

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА**

**Петров А. Д., Клевцова О. Г.,**

**научный руководитель д-р техн. наук Иванчура В. И.,  
научный консультант канд. техн. наук Прокопьев А. П.**

*Сибирский федеральный университет*

Строительство и ремонт автомобильных дорог является одним из приоритетных направлений развития народного хозяйства Российской Федерации. Главные недостатки дорожной отрасли – малое количество и низкое качество автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Значительного улучшения качества строительства асфальтобетонных дорожных покрытий, с уменьшением до 50 % всех дефектов и разрушений, можно добиться за счет качественного уплотнения асфальтобетонной смеси (АБС). Отряд дорожно-строительных машин по укладке и уплотнению АБС включает асфальтоукладчик и звено катков легкого, среднего и тяжелого типа.

Известны подтвержденные данные, чем выше плотность после укладчика, тем ровнее и долговечнее готовое дорожное покрытие. При устройстве асфальтобетонного покрытия с применением горячих смесей температура является основным стохастическим фактором, значительно влияющим на рабочий процесс уплотнения и на долговечность и другие эксплуатационные показатели покрытия.

Наибольшее распространение в современных технологиях дорожного строительства при окончательном уплотнении АБС получили вибрационные дорожные катки. Имеются проблемы правильного выбора катка, настройки режимов его работы, от которых зависит производительность процесса уплотнения, а также окончательные показатели качества и долговечность дорожного покрытия. Продукция ведущего предприятия по производству дорожных катков – ОАО «РАСКАТ» (г. Рыбинск, <http://www.raskat.yaroslavl.ru>), система менеджмента качества которого сертифицирована немецким обществом DQS на соответствие международному стандарту DIN EN ISO 9001:2000, отвечает международным стандартам и пользуется высоким спросом, как на российском, так и на международном рынках. Но значительным недостатком российских катков является отсутствие на них систем автоматического управления процессом уплотнения.

Научной задачей совершенствования процесса уплотнения асфальтобетонных покрытий является разработка системы автоматического управления (САУ) на основе современных достижений науки и техники. Развитие САУ дорожных катков на основе внедрения результатов теоретических и экспериментальных исследований, современных информационных технологий, навигационных систем GPS/ГЛОНАСС, с учетом динамики подсистем привода, является актуальной задачей.

Цель работы: разработка имитационной модели системы автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком на основе нечеткой логики.

Рабочий процесс вибрационного катка характеризуется многократными воздействиями вальцом (вальцами) на уплотняемый материал с повторяющимися проходами для достижения требуемой плотности асфальтобетонного покрытия. Уплотняемая среда – асфальтобетонная смесь, характеризуется существенной нелинейностью, из-за непрерывного изменения характеристик при деформации упруго-вязко-пластической среды, изменения температуры уплотняемого слоя во времени,

процесса релаксации напряжений, температурной сегрегации, и других факторов, что требует постоянного внимания со стороны оператора за управлением режимами работы вибрационного катка. Обеспечение эффективной работы дорожных катков возможно только за счет автоматизации технологических процессов.

Учитывая повышенный уровень сложности математического описания процесса уплотнения на основе априорной информации, из-за нелинейности динамической системы объекта управления, стохастического изменения характеристик уплотняемой среды, при разработке систем управления предпочтительным является использование методов искусственного интеллекта. Известно, что традиционные ПИД-регуляторы, имеют плохие показатели качества при управлении нелинейными и сложными системами, а также при недостаточной информации об объекте управления. Характеристики регуляторов в этих случаях можно улучшить с помощью методов нечеткой логики и нейронных сетей.

На основе метода реологии получена математическая модель процесса уплотнения смеси дорожным вибрационным катком. Математическая модель реализована на основе программного комплекса MATLAB & Simulink.

### **Нечеткая модель процесса уплотнения асфальтобетонной смеси**

Выбор для управления нечеткого регулятора дорожным катком связан с особенностями характеристик уплотняемой среды при изменении температуры. Асфальтобетонная смесь является упруго-вязко-пластической средой, с изменяющимися параметрами во времени при уплотняющем воздействии на нее, т.е. характеризуется как стохастическая динамическая система. Точное математическое описание уплотняемой среды представляет задачу повышенной сложности. При разработке нечеткого регулятора учтены следующие параметры: температура смеси, плотность смеси, скорость движения катка, статическая нагрузка на валец, частота и амплитуда вибраций вальца, масса вальца и катка в целом.

