

Дубинин Н.Н., канд. техн. наук, проф.,
Уральская Л.С., доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГЛИНЯНЫХ МАСС В РАБОЧИХ ОРГАНАХ ФОРМУЮЩИХ И ГЛИНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

nndubinin@mail.ru

В статье представлены различные подходы к описанию движения пластичных масс при их переработке и формовании с учетом физико-механических и реологических свойств материалов и различного воздействия рабочих органов машин для получения качественных сформованных материалов.

Ключевые слова: пластичная масса, камера переменного сечения, реологические свойства, процесс, дифференциальный механизм.

Теоретическое описание движения глиняных масс при пластичном формовании имеет большое значение для выбора рациональных параметров формующих и глиноперерабатывающих машин. При расчете и конструировании машин необходимо рассматривать деформацию глиняных масс с учетом физико-механических и реологических свойств масс, а также их взаимодействия в процессе обработки.

Глиняные массы представляют собой трехкомпонентную, дисперсную систему, которая включает в себя твердую, жидкую и газообразную составляющие [1-3]. Дисперсной средой в этой системе является вода, а дисперсным веществом - твердые частицы и пузырьки воздуха. Механические свойства дисперсной массы обуславливаются тем, что частицы глины по участкам разделены прослойкой воды, и через эти прослойки действуют силы молекулярного притяжения. Эти силы и определяют прочность глиняной дисперсной массы, так как она сильно понижена по сравнению с прочностью сцепления самих частиц. В зависимости от концентрации дисперсного вещества изменяются и механические свойства дисперсной массы. Так, при изменении дисперсного вещества, например, его уменьшении, прослойки водной среды увеличиваются, что ведет к ослаблению молекулярных сил сцепления по участкам, а значит и к уменьшению энергии при деформации.

Энергия деформации расходуется не только на преодоление молекулярных сил сцепления по участкам, но и на ориентацию частиц по поверхностям действия максимальных напряжений сдвига. Кроме того, при пластической деформации глиняных масс параллельно процессам разрушения отдельных видов связи системы идет процесс возникновения новых связей, которые в свою очередь тоже разрушаются, и разделить эти силы на силы трения и силы сцепления не представляется возможным.

При деформации глиняной массы можно выделить следующие моменты. При приложении нагрузки в глиняной массе возникают напряжения, которые приводят к деформации массы, причем прирост деформации не пропорционален приросту напряжения, что говорит о нелинейности данной системы. При снятии нагрузки, в некотором диапазоне наблюдается восстановление деформаций. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к такой критической комбинации напряжений, при которой устанавливается предельное равновесие между внутренними силами сопротивления глиняной массы и внешней нагрузкой, что называется предельным напряженным состоянием. Дальнейшее незначительное увеличение нагрузки приводит к развитию пластических деформаций.

Различный подход исследователей к вопросу движения глиняных масс при формовании привел к появлению нескольких методик расчета параметров процесса прессования. Данные методики расчета основываются:

- на гидродинамической теории движения жидкостей;
- на силовом взаимодействии с рабочими элементами формующей машины;
- на теории подобия.

Методика, основанная на гидродинамической теории движения жидкостей, отраженная в работах [1,7], в настоящее время получила широкое развитие. В данной методике предполагается, что процесс движения пластичной глины аналогичен процессу движения вязкой, несжимаемой жидкости, и в качестве исходного рассматривается уравнение плоскопараллельного течения вязкой жидкости Новье - Стокса, которые после принятых допущений имеют вид:

$$\frac{\delta U_x}{\delta y} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\delta P}{\delta x}$$

$$\frac{\delta P}{\delta x} = 0$$

В работах А.В. Туренко и соавторов [7] впервые дан анализ работы бесшнековых ленточных прессов с камерой переменного сечения для пластического формования и приведены некоторые расчетные зависимости. Рассматривая основы теории гидродинамики и применяя уравнения движения несжимаемой жидкости для теоретической оценки работы таких прессов, автором выведены следующие зависимости для расчета делений P_x вдоль канала, распределения скоростей u_x частиц глиномассы, силы трения F_{mp} на стенках канала и изменения напряжений сдвига τ_x по длине канала:

