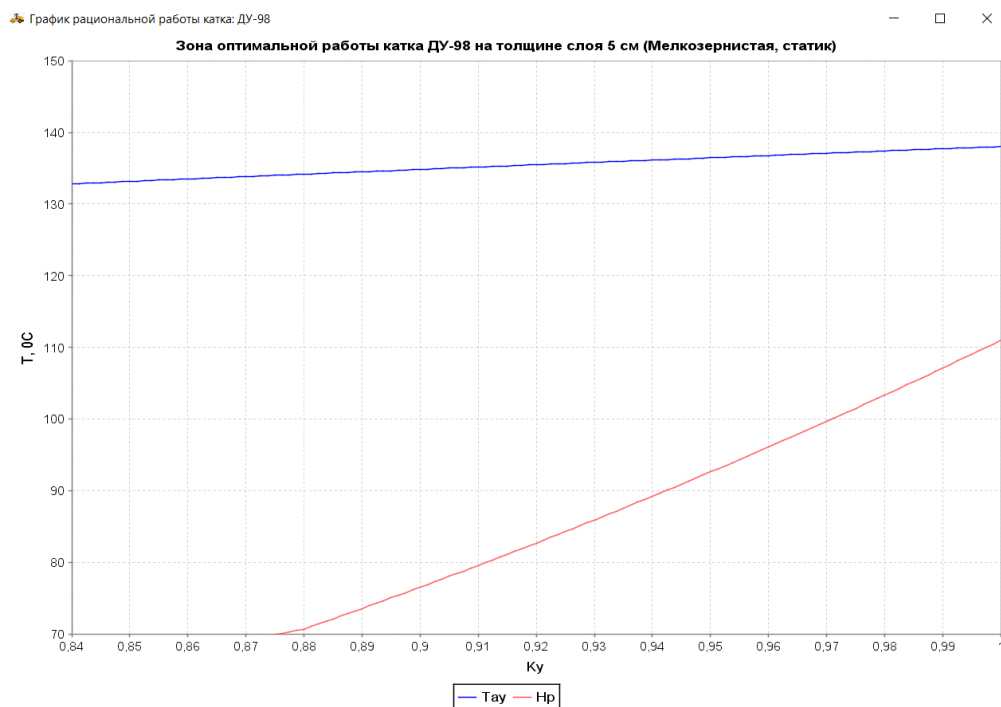


Рисунок 4.9 – Область рациональной работы катка ДУ-98 в статическом режиме

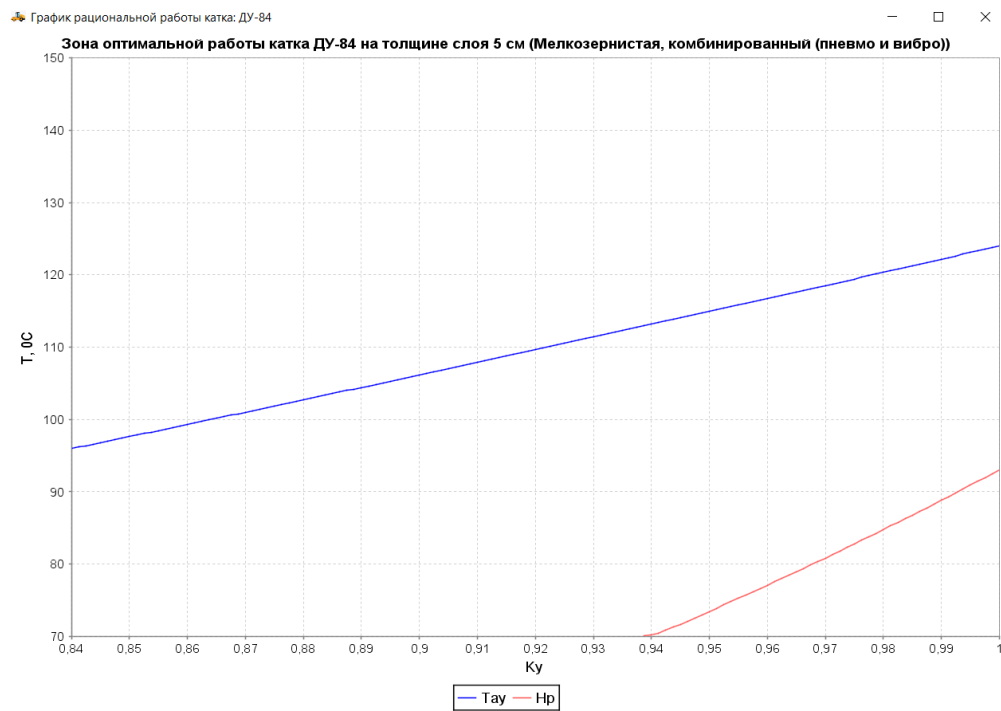


Рисунок 4.10 – Область рациональной работы катка ДУ-84 в вибрационном режиме

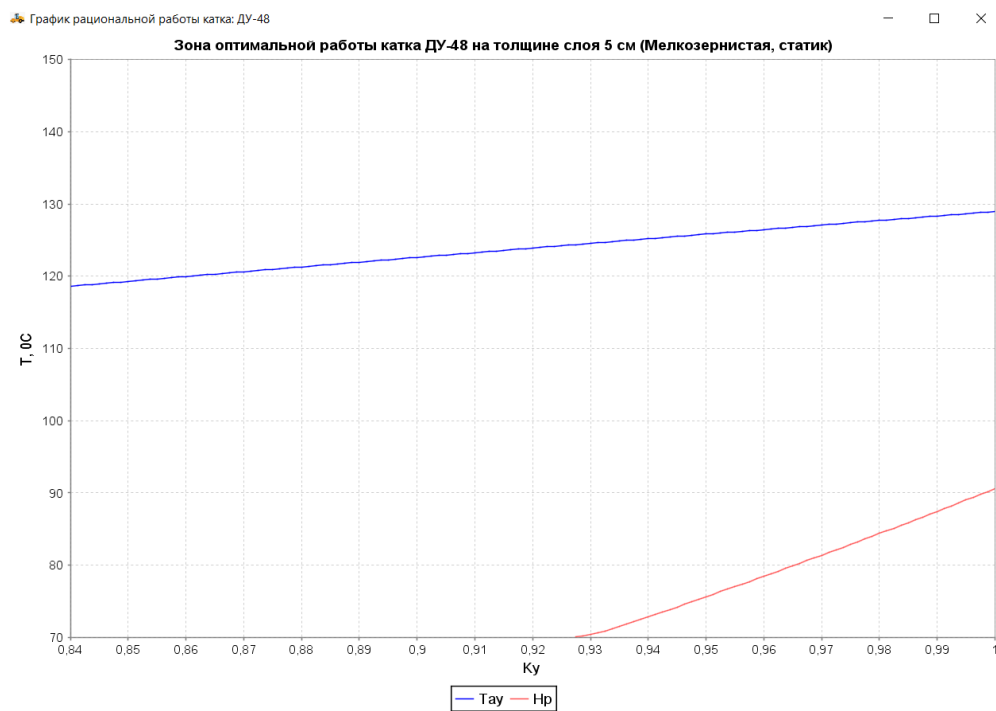


Рисунок 4.11 – Область рациональной работы катка ДУ-48 в статическом режиме

На этом все расчеты по программе закончены, выбор комплектов дорожных катков произведен.

4.2 Рекомендации по пользованию программой

Разработанная программа для ЭВМ предназначена для автоматизации работы по выбору оптимальных комплектов катков, с целью повышение эффективности их использования при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей.

Программа по выбору оптимальных комплектов дорожных катков может применяться:

- ✓ в организациях, занимающихся строительством и ремонтом автомобильных дорог;
- ✓ в ВУЗах при выполнении студентами практических и лабораторных работ.

Работа с программой в дорожно-строительных организациях целесообразна, когда имеется достаточно обширный парк дорожных катков и необходимо выбрать (составить) из них вариант комплекта катков, который способен с минимальными затратами выполнить требуемый объем работ по устройству асфальтобетонного покрытия в заданные сроки и надлежащего качества.

Для практического использования результатов магистерской диссертации, а именно методики и программы выбора оптимальных комплектов катков для уплотнения асфальтобетонных смесей, было разработано Руководство по пользованию программой, которое составлено согласно РД 50-34.698-90 и представлено в Приложении к настоящей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы над магистерской диссертацией можно констатировать, что все поставленные в задании для ВКР задачи выполнены полностью и получены следующие результаты:

1. Исследовано влияние параметров и режимов работы катков на эффективность уплотнения асфальтобетона. Сделан вывод, что выбор параметров и режимов работы катка следует производить из условия развития пластических деформаций по всей толщине слоя, но при этом уровень напряжений в слое не должен превышать допустимого значения.

2. Обоснованы области рациональной работы разных типов катков при укатке асфальтобетонных смесей, различных по структуре и толщине уплотняемого слоя.

3. Получены уравнения регрессии, характеризующие динамику остывания асфальтобетонной смеси при разных температурах окружающего воздуха и толщинах уложенного слоя.

