

УДК 621.6.018

**ВЕРОЯТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ШИХТЫ  
НА ОТДЕЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ  
ФОРМОВАНИИ КИРПИЧА-СЫРЦА****Осипов С. Н.***Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Рыночные условия функционирования промышленности строительных материалов настоятельно требуют повышения качества продукции и уменьшения выхода бракованных изделий. Эти требования полностью относятся к заводам-изготовителям кирпичных изделий пластического формования.

Для получения качественного кирпича необходимо высокое качество кирпича-сырца, получаемого в результате сушки сырого сформованного кирпича-сырца. Перед пластическим формованием из шихты путем ее многоступенчатой обработки на различных установках изготавливают формовочную массу, из которой с помощью вакуум-прессов получают сырой кирпич-сырец для его дальнейшей сушки.

Качество высушенного кирпича-сырца оценивают по отсутствию различных трещин и деформаций, а также по плотности и равномерности внутренней структуры. В этом отношении достаточно объективной характеристикой изотропии прочностных и пластических свойств формовочных масс, определяющих их качество обработки, может служить коэффициент вариации ( $K_v$ ) пластической прочности ( $P_m$ ), определяемый при помощи конуса П. А. Ребиндера.

Такая методика оценки качества обработки шихты и формовочной массы на всех стадиях получения сырого кирпича-сырца уже давно была предложена С. П. Ничипоренко [1] и в то время достаточно широко применялись для исследования качества обработки глиняных масс при производстве кирпича [2, 3].

Как известно  $K_v = \sigma / \bar{x}$ , где  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение,  $\bar{x}$  — средняя арифметическая величина выборочного ряда. Особенно удобно для характеристики рассеяния значений случайной величины использовать  $K_v$  при нормальном законе распределения (закон Гаусса). Если рассматривать распределение значений  $P_m$  куски глиняной массы как результат случайного процесса, аналогичного случайным погрешностям измерений, то использование нормального или, во всяком случае, одновершинного закона распределения вполне оправдано.

Для оценки погрешностей с заданной доверительной вероятностью введено понятие квантильной оценки [4], которая с заданной доверительной вероятностью  $N_d \cdot 10^2$  определяет границы интервала неопределенности, на протяжении которого встречается  $N_d$  процентов всех значений погрешностей, а  $1 - N_d$  процентов общего числа их значений остаются за границами этого интервала. Исторически сложилось так, что в разных областях знаний используют различные значения  $N_d$ , равные от 0,5 до 0,99.

Погрешность при  $N_d = 0,9$ , обозначаемая  $D_{0,9}$ , обладает тем уникальным свойством, что для широкого класса наиболее употребительных законов распределения вероятности она имеет однозначное соотношение со среднеквадратическим отклонением в виде  $D_{0,9} = 1,6s$  вне зависимости от вида закона распределения [4]. Поэтому старый ГОСТ 11.001-73 при отсутствии данных о виде закона распределения для определения двусторонней доверительной вероятности предписывал использовать только  $N_d = 0,9$ .

Как показывают наши исследования [5], одним из существенных показателей поверхностной трещиностойкости кирпичных изделий при сушке является расчетная величина  $P_d$ . Чем выше эта величина при прочих равных условиях, тем больший критический перепад влажности между поверхностью и центральной частью изделия можно допускать по условиям трещинообразования, тем интенсивнее может быть процесс сушки и меньше ее продолжительность, что позволяет снижать издержки производства.

Исходя из предельно допустимой 5 % нормы брака при сушке с учетом односторонней границы интервала неопределенности в сторону уменьшения расчетного значения  $P_{м.р.}$ , можно принять  $P_{м.р.} = P_{м.сп.} (1 - 1,6K_v)$ . При этом выход качественного кирпича-сырца после сушки будет составлять не менее 95 %. Поэтому при оценке качества обработки на отдельных агрегатах и всей линии формовки необходимо учитывать не только величину  $K_v$  значений пластической прочности, но и среднюю величину (экспериментальное математическое ожидание)  $P_{м.сп.}$ . Чем больше  $P_{м.сп.}$  и меньше  $K_v$ , тем большая часть изделий в результате сушки может иметь высокое качество.

