

РАЗДЕЛ II

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 66.0992.002.237

Макаренков Д.А.¹, Назаров В.И.², Мавлюдова Я.А.²

¹Научно-исследовательский институт химических реактивов
и особо чистых химических веществ «ИРЕА» (г. Москва)

²Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ МЕТОДОМ ПРОКАТКИ НА РОТОРНЫХ ГРАНУЛЯТОРАХ

Аннотация. Рассмотрены вопросы гранулирования топливных брикетов на основе отходов различной природы (древесные опилки, лузга масличных культур, пивная дробина, кизельгур, технический углерод). Получены компрессионные кривые различных смесей, определена их плотность и прочность и оптимальные режимы процесса гранулирования. Определены значения реологических параметров смесей: сыпучесть, пластическая прочность. Выявлена взаимосвязь между производительностью, энергозатратами и влажностью смеси, обеспечивающие получение при прокатке плотнопрочных pellets.

Ключевые слова: гранулирование, многокомпонентные полидисперсные шихты, плотность, сыпучесть, пластическая прочность.

D. Makarenkov¹, V. Nazarov², Ya. Mavlyudova²

¹The State Scientific-Research Institute of Chemical Reagents
and High-Purity Chemical Substances (IREA), Moscow

²Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)

EATURES OF THE GRANULATION PROCESS OF FUEL COMPOSITIONS BY ROLLING ON A ROTARY GRANULATOR

Abstract. We consider the issues related to granulation of fuel briquettes from waste of different nature (sawdust, husk oilseeds, brewer's grain, kieselguhr, carbon black). We have obtained the compression curves of various mixtures and determined their strength, density and best regimes of the granulation process. The values of the rheological parameters of mixtures are found: flowability, plastic strength. The correlation between performance, energy consumption and mixture moisture, providing production of plotnoprochnyh pellets during rolling, is presented.

Key words: granulation, granules, multicomponent polydisperse charge, density, strength, flowability, plastic strength.

© Макаренков Д.А., Назаров В.И., Мавлюдова Я.А., 2015.

Высокие цены на нефть, газ и другие виды ископаемого топлива вызвали интенсивные поиски альтернативных источников энергии с использованием вторичных материальных ресурсов (ВМР). Замена этих видов топлива на возобновляемые также позволяет снизить выброс парниковых газов. В качестве альтернативного топлива, снижающего нагрузку на окружающую среду, используют топливные гранулы (пеллеты) из древесных отходов лесопромышленного комплекса. Для улучшения качества пеллет к ним добавляют такие отходы, как пивная дробина, лузга, торф, продукт пиролиза технического углерода (пирокарбон) и др. В качестве гранулирующего оборудования используют экструдеры и роторные грануляторы (РГ) с кольцевой или плоской матрицей [1]. Более простым по конструкции является гранулятор с плоской матрицей.

В настоящее время эксплуатируются два типа РГ. В первом типе матрица неподвижна, а по ее поверхности вокруг вертикальной оси перемещается водило с вращающимися роликами. Среди таких РГ используются грануляторы с большой производительностью 2000ч6000 кг/ч. Для средних производительностей (200ч2000) кг/ч используются РГ, где вращается только матрица, а ролики относительно ее неподвижны и вращаются лишь вокруг своей оси за счет сил трения между их поверхностями.

Для получения более качественных прессовок предпочтительнее матрица с каналами переменного сечения. Для уменьшения количества застойных зон отверстия матрицы со стороны роликов изготавливаются с конусным входом. Максимальная производи-

тельность обеспечивается двумя или тремя роликами. Вращающаяся матрица равномерно транспортирует исходный продукт в зону захвата материала прессующими роликами. Продолжительность воздействия ролика меньше времени, необходимого для закатки материала на всю глубину канала. Протекание полной деформации дисперсной системы осуществляется только при повторных воздействиях вальца. При этом происходит послойная и порционная запрессовка сырья в каналы. Соотношение диаметров ролика с толщиной матрицы обеспечивает скорость протекания последовательно проходящих фаз: захват и предварительное уплотнение массы, деформирование в условиях сжатия и сжатия со сдвигом, движение массы по каналам матрицы и выход спрессованных гранул.

В РГ можно получать пеллеты из порошкового, зернистого и пластифицированного материала. Качество топливных гранул и энергозатраты определяются такими реологическими свойствами смеси, как сыпучесть и пластическая прочность, а также коэффициентами внешнего и внутреннего трения и бокового давления при движении шихты через каналы переменного сечения. Оптимальные реологические свойства гранулируемых смесей при пониженных энергозатратах на их получение формируются на стадиях их подготовки за счет ввода связующего, механоактивации при нагреве шихты [3].