4. Разработана методика выбора оптимального комплекта катков, позволяющая повысить эффективность их использования при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей. Методика позволяет оценить возможности любого катка, определить его место в технологическом процессе и подобрать оптимальный состав комплекта катков для выполнения требуемого объема работ в заданные сроки.

5. Разработаны алгоритм расчета и программа для ЭВМ по выбору оптимальных комплектов дорожных катков. Программа, помимо построения областей рациональной работы катков и подбора их оптимальных комплектов, позволяет видеть ход всех ведущихся расчетов и получать технологическую схему работы оптимального комплекта.

6. Для практического использования результатов магистерской диссертации разработано Руководство по пользованию программой для ЭВМ по выбору оптимальных комплектов катков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Андрейченко Ю.А. Радиационная технология уплотнения асфальтобетонных покрытий / Ю.А. Андрейченко, В.В. Бадалов, С.С. Процуто [и др.]. – Текст: непосредственный // Тр. СоюздорНИИ. – 1972. – Вып. 61. – С. 19-38.
- 2) Бадалов В.В. Рациональный режим уплотнения асфальтобетонной смеси / В.В. Бадалов, А.А. Шестопалов. – Текст: непосредственный // Автомобильные дороги. – 1972. – №6. – С. 18.
- 3) Батраков О.Т. Теоретические основы уплотнения грунтов земляного полотна и слоев дорожных одежд катками на пневматических колесах: специальность 05.23.14: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Батраков Олег Трифионович. – Москва, 1979. – 30 с. – Текст: непосредственный.
- 4) Дорожный асфальтобетон / под редакцией Л.Б. Гезенцвея. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст: непосредственный.
- 5) Емельянов Р.Т. Исследование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси по ширине укладки / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Климов – Текст: непосредственный // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 7. – С. 12-17.
- 6) Захаренко А.В. Дорожные катки: теория, расчет, применение: монография / А.В. Захаренко, В.Б. Пермяков, Л.В. Молокова. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 328 с. – Текст: непосредственный.
- 7) Зубанов М.П. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей и грунта. / М.П. Зубанов. – Москва: Машиностроение, 1964. – 195 с. – Текст: непосредственный.
- 8) Зубков А.Ф. Сопоставление параметров вибрационных и статических катков для уплотнения асфальтобетонных смесей / А.Ф. Зубков, Н.Я. Хархута. – Текст: непосредственный // Тр. СоюздорНИИ. – 1975. – Вып. 84. – С. 124-132.
- 9) Иванченко, С.Н. Научные основы формирования рабочих органов дорожных машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: специальность:

05.05.04: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сергей Николаевич Иванченко; Санкт-Петербургский технический университет. – Санкт-Петербург, 1997. – 482 с. – Текст: непосредственный.

10) Иванченко С.Н. Рациональные температурные диапазоны укатки асфальтобетонных дорожных покрытий самоходными катками / С.Н. Иванченко. – Текст: непосредственный // Исследование строительных и дорожных машин. – Ярославль, 1990. – С. 41-46.

11) Калерт А.А. Усовершенствование дорожных покрытий на Северо-Западе СССР в предстоящем пятилетии / А.А. Калерт. – Текст: непосредственный // Автомобильные дороги. – 1966. – №1. – С. 19-20.

12) Калужский Я.А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. / Я.А. Калужский, О.Т. Батраков. – Москва: Транспорт, 1971. – 158 с. – Текст: непосредственный.

13) Катки комбинированного действия: обзор / под редакцией С.А. Варганова. – Москва: ЦНИИТЭстроймаш, 1974. – 41 с. – Текст: непосредственный.

14) Коваленко Ю.Я. Исследование самоходных вибрационных катков для уплотнения асфальтобетонных смесей: специальность: 05.05.04: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коваленко Юрий Яковлевич. – Ленинград, 1979. – 23 с. – Текст: непосредственный.

15) Кондрашов Н.А. Исследование и расчет параметров многофункционального катка для уплотнения асфальтобетонных дорожных покрытий: специальность: 05.05.04: диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кондрашов Никита Александрович / Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2016. – 152 с. – Текст: непосредственный.

16) Костельов М.П. Технологические возможности и особенности устройства асфальтобетонных покрытий в неблагоприятных погодных

климатических условиях / М.П. Костельов. – Текст: непосредственный // Дорожная техника: каталог-справочник. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 46-52.

17) Костельов М.П. Рациональные режимы уплотнения асфальтобетонной смеси / М.П. Костельов, Т.Н. Сергеева, Л.М. Посадский. – Текст: непосредственный // Автомобильные дороги. – 1980. – №6. – С. 20-22.

18) Линейцева Л.И. Исследование процесса реверсирования дорожных катков: специальность: 05.05.04: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Линейцева Людмила Ивановна. – Ленинград, 1986. – 18 с. – Текст: непосредственный.

19) Ложечко В.П. Методика подбора оптимального комплекта катков / В.П. Ложечко. – Текст: непосредственный // Современные проблемы теории машин. – 2019. – № 8. – С.85-90.

20) Ложечко В.П. Научные основы создания дорожных катков с автоматизированным оборудованием: специальность: 05.05.04: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ложечко Виктор Петрович; Санкт-Петербургский технический университет. – Санкт-Петербург, 1997. – 396 с. – Текст: непосредственный.

21) Ложечко В.П. Регулирование силового воздействия вибрационных катков при уплотнении асфальтобетонных смесей / В.П. Ложечко. – Текст: непосредственный // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: сборник научных трудов. –Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 129-134.

22) Ложечко В.П. Строительные и дорожные машины. Машины для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей: учебное пособие / В.П. Ложечко, А.А. Шестопапов. – Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2006. – 71с. – Текст: непосредственный.

23) Маслов А.Г. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве / А.Г. Маслов, В.М. Пономарь. – Киев: Будівельник, 1985. – 128 с. – Текст: непосредственный.

24) Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов / под редакцией С.А. Варганова, Г.С. Андреева. – Москва: Машиностроение, 1981. – 240 с. – Текст: непосредственный.

25) Мханна Б. Выбор параметров вибрационных катков для уплотнения асфальтобетонных смесей в условиях САР: специальность: 05.05.04: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мханна Бассам. – Ленинград, 1987. – 148 с. – Текст: непосредственный.

26) Носков С.К. К вопросу об уплотнении асфальтобетона вибрированием / С.К. Носков. – Текст: непосредственный // Гидро- и теплоизоляционные материалы и конструкции. – Москва: Госстройиздат, 1955. – С. 118-136.

27) Носов С.В. Разработка технологий уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей и грунтов на основе развития их реологии: специальность: 05.23.11: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Носов Сергей Владимирович; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2014. – 366 с. – Текст: непосредственный.

28) Островцев Н.А. Самоходные катки на пневматических шинах / Н.А. Островцев. – Москва: Машиностроение, 1969. – 104 с. – Текст: непосредственный.

29) Отчет о НИР. Оптимизация режимов уплотнения асфальтобетона катками, используемыми в ПО "Ленавтодор". – Ленинград: ЛПИ, 1989. – 124 с. – Текст: непосредственный.

