

АНАЛИЗ МАТРИЦЫ МАШИНЫ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Епифанцев К.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения*

Ключевое значение при уменьшении расхода энергии на переработку 1 тонны условного топлива из отходов играет форма матрицы, формирующей брикет. В статье исследуются вопросы формирования материала через матрицы различных типов, для выбора рациональных параметров матрицы формирующей машины

Одним из основных конструктивных элементов машины для формования окускованного топлива является фильера её матрицы. От формы входной части фильеры матрицы во многом определяется противодействие прессуемого материала, а следовательно и затраты на работу шнека, приводимого в движение валом, соединяющегося через муфту с валом редуктора.

Высокие адгезионные свойства отходящей пасты часто становятся причиной заштыбовывания материала в зоне уплотнения и в зоне перемещения сформованной пасты корпуса машины, после чего машина в большинстве случаев автоматически отключается частотным преобразователем с целью противодействия поломке двигателя. Это становится причиной простоев на производстве и перебоев в качестве готовой продукции. В свою очередь остановка оборудования с оставшимся внутри машины постепенно высыхающим и цементирующимся сырьем влечёт за собой проблемы при пуске машины из-за схватывания материала и блокировки им лопастей шнека. В связи с этим, становится актуальным вопрос изучения и подбора формы входной части фильеры с целью уменьшения общей нагрузки на силовые элементы машины.

Для уменьшения энергоёмкости были рассмотрены три формы выполнения головки пресса: сферическая, коническая и тороидальная (рис. 1). Эксперименты показали, что тороидальная форма фильеры обеспечивает минимальную энергоёмкость процесса прессования по сравнению с конической и сферической. Необходимо определить уравнение поверхности вращения (рассматривается цилиндрический канал), площадь

которой при заданной величине сужения будет минимальной. Метод решения задачи – вариационное исчисление, предметом которого является определение функций, дающих некоторому функционалу экстремальное значение.

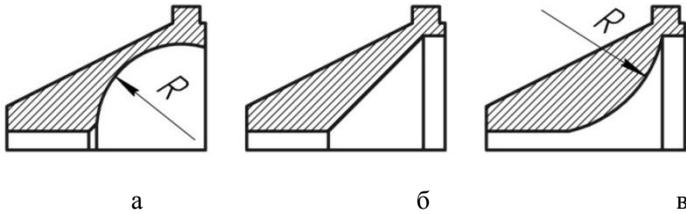


Рис. 1 – Сечение фильер:
а – сферическая; *б* – коническая; *в* – тороидальная

Согласно [2] уравнение поверхности вращения фильеры в общем случае имеет вид

$$I = 2\pi + \int_{x_2}^{x_1} y\sqrt{1 + y'^2} dx . \quad (1)$$

Необходимым условием существования функции $y(x)$, обеспечивающей \min функционала $I = 2\pi + \int_{x_2}^{x_1} F(x, y, y') dx$,

служит уравнение Эйлера. Для случая, когда подынтегральное выражение I зависит лишь от y, y' , частный вид уравнения Эйлера $F - y'F' = C_1$. Достаточным условием минимума функционала I – условие $F''_{y'y} \geq 0$.

Получим уравнение гиперболического косинуса - цепной линии (плоской трансцендентной кривой, форму которой принимает под действием силы тяжести однородная, гибкая, не растяжимая, тяжелая нить (цепь) с закрепленными концами)

Так как при $\forall xy'^2 > 0, y > 0$. Следовательно, экстремаль, удовлетворяющая функционалу (4), обеспечивает минимум площади поверхности вращения $y(x)$ вокруг OX . Если дугу цепной линии вращать вокруг оси OX , то образуется поверхность вращения, называемая катеноидом (рис. 2). Катеноид представляет собой поверхность, имеющую минимальную

площадь среди всех поверхностей вращения дуг линий, соединяющих две заданные точки плоскости.

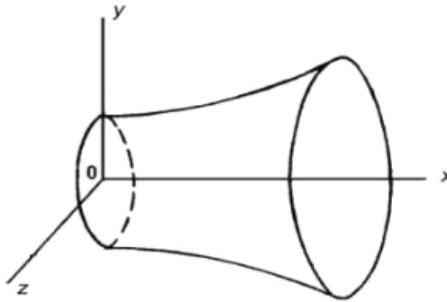


Рис. 2 – Катеноид

Постоянные C_1, C_2 находятся из условия прохождения $y(x)$ через точки $A(0, 1), B(1, (b/h) + 1)$. Введем безразмерных координат $X = x/l, Y = y/h$ координаты точек A, B упрощаются. Тогда граничные задачи имеют вид: $Y(0) = 1; Y(1) = (b/h) + 1$. Из условия $Y(0) = 1$ следует $C_2 = 0$, так как $C_1 \neq 0$, а $(ch C_1 C_2) / C_1 = 1$ при $(C_1 C_2) / C_1 = 0$. Из второго условия $Y(1) = (b/h) + 1$ имеем $(b/h) + 1 = ch(1/C_1)$,

Таким образом, уравнение оптимальной поверхности сужения в фильере головки прессы имеет вид

$$y = \frac{h}{2} ch\left(\frac{x}{c_1 l}\right) = \frac{h}{2} \left(\frac{l \frac{x}{C_1 l + l} - \frac{x}{C_1 l}}{2} \right) \quad (2)$$

Рассматривая гиперболический косинус (11) в качестве решения дифференциального уравнения можно получить

$$y'' - ky' = k^2 \frac{P(x)}{P_0},$$

где P_0 – давление на входе в фильеру матрицы;

$P(x)$ – изменение давления по длине канала;

k – коэффициент сопротивления деформируемой массы отхода.