$$P_x = \frac{12\mu \cdot V \cdot a}{k \cdot h_0^2} \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{k}{a} \cdot x} - \frac{1+k}{(2+k) \cdot \left(1 + \frac{k}{a} \cdot x\right)^2} - \frac{1}{2+k} \right]$$

$$u_x = -\frac{6V}{h_x^3} (h_x - h_1) \cdot (y^2 - h_x y) - V$$

$$F_{mp} = \frac{6\mu V a}{h_0} \cdot \left[\frac{1}{k} \ln(1+k) - \frac{2}{2+k} \right]$$

$$\tau_x = \frac{6\mu V}{h_0} \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{k}{a} \cdot x} - \frac{2 \cdot (1+k)}{(2+k) \cdot \left(1 + \frac{k}{a} \cdot x\right)^2} \right]$$

где μ – эффективная вязкость; V – скорость движения транспортирующей ленты; a – длина рабочего канала; k – коэффициент, характеризующий величину абсолютного обжатия:

$$k = \frac{h_{вх} - h_{вых}}{h_{вых}}$$

h_0 – высота выходного сечения камеры; h_1 – высота сечения, где давление максимально; h_x – текущая высота сечения канала:

$$h_x = h_0 \cdot \left(1 + \frac{k}{a} \cdot x\right),$$

x, y – внутренний, средний и наружный радиусы канала.

В процессе решения в уравнение подставляется значение эффективной вязкости μ , в зависимости от скорости сдвига, что связано с трудностями выбора фиксированной величины μ для решения определенных задач.

Согласно методики, основанной на силовом взаимодействии с рабочими элементами формующих машин, освещенной в работах [4,6] рассматривается движение глиномассы как несжимаемого тела, на которое действуют определенные силы со стороны формующего органа.

А.В. Николаев [6] в своих работах приводят и анализируют зависимость распределения давления по длине роторного нагнетателя:

$$P = P_0 \cdot e^{q \cdot \left(\frac{f_1 \cdot 2R_{cp}}{b} + \frac{f \cdot R_e}{a} + \frac{f_2 \cdot R_n}{a} \right) \cdot \alpha_i},$$

где P_0 – начальное давление, создаваемое питающим валком; f_1 – коэффициент внешнего трения; f_2 – коэффициент внутреннего трения (при рифленых стенках); R_e – внутренний радиус канала; R_{cp} – средний радиус канала; R_n – наружный радиус канала; b – ширина канала; a – глубина канала; α_i – текущая угловая координата.

Методика, основанная на теории подобия, предполагает сочетание экспериментального и теоретического методов исследования, позволяющих делать обобщения и устанавливать общие закономерности.

Развивая теорию подобия, которую впервые для расчета шнековых прессов предложил С.П. Ничипоренко [1-3] и считая, что эффективная вязкость является итоговой характеристикой, описывающей равновесие состояния между разрушением структуры под нагрузкой и тиксотропным ее восстановлением в установившемся потоке М.С. Комская [8] предложила зависимость для определения давления на входе в мундштук шнекового пресса:

$$P_m = 0,074 \frac{r_1^{1,67} \cdot P_{k_2}^{3,3}}{\eta_{эф}^{1,67} \cdot \rho^{0,67} \cdot \omega^3},$$

где $\eta_{эф}$ – эффективная вязкость; P_{k_2} – динамический условный предел текучести масс; ω – скорость выхода бруса; r_1 – геометрическая характеристика мундштука; ρ – плотность массы.

За исходные положения для получения критериев подобия автор принимает уравнение Бингама-Шведова:

$$P = P_0 + \eta \cdot \frac{d\omega}{dx}$$

В работе [9] Шлевиным Д.Н. установлена аналитическая зависимость между удельным давлением формования, геометрическими параметрами мундштука, а также эффективной вязкостью и скоростью:

$P = k\mu_{эф} \cdot (-0,447 \cdot \varphi + 2,607 \cdot l - 16,305 \cdot r_2^2 + 87,327)$, где φ – конусность мундштука; l – длина мундштука; r_2 – гидравлический радиус; μ – эффективная вязкость; k – поправочный коэффициент:

$$K = \frac{1}{1,228 - 0,031 \cdot u}$$

u – скорость течения массы.