30) Пермяков В.Б. Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком / В.Б. Пермяков, В.В. Дубков, В.С. Серебренников. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – Омск, 2008. – № 1(64). – С. 67-71.

31) Пермяков В.Б. Совершенствование теории, методов расчета и конструкций машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: специальность: 05.05.04: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук /

Владислав Борисович Пермяков; Санкт-Петербургский технический университет. – Санкт-Петербург, 1992. – 412 с. – Текст: непосредственный.

32) Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов (к СНиП 3 06.03-85 и СНиП 3.06.06-88): издание официальное: введен впервые: дата введения: 1991-01-01. Москва: СоюздорНИИ, 1991. – 162 с. – Текст: непосредственный.

33) Путк А.И. Пневмоколесные катки. Основы теории и расчета основных параметров и режимов работы / А.И. Путк. – Таллинн: Валгус, 1985. – 144 с. – Текст: непосредственный.

34) Путк А.И. Температурный режим асфальтобетонной смеси при ее уплотнении катками на пневматических шинах / А.И. Путк. – Текст: непосредственный // Автомобильные дороги. – 1975. – № 3. – С. 8-9.

35) Реклейтис Г. Оптимизация в технике: в 2 книгах. Кн. 1. Перевод с английского / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. – Москва: Мир, 1986. – 349 с. – Текст: непосредственный.

36) Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – Москва: Транспорт, 1984. – 229 с. – Текст: непосредственный.

37) Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны: учебное пособие / И.А. Рыбьев. – Москва: Высшая школа, 1969. – 396 с. – Текст: непосредственный.

38) Сергеева Т.Н. К вопросу уплотнения асфальтобетонных смесей / Т.Н. Сергеева, А.Я. Башкарев. – Текст: непосредственный // Тр. СоюздорНИИ. – 1975. – Вып. 84. – С. 124-132.

39) Сиденко В.М. Технология строительства автомобильных дорог: в 3 частях. Ч. 2. / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков, А.И. Леушин. – Киев: Вища школа, 1970. – 325 с. – Текст: непосредственный.

40) Смоленцева В.А. Эффективность уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов специальными шипами / В.А. Смоленцева. – Текст: непосредственный // Тр. СоюздорНИИ. – 1975. – Вып. 84. – С. 170-178.

41) Соловьев В.В. Расчет затрат на эксплуатацию строительных машин: учебно-методическое пособие / В.В. Соловьев, А.П. Корчагин, А.Д. Разуваев. – Москва: РУТ (МИИТ), 2018. – 52 с. – Текст: непосредственный

42) Хархута Н.Я. Оптимизация параметров силового воздействия на слой асфальтобетонной смеси при его уплотнении его катками / Н.Я. Хархута, Е.Л. Стефанюк. – Текст: непосредственный // Строительные и дорожные машины: сборник научных трудов. – Ярославль: ЯПИ, 1978. – С. 34-36.

43) Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов: теория, расчет и конструкции / Н.Я. Хархута. – Ленинград: Машиностроение, 1973. – 176 с. – Текст: непосредственный.

44) Хархута Н.Я. Методы и средства уплотнения асфальтобетонных дорожных покрытий / Н.Я. Хархута. – Текст: непосредственный // Исследование рабочих процессов строительных и дорожных машин: сборник научных трудов. – Ярославль: ЯПИ, 1983. – С. 12-15.

45) Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – Москва: Высшая школа, 1983. – 288 с. – Текст: непосредственный.

46) Чабуткин Е.К. Исследование динамики шин самоходных катков: специальность: 05.05.04: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евгений Константинович Чубуткин. – Ленинград, 1978. – 15 с. – Текст: непосредственный.

47) Шестопалов А.А. Интенсификация процесса уплотнения асфальтобетонных смесей укаткой с вакуумированием: специальность: 05.23.11: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Александр Андреевич Шестопалов; Московский автомобильно-дорожный институт. – Москва, 1988. – 440 с. – Текст: непосредственный.

48) Якунин О.А. Исследование процесса охлаждения слоев асфальтобетонной смеси / О.А. Якунин, Н.В. Горелышев. – Текст: непосредственный // Тр. СоюздорНИИ. – 1972. – Вып.61. – С. 88-97.

49) Hirsch V. Lernen von den Strassen: Offenporige Asphalt [Text] / V. Hirsch, O.Ripke // Strasse und Autobahn. – 2008. – Vol. 59. – №. 1. – P. 12-19.

50) Pellinen T.K. Asphalt mix master curve construction using sigmoidal fitting function with non-linear least squares optimization [Text] / T.K. Pellinen, M.W. Witczak, R.F. Bonaquist // Geotechnical Special Publication. – 2003. – P. 83-101.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Руководство по пользованию программой выбора
оптимальных комплектов катков
для уплотнения асфальтобетонных смесей

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Область применения

Настоящее Руководство для пользователя составлено согласно РД 50-34.698-90 и совместно с Программой по выбору оптимальных комплектов дорожных катков для уплотнения асфальтобетонных смесей предназначены для использования:

- ✓ в организациях, занимающихся строительством и ремонтом автомобильных дорог;
- ✓ в качестве методического пособия для студентов ВУЗов при выполнении практических и лабораторных работ.

