

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ УПЛОТНЕНИЯ СМЕСИ ДОРОЖНЫМ КАТКОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Юшков К.В.,

научный руководитель канд. техн. наук Прокопьев А.П.

*Сибирский федеральный университет*

При строительстве автомобильных дорог ключевой операцией для придания слоям конструкции необходимой прочности, устойчивости и долговечности является **уплотнение**. Конструкция дорог включает слои из материалов с различными физико-механическими свойствами: грунтов, каменных материалов, асфальто- и цементобетонов.

Проектирование распространенных в настоящее время дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием осуществляется в соответствии с ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд». В данном документе в качестве прочностной характеристики материалов дорожных одежд рассматривается *модуль упругости* (статический или при кратковременном нагружении). С помощью него оцениваются не только прочностные характеристики материала слоя, но и прочностные характеристики пакета из *нескольких* слоев, вплоть до прочности конструкции дорожной одежды в целом.

Решение о достаточности уплотнения материала для обеспечения заданных прочностных характеристик принимается на основании другого набора критериев (табл. 1). Анализ современного состояния средств механизации, контроля качества работ, нормативных документов на проектирование и строительство автомобильных дорог позволяет сделать вывод о необходимости совершенствования критериев уплотнения.

Таблица 1. Критерии уплотнения слоев дорожно-строительных материалов [2]

Материалы	Критерии уплотнения			
	При проектировании	При строительстве	Перспективный при строительстве	Оперативный (в составе катка)
Грунты	Модуль упругости (кратковременный, статический)	Коэффициент уплотнения	Динамический модуль упругости (деформации)	Динамический модуль упругости (деформации)
Каменные материалы		Отсутствие волны; отсутствие следа; раздавливание щебенки		
Асфальтобетоны		Коэффициент уплотнения		То же и температурный режим
Дорога в целом		Общий модуль деформации (упругости)		Динамический модуль упругости (деформации)

Контроль качества уплотнения грунтов, в соответствии со СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги», осуществляется по коэффициенту уплотнения грунта [1].

Контроль качества уплотнения асфальтобетона осуществляется преимущественно по коэффициенту уплотнения асфальтобетона, определяемому в соответствии с ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» как отношение средней плотности образца из конструктивного слоя к средней плотности переформованного образца.

В соответствии с ГОСТ 22733-2002, ГОСТ 5180-84 и ГОСТ 12801-98 процедура определения значений коэффициентов уплотнения грунта и асфальтобетона занимает до двух суток. А отсутствие информации о достигнутом эффекте уплотнения не позволяет принимать оперативное решение о необходимости дополнительного уплотнения, что снижает производительность строительства.

Критерии качества уплотнения щебеночных, гравийных и шлаковых оснований и покрытий (СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги») – отсутствие следа после контрольного прохода катка массой 10 – 13 т по всей длине контролируемого участка, волны перед вальцом, раздавливание положенной под валец щебенки. Эти критерии нельзя рассматривать в качестве объективных. Нормативный документ ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» не содержит показателей плотности ДСМ, применяемых при контроле качества уплотнения. Связь между модулями упругости материалов слоев при проектировании и значениями коэффициентов уплотнения при строительстве отсутствует. В итоге заказчик не имеет возможности проконтролировать соблюдение требований, предъявляемых к прочности слоев в процессе дорожного строительства. А при использовании каменных материалов заказчик не имеет возможности проконтролировать даже качество их уплотнения.

Существует необходимость в разработке *новых критериев* уплотнения ДСМ, которые должны отвечать следующим требованиям:

- являться едиными и для этапа проектирования, и для этапа строительства;
- быть универсальными по отношению к виду дорожно-строительных материалов;
- отражать реальные физико-механические характеристики ДСМ;
- не требовать сложной, длительной и дорогостоящей технологии определения.

Важно совершенствовать нормативную базу. При проектировании нежестких дорожных одежд переход от статических к динамическим модулям упругости (деформации) создаст предпосылки для более точного учета особенностей работы дороги при кратковременных приложениях нагрузки. Внедрение динамических модулей деформации в качестве критериев качества уплотнения позволит обеспечить единство требований проектировщиков и строителей к возведению дороги в целом и отдельных её слоёв, а заказчик сможет объективно оценить полноту выполнения проектных решений.

При наличии на катке системы глобальной навигации (ГЛОНАСС, GPS) реально получение карты распределения плотности по всему участку, что дает возможность провести не точечный, а сплошной контроль качества уплотнения каждого слоя, а также повысить потребительское качество дороги, увеличить срок ее службы и сократить затраты на ремонт. Работа этих систем основана на использовании 3D-цифровой модели проектной поверхности, которая в виде файла закладывается в бортовой компьютер машины, установленный в кабине. При работе в автоматическом режиме рабочий орган автоматически удерживается в проектном положении.

Однако представляется, что полностью отказываться от использования коэффициентов уплотнения материалов при строительстве нецелесообразно. Вероятно,

в практике строительства следует применять и динамический модуль деформации (упругости), и коэффициент уплотнения материала.

Ниже приведены критерии, используемые в системах управления зарубежными дорожными катками. Среди основных производителей ИС-катков – компании Ammann/Case, Bomag, Caterpillar, Dynapac, Volvo (прежде Ingersoll Rand), Sakai America и Hamm. Основные сведения о критериях качества, используемых в системах управления дорожных катков ведущих производителей приведены в табл. 2 [3].