Для проверки данных теоретических исследований были проведены виртуальные испытания созданной модели в программной среде YADE и программе визуализации ParaView. Разработанная модель экструдера (Рис.3) включала загрузочный бункер 1, корпус 2, шнек 4, сменные фильеры 5, и поступающие в него частицы 3, имитирующие частицы отхода. Подача материала осуществлялась равномерно, в достаточной степени для формования материала.

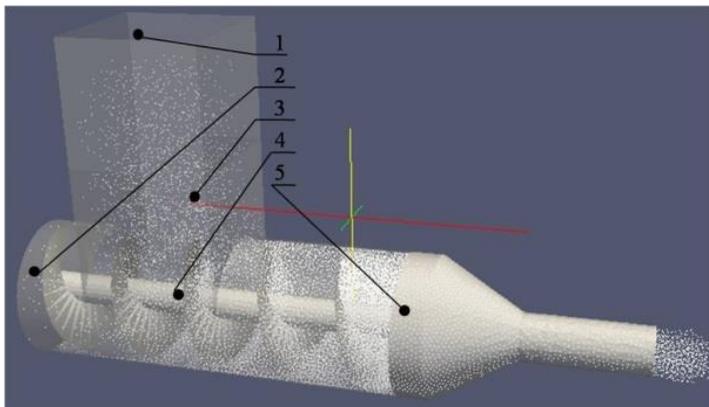


Рис. 3 – Общий вид разработанной модели машины для производства окускованного топлива

Так как основным изменяющимся конструктивным элементом машины является фильера [4], были построены три фильеры различного вида, соответствующие по форме ранее описанным (Рис. 4). Расчётные модули программы YADE позволяли получать данные о таких величинах как ω , рад/с; v , м/с; $Q_{\text{норм}}$, Па;

Полученные данные позволили визуально и по соответствующим показателям математических моделей определить напряжение по нормали $Q_{\text{норм}}$ в Па и таким образом определить наиболее низкий показатель энергоёмкости машины.

На представленных рисунках 4 (а, б, в) даны результаты расчёта опытной установки в программной среде. Метод дискретных элементов (Discret element method – DEM) [5], основанный на взаимодействии сферических частиц, теоретически принятый нами за метод движения частиц добытого, прошедшего перера-

ботку в просеивающем ковше-дробилке и предварительно подсушенного в штабеле до 60-75% отхода.

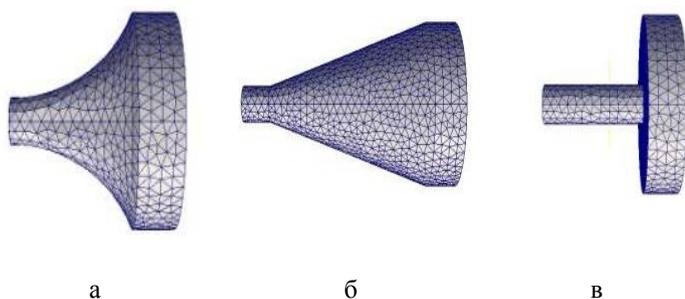


Рис. 4 – Вид созданных фильер:

а – по цепной линии (R60), *б* – с конусом 17,5°, с прямым углом

Результаты проведённого эксперимента были сведены в таблицу, по результатам можно сделать вывод, что применение входной части фильеры в среднем снижает напряжение по нормали $Q_{\text{норм}}$ на 30%. Однако увеличение калибрующей части также увеличивает напряжение на шнеке, однако необходимо для получения отходяного куска заданной прочности и без дефектов.

Таблица 1 – Результаты испытаний в программной среде YADE

Форма фильеры	d1/d, мм	L, мм	ω , рад/с	v, м/с	$Q_{\text{норм}}$, КПа	M, Н·м	Результ, Н
0°	20/90	70	1,4304	6,553	589.64	7,8	574
17,5°	20/90	130	1,3344	6,56	559.10	5,1	423
R60	20/90	70	1,32	6,4	419.35	4,8	349

Выполнение сужения цилиндрической части фильеры по цепной линии может значительно улучшить качество формуемого отхода по сравнению с прямым конусом сужения и прямым углом фильеры. Обоснованием эффективности сужения фильеры матрицы, выполненного по цепной линии, могут служить следующие обстоятельства: с одной стороны, по длине канала происходит экспоненциальное снижение давления из-за энергетических затрат на деформацию отхода и трение о стенки фильеры, а с другой – по мере продвижения материала в фильере сопротивление отхода деформированию растёт экспонен-

циально. Сумма этих зависимостей дает гиперболический косинус – цепную линию [1].