1.2. Краткое описание возможностей

Программа по выбору оптимальных комплектов катков позволяет:

- добавлять в основную базу данные по новым каткам и корректировать технико-экономические показатели имеющихся катков;
- строить области рациональной работы катков для уплотнения асфальтобетонных смесей;
- подбирать оптимальные комплекты катков;
- видеть ход всех ведущихся расчетов;
- получать технологическую схему работы оптимального комплекта;
- выводить на печать полученные результаты.

1.3. Уровень подготовки пользователя

Пользователь программы должен иметь опыт работы с:

- ✓ ОС MS Windows (95/98/NT/2000/XP/10);
- ✓ графическими файлами;
- ✓ текстовыми редакторами (ПО «Блокнот», WordPad и др.) ;
- ✓ офисными пакетами Microsoft Office.

Пользователь также должен:

- знать соответствующую предметную область;
- владеть информацией о работе в интерфейсе программы;

- понимать принципы расчетов в соответствующей предметной области;
- знать и иметь навыки работы с подобными приложениями;
- уметь анализировать исходные и полученные данные.

2. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

2.1. Назначение

Программа по выбору оптимальных комплектов катков предназначена для автоматизации работы по выбору комплектов катков, с целью повышение эффективности их использования при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей.

2.2. Условия применения

Программа по выбору оптимальных комплектов катков может эксплуатироваться и выполнять заданные функции при соблюдении требований предъявляемых к техническому, системному и прикладному программному обеспечению. Применение ее в дорожно-строительных организациях целесообразно, когда имеется достаточно обширный парк дорожных катков и необходимо выбрать (составить) из них вариант комплекта катков, который способен с минимальными затратами выполнить требуемый объем работ по устройству асфальтобетонного покрытия в заданные сроки и надлежащего качества.

2.3. Состав и содержание дистрибутивного носителя данных

Для работы с программой необходимо программное обеспечение Java Version 8.

2.4. Порядок загрузки данных и программ

Порядок загрузки данных и программ представлен в документе «Инструкция по установке Java», который можно найти на сайте <https://www.java.com/ru/>.

2.5. Порядок проверки работоспособности

Проверка работоспособности программы по выбору оптимальных комплектов катков осуществляется путем выполнения операций, описанных в разделе 3 настоящего Руководства.

3. ОПИСАНИЕ ОПЕРАЦИЙ

В данном разделе приводится описание всех операций, существующих в программе по выбору оптимальных комплектов катков. В таблице 1 показаны роли и возможности доступа к данным операциям.

Таблица 1 – Роли и возможности доступа к операциям программы

Роль	Доступные пункты меню	Доступные операции
Пользователь	База катков, хранящаяся в отдельном файле RinksBase	Просмотр Добавление Редактирование
	Показать область рациональной работы любого катка из базы	Просмотр Сохранение Печать
	Ввод исходных данных для выбора комплектов дорожных катков	Просмотр Редактирование
	Порядок расчетов в консоли	Просмотр Копирование
	Показать технологическую схему работы комплекта	Просмотр Сохранение Печать
	Показать области рациональной работы катков, входящих в комплект	Просмотр Сохранение Печать
	Заккрыть	Выход из программы

3.1. Вход в программу по выбору оптимальных комплектов катков

Для входа в пользовательский интерфейс программы необходимо открыть файл start (для работы программы с консолью) или файл rink-calculator_1.1.1 (для работы программы без консоли) (см. рисунок 1).

Имя	Дата изменения	Тип	Размер
rinks-calculator_1.1.1_lib	19.05.2020 22:07	Папка с файлами	
RinksBase	19.05.2020 22:10	Документ XML	6 КБ
rinks-calculator_1.1.1	19.05.2020 22:08	Executable Jar File	92 КБ
start	19.05.2020 22:08	Пакетный файл ...	1 КБ

Рисунок 1 – Выбор файла для входа в программу

3.2. Редактирование базы катков

Если пользователю потребуется внести изменения в базу катков: добавить или удалить каток, изменить технико-экономические параметры имеющихся катков, необходимо открыть файл RinkBase.xml (см. рисунок 1) через «Блокнот» или любой другой текстовый редактор. Для этого необходимо:

- Выделить файл RinkBase;
- Нажать правой кнопкой мыши и в открывшемся окне найти вкладку «Открыть с помощью»;
- Навести курсор мыши на эту вкладку и выбрать «Блокнот» или другой текстовый редактор, например, WordPad .

После этого откроется база катков, которую можно редактировать. Окно с базой катков представлено на рисунке 2.

Для того, чтобы добавить новый каток, необходимо скопировать строку с любым имеющимся катком, вставить ее в редактируемое поле, изменить название и необходимые параметры, на те, которые имеет новый каток. После этого необходимо сохранить файл и при открытии программы новый каток отобразится на стартовой странице, с условным названием: «Выбор комплекта дорожных катков: Шаг 1».