Таблица 2. Данные катков с «интеллектуальным» уплотнением

Производитель	Встроенная система измерения	Автоматический контроль обратной связи	Документация на основе GPS
Ammann/Case	Жесткость $k_s$ для вибрационных катков.	Эксцентриковая сила, амплитуда и частота	Да
Bomag	Модуль вибрации $E_{vib}$ для вибрационных катков.	Амплитуда вертикальной эксцентриковой силы	Да
Caterpillar	$MDP = P_g - W(\sin \theta + \frac{a}{g}) - (mV + b),$ <p>где <math>P_g</math> – валовая сила перемещения машины; <math>W</math> – вес катка; <math>a</math> – ускорение машины; <math>g</math> – ускорение силы тяжести; <math>\theta</math> – угол наклона (подачи катка); <math>V</math> – скорость катка; <math>m</math> и <math>b</math> – соответственно, коэффициенты внутренних потерь машиной.</p>	Нет	Да
Дynaпac	$CMV = c \frac{A_{2\Omega}}{A_{\Omega}},$ <p>где <math>c</math> – постоянная (обычно равна 300); <math>A_{2\Omega}</math> – вторая гармоника вертикальной амплитуды области частоты ускорения вальца; <math>A_{\Omega}</math> – первая гармоника вертикальной амплитуды области частоты ускорения вальца.</p>	Амплитуда эксцентриковой силы	Да
Sakai America	$CCV = \frac{A_1 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6}{A_1 + A_2} \times 100\%.$ <p>где <math>A_1, \dots, A_6</math>, – соответственно, ускорение в частоте возбуждения <math>\Omega_0</math> и в <math>0,5 \Omega_0, 1,5 \Omega_0, 2 \Omega_0, 2,5 \Omega_0</math>, и <math>3 \Omega_0</math>, см. рисунок. Данная система измерения применяет один акселерометр, чтобы контролировать вертикальную вибрацию вальца. Амплитуды в каждом из этих компонентов частоты используются для определения <math>CCV</math>.</p>	Нет	Да

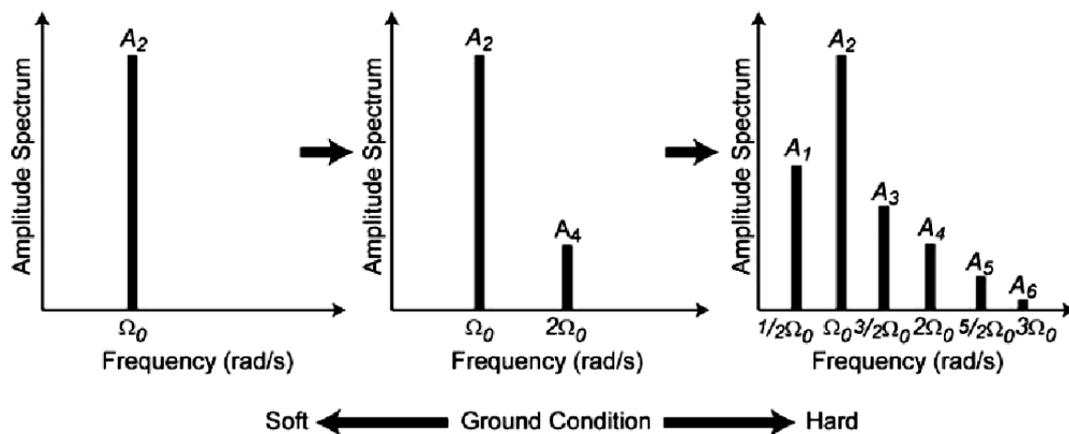


Рисунок. Компоненты области частоты ускорения вальца в Sakai CCV (amplitude spectrum – спектр амплитуды; frequency – частота; ground condition – состояние грунта; soft – мягкий; hard – жесткий)

Компания Bomag выпускает катки, оснащенные автоматической системой уплотнения Asphalt-Manager. На катках Ammann используется контрольно-измерительная система ACE (Ammann Compaction Expert). На вибрационные катки Дунарас устанавливается система для измерения степени уплотнения с измерителем плотности и бортовым компьютером DCA (Dunaras Compaction Analyzer). Эти и подобные им системы позволяют вести непрерывный контроль за степенью уплотнения и настраивать амплитуду и частоту колебаний вибратора в зависимости от рабочей скорости катка и температуры поверхности асфальтобетона. Это позволяет, по мнению производителей, значительно улучшить качество уплотнения.

Выводы. В технологическом комплексе дорожно-строительных работ для обеспечения высокого качества готового покрытия необходимо внедрение автоматического управления процессами на этапе укладки и уплотнения смеси. Проблема неравномерности распределения коэффициента уплотнения по ширине рабочего органа асфальтоукладчика, выявленная в результате экспериментальных исследований, требует проведения дополнительных научных исследований для поиска новых технических решений и разработки алгоритмов управления режимными параметрами рабочего процесса.

Учитывая отсутствие единого подхода к оценке требуемых и достигнутых результатов уплотнения материалов, существует необходимость совершенствования критериев уплотнения.

В работе обоснованы предпосылки разработки системы автоматического управления рабочими процессами комплекта машин («асфальтоукладчик – дорожные катки») на основе традиционных и «интеллектуальных» технологий.

#### Список литературы

1. СНиП 3.06.03–85 «Автомобильные дороги». Введ. 01.01.87. – М.: ФГУП ЦПП, 1987. – 44 с.
2. Тюремнов, И.С., Игнатъев А.А. Нужен единый подход в совершенствовании критериев уплотнения дорожно-строительных материалов /Автомобильные дороги. – 2010. – № 5. – 67-69 с.
3. Прокопьев, А.П. Комплексная автоматизация технологических процессов устройства дорожных покрытий: моногр. / А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. – 152 с. ISBN 978–5–7638–2284–7.