Приведенные примеры теории подобия при расчете глиноформующих машин вносят существенные искажения действительной картины движения глиняных масс, из за принятых допущений и исключений, а также невнимания к фи-

зико-механическим свойствам перерабатываемых материалов.

При рассмотрении методики расчета вальцов, основанной на закономерностях пластической деформации материала между валками, освещенной в работах [10] рассматриваются условия втягивания материала в рабочую зону опережения и зону отставания, определяются параметры процесса вальцевания.

По нашему мнению, при рассмотрении процессов, происходящих в камере сжатия бесшнекового пресса, и учитывая то обстоятельство, что втягивание материала в камере переменного сечения осуществляется касательными силами трения, для описания процесса движения глиняной массы следует принять метод, основанный на закономерностях пластической деформации и прокатки глиняного бруса [2].

$$P_x^{om} = 2\tau_0 \cdot k_{cp} \left[\left(1 - \frac{tg\alpha}{2f} \right) \cdot \left(\frac{h_0}{h_x} \right)^{-\frac{2f}{tg\alpha}} + \frac{tg\alpha}{2f} \right],$$

$$P_x^{on} = 2\tau_0 \cdot k_{cp} \left[\left(1 + \frac{tg\alpha}{2f} \right) \cdot \left(\frac{h_0}{h_x} \right)^{-\frac{2f}{tg\alpha}} - \frac{tg\alpha}{2f} \right],$$

где $k_{cp} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения; τ_0 – предельное напряжение сдвига; f – коэффициент трения глиномассы по поверхности лент; P_x^{om} – текущее давление в зоне отставания; P_x^{on} – текущее давление в зоне опережения; h_x – текущая координата камеры сжатия; h_0 – высота камеры сжатия на входе.

Данные теории определяют напряжения и деформации в точках тела при заданных граничных условиях. Для этого используют уравнения равновесия, уравнения совместности деформации, реологические уравнения состояния.

Уравнения состояния в общем виде включают в себя функции, связывающие между собой компоненты напряжений, деформаций и их скоростей. Существует две теории, точнее, две группы теорий пластичности. Одна из них – деформационная теория – рассматривает связь между компонентами напряжений и компонентами деформаций; другая называется теорией пластического течения, рассматривает не сами деформации, а их приращения.

При простом напряженном состоянии решения, получаемые по деформационной теории и по теории пластического течения, совпадают.

Для сложного напряженного состояния тела теория пластического течения, позволяющая рассматривать объемные задачи деформиро-

вания, ближе соответствует опытным данным, деформационная же теория, строго говоря, несправедлива. Но, когда отклонения от условий простого нагружения не очень велики, то разница в решениях по обеим теориями будет небольшая.

Таким образом, теория пластического течения, оперирующая не самими деформациями, а их приращениями, более универсальна, тогда как деформационная теория более проста, а поэтому получила широкое применение для решения инженерных задач.

Теория линейного упруго вязкого деформирования (теории ползучести) – одна из первых реологических теорий – исходит из рассмотрения совместного проявления упругих и вязких свойств тела. Впервые уравнение упруговязкости было сформулировано Максвеллом для описаний явления релаксации, затем Кельвин и Фойгт предложили уравнения последствий.

В теории линейной упруговязкости широко распространен метод модельного отображения реологических свойств тела, исходящих из представления, что эти свойства определяются сочетанием упругих, вязких и пластических характеристик [5]. Упругие свойства тел отображают моделью в виде упругого элемента – пружины. Вязкие свойства – моделью в виде цилиндра, наполненного жидкостью, в которую погружают дырчатый поршень; пластические – элементом сухого трения. Очевидно, что указанные три элемента можно соединять в самых различных сочетаниях; эти сочетания и будут описывать различные проявления упруговязких свойств тела. Модельные представления свойств тела, подкупающие своей наглядностью и простотой получили широкое распространение. Вместе с тем, многочисленные опыты с различными материалами показали, что модельные представления и вытекающие из них уравнения деформирования не дают хорошего совпадения с действительным поведением этих материалов.