Файл Правка Формат Вид Справка

```

ОтношениеPQ="3.45" Масса="7.2" Стоимость="4225000" Амортизация="540.940833333333" ГСМ="424.257504" />
<Каток Модель="ДУ-96" q="28" v="50" D="1070" Дпневмо="" Вп="1500" Vк="10,5" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="3.45" Масса="7.2" Стоимость="4225000" Амортизация="540.940833333333" ГСМ="551.5347552" />
<Каток Модель="ДУ-98" q="33,8" v="" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="10" Тип="статик" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="2.63" Масса="11.5" Стоимость="3810000" Амортизация="487.807" ГСМ="523.3585056" />
<Каток Модель="ДУ-98" q="33,8" v="40" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="10" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="2.63" Масса="11.5" Стоимость="3810000" Амортизация="487.807" ГСМ="680.36605728" />
<Каток Модель="ДУ-100" q="34.34" v="" D="1070" Дпневмо="1070" Вп="2000" Vк="5,5" Тип="пневмо" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="" Масса="14" Стоимость="3310000" Амортизация="423.790333333333" ГСМ="665.191872" />
<Каток Модель="ДУ-47Б" q="34" v="" D="1200" Дпневмо="" Вп="1400" Vк="7,5" Тип="статик" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="2.88" Масса="8.5" Стоимость="670000" Амортизация="85.7823333333333" ГСМ="429.582912" />
<Каток Модель="ДУ-47Б" q="34" v="45" D="1200" Дпневмо="" Вп="1400" Vк="7,5" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="2.88" Масса="8.5" Стоимость="670000" Амортизация="85.7823333333333" ГСМ="558.4577856" />
<Каток Модель="ДУ-84" q="32" v="" D="1600" Дпневмо="1070" Вп="2000" Vк="5,4" Тип="комбинированный (пневмо и
статик)" ТипРасчета="расчет по большему диаметру" ОтношениеPQ="3.49" Масса="14" Стоимость="4515000"
Амортизация="578.0705" ГСМ="1139.637312" />
<Каток Модель="ДУ-84" q="32" v="24" D="1600" Дпневмо="" Вп="2000" Vк="5,4" Тип="комбинированный (пневмо и
вибро)" ТипРасчета="расчет как вибро катка" ОтношениеPQ="3.49" Масса="14" Стоимость="4515000"
Амортизация="578.0705" ГСМ="1481.5285056" />
<Каток Модель="RV-7,0 DD" q="22" v="55" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="6" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="4.7" Масса="7.5" Стоимость="4225000" Амортизация="540.940833333333" ГСМ="612.381576" />
<Каток Модель="RV-11,0 DS" q="32,5" v="" D="1070" Дпневмо="1070" Вп="1700" Vк="6" Тип="комбинированный (пневмо
и статик)" ТипРасчета="расчет по большему диаметру" ОтношениеPQ="3.5" Масса="" Стоимость="4100000"
Амортизация="524.936666666667" ГСМ="612.381576" />
<Каток Модель="RV-11,0 DS" q="32,5" v="55" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="6" Тип="комбинированный (пневмо и
вибро)" ТипРасчета="расчет как вибро катка" ОтношениеPQ="3.5" Масса="" Стоимость="4100000"
Амортизация="524.936666666667" ГСМ="796.0960488" />
<Каток Модель="RC-24 SS" q="56.73" v="" D="1070" Дпневмо="1070" Вп="2075" Vк="7" Тип="пневмо" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="" Масса="24" Стоимость="6300000" Амортизация="806.61" ГСМ="839.397264" />
<Каток Модель="ДУ-48" q="72" v="" D="1600" Дпневмо="" Вп="1850" Vк="6.6" Тип="статик" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="" Масса="5.6" Стоимость="3000000" Амортизация="38.41" ГСМ="429.582912" />
<Каток Модель="ДУ-63" q="31" v="40" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="7" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="4.5" Масса="" Стоимость="800000" Амортизация="102.426666666667" ГСМ="429.582912" />
<Каток Модель="ДУ-63" q="31" v="" D="1200" Дпневмо="" Вп="1700" Vк="7" Тип="статик" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="4.5" Масса="" Стоимость="800000" Амортизация="102.426666666667" ГСМ="558.4577856" />
<Каток Модель="ДУ-82" q="11.9" v="" D="800" Дпневмо="" Вп="1330" Vк="10" Тип="статик" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="3.8" Масса="" Стоимость="1500000" Амортизация="192.05" ГСМ="259.2102" />
<Каток Модель="ДУ-82" q="11.9" v="50" D="800" Дпневмо="" Вп="1330" Vк="10" Тип="вибро" ТипРасчета=""
ОтношениеPQ="3.8" Масса="" Стоимость="1500000" Амортизация="192.05" ГСМ="336.97326" />

```

Рисунок 2 – Окно базы катков

Помимо базы катков, в данном файле имеются изменяемые параметры для уравнений регрессии (см. раздел 3 ВКР) – Δt , которые показывают время остывания асфальтобетонной смеси от запрограммированной температуры (140⁰С) в уравнениях регрессии до ее температуры в начале укатки. **Изменять можно только те значения, которые указаны в кавычках, иначе, программа выдаст ошибку при запуске. (Изменения в номере кривой не ведут ни к каким последствиям).**

Указанные параметры представлены на рисунке 3.

```

<Кривая номер="1" p140="0.0" p135="2.0" p130="4.2" p125="6.5" p120="9.0"
p115="11.8" p110="14.8" p105="18.2" p100="21.9" />
<Кривая номер="2" p140="0.0" p135="1.4" p130="3.0" p125="4.7" p120="6.6"
p115="8.6" p110="10.8" p105="13.3" p100="16.1" />
<Кривая номер="3" p140="0.0" p135="1.0" p130="2.2" p125="3.5" p120="4.9"
p115="6.5" p110="8.2" p105="10.1" p100="12.3" />
<Кривая номер="4" p140="0.0" p135="0.9" p130="1.9" p125="3.0" p120="4.1"
p115="5.4" p110="6.8" p105="8.4" p100="10.2" />
<Кривая номер="5" p140="0.0" p135="0.7" p130="1.5" p125="2.4" p120="3.4"
p115="4.4" p110="5.6" p105="6.9" p100="8.3" />
<Кривая номер="6" p140="0.0" p135="0.5" p130="1.1" p125="1.7" p120="2.4"
p115="3.1" p110="3.9" p105="4.7" p100="5.6" />

