

МЕТОД РАСЧЕТА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА СМЕШИВАНИЯ

М. Ю. Ершов

Определение продолжительности цикла смешивания является главным вопросом в теории смесеприготовления, так как от длительности цикла зависит качество формовочной смеси и энергопотребление. Данную задачу решают экспериментально, по результатам отбора проб смеси при длительном смешивании. Из проб изготавливают образцы, на которых испытывают свойства, а время цикла определяют по моменту достижения свойствами заданного уровня.

Разработана математическая модель, которая позволяет определять число актов взаимодействия для покрытия связующим заданной площади на поверхности смеси. Для моделирования процесса нанесения связующего принята механическая модель взаимодействия шара с полупространством и её математическая интерпретация в виде развёрнутой поверхности шара. Эквивалентом площади поверхности шара является квадрат с нормированной стороной 1000 единиц, а эквивалентом площади пятна контакта – малый с наперёд заданной стороной. Единичным актам взаимодействия в принятой модели соответствует покрытие площади большого квадрата, малыми одинаковой площади. Отношение площади шара и пятна пропорционально отношению площадей большого и малого квадратов.

В процессе моделирования малые квадраты ложатся на большой. Положение каждо-

го малого квадрата определено координатами X_i и Y_i , привязанными к его левому нижнему углу. Моделирование случайного характера взаимодействия достигалось присваиванием координатам значений из генератора случайных чисел. Если часть площади малого квадрата выходила за одну из сторон большого квадрата, то она переносилась к противоположным сторонам. Выбранная схема переноса обусловлена замкнутостью поверхности шара, которую моделирует большой квадрат.

Для выполнения расчётов составлена программа «МС v.2» в среде DELPHI, в которой площади большого и малого квадратов представлялась в виде матриц. На каждом шаге элементам большой матрицы присваивались значения равные 1, в той её части, на которую попадал малый квадрат. На каждом шаге, после появления нового квадрата, программа подсчитывает покрытую площадь, эквивалентную числу элементов матрицы, которым уже присвоено значение 1. Счёт прекращается на том шаге, когда покрытая площадь превышает заданную. На экран выводились данные об относительной глубине внедрения, покрытой площади, количестве малых квадратов (пятен). Поскольку моделирование имеет вероятностный характер, то расчётные значения числа актов группируются около средней величины с некоторым

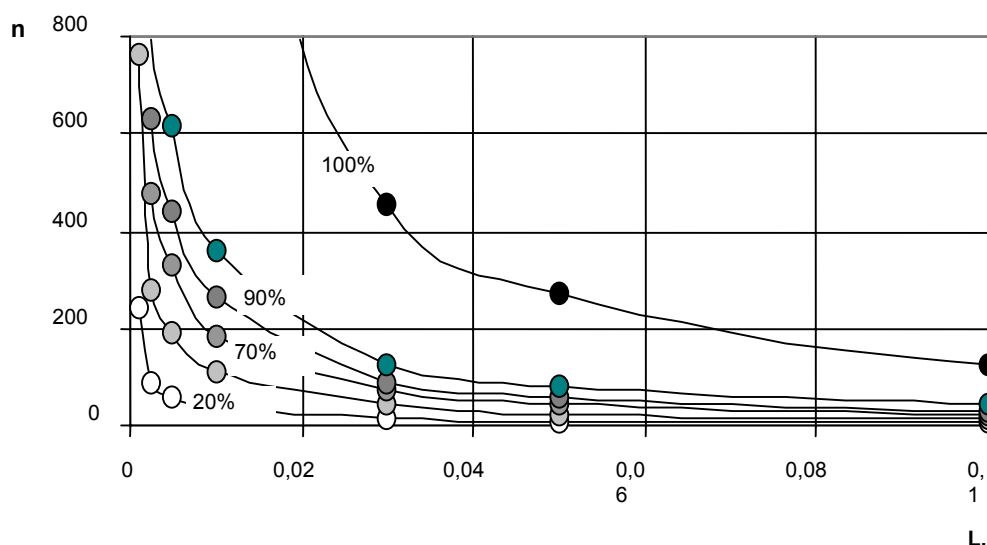


Рисунок1 – Зависимость числа актов n от относительной глубины внедрения L и площади покрытия зёрен.