Были проведены комплексные исследования процесса гранулирования твердотопливных композиций различных составов с использованием ВМР (табл. 1-2). Исследовали гранулируемость и формуемость как при

прессовании в зарытой матрице, так и в РГ с вращающейся матрицей фирмы «MasCorp» (серия SPM-230). На стадиях подготовки смеси определялись сыпучесть и пластическая прочность материалов в зависимости от влажности смеси. Влажность исследуемых смесей определяли методом сушки до постоянного веса (в соответствии с ГОСТ 23409.5-78) при температуре $(100 \pm 10)^{\circ}\text{C}$. Пластическая прочность определялась по ГОСТ 5180-84, при этом сыпучесть определялась по величине угла естественного откоса в соответствии с международным стандартом ASTM D1895. При компрессионных испытаниях плотность и прочность прессовок определялась по результатам одноосного сжатия при прессовании в закрытой матрице.

Таблица 1

Составы смесей топливных гранул

Компонент смеси, %масс.	Номер смеси										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Опилки	31,3	40	33,3	-	31,3	-	17,9	83,4	40	20,8	40
Лузга подсолнечника	31,3	-	-	40	21,9	41,7	-	-	-	-	-
Пивная дробина	21,9	28	33,3	-	-	-	35,7	-	28	20,8	-
Торф	-	28	-	-	31,3	41,7	35,7	-	28	-	-
Активный ил	-	-	23,4	40	-	-	-	-	-	-	-
Кизельгур	-	-	-	-	-	-	-	8,3	-	-	-
Пирокарбон	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41,6	50
Аммиачная селитра	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,5	5
Лигносультанат (50% -водн. р-р)	15,5	-	-	20	-	16,6	-	-	4	8,3	5
ПВА (50%-водн. р-р)	-	4	10	-	15,5	-	10,7	8,3	-	-	-

Таблица 2

Составы смесей топливных гранул

Компонент смеси, %масс.	Номер смеси							
	12	13	14	15	16	17	18	
Опилки	31,3	20,4	33,4	40	40	40	40	
Лузга подсолнечника	31,3	-	-	-	-	-	-	
Пивная дробина	21,9	20,4	23,3	28	28	28	28	
Торф	-	-	23,3	28	28	28	28	
Цемент	15,5	10,2	-	-	-	-	-	
Пирокарбон	-	40,8	-	-	-	-	-	
Аммиачная селитра	-	8,2	-	-	-	-	-	
Гипс	-	-	20	-	-	-	-	
Биопан Б1	-	-	-	4	-	-	-	
Биопан Б2	-	-	-	-	4	-	-	
Биопан Б3	-	-	-	-	-	4	-	
Биопан Б7	-	-	-	-	-	-	4	

При прокатке на РГ определялись производительность и удельные энергозатраты в зависимости от различных факторов. Сыпучесть ($\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$) является основным параметром, который определяет непрерывность подачи сыпучей смеси в зону взаимодействия прокатывающих роликов с вращающейся матрицей. Она же отражает влияние насыпной плотности, гранулометрического состава, влажности и угла естественного откоса. Выходное сечение загрузочного бункера имело форму щели. Графически представлены (рис. 1-2) зависимости сыпучести от ширины щели и от влажности смеси. Видно (рис. 1), что для смесей №№ 1, 2 и 6 зависимость носит линейный характер. Для смесей №№ 5 и 9 (с высоким содержанием торфа) характерна параболическая зависимость. При увеличении влажности от 8 до 18% масс. сыпучесть падает в среднем в 2-3 раза и определяется типом связующего. Для всех рассмотренных смесей сыпучесть возрастает при увеличении величины зазора. При величине зазора меньше 7 мм шихта не просыпается без внешнего воздействия.

Исследуемая в работе пластическая прочность методом погружения конуса характеризует прочность структуры гранулированной дисперсной смеси при малых скоростях деформации и определялась через напряжение сдвига P_m [2]. На рис.3 представлена зависимость пластической прочности от количества связующего. Экспериментальный характер зависимости $P_m=f(W)$ можно объяснить с учетом особенностей структурообразования многокомпонентных смесей.

