

УДК 66.03:502.64

ПРИМЕНЕНИЕ СВЯЗУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В БЕЗОБВЯЗОЧНОМ БРИКЕТИРОВАНИИ ТБО

Владимиров С.Н., Ермакова Л.С., Патрикеев И.А.

ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (ММИ)»,
Москва, e-mail: snvl@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию влияния связующего вещества при брикетировании твердых бытовых отходов. Брикетирование твердых бытовых отходов является одним из основных методов уменьшения их объема с целью более рационального использования автомобильного транспорта, перевозящего отходы к местам их утилизации и складирования. Брикетирование ТБО представляет собой сложный физико-механический процесс взаимодействия разобщенных твердых частиц. Был проведен анализ связующих веществ, используемых в промышленности, для сцепления отдельных фракций, таких как бумага, картон, текстиль, пластмассы, полимеры и в производстве горно-угольной промышленности. Необходимо использовать связующее, которое не будет разбавляться выделяющейся при брикетировании влагой и будет проникать в тело брикета при брикетировании. Предложено применять вязко-пластичные вещества. Такими связующими веществами является песко-бетонная смесь и битум.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, прессование, брикетирование, связующее вещество, битум

THE USE OF A BINDER DURING BRIQUETTING SOLID WASTE

Vladimirov S.N., Ermakova L.S., Patrikeev I.A.

Moscow State engineering University (MAMI), Moscow, e-mail: snvl@mail.ru

This article investigates the impact of binder during briquetting solid waste. Briquetting of solid domestic waste is one of the main methods to reduce their volume to more efficient use of vehicles transporting waste to places of disposal and storage. Briquetting of solid waste is a complex physical and mechanical process of the interaction of the separated solids. An analysis was conducted of binders used in the industry, for the bonding of the individual fractions, such as paper, cardboard, textiles, plastics, polymers and in the production of the coal industry. It is necessary to use a binder which will not be diluted, released during the briquetting moisture and will penetrate into the body of the briquette when briquetting. It is proposed to use viscous-plastic substances. Such binders is sand-concrete mixture and bitumen.

Keywords: municipal solid waste, compaction, briquetting, binder, bitumen

Механическое брикетирование твердых бытовых отходов (ТБО) является одним из основных методов уменьшения их объема с целью более рационального использования автомобильного транспорта, перевозящего отходы к местам их утилизации и складирования. Брикетирование не только уменьшает объем отходов, но и в ряде случаев повышает рациональность использования полигонов [1].

На перерабатывающих предприятиях процесс брикетирования происходит в 4 стадии прессования ТБО в горизонтальном прессе под давлением до 20 МПа с увеличением плотности материала от 190 кг/м³ до 1100–1200 кг/м³, без предварительной сортировки, и в качестве вынужденной меры – армированной обвязки 4–5 рядами армированной проволоки. В процессе брикетирования изменяется форма и размер дисперсного материала, каким является ТБО, также из него удаляется избыточная влага до 65%.

Брикетирование ТБО представляет собой сложный физико-механический процесс взаимодействия разобщенных твердых частиц. Структура брикетов образуется путем непо-

средственных контактов разноразмерных фракций между собой или через прослойки связующих и влаги за счет прилагаемых усилий прессования. При брикетировании плоским торцом пуансона дисперсных материалов ТБО в замкнутой форме давление в брикете из-за внешнего контактного трения снижается от пуансона к поддону (стенке) матрицы [1]. Формирование структуры брикетов с введением связующего следует рассматривать как один из видов связывания (сцепления) твердых фракций ТБО с помощью связующего (адгезивов).

Процесс прессования происходит в специальной пресс-форме, с открытыми торцевыми гранями, обычно поперек волокон. Учитывая, что размер длинной стороны образца во много раз превосходит его поперечные размеры, полагая, что вдоль оси x_3 – распределение нагрузки в зоне контакта пресси и образца практически равномерно, будем считать реализованным состояние плоской деформации. Материал предполагается ортотропным, главные оси анизотропии параллельны осям координат. Температура образца не изменяется в процессе

прессования. Деформации вдоль длинной оси образца считаются пренебрежимо малыми.

Технология брикетирования со связующим веществом должна учитывать физико-механические свойства компонентов морфологического состава ТБО (табл. 1), взаимодействие частиц между собой и со связующим веществом, а также заданные свойства готовых брикетов [2].

Цель работы заключается в нахождении оптимального связующего вещества и разработке методики безобязочного брикетирования ТБО с применением (добавлением) связующего вещества.