При учете влияния  $P_m$  на вероятность получения качественных изделий проявляется один из многих парадоксов технологии изготовления кирпича пластического формования. Для облегчения формования кирпича и снижения затрат электроэнергии на этот процесс необходимо уменьшать  $P_m$ . Это также необходимо делать для возможности формования глиняных смесей более низкой влажности с целью значительной экономии тепловых ресурсов при сушке. А для уменьшения трещинообразования при прочих равных условиях величину  $P_m$  необходимо повышать не за счет анизотропии свойств, а при уменьшении значений  $K_v$ . Поэтому стремление к уменьшению  $K_v$  значе-

ний  $P_m$  при сохранении значения  $P_{m,ср.}$  является важной производственной задачей и во многом зависит от правильного выбора технологии подготовки формовочной смеси к пластическому формованию.

Прекрасно понимая технологические особенности приготовления шихты в заводских условиях, когда вследствие различных причин даже при сохранении постоянства состава могут изменяться свойства отдельных компонентов, С. П. Ничипоренко предложил [6] не только понятие коэффициента вариации для линии, но и  $K_v$  обработки, который всегда оказывается больше в 1,6...5,1 раза по сравнению с линией, т.к. он фактически фиксирует различие в составе и качестве шихты в течение большего промежутка времени (несколько месяцев и даже лет).

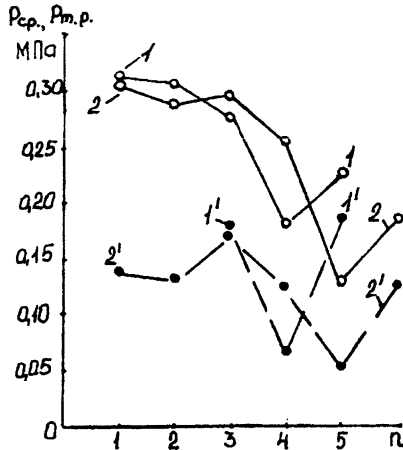


Рис. 1. Изменение средней и расчетной величин пластической прочности в зависимости от обработки на различном оборудовании (Московский экспериментальный завод).

**Вариант обработки** (ломаные линии 1 и 1'): ящичный подаватель СМ-26 ( $n = 1$ ) – вальцы камневыделительные СМ-416 ( $n = 1$ ) – безуны СМ-365 ( $n = 3$ ) – вальцы тонкого помола СМ-23 (5–7 мм, ( $n = 4$ ) – глиномесс ва-куум-пресса с водяным увлажнением ( $n = 5$ ) – вакуум-пресс СМ-443 ( $n = 6$ ).

**Вариант обработки** (ломаные линии 2 и 2'): ящичный подаватель СМ-26 ( $n = 1$ ) – вальцы камневыделительные СМ-416 ( $n = 2$ ) – безуны СМ-365 ( $n = 3$ ) – глиномялка вакуум-пресса с водяным увлажнением ( $n = 4$ ) – вакуум-пресс СМ-4 ( $n = 5$ )

Как следует из табличных результатов исследования М. Г. Лундиной ( $P_{m,ср.}$  и  $K_v$ ) [3] и наших расчетов ( $P_{m,р.}$ ), при последовательном продвижении по линии обработки средняя пластическая прочность неуклонно по-

нижается вплоть до формования в вакуум-прессе, после которого она заметно увеличивается (рис. 1). Расчетные значения пластической прочности еще более увеличиваются за счет снижения величин  $K_a$  при формовании в вакуум-прессе. Применение обработки с вылеживанием «валюшки» в течение 7 суток и ее формование на вакуум-прессе в тех же условиях резко снижает величины  $P_{m,cr}$  и  $P_{m,p}$  и существенно уменьшает влияние вакуум-пресса на рост  $P_{m,cr}$  и  $P_{m,p}$ .

При отсутствии вакуумирования конечные значения  $P_{m,p}$ , как правило, существенно меньше начальных (рис. 2), что приводит к росту чувствительности глинистой массы к сушке и повышению вероятности образования трещин. Если при использовании вакуума конечные коэффициенты вариации  $P_m$  составляет 0,072...0,12, то без вакуумирования  $K_g = 0,147...0,252$ , т. е. средний уровень диапазона значений  $K_g$  увеличиваются примерно в 2 раза. Поэтому можно считать, что правильное использование вакуумирования позволяет не только повысить равномерность распределения по объему формовочной массы (сырого изделия), но значительно (в 2–3 раза) повысить прочностные свойства, уменьшается ее чувствительность к сушке и в какой-то мере предотвращается трещинообразование. На повышение прочности глины до 4–5 раз в результате вакуумирования на американских кирпичных заводах указывал К. А. Нохратян [7].