На начальном участке кривых увеличение доли жидкой фазы (5ч12%

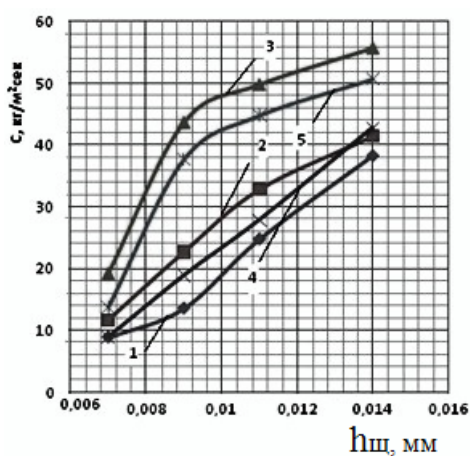


Рис. 1. Зависимость сыпучести топливных смесей от величины зазора между роликом и матрицей: 1-смесь № 1; 2- смесь № 2; 3-смесь № 5; 4-смесь № 6; 5-смесь № 9.

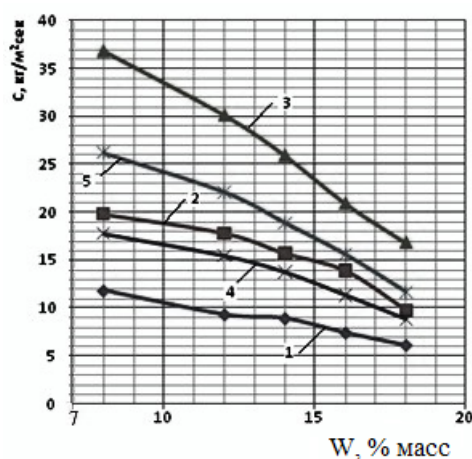


Рис. 2. Зависимость сыпучести топливных смесей от влажности при величине зазора 9 мм: 1-смесь № 1; 2- смесь № 2; 3-смесь № 5; 4-смесь № 6; 5-смесь № 9.

масс.) сопровождается ее равномерным распределением по поверхности шихты. При этом увеличивается число контактов с коагуляционно-кристаллизационным характером связей между частицами, а также число частиц,

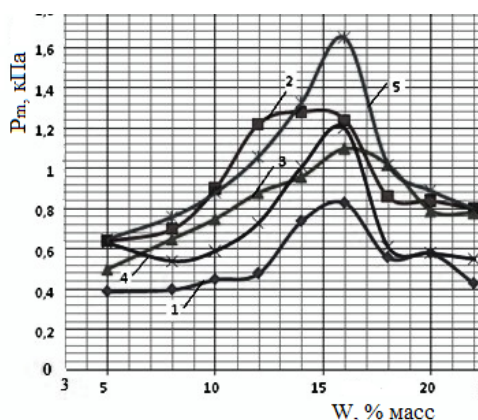


Рис. 3. Зависимость изменения пластической прочности от количества связующего:

1-смесь № 1; 2- смесь № 2; 3-смесь № 5; 4-смесь № 6; 5-смесь № 9

связанных капиллярным давлением. Структурная прочность системы возрастает. Наличие влаги больше 12% масс. приводит к возникновению капиллярно-адсорбционных сил связи, уплотняющих структуру смеси. В результате увеличивается пластическая

прочность образцов, достигая своего максимума при влажности 14-16% масс. Экстремум на кривых соответствует максимально возможной прочности структурных связей при данных условиях и определяет критическую величину влажности, то есть влажность, при которой наиболее выгодно реализуются прочностные свойства.

Уменьшение пластической прочности шихт в области влажностей более 18% масс. связано с увеличением избытка жидкой фазы на поверхности частиц. Увеличение толщины жидкостных прослоек уменьшает силы молекулярного взаимодействия и повышает подвижность (пластичность) системы в целом. Влажность смеси, при которой ее пластическая прочность равна нулю, характеризует отсутствие межчастичных связей, то есть определяет предельную влажность, при которой отсутствует возможность гранулообразования. Для исследуемых смесей