Одним из ключевых вопросов в технологии брикетирования является выбор свя-

зующего вещества, в большей степени зависящий от морфологического состава ТБО (табл. 1), фракционного состава (табл. 2), влажности (табл. 3) физико-механических свойств компонентов, а также включает операции дозирования, смешивания компонентов ТБО, активации связующего и уплотнения ТБО.

Исходя из данных, приведённых в табл. 1, морфологический состав ТБО в основном не изменяется на протяжении всего года. Из этого следует, что на протяжении всего года технологическая линия процесса брикетирования ТБО с добавлением связующего вещества не нуждается в дополнительных изменениях, вызванных сменой сезонов.

Таблица 1

Морфологический состав ТБО по сезонам, % по массе

Материал	состав ТБО%				Химический состав	Формула
	Зима	Весна	Лето	Осень		
Бумага, картон	32...35	30...32	22...26	26...30	Целлюлоза	$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$
Кости	1...2	1...2	1...2	1...2	Гидроксилапатит	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
					Коллаген (белок)	$C_{40}H_{62}N_{10}O_{12}$
Пищевые отходы	32...35	35...40	40...43	45...49	Белки	$C_{40}H_{62}N_{10}O_{12}$
Стекло	4...6	2...3	2...3	2...3	Стекло	$Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$
Металл	3,5-5,5	3,5-5,5	2,5-4,5	2,5-4,5	Металлы	Fe, Al, Cu, Zn
Керамика и камни	1...3	0,5...1	1	1	Алюмосиликатная керамика	$SiO_2-Al_2O_3$
Пластмассы	3...4	3...4	3...6	3...6	Полиэтилен	$(-CH_2-CH_2-)_n$
Кожа и резина	1	0,5...1	1	1	Изопреновые каучуки	$(-C_5H_8-)_n$
Текстиль	3...5	3...5	3...5	3...5	Полиэстер	$(C_{10}H_8O_4)_n$
					Хлопок	$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$
Дерево	1...2	1...2	1...2	1...2	Целлюлоза	$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$
Отсев	4...6	5...7	4...6	6...8	—	—

Таблица 2

Ориентировочный фракционный состав ТБО, % по массе

Компоненты ТБО	Размер фракций, мм						ИТОГО
	> 250	250-200	200-150	150-100	100-50	< 50	
Бумага офисная, А	1,67	1,5	3,01	4,71	3,35	1,52	35,35
Картон, Б	1,245	1,11	2,24	3,5	2,49	1,13	
Бумага газетная, В	0,835	0,76	1,5	2,35	1,67	0,76	
Пищевые отходы	0,00	0,00	0,79	5,00	10,14	19,00	36,03
Дерево, листья	0,40	0,12	0,24	0,28	0,58	0,26	1,89
Металлы: черный	0,00	0,53	0,27	0,92	1,60	0,74	4,07
цветной	0,00	0,04	0,26	0,08	0,15	0,00	0,53
Кости	0,00	0,00	0,00	0,19	0,44	0,60	1,23
Кожа, резина	0,00	0,30	0,10	1,20	0,72	0,10	2,43
Текстиль	0,53	0,76	0,63	0,71	0,83	0,29	3,31
Стекло	0,00	0,11	0,05	0,56	1,49	1,02	3,24
Камни, керамика	0,00	0,00	0,00	0,48	0,94	0,95	2,36
Полимерные материалы	0,07	0,57	0,65	1,22	1,29	0,52	4,32
Отсев менее 50 мм	0,07	0,10	0,13	0,20	0,13	5,72	6,36
ИТОГО	4,82	5,46	9,86	21,41	25,83	32,62	100,00

Таблица 3

Влажность компонентов отходов по сезонам года, % по массе

ТБО	весна	лето	осень	зима	среднее
Бумага	25,0	21,0	25,0	32,0	26,0
Пищевые отходы	70,0	56,0	70,0	80,0	69,0
Дерево	25,0	10,0	25,0	30,0	22,5
Металл	0,8	0,6	0,8	1,2	0,9
Стекло	0,8	0,6	0,8	1,2	0,9
Кости	25,0	18,6	25,0	27,0	23,9
Кожа, резина	3,0	0,3	3,0	11,0	4,3
Текстиль	25,0	13,0	25,0	35,0	25,0
Камни	3,0	1,0	3,0	5,0	3,0
Прочие	5,0	1,0	5,0	10,0	5,3
Отсев менее 15 мм	27,7	17,3	27,7	43,2	29,0

Фракции ТБО не однородны – их размер варьируется от 0 до 250 мм и более, данные приведены в табл. 2.