Необходимо отметить, что  $K_g$  значений  $P_m$  глин, выходящих из ящичных питателей характеризовались начальной величиной  $K_{в.о.} = 0,258 \times 0,662$  при среднем значении  $K \approx 0,4$ , что следует признать весьма высоким показателем неравномерности пластической прочности, обусловленной в первую очередь неравномерностью природных свойств и плохим перемешиванием шихты.

Сравнивая величины  $P_{m,cr}$  для различных агрегатов на Воронцовском кирпичном заводе при постоянной влажности глинистой массы из данных М. С. Лундиной [3] можно извлечь следующие средние показатели: глиношалка с пароувлажнением и без –  $P_{m,cr} \approx 0,1$  МПа; бегуны «Кема» –  $P_{m,cr} \approx 0,09 \div 0,11$  МПа; ящичный подаватель с паром –  $P_{m,cr} \approx 0,13$  МПа; дырчатые вальцы с паром в ящичном подавателе –  $P_{m,cr} \approx 0,16$  МПа; ящичный подаватель без пара –  $P_{m,cr} \approx 0,19$  МПа (начальная пластическая прочность глиняной массы); винтовые вальцы –  $P_{m,cr} \approx 0,19$  МПа; дырчатые вальцы без пара –  $P_{m,cr} \approx 0,2$  МПа. Как видно из этих данных, при обработке глиняной массы на одних типах агрегатов средняя  $P_{m,cr}$  уменьшается, а на других – увеличивается, что зависит от характера обработки массы. Конечно, за последние почти 50 лет виды агрегатов изменились, но принципы влияния на величины  $P_{m,cr}$  остались.

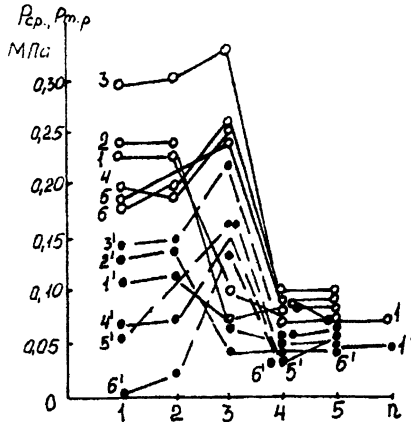


Рис. 2. Изменение средней и расчетной величин пластической прочности в зависимости от обработки на различном оборудовании (Воронцовский кирпичный завод).

**Вариант обработки** (ломанные линии 1 и 1'): ящичный подаватель ( $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – безуны «Кема» ( $n = 3$ ) – тонрасплер «Кема» ( $n = 4$ ) – двухвальный смеситель (с водо- и пароувлажнением;  $n = 5$ ) – пресс «Кема» (без вакуума  $n = 6$ ).

**Вариант обработки** (ломанные линии 2 и 2'): ящичный подаватель ( $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – двухвальный смеситель (с водо- и пароувлажнением,  $n = 3$ ) – пресс «Кема» (без вакуума,  $n = 4$ ).

**Вариант обработки** (ломанные линии 3 и 3'): ящичный подаватель ( $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – дырчатые вальцы ( $n = 3$ ) – двухвальный смеситель (с пароувлажнением,  $n = 4$ ) – пресс «Кема» (без вакуума,  $n = 5$ ).

**Вариант обработки** (ломанные линии 4 и 4'): ящичный подаватель (с пароувлажнением,  $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – дырчатые вальцы ( $n = 3$ ) – двухвальный смеситель (с водо- и пароувлажнением,  $n = 4$ ) – пресс «Кема» (без вакуума,  $n = 5$ ).

**Вариант обработки** (ломанные линии 5 и 5'): ящичный подаватель ( $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – дырчатые вальцы ( $n = 3$ ) – двухвальный смеситель (с водо- и пароувлажнением,  $n = 4$ ) – пресс «Кема» (без вакуума,  $n = 5$ ).

**Вариант обработки** (ломанные линии 6 и 6'): ящичный подаватель (с пароувлажнением,  $n = 1$ ) – винтовые вальцы ( $n = 2$ ) – дырчатые вальцы ( $n = 3$ ) – двухвальный смеситель (с водо- и пароувлажнением,  $n = 4$ ) – пресс «Кема» (без вакуума,  $n = 5$ ).