Так же интересно применение кинематической теории к глиномассе [2,3,10]. Ранее рассматривались феноменологические теории ползучести, основанные на данных макроопытов, но имеет место и физическая теория, исходящая из представления о кинетической природе деформирования, базирующаяся на данных исследований микропроцессов, происходящих в глиномассе. Согласно представлениям молекулярно-кинетической теории, процессы деформирования и разрушения являются термоактивными, связанными с преодолением элементарными частицами энергетического барьера и переходом их в новое положение равновесия под

воздействием внешней силы, активирующей эти частицы.

Учитывать влияние на напряженно-деформированное состояние глиномассы всех факторов (нелинейной связи между напряжением и деформацией, ползучести, взаимного взаимодействия трех инвариантов тензора напряжений, вида напряженного состояния, режима нагружения и т. д.) - необходимо для понимания поведения глиномассы под воздействием нагрузок. Однако, в инженерных расчетах, учет всех указанных факторов чрезмерно усложняли бы как сами расчеты, так и получение необходимых исходных характеристик глиномассы. Вследствие этого при решении практических задач следует стремиться максимально упростить исходные уравнения.

Очень важным моментом в рассмотрении процесса формования является выбор методов и способов определения реологических показателей.

Реологические приборы весьма многочисленны. Это является следствием большого разнообразия дисперсных систем, а также различных условий их деформации [1-3,10].

В зависимости от методов реологических исследований их можно разделить на интегральные и дифференциальные. Интегральные методы и приборы позволяют наблюдать суммарный эффект, характеризующий состояние системы. Дифференциальные методы позволяют регистрировать деформации материала во времени в произвольных точках его деформируемого объема, то есть устанавливать поле деформаций и скоростей деформации, а иногда и поле напряжений.

Очевидно, что для определения контрольных реологических показателей процессов переработки и формования высоконаполненных паст, более применимы дифференциальные реологические методы и приборы. Для контроля вязкопластичных тел, как показала практика, более применимы интегральные реологические методы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур // Физико-

химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. 16 с.

2. Дубинин Н.Н. Бесшнековые машины для формования пластичных масс. Монография, Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 113 с.

3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов.: Учеб. пособие для строительных вузов. М: Высшая школа, 1978. 447 с.

4. Фадеева В.С. Формирование структуры пластичных паст строительных материалов при машинной переработке. - М.: Госстройиздат, 1972. 222с.

5. Ильина Т.Н., Севостьянов В.С., Шкарпеткин Е.А., Севостьянов М.В. Исследование условий процесса микрогранулирования в дисперсных системах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 81 – 86.

6. Николаев А.В. Определение основных параметров бесшнекового роторного нагнетателя для пластического формования глиняного кирпича: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.02.16. М., 1981. 20 с.

7. Туренко А.В. К расчету ленточных бесшнековых прессов для пластического формования глиняного кирпича Создание методов расчета, разработка, испытание и исследование моделей и опытно-промышленных образцов нового, прогрессивного оборудования для производства глиняного кирпича: Отчет о КИР (заключ.) /Моск. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева; Руководитель А.В. Туренко. № ГР 61099325. М., 1963. 96 с.

8. Комская М.С. Изучение движения глиняной массы в муштах ленточных прессов методом моделирования. Киев: Госстройиздат УССР, 1959. 35 с.

9. Шлевин Д.Н. Вязкопластическое течение глинистых масс в ленточных прессах // Конструктивная и облицовочная керамика. – сб. науч.тр / Госстройиздат УССР); Киев., 1963. С. 26 – 46.

10. Чирской А.С. Обоснование и выбор рациональных параметров вальцов для переработки пластичных глин: Автор, дис... канд. техн. наук: 03.02.16. М., 1962. 24 с.

Dubin N.N., Uralskaya L.S.

ANALYTICAL RESEARCHES OF MOTION CLAY THE MASSES IN WORKING ORGANS OF PILCHARD AND MACHINES FOR PROCESSING OF CLAYS OF MACHINES

In the article the different going is presented near description of motion of the plastic masses at their processing and shaping taking into account physics - mechanical and flow properties of materials and different influence of working organs of machines for the receipt of quality pressing materials.

Keys words: plastic mass, chamber of variable section, flow properties, process, press.