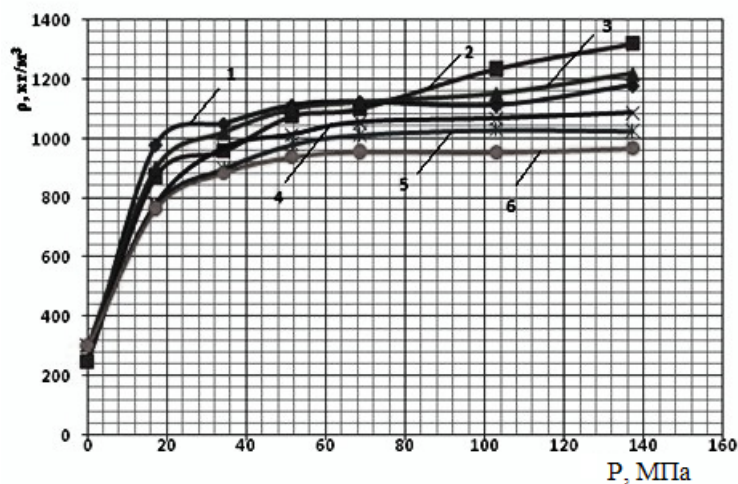


Рис. 4. Зависимость плотности топливных гранул от давления прессования при различной влажности смеси: 1-смесь № 13 ($W_{исх} = 14,9\%$); 2-смесь №14 ($W_{исх} = 13,6\%$); 3- смесь №15 ($W_{исх} = 14,5\%$); 4-смесь №16 ($W_{исх} = 16,5\%$); 5- смесь №17 ($W_{исх} = 14,9\%$); 6-смесь №18 ($W_{исх} = 16,3\%$).

величина связующего в количестве 12ч18% масс. определяет максимальные значения пластической прочности и тем самым – оптимальные условия гранулирования при пониженных давлениях прессования.

Далее рассматриваются результаты компрессионных испытаний для различных топливных композиций (табл. 1-2). Соотношения компонентов менялись в диапазоне 15ч50% масс. При насыпной плотности смесей 250ч500 кг/м³ и при удельных давлениях прессования (40ч100) МПа плотность прессовок изменялась от 800 до 1200 кг/м³. Из компрессионных кривых (рис. 4) видно, что плотные прессовки получаются, начиная с $P_{уд} \sim (20ч40)$ МПа. Затем плотность растет менее интенсивно, а затем приближается к постоянной величине равной плотности твердого пористого тела. Ввод связующего в дисперсную смесь снижает ее пыление и интенсифицирует процесс компактирования.

Характер изменения прочности гранул на раскалывание приведен на рис. 5. Из полученных кривых мы видим, что прочность прессовок на раскалывание изменяется от 0,05 до 0,4 МПа. При давлениях 100ч150 МПа прочность увеличивалась до 0,4 МПа. Максимальная прочность 0,1ч0,4 МПа наблюдалась у гранул из смеси № 9 за счет оптимального сочетания опилок, пивной дробины, торфа и связующего (лигносульфоната).

Наибольшая прочность достигается при влажности шихты от 11ч18% масс. ($P_m=1,2ч1,4$ МПа). При влажности более 20 % масс. избыток влаги вытесняется и гранулы получают ломкими. При влажности менее 11% масс. гранулы получают непрочными. Влажность 14ч16% масс. можно считать оптимальной при проведении процессов прессования смесей, содержащих растительные и древесные отходы.

В исследованиях процесса получения пеллет на РГ на матрице с отверсти-

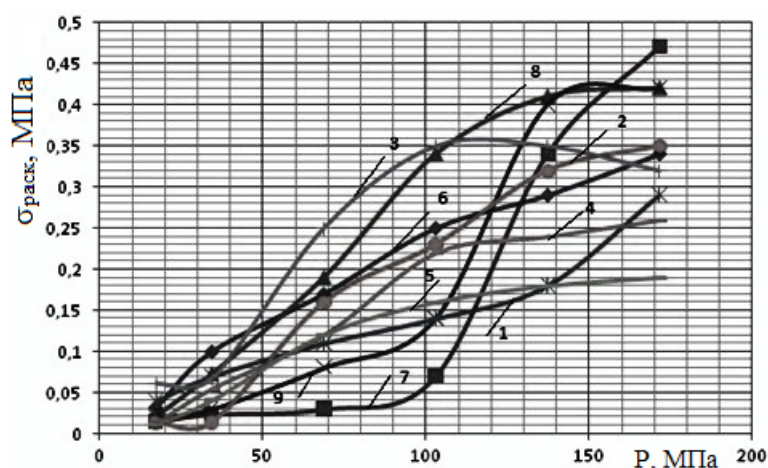


Рис. 5. Зависимость предела прочности на раскалывание от давления прессования при различной влажности смеси: 1-смесь № 13 ($W_{исх}=14,9\%$); 2-смесь №14 ($W_{исх}=13,6\%$); 3 - смесь №15 ($W_{исх}=14,5\%$); 4-смесь №16 ($W_{исх}=16,5\%$); 5- смесь №17 ($W_{исх}=14,9\%$); 6-смесь № 2 ($W_{исх}=14,9\%$); 7-смесь № 4 ($W_{исх}=40,9\%$); 8-смесь № 9 ($W_{исх}=14,9\%$); 9-смесь №12 ($W_{исх}=12,4\%$).