```

Рисунок 3 – Параметры уравнений регрессии

В уравнениях, используемых в расчетах, значения коэффициентов и показателей степеней для разных толщин уплотняемого слоя и типов смеси (см. таблицу 2.1 ВКР), также редактируются в этом файле. Общий вид данных параметров показан на рисунке 4. **Изменять можно только те значения, которые указаны в кавычках, иначе, программа выдаст ошибку при запуске.**

```

<Смесь Наименование="Мелкозернистая" Толщина_слоя="5" h1="0.39" h2="0.39"
h3="-1.55" h4="-0.679" h5="-7.12" h6="2.02" C="8.89" V="0.052" />
<Смесь Наименование="Мелкозернистая" Толщина_слоя="7" h1="0.33" h2="0.33"
h3="-1.16" h4="-0.51" h5="-7.19" h6="0.95" C="7.226" V="0.042" />
<Смесь Наименование="Мелкозернистая" Толщина_слоя="10" h1="0.31"
h2="0.31" h3="-1.1" h4="-0.452" h5="-7" h6="0.9" C="5.6" V="0.032" />
<Смесь Наименование="Песчаная" Толщина_слоя="5" h1="0.35" h2="0.35"
h3="-1.17" h4="-0.359" h5="-5.971" h6="1.014" C="6.489" V="0.036" />
<Смесь Наименование="Песчаная" Толщина_слоя="7" h1="0.232" h2="0.232"
h3="-1.28" h4="-0.272" h5="-4.31" h6="0.74" C="9.8" V="0.047" />
<Смесь Наименование="Песчаная" Толщина_слоя="10" h1="0.39" h2="0.39"
h3="-1.55" h4="-0.67" h5="-7.12" h6="2.02" C="5.06" V="1.102" />

```

Рисунок 4 – Расчетные значения коэффициентов и показателей степени для разных толщин и типов смеси

3.3. Открытие окна программы с парком катков

Выполнив пункт 3.1 и 3.2 (при необходимости), на экране монитора открывается первый шаг программы по выбору оптимального комплекта катков. В этом окне пользователь может выбрать строку с катком и, нажав кнопку «Показать график(и) рациональной работы катка», посмотреть область его рациональной работы.

При запуске программы области рациональной работы катков будут строиться по стандартным значениям, которые прописаны на втором шаге. Если пользователь хочет изменить область рациональной работы катка, то

необходимо перейти на второй шаг, внести соответствующие изменения в расчетные параметры, вернуться на предыдущий шаг, выбрать строку с необходимым катком и открыть область (график) его рациональной работы.

На рисунке 5 показан первый шаг программы – окно с парком катков.

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 1

Каток	Линейное статическое давление, q, кН/м	Частота колебаний вибровозбудителя, ν , Гц	Диаметр вальца, D, мм	Внешний диаметр пневмоколеса, Dпневмо, мм	В-ширина вальца, мм	Vк – рабочая скорость катка, км/ч	Отношение P/Q	Тип катка	Стоимость катка, руб	Амортизационные отчисления, руб./маш.-ч	Затраты на энергоносители, руб./маш.-ч
ДУ-96	28		1070		1500	10,5	3,4	статик	4225000	540,94	424,25
ДУ-96	28	50	1070		1500	10,5	3,4	вибро	4225000	540,94	551,53
ДУ-98	33,7		1200		1700	10	2,6	статик	3810000	487,8	523,35
ДУ-98	33,7	40	1200		1700	10	2,6	вибро	3810000	487,8	680,36
ДУ-100	34,3		1070	1070	2000	5,5		пневмо	3310000	423,79	665,19
ДУ-47Б	34		1200		1400	7,5	2,8	статик	670000	85,78	429,58
ДУ-47Б	34	45	1200		1400	7,5	2,8	вибро	670000	85,78	558,45
ДУ-84	32		1600	1070	2000	5,4	3,4	комбинированный (пневмо и статик)	4515000	578,07	1139,63
ДУ-84	32	24	1600		2000	5,4	3,4	комбинированный (пневмо и вибро)	4515000	578,07	1481,52
RV-7,0 DD	22	55	1200		1700	6	4,7	вибро	4225000	540,94	612,38
RV-11,0 DS	32,5		1070	1070	1700	6	3,5	комбинированный (пневмо и статик)	4100000	524,93	612,38
RV-11,0 DS	32,5	55	1200		1700	6	3,5	комбинированный (пневмо и вибро)	4100000	524,93	796,09
RC-24 SS	56,7		1070	1070	2075	7		пневмо	6300000	806,61	839,39
ДУ-48	72		1600		1850	6,5		статик	300000	38,4	429,58
ДУ-63	31	40	1200		1700	7	4,5	вибро	800000	102,42	429,58
ДУ-63	31		1200		1700	7	4,5	статик	800000	102,42	558,45
ДУ-82	11,9		800		1330	10	3,7	статик	1500000	192,05	259,21
ДУ-82	11,9	50	800		1330	10	3,7	вибро	1500000	192,05	336,97

Показать график(и) рациональной работы катка

Назад Вперед Закрыть

Рисунок 5 – Окно с парком катков

3.4. Окно с вводом расчетных параметров

После нажатия на кнопку «Вперед» (см. рисунок 5) на экране монитора открывается второй шаг программы. Необходимо заполнить каждую строку на данном шаге. Те строки, которые уже заполнены при открытии программы, содержат в себе стандартные значения, которые при необходимости можно изменить. Если пользователь изменил стандартное значение и хочет посмотреть, какое оно было, необходимо просто навести курсор мыши на интересующую строку. Для коэффициентов степени a_1 , a_2 , a_3 стандартное значение не отображается. В случае, если эти параметры были изменены, возврат к начальным значениям осуществляется только путем перезапуска программы.