МЕТОД РАСЧЕТА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА СМЕШИВАНИЯ

отклонением. Результаты моделирования, обработанные в электронных таблицах "EXCEL", представлены на рисунке 1 в виде аппроксимирующих зависимостей, для средних значений n , соответствующих площадям покрытия 20, 50, 70, 80, 90 и 100%. Число актов взаимодействия обратно пропорционально относительной глубине внедрения и прямо пропорционально покрываемой площади. Обращает на себя внимание факт неравномерного приращения числа актов при увеличении покрываемой площади на одинаковую величину. Если в диапазоне 70-80% и 80-90% такое приращение не превышает 1,5 раза, то для покрытия последних 10% (от 90 до 100%) число актов возрастает более чем в 3 раза.

Зависимость прочностных свойств смеси от рабочего сечения плёнки связующего между зёрнами установлена и подтверждена рядом исследователей. Теоретически и экспериментально показано, что прочность на сжатие сырой песчано-глинистой смеси пропорциональна удельной поверхности зёрен смеси, покрытых связующим. В связи с этим полнота покрытия зёрен связующим может оцениваться по значению прочности смеси на сжатие, которое достигает своего наибольшего значения при полном покрытии зёрен.

Выполнена экспериментальная проверка изложенных выше теоретических представлений, по усовершенствованной методике Ивакина Р.И., в которой учитывалось плотность смеси при ее уплотнении. Эксперимен-

ты проводились следующим образом. Кварцевый песок и бентонит перемешивали в лопаточном смесителе в сухом состоянии. Приготовленная смесь помещали в полиэтиленовый пакет и добавляли порцию воды для получения заданной влажности. Смесь в пакете выдерживали в течение 24 часов для усреднения влажности во всем его объеме. Затем смесь помещали в резиновую камеру шаровой формы и проводили поочередные акты уплотнения до заданной плотности. Уплотнение смеси производили при помощи тисков (рисунок 2), состоящих из основания 1, смонтированной на нем скобы 2 и подвижной плиты 3. Между основанием и плитой помещали смесь в резиновой камере 4 и сжимали ее путем приложения усилия P . Плотность смеси 5 контролировали при помощи упора 6, ограничивавшего движение подвижной плиты. Значение плотности определяли экспериментально при помощи пробоотборника состоящего из тонкостенной дюралевой трубы с плунжером внутри неё. Трубой вырезали образец из находящейся в гильзе уплотненной смеси. Затем образец выталкивали плунжером, определяли его вес и размеры. Герметичность камеры обеспечивается зазором.

В экспериментах использовали две смеси (1 и 2), на основе Люберецкого кварцевого песка, составы которых приведены ниже.

	Содержание бентонита, %	Влажность, %
Смесь 1	5	2,5
Смесь 2	8	4

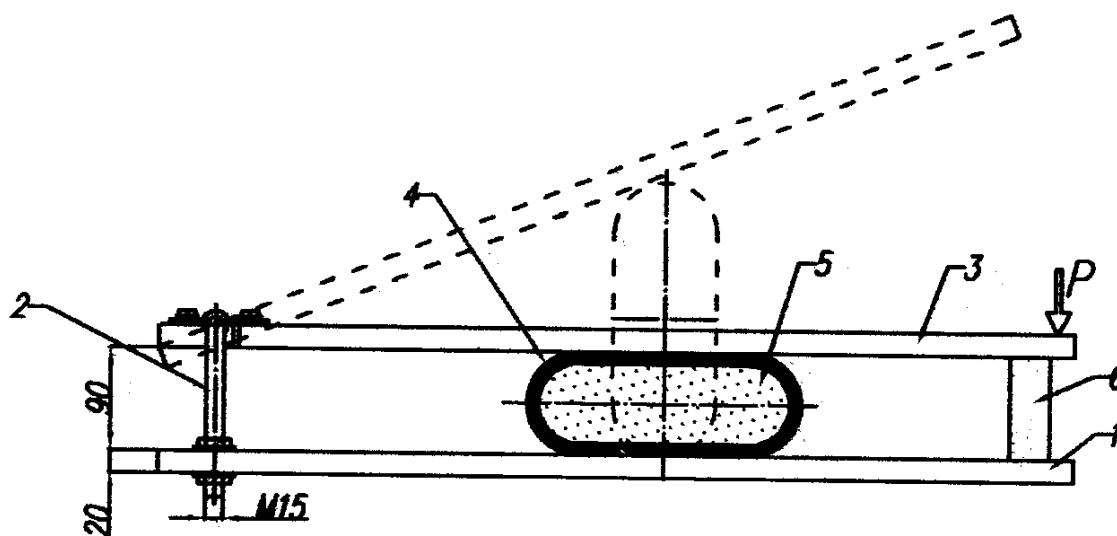


Рисунок 2 – Схема эксперимента.