Анализ показал, что наиболее приемлемыми (оптимальными) являются материалы крупностью 0–50 мм, так как наличие в сырье крупных фракций приводит к образованию структуры брикетов с большими пустотами, которые необходимо заполнить связующим.

Та же основное количество «твёрдых» фракций ТБО, исключая пищевые отходы, имеет размер от 50 до 150 мм. В процессе прессования таких частей ТБО плоским пуансоном в брикет образуются пустоты, по причине отсутствия контакта фаз между частями ТБО. Это явление уменьшает его малоцикловую усталость, что оказывает негативное воздействие на прочность брикета, при применении к нему механических нагрузок плоским торцом пуансона. Из этого следует, что брикет при погрузке, разгрузке и транспортировке будет разваливаться на части. Чтобы предотвратить этот процесс, в брикет вводится связующее вещество, которое заполняет пустоты, а также связывает части ТБО, не давая ему рассыпаться (развалиться).

Свойства ТБО изменяются не только от морфологического состава, фракционного состава, но и от влажности. Влажность бытовых отходов (табл. 3) зависит от соотношения содержащихся в них основных компонентов – бумаги и пищевых отходов – и их влажности, а также от воздействия атмосферных воздействий (дождь, снег).

Повышенная влажность (> 40%) оказывает сильное влияние на результирующую плотность ТБО.

При брикетировании ТБО пищевые и бумажные отходы с диаметром фракции до 50 мм проявляют свойства связующего, но недостаточно скрепляющего остальные

фракции. При достижении 55% влажности происходит растекание фракций ТБО. Средняя влажность ТБО составляет 60%, в результате между циклами брикетирования образуются пустоты по причине отсутствия контакта фаз между частями ТБО. Вследствие чего брикет разрушается при погрузке и транспортировке, если он не проходит стадию обвязки [3].

Проанализировав изменения морфологического состава ТБО, вычислив средний размер фракций ТБО, а также определив среднюю влажность ТБО можно сделать следующий вывод: мощностных характеристик прессов без введения связующего, производящих давление в 20 МПа, не хватает для полного сжатия фракций ТБО (50–150 мм), а повышенная влажность (60%) способствует растеканию мелких фракций ТБО (бумага и пищевые отходы), в результате чего образуются пустоты.

Был проведен анализ связующих веществ, используемых в промышленности, для сцепления отдельных фракций, таких как бумага, картон, текстиль, пластмассы, полимеры и в производстве горноугольной промышленности.

В различных отраслях промышленности находят применение множество связующих веществ (для пластмассы – жидкое стекло, для бумаги – клеи, для текстиля – латекс, в горной промышленности – битумы и гудроны).

Связующее вещество для брикетирования должно удовлетворять ряду существенных требований:

- обладать хорошей связующей способностью и придавать брикетам достаточную прочность при их небольшом расходе;
- иметь хорошие спекающие свойства и придавать брикетам необходимую термическую устойчивость при горении;
- быть устойчивым к влаге;

- быстро затвердевать и придавать брикетам устойчивость в летнее время года;
- быть безвредным как при производстве брикетов, так и при их употреблении;
- быть недорогим и не усложнять процесс брикетирования;
- быть недефицитным и применяться при малом расходе.

В процессе брикетирования создаются условия, не удовлетворяющие образованию необходимой адгезии связующих веществ на водной основе или на растворителях, высыхающих веществ, отвердевающих при химической реакции, полимеров и сополимеров.

Из-за необходимости наличия дополнительного оборудования невозможно использовать горячие расплавы, термопластики, вещества, термостабилизирующиеся при нагревании, и растворимое стекло.

По экономическому и физико-механическому критерию оставшиеся связующие вещества (битум, песко-бетонная смесь и силиконовые компаунды) подходят для дальнейших лабораторных экспериментов.

Исследования по брикетированию ТБО проводились с использованием следующих связующих веществ:

- горячие расплавы;
- ССБ;
- песко-бетонная смесь;
- битумы;
- силиконовые компаунды.

Анализ проводился по свойствам адгезии, когезии, влажности и необходимости в дополнительных стадиях и показал, что при добавлении битума и песко-бетонной смеси в качестве связующего вещества в брикет ТБО достигается наибольшая прочность брикета, равная 3800–4400 кПа.

Необходимо использовать связующее, которое не будет разбавляться выделяющейся при брикетировании влагой и будет проникать в тело брикета при брикетировании. Предложено применять вязко-пластичные вещества. Такими связующими веществами является песко-бетонная смесь и битум.