Все виды агрегатов, после обработки в которых глиняная масса имеет  $P_{m,cr}$  менее начальной ( $\sim 0,19$  МПа) или предыдущей производят размягчение глины и увеличение ее дисперсности. Агрегаты, после обработки на которых значения  $P_{m,cr}$  повышаются производят уплотнение глинистой массы. На большую склонность мелкозернистых глинистых масс (так называемые «жирные» глины) к образованию трещин при сушке вследствие их большой усадки и большого изменения пористости и влагопроницаемости при изменении напряженного состояния указывал М. С. Тарасенко.

Как показали исследования Л. К. Петрова и Е. С. Пых [2] (Белорусский НИИ строительных материалов) для Белорусских глин (5 наименований)  $K_v$  значений  $P_m$  колебались в пределах  $K_v \approx 0,2 \times 0,5$ , что вполне соответствует представленным выше результатам, полученных М. Г. Лундиной. При обработке глинистых масс на заводских агрегатах величина  $K_v$  значений  $P_m$  почти всегда неуклонно понижалась с увеличением числа агрегатов в линии обработки и при наличии 4–5 агрегатов приближалась к 0,1. При 6–7 агрегатах величина  $K_v$  уменьшалась примерно до 0,05.

К сожалению, в [2] не приведены данные о  $P_{m,cr}$ , что не дает возможности просчитать и проанализировать уменьшение  $P_{m,p}$ .

Для достижения  $K_v \approx 0,05$  в лабораторных условиях использовалась глиномялка, через которую пропускались исследуемые глинистые массы 10 месторождений БССР, относящиеся к гидрослюдянистым коалинитовым, монтмориллонитово-гидрослюдянистым, моренным и лессовидным глинам и суглинкам. Количество циклов обработки глин в лабораторной глиномялке принималось за показатель обрабатываемости этих глин, который оказался зависящим от дисперсного и минералогического состава. С повышением доли мелких фракций ( $d < 0,001$  мм) в глине необходимое количество циклов обработки уменьшалось с 10–11 до 4–6.

Таким образом, на величины  $K_v$  и  $P_{m,cr}$  при постоянной влажности оказывают влияние дисперсный и минералогический состав глинистых масс.

Как показал анализ научно-технической литературы, обоснованное в данной работе предложение об использовании для оценки качества обработки шихты на отдельных агрегатах и в целом всей линии пластического формования керамических масс расчетной величины пластической прочности  $P_{m,p} = P_{m,cr} K_v$  сделано впервые.

В заключение необходимо отметить, что при подготовке глинистой массы к формированию желательно стремиться к уменьшению значений не только  $K_v$ , но и  $P_{m,cr}$ , позволяющее уменьшить формовочную влажность и экономить тепловую энергию при сушке.

Однако процесс вакуумирования формовочной массы необходимо проводить весьма эффективно, чтобы расчетное значение  $P_{m,p}$  достигало первоначального уровня и даже превышало его.

Практическое использование параметра  $P_{m,p}$  позволяет объективно оценивать эффективность работы как отдельных агрегатов, так и всей линии обработки глинистой массы, что приводит к экономии энергетических ресурсов и сокращению производственных издержек при изготовлении кирпичных изделий пластического формования.

### Литература

1. Ничипоренко С. П. К теории обработки пластических керамических масс — Киев: Изд-во Акад. Арх. УССР, 1959. — 62 с.
2. Петров Л. К., Пых Е. С. Зависимость свойств глин каолиновой группы от гранулометрического состава: Сб. науч. работ НИИСМ БССР. — Мн.: Изд-во АН БССР.— Вып. 1957. — С. 158–172.
3. Лундина М. С. Исследование обработки глиняных масс при производстве кирпича // Труды НИИ стройкерамика. — Вып. 14. — М.: Стройиздат, 1954. — С. 3–35.
4. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 248 с.
5. Осипов С. Н., Калиниченко Е. С. Использование некоторых закономерностей термоупругости для оценки условий трещинообразования в начальном периоде сушки изделий строительной керамики // Сб. трудов НИПТИС — Мн., 1998. — С. 177–189.
6. Ничипоренко С. П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики — Киев: Наукова думка, 1968. — 78 с.
7. Нохратян К. А. Интенсификация процесса сушки в кирпичной промышленности // Сушка керамических изделий: Сб.— М.: Профиздат, 1958. — С. 174–190.