В строку «Температура асфальтобетона в начале укатки, Тн» можно вносить только значения кратные 5 в интервале от 140 до 100°C. В противном случае программа выдаст ошибку.

В качестве примера, на рисунке 6 показано окно с введенными параметрами.

Расчетные параметры	
Тип смеси	Мелкозернистая
Толщина асфальтобетонного слоя, hсл	5 CM
Ширина укладываемой полосы, Вп	3.75 М
Стандартная плотность смеси, ρ	2330 КГ/М³
Длина захватки, L3	30 М
Предполагаемый объем, F	50000 М³
Срок выполнения работ, tзад	15 день 1 смена
Коэффициент уплотнения смеси в начале работы катка, Ко	0.85
Базовая температура, T0	125 °C
Конечная температура, Tкон	71 °C
Температура окружающего воздуха, Tв	25 °C
Скорость ветра, Vв	3 М/С
Величина перекрытия, α	20 CM
Коэффициент инт.уплотнения, Си	0.028
Температура асфальтобетона в начале укатки, Тн	120 °C
Номер уравнения, №	3, T=1,623*10-5*t4-2,391*10-3*t3+1,389*10-1*t2-4,601*t+139,6
Коэффициент степени, a1	-2.65
Коэффициент степени, a2	-3.2
Коэффициент степени, a3	3.48
Базовая частота, Vo	25 Гц

Рисунок 6 – Окно ввода исходных данных

После нажатия кнопки «Вперед», программа автоматически начинает расчет.

При запуске программы через файл **start**, расчет по выбору оптимальных комплектов катков отобразится в консоли (для полного и корректного отображения расчетов необходимо работать в операционной системе Windows 10). Ход расчетов отображается в черном окне (консоли), часть таких расчетов показана на рисунке 7.


```

Выбор катков уровня E произведен:
ДУ-63(вибро);
ДУ-84(комбинированный (пневно и вибро));
ДУ-47Б(вибро);
-----
Расчет катка уровня E = ДУ-63(вибро)
t11(мин)=0.5142857142857143
t11+delta t (мин)=0.5142857142857143
m=3.0
T11=87.77491950789666
Kэ11=2.3352216893478226
Ki11=0.09038873572830548
Ky11=0.9693160093707367
sigmaT11=20.72380952380952
T11m=85.61680963681813
Kэ12=1.7520437223791088
hp=0.05359159116848437
hp11m=0.05096330976538881
T12=84.9325385845552
Kэ21=1.7257132189805455
Ki12=0.029201053527714016
Ky12=1.0013966456183385
sigmaT12=22.780952380952378
T12m=82.97326578330751
Kэ22=1.50024923945747
hp=0.035791828370532866
Результат расчета. Каток ДУ-63(вибро) сделал 1 проход(а).
Ky11=0.9693160093707367
T11m=85.61680963681813
SigmaT11=20.72380952380952
Каток уровня E = ДУ-63(вибро) не достиг необходимого уровня уплотнения.

Переходим к отбору катков уровня F
-----
ДУ-96(статик)
[Tay]=3.1238848476243297
Tay=0.40242871209659653
hсл=0.033861314838760925
Kэ=1.0
Каток не проходит
-----
ДУ-96(вибро)
[Tay]=3.1238848476243297
Tay=0.5014371616776964
hсл=0.04325506328518374
Kэ=1.4341763404459043
Каток не проходит

```

Рисунок 7 – Пример расчетов в консоли (расчет катка ДУ-63, отбор катков для уровня F)

3.5. Окно с результатами расчетов

После того, как расчет закончен, на экране монитора открывается следующее окно с результатами расчетов, представленных в табличном виде (рисунок 8).

Выбор комплекта дорожных катков : Шаг 3

Самые экономичные комплекты катков

Комплекты катков	Время укатки захватки, мин	Производительность, кв. м/смена	Время выполнения заданного объема работ, смена	Эксплуатационные затраты, руб./маш.-ч.
ДУ-48(статик)	6.55	7007.634	7.2	297.53
ДУ-47Б(статик) + ДУ-48(статик)	11.87	3866.892	13.0	1742.88
RC-24 SS(пневмо)	4.63	9913.607	5.1	4413.71

Показать график работы комплекта Показать график(и) рациональной работы катка

Назад Вперед Закрыть

Рисунок 8 – Представление результатов расчета

При выборе любой строки (ее надо выделить) с комплектом катков пользователь может посмотреть технологическую схему работы этого комплекта, нажав кнопку «Показать график работы комплекта», а также области рациональной работы катков из выбранного комплекта, нажав кнопку «Показать график(и) рациональной работы катка».

При необходимости, полученные результаты расчетов можно сохранить и распечатать.