

ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКТОМ МАШИН ДЛЯ УКЛАДКИ И УПЛОТНЕНИЯ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Прокопьев А.П.

Сибирский федеральный университет

Цель научной работы: обоснование научного направления, обеспечивающего эффективное управление процессами дорожного строительства, для повышения качества асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог федерального уровня.

Одним из главных направлений научно-технического прогресса в области устройства дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием остается решение проблем повышения их качества.

Для решения задачи оптимального управления процессом дорожного строительства необходимо уменьшить число влияющих факторов технологического процесса: «производство – укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси». Можно предположить, что факторы этапа дорожного строительства – укладка и уплотнение смеси, являются определяющими, при различных значениях характеристик компонентов, производства и транспортировки асфальтобетонной смеси.

Обеспечить требуемые показатели качества готового асфальтобетонного покрытия, не зависимо от характеристик поступающей на объект дорожного строительства асфальтобетонной смеси, можно, изменяя режимные параметры комплекта дорожно-строительных машин (ДСМ) – «асфальтоукладчик - дорожные катки»: частоту вращения эксцентрикового вала трамбуемого бруса; частоту вибрации выглаживающей плиты; величину хода трамбующих брусьев; частоту вибрации вальцов. Тогда, задача оптимального управления рабочими процессами, значительно упрощается.

Важным качественным показателем укладчика в целом является достигнутая в результате рабочего процесса степень уплотнения асфальтобетонной смеси, т. к. от этого зависит не только подбор необходимых типов и количества катков для последующей ее укатки, но и технологические приемы выполнения операции уплотнения смеси. Практика дорожного строительства показала, чем выше плотность асфальтобетона после укладчика, тем ровнее и долговечнее готовое асфальтобетонное покрытие.

Уплотняющая способность дорожно-строительных машин – асфальтоукладчиков, а также машин с аналогичными уплотняющими органами, реализующих технологии «reshope», «regrip», «grape», «gemix», «gemix+», по данным исследований зарубежных и российских ученых позволяют обеспечить максимальный коэффициент уплотнения, но ручное управление этим процессом является неэффективным, из-за отсутствия приборов текущего контроля степени уплотнения и большой нагрузки на машиниста-оператора при управлении асфальтоукладчиком.

Идентификация дорожно-строительной машины как нелинейного дискретно-непрерывного динамического объекта представляет проблему, с которой сталкиваются разработчики управляемых систем такого класса. Закон управления рабочим процессом в зависимости от показаний датчиков, должен быть заранее рассчитан на основании анализа математической модели динамики объекта управления – движения трамбуемого бруса и вибрационной плиты укладчика в тех или иных возможных

условиях и записан в контроллере. Составляется математическая модель объекта управления и находится ее обратное решение, которое указывает, какие управляющие воздействия следует развить рабочему органу, чтобы в текущих условиях настроить режимные параметры объекта управления к заданному желаемому состоянию оптимального уплотнения смеси. Обычно математическая модель представляет собой громоздкую систему нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают движение объекта управления как твердотельных элементов рабочего органа, так и его осциллирующих элементов. Значения коэффициентов определяются по результатам экспериментальных испытаний, имеющих повышенный уровень сложности и дороговизны. Основная проблема состоит в том, что разработать точную математическую модель процесса уплотнения рабочим органом асфальтоукладчика, воздействующим на асфальтобетонную смесь, можно только проведя громоздкие вычисления и затратив значительный объем времени.

Попытки учесть более сложные и важные элементы укладчика, асфальтобетонной смеси, делают его математическую модель избыточно сложной и не поддающейся расчетам. Задача усложняется из-за того, что свойства реального асфальтоукладчика (дорожного катка) постоянно изменяются даже в течение одной смены – изменяется его масса в результате изменения массы асфальтобетонной смеси в бункере, изменяется температурный режим уплотнения, характеристики основания на которое укладывается покрытие (плотность, ровность). Поэтому любая зафиксированная математическая модель в целом оказывается неверной, а качество управления, следовательно, ограничено.