При разных скоростях катка возможны разные частотные диапазоны работы, при которых достигается оптимум по уплотнению. Оператор катка не всегда может выбрать оптимальное решение, не исключены и ошибки. Система автоматического управления предназначена повысить качество управления, предупредив неправильные команды оператора и согласуясь с заложенной целевой функцией управления и правилами. Блок нечеткого вывода берет на себя функции контроллера действий оператора и выбора необходимого решения по управлению.

На рис. 1 представлена функциональная схема системы автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным дорожным катком.

Основная функция, возлагаемая на блок нечеткой логики – формирование задающего воздействия для системы гидропривода. Использование методов нечеткого управления позволяет получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислительных процедур по классическому методу управления с использованием градиентного алгоритма или других методов оптимизации.

Для моделирования была выбрана конечная фаза укатки асфальтобетонной смеси типа В: время работы 0,07 с; температура смеси понижается с 85 °С до 60 °С;  $K_u = 0,98 - 1,0$ . На основе рекомендаций по уплотнению асфальтобетонных смесей были сформулированы следующие правила:

1. IF temperature = begin OR skorost = up THEN chastota = low;
2. IF temperature = middle OR skorost = forward THEN chastota = medium;
3. IF temperature = final OR skorost = down THEN chastota = high.

Графики выполнения правил нечеткого регулятора показан на рис. 2.