Таким образом, одновременный учет этих процессов создаёт лучшие условия для протекания релаксационных процессов.

Рассмотрим вопрос изменения скорости частиц при прохождении через формообразующий канал матрицы с коническим сужением. От метода DEM YADE вычисления были переведены в среду DEM Rocky. Отличие данной программы в том, что данная разработка – позволяет пользоваться функцией создания частиц сложной несферической формы и возможностью рассчитывать их разрушение. В 1 положении - Начальный этап заполнения шихтой канала, скорость движения – 0,1 м/с. Во 2-м положении - скорость продолжает увеличиваться по всей длине канала, в переходной части достигает 0,25 м/с. В 3 положении - увеличение скорости происходит в переходной части от конусной части к цилиндрической (указано стрелкой) и достигает 0,51. В 4 положении средняя скорость движения частиц по каналу матрицы составляет 0,34 м/с. 5 положение – завершение эксперимента.

Врезультате проведения эксперимента подтвердилась теория о перепаде давления (рис. 5), при котором значительная разница давлений может стать следствием неравномерного состава шихты в теле куска, и как следствие – привести к крошимости.

Однако, если мы увеличим температуру на нагревателе в данной области, кусок будет обжигаться и при более плавном прохождении через точку перепада, внутри строение куска всегда будет равномерным. Датчик, температуру которого необходимо увеличивать, показан на рисунке 7 в виде точечных нагревателей с проводами на корпусе.

Далее в програмной среде Rocky было смоделировано тело машины и премещение частиц внутри корпуса, которое также подтвердило необходимость подвода отдельных температур к датчикам, а не просто сделать одновременный нагрев до 400 градусов. Получение перечисленных данных было необходимо, чтобы установить предел действия для температурного датчика. Таким образом в исследовании были проработаны 3 важных компонента экструдера - фильера, корпус, система управления скоростью движения формуемой среды и управление температурой на корпусе.

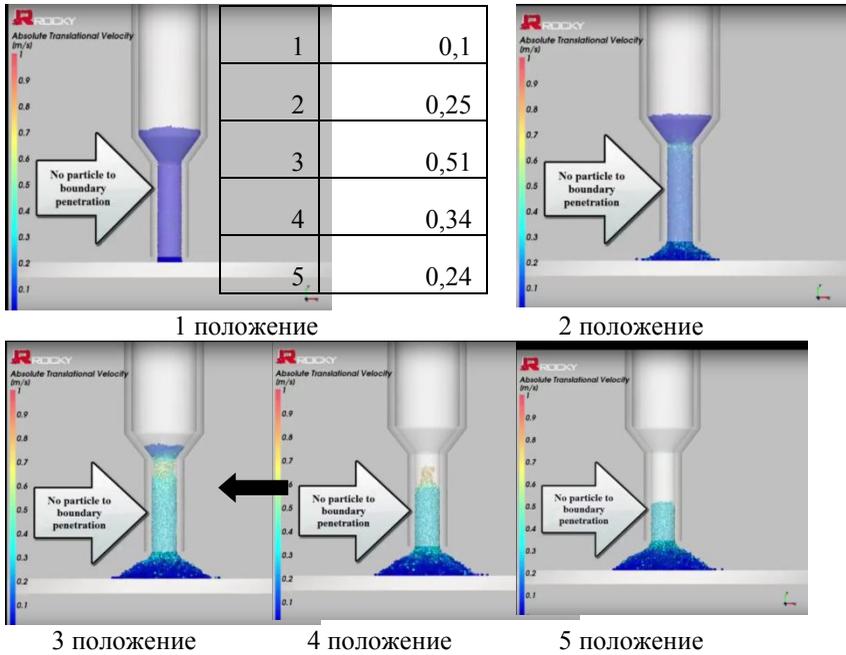


Рис. 5 – DEM моделирование движения частиц в фильтре в программе ROCKY



Рис. 6 – Отношение скорости в позициях



Рис. 7 – Определение датчика, который необходимо нагревать отдельно от всех, с регулируемой подачей тепла

Данное направление исследований позволит создать «прозрачные» системы управления экструдерами через SCADA систему для контролирования в автоматическом режиме процесса формования и последующей защиты от поломок, потери надежности машины.

Библиографический список

1. Амерханов, Р.А. *Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии*. М.: Колос. 2000. 159-238.
2. Епифанцев, К.В. *Разработка виртуальных инструментов для мониторинга отходов на базе Lab View и портала Eco 365// Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 419 с., стр. 52-57*
3. *Wood chips for energy production. Technology Environment-Economy//The Centre of Biomass Technology (Denmark)– 1993.*
4. Salo, K., Keranen, H. *Biomass IGCC // Seminar on Power Production from biomass II. Espoo, Finland, 27-28 march. – 1995.*
5. *7-th European Conference on Biomass for Energy and Environmental, Agricultural and Industry Abstracts. Florence. – 1992.*