Следовательно, можно сделать вывод о необходимости разработки системы автоматического управления комплектом ДСМ («асфальтоукладчик-дорожные катки»), которые должны в процессе дорожного строительства, независимо от качества подаваемой для укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси, настраиваться на оптимальные режимы рабочего процесса и обеспечивать максимальные для конкретных условий качественные характеристики готового асфальтобетонного покрытия.

Для синтеза систем управления дорожно-строительных машин необходима разработка их математических моделей (идентификация), учитывающих динамику рабочего процесса в условиях априорной неопределенности объекта управления, исследование устойчивости системы. Наличие нелинейных зависимостей между показателями рабочего процесса усложняют выбор структуры математической модели и определение ее параметров.

Использование технологий искусственного интеллекта позволяют выполнить идентификацию рабочего процесса машины на основе разработки нейросетевой (гибридной нейросетевой) модели по экспериментальным (входным и выходным) данным. Искусственные нейронные сети обладают такими ценными свойствами саморегулирующихся адаптивных систем, как обучаемость, способность к обобщению и абстрагированию. С помощью нейронных сетей можно создавать самообучающиеся системы, обеспечивающие получение требуемого результата.

Для рассматриваемого объекта управления выбраны следующие величины входов и выхода системы: управляющая – частота вращения эксцентрикового вала (частота трамбования бруса); управляемая – усилие (коэффициент уплотнения – определяется косвенно); возмущающая величина – сопротивление смеси. Необходимо отметить, что показатели скорость движения машины и толщина укладываемого слоя, задаются в соответствии с технологическим заданием и производительностью потока.

Алгоритмы управления процессом уплотнения.

С учетом имеющихся экспериментальных данных полученных в научных

работах предлагаются варианты алгоритмов управления динамическими нелинейными объектами управления на основе технологий искусственных нейронных сетей.

Алгоритм 1.

Основан на том, что информация о степени уплотнения смеси получена по данным с тензометрических датчиков усилия установленных на трамбуемых брусках. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Исходные данные: рабочая скорость движения асфальтоукладчика V ; начальная частота трамбования (исходя из рекомендаций) (n_n); требуемый коэффициент уплотнения (K_y).

Исходные данные задаются оператором асфальтоукладчика на основе методических рекомендаций. Микропроцессорная система управления хранит в оперативной памяти текущую частоту трамбования n_{cur} . На первом этапе пуска, текущая n_{cur} присваивается равным n_n .

Проверяется условие, включена ли система управления, если нет, то алгоритм заканчивается и управление машиной происходит обычным способом, без управляющего воздействия. Если же система включена, то происходит один цикл уплотнения асфальтобетонного покрытия.

Известен характер изменения усилий на трамбуемом брусе. Один цикл уплотнения представляет собой в несколько ударов трамбуемого бруса (при скорости 3,2 м/с и частоте трамбования 1300 с^{-1} – около 5 ударов на ударной части бруса размером 12 мм), после которых достигается требуемая степень уплотнения смеси асфальтоукладчиком.

При постоянной скорости $V = const$, цикл будет представлять из себя одинаковый промежуток времени, за который в зависимости от частоты трамбования будет происходить несколько (4-6) ударов. Система управления будет обеспечивать необходимую степень уплотнения за это промежуток времени.

По окончании цикла уплотнения, величина усилия на трамбуемых брусках в виде вектора подается на вход нейросети А, являющейся нейросетью встречного распространения

Эта сеть обучена выдавать частоту вращения вала, которая соответствует данным усилиям на трамбуемом валу.

Сеть состоит из двух слоев, скрытого – слоя Кохонена и выходного слоя Гроссберга. Слой Кохонена классифицирует входные сигналы, а слой Гроссберга выдает требуемые сигналы.

Выход нейросети А, представляет собой условную частоту трамбования, т.е. частоту при которой бы на трамбуемых брусках были бы данные усилия из зависимости на графике. На вход нейросети Б подается данная условная частота трамбования, сеть также является сетью встречного распространения и обучена выдавать коэффициент уплотнения, который ожидаемо получится при данной условной частоте трамбования.