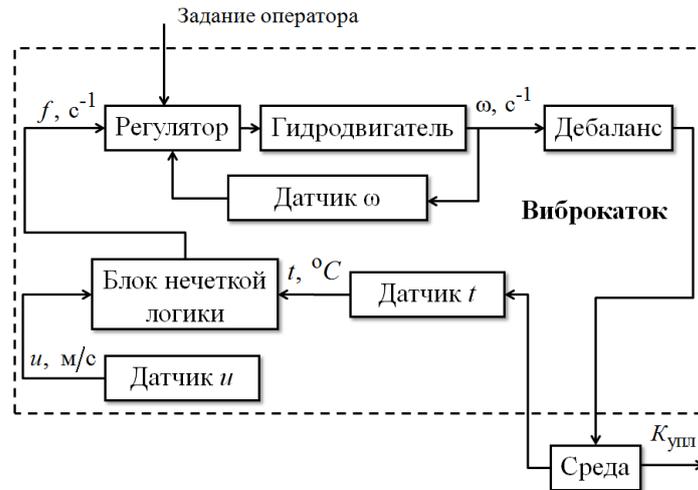


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического управления

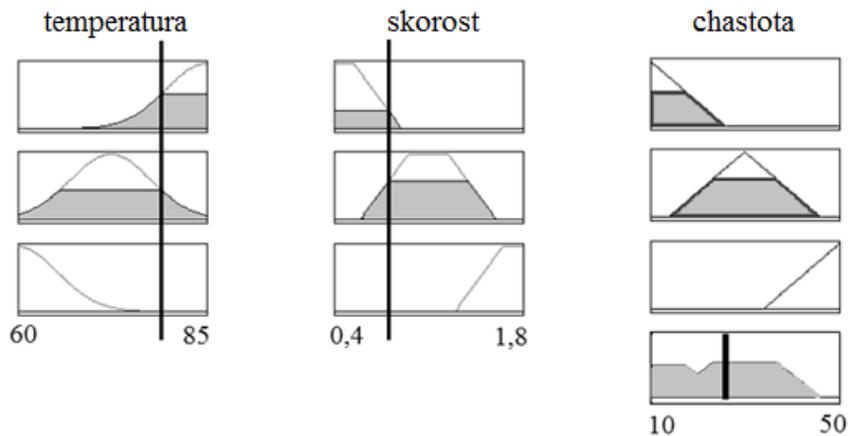


Рис. 2. Графики выполнения правил нечеткого регулятора

### САУ процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком

Оператор задает на панели управления начальные значения частоты вибрации вальца  $f_0$  и скорости движения катка  $u$ . Также, с самого начала процесса уплотнения и вплоть до его завершения, панель управления получает данные с различных датчиков установленных на дорожном катке (датчики  $t$  и  $K_y$ , и прочие), которые в свою очередь после обработки предоставляются оператору в понятном для него виде. Заданные ( $f_0$  и  $u$ ) и полученные параметры ( $t$ ) передаются в блок нечеткого регулятора (НР). НР производит оценку полученных данных с панели управления оператора, на основе которой производит перерасчет заданной частоты вибрации –  $f$ . Полученные наиболее оптимальные значения частоты вибрации вальца  $f'$  преобразуются в сигнал управления гидроприводом, передаваемый на сам гидропривод непосредственно.  $f'$  преобразуется в частоту вращения вальца  $\omega$  и вращения дебаланса  $\omega'$ . Вращение дебаланса вызывает вибрации вальца. В результате вибрации вальца происходит более качественной уплотнение дорожного полотна. В то же время, датчики температуры и коэффициента уплотнения регистрируют данные дорожного покрытия ( $t$  и  $K_y$ ) и передают их на панель управления оператора, которые также учитываются при задании частоты

вибрации вальца. В результате оператор может управлять и наблюдать за процессом уплотнения не приостанавливая работу, не выходя из кабины, а также без привлечения других специалистов для оценки качества и эффективности проводимых работ.

Структурная схема САУ процесса уплотнения приведена на рис. 3.

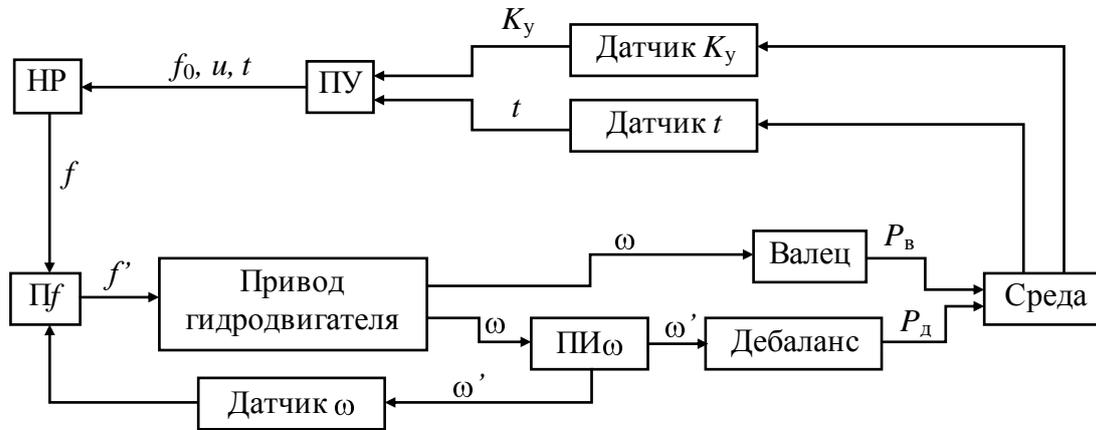


Рис. 3. Схема САУ процесса уплотнения: НР – нечеткий регулятор; ПУ – панель управления оператора; Пф – пропорциональный регулятор частоты; ПИ $\omega$  – пропорционально-интегральный регулятор угловой скорости)

### Исследование процесса уплотнения АБС по имитационной модели

Моделирование процесса уплотнения АБС проводилось с различными параметрами на входе, в результате чего получены различные выходные характеристики (см. табл.). Рассмотрены выходные характеристики для случаев: а) система, где не учитывается ни температура среды, ни скорость движения катка – без блока нечеткой логики; б) система с регулятором и блоком нечеткой логики, в которой температура 80 °С, а скорость движения катка 1 м/с; в) система с регулятором и блоком нечеткой логики, в которой температура 70 °С, а скорость движения катка 1,5 м/с. В таблице представлен результат после первых трех ударов вальца о поверхность.

Таблица – Результаты моделирования процесса уплотнения АБС

Вариант исследования	Контактное давление, МПа	Деформация смеси, мм	Ускорение изменения деформации, м/с <sup>2</sup>
а	0,8 – 1,6	0,75	363
б	0,71 – 1,69	1,05	347
в	0,78 - 1,61	0,82	362

### Заключение

Полученная имитационная модель процесса уплотнения асфальтобетонной смеси может использоваться для исследования динамики и режимов рабочего процесса вибрационного дорожного катка, а также оценки эффективности при различных условиях в процессе дорожно-строительных работ. Математическая модель, разработанная на основе языка MATLAB & Simulink можно считать адекватной, так как результаты моделирования соответствуют экспериментальным данным полученным другими авторами. При использовании нечеткого регулятора по величине контактного давления и деформации получены лучшие результаты.