ями $d=6$ мм (проходное прессование) определялась производительность (Q) и удельные энергозатраты (N). Были установлены зависимости производительности от состава смеси ее влажности. Была выявлена зависимость энергозатрат от производительности и величины зазора между валками и матрицей. При изменении влажности от 12% до 18% масс. производительность уменьшается от 110 кг/ч до 85 кг/ч (основной компонент пеллет ~ 40% масс. опилок). Изменение мощности от производительности гранулятора (рис. 6) носит линейный характер. За-

висимость удельных энергозатрат $N_{уд}$ от влажностей смесей приведена на рис. 7. Изменение влажности смеси с 12% до 18% масс. приводит к увеличению энергозатрат ~ в 2 раза.

При работе роторных грануляторов ролики прижимают к поверхности вращающейся матрицы. Высокие коэффициенты трения между взаимодействующими поверхностями увеличивают потребляемую мощность на холостом ходу. Поэтому устанавливаются зазор, понижающий энергозатраты при прокатке. Однако стремиться к минимальному зазору между матри-

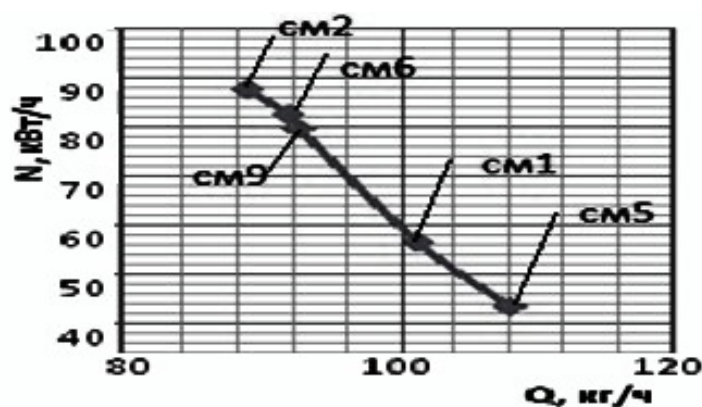


Рис. 6. Зависимость изменения потребляемой мощности от производительности гранулятора

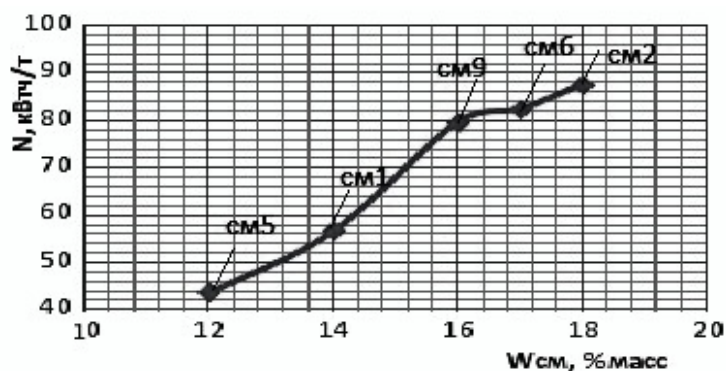


Рис. 7. Зависимость изменения удельных энергозатрат от влажности и типа смеси

цей и роликом не следует, так как это приводит к высоким давлениям прессы и соответственно к увеличению энергозатрат. Зазор необходимо выбирать таким образом, чтобы при запрессовке смеси в каналы матрицы не разрушались частицы прессуемого материала. Величина зазора должна быть соизмерима с размерами частиц и снижать коэффициент трения между роликами и матрицей.

Проведенные комплексные исследования показали возможность получения гранулированных топливных композиций с большим количеством ВМР методами прессования и прокатки на РГ. Определены значения реологических параметров смесей (сыпучесть, пластическая прочность), обеспечивающие оптимальные условия подачи материала в очаг деформации гранулирующего оборудования. Выявлена взаимосвязь между производительностью, энергозатратами и влажностью смеси, обеспечивающие получение при прокатке плотнопрочных пеллет.

Установлено, что при влажности смеси (12ч15)% она представляет собой сыпуче-связанную композицию, характеризующуюся максимальной сыпучестью. При таком режиме обеспечивается максимальная производительность роторного гранулятора ($Q=110$ кг/ч). Выявленный диапазон влажности позволяет получать прочноплотные гранулы, так как усилия прессования расходуются именно на получение прочной структуры, а не на выжимание излишней влаги из объема прессовки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Варес В. Справочник потребителя биотоплива / В. Варес, Ю. Касък, П. Муйсте и др. – Таллинн: Таллиннский технич. ун-т, 2005. – 183 с.
2. Классен П.В., Гришаев И.Г. Основы техники гранулирования. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
3. Макаренко Д.А. Исследование процесса компактирования и окатывания дисперсных сред с регулируемыми реологическими характеристиками: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 260 с.