Далее выход нейросети Б сравнивается с требуемым коэффициентом уплотнения K_y как показано на схеме, если выход нейросети Б не соответствует требуемому, то подбирается новая (требуемая) частота трамбования n_{req} .

Подбор требуемой частоты может осуществляться разными возможными вариантами:

1) Новая, требуемая частота n_{req} задается случайным образом исходя из правила «при большей частоте будет достигнут больший коэффициент уплотнения», т.е. если ожидаемый коэффициент уплотнения $K_{sim} < K_y$ требуемого, то частота n_{req} увеличится на случайное число, если $K_{sim} > K_y$, то соответственно n_{req} уменьшится. Далее n_{req}

подается на вход нейросети Б и снова проверяется соответствие K_y и K_{ysim} . Данный алгоритм повторяется до тех пор, пока не будет подобрана удовлетворяющая n_{req} .

2) Метод деления отрезка пополам. Находим n_1 и n_2 , частоты, при которых условие $K_{ysim} - K_y$ имеет разные знаки. Выбирается точка n внутри интервала $n=(n_1+n_2)/2$, далее предъявляется на вход нейросети Б данная частота n , если K_{ysim} удовлетворяет нашим требованиям, то присваиваем $n_{cur} = n_{req}$, иначе изменяется интервал и повторяется деление отрезка пополам, до тех пор, пока не подберется удовлетворяющий n_{req} . Далее снова происходит цикл уплотнения с n_{cur} , т.о. алгоритм повторяется.

Алгоритм 2.

Для повышения эффективности вычислительных процессов алгоритма по сравнению с алгоритмом 1, предлагается вместо способа подбора новой частоты, использовать нейронную сеть обратного распространения.

Задаются несколько параметров:

- рабочая скорость движения асфальтоукладчика V ;
- начальная частота трамбования (исходя из рекомендаций) n_n ;
- требуемый коэффициент уплотнения K_u .

Текущая частота трамбования присваивается равной изначально заданной частоте. Системой управления она будет регулироваться.

Если система нейросетевого управления частотой трамбования включена, то управление осуществляется ею, в противном случае работа осуществляется без применения автоматизации.

Выполняется один цикл уплотнения. По его окончанию, усилия на трамбуемых брусах в виде вектора подаются на вход нейросети А. Эта сеть первоначально обучена выдавать частоту колебания бруса, которая соответствует данным усилиям на трамбуемом валу. Выход нейросети А, представляет собой условную частоту трамбования, т.е. частоту при которой на трамбуемых брусках были бы данные усилия (по известной зависимости)

Выход нейросети А, подается на вход нейросети Б. Сеть выдает ожидаемый коэффициент уплотнения смеси, K_{ysim} .

Идет проверка, соответствует ли ожидаемый коэффициент уплотнения заданному. В случае соответствия, текущая частота n_{cur} остается без изменений. В случае же несоответствия, подаются на вход нейронной сети В, данные об усилиях на трамбуемых брусках. Искусственная нейронная сеть выдает в систему новое значение частоты трамбования n_{req} . В связи с особенностью реализации сетей обратного распространения, на выход нейронной сети В подает желаемую новую частоту трамбования. Возникает вопрос, что же считать желаемой частотой. Эта проблема решается с помощью дополнительного подбора частоты каким-либо другим способом. В данном случае других методов практически нет, из-за отсутствия данных. Это существенный минус данного алгоритма, зато через определенное время, сеть обучится и сможет оперативно выдавать новую частоту.

Заключение.

В результате анализа экспериментальных и теоретических исследований, выполненных различными авторами, определены контролируемые и регулируемые параметры процесса уплотнения смеси для автоматизации.

Обоснованы предпосылки разработки системы автоматического управления рабочим органом асфальтоукладчика, на основе опытных данных по зависимостям усилий на трамбуемых брусках, коэффициента уплотнения от режимных параметров процесса – скорости движения асфальтоукладчика, частоты трамбования.

Предложена подсистема «интеллектуального уплотнения» на основе искусственных нейронных сетей – автоматическая система управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком по величине усилий на трамбующих брусках рабочего органа.