Экспериментальные результаты обрабатывались в электронных таблицах EXCEL. Получены корреляционные зависимости прочности смеси на сжатие от прочности на скол. Тесноту взаимосвязи этих параметров определяли по коэффициенту детерминации $R^2=0,97$, величина которой близка к функциональной зависимости. Это позволило с равной степенью достоверности в качестве выходного параметра использовать любую из величин (сжатие или скол).

При составлении результатов эксперимента и математического моделирования необходимо учитывать, что одному акту уплотнения смеси в резиновой камере соответствует несколько актов взаимодействия зёрен, равное координационному числу. Зависимость величины координационного числа от плотности смеси в насыпном и уплотнённом состояниях, описывается аппроксимирующим уравнением $n_k = 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2,039}$ с высокой степенью точности. Смесь имела плотность 1250-1300 кг/м³. Расчётное значение координационного числа при данной плотности составляет 3,4. Для определения актов взаимодействия зерна с глиной число уплотнений следует умножить на координационное число. Полученная зависимость и результаты математического моделирования представлены на рисунке 3, где сплошными линиями показаны зависимости, полученные в результате численного моделирования, а пунктирными экспериментальные результаты. От площади покрытой связующим зависят свойства смеси, к числу которых относится проч-

ность, достигающая наибольшего значения при полном покрытии зёрен глиной. Видно, что покрываемая площадь возрастает при увеличении числа актов и относительной глубины внедрения зерна. Результаты моделирования согласуются с практикой смесеприготовления. Число актов взаимодействия за рабочий цикл у катковых смесителей в 2 – 4 раза меньше, чем у роторных или центробежных, что объясняется характерной для каждого типа смесителей относительной глубиной внедрения зёрен в глину.

Известно, что повышение прочности смеси может быть достигнуто за счёт увеличения продолжительности цикла смешивания во всех типах смесителей. Такой же результат может быть получен за счёт увеличения частоты воздействия на смесь рабочих органов, при сохранении или уменьшении продолжительности рабочего цикла смешивания. В обоих случаях результат достигается за счёт увеличения числа актов силового воздействия на смесь, в результате которых происходит поочередное уплотнение и разрыхление смеси.

Разработана методика расчёта длительности цикла смешивания, учитывающая характер взаимодействия зёрен в процессе смешивания. Выполнена экспериментальная проверка расчётов, учитывающая число актов взаимодействия зёрен по координационному числу через контроль плотности смеси. Сопоставлений экспериментальных и теоретических результатов дало удовлетворительное совпадение.

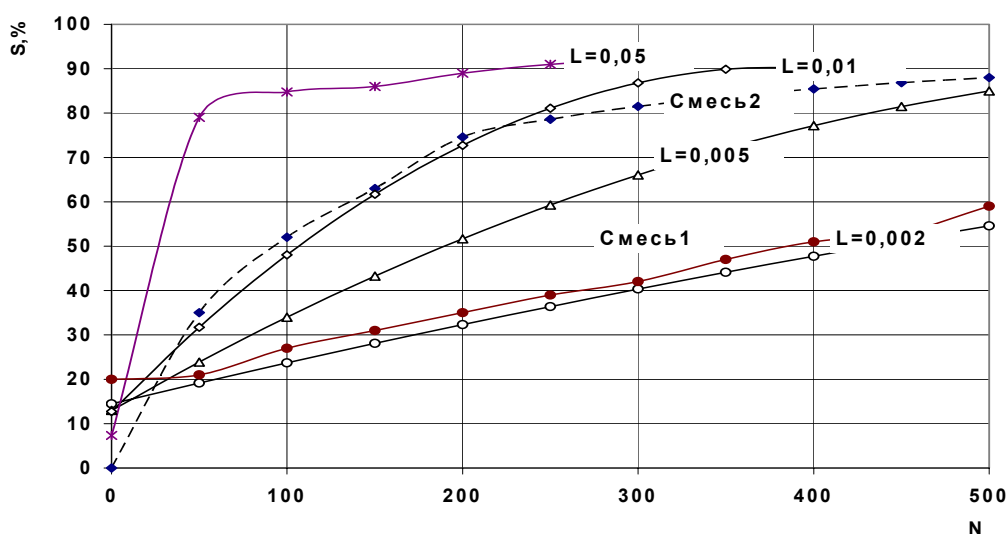


Рисунок 3 – Экспериментальные и теоретические зависимости покрытой площади от числа актов взаимодействия