Добавление связующего вещества между стадиями брикетирования позволяет заполнить образующиеся пустоты. Также связующее вещество проникает в тело брикета, пропитывая и укрепляя его изнутри. Благодаря этому у полученного брикета динамической прочности не требуется армирование его железной нитью [4].

Полученные зависимости прочности брикета от расхода связующего приведены на рисунке. С целью проверки повторяемости полученных данных изготавливалось по пять брикетов на каждую экспериментальную точку. Значения прочности брикетов сходились в пределах 3%.

Прослеживается общая тенденция для всех связующих: с увеличением расхода связующего прочность брикета растет по экспоненте до определенного максимума – 4200–4400 кПа. Дальнейшее увеличение расхода связующего нецелесообразно, так как не дает существенного прироста прочности, а еще большее увеличение расхода приведет к снижению прочности из-за проявления пластифицирующих свойств связующего. В связи с этим целесообразно выбирать оптимальный расход связующего (9%), руководствуясь необходимой и достаточной прочностью брикета и экономическими затратами на его изготовление [5].

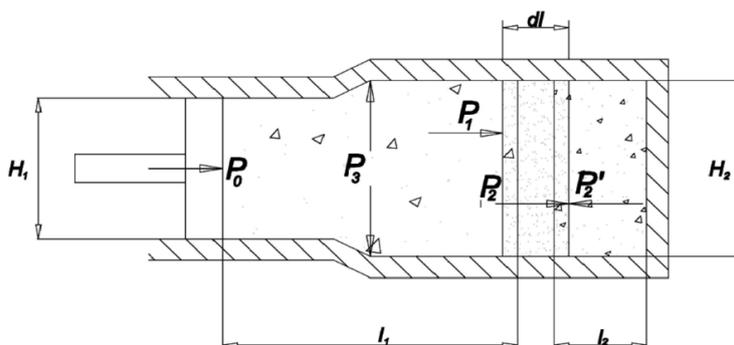


Схема проникновения связующего вещества в ТБО при брикетировании: P_0 – давление пуансона на первую порцию ТБО; P_1 – давление на связующее; P_2 – давление, оказываемое на вторую порцию ТБО; P_3 – давление на стенки пресс-камеры; P_2' – давление на связующее первой порцией ТБО; H_1 – высота прессующей камеры; l_1 – длина прессующей камеры; l_2 – длина связующего; dl – глубина проникновения связующего в ТБО

На рисунке представлена схема проникновения связующего вещества в ТБО при брикетировании плоским торцом пуансона.

Связующее вещество засыпается (добавляется) между стадиями брикетирования ТБО. Пуансон оказывает давление на вторую порцию ТБО, равное P_0 , на связующее вещество P_1 и на вторую порцию P_2 . Также вторая порция ТБО давит на стенки пресс-камеры P_3 . Сбрикетированная первая порция ТБО оказывает давление P'_2 на связующее вещество. Под оказываемыми давлениями P_2 и P'_2 связующее вещество проникает в сбрикетированные ТБО и брикетируемые ТБО, где $P_1 = P_0 - dP_1 - dP_3$, $P_2 = P_1 - dP_2$, $P_3 = P_0 - dP_3$.

По ориентировочным данным, расход связующего вещества составляет 7% от массы брикета, что в пересчёте на массу связующего будет равняться 80 кг на 1 брикет ТБО, что незначительно меняет конечный вес продукта (брикета).

Добавление связующего вещества в процесс брикетирования улучшает прочностные характеристики брикета ТБО [6]. Это достигается тем, что связующее вещество проникает в образующиеся пустоты, заполняя их и связывая фракции ТБО между собой. При введении связующего веще-

ства необходимость в обвязке брикета отпадает. Полученный брикет не теряет своих прочностных характеристик и не разрушается в процессе погрузки на автотранспорт и транспортировки на полигон.

Список литературы

1. Ермакова Л.С., Гонопольский А.М. «Безобвязочная технология компактирования твердых бытовых отходов в крупногабаритные блоки». Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – № 11. – С. 18.
2. Гонопольский А.М., Ермакова Л.С. «Исследование физико-механических характеристик ТБО при их компактировании безобвязочным методом в крупногабаритные блоки». Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2/2012. – С. 34–36.
3. Гонопольский А.М., Ермакова Л.С. «Исследование технологических параметров процесса безобвязочного компактирования блоков ТБО». Журнал «Экология и промышленность России». – Апрель, 2012. – С. 2–3.
4. Гонопольский А.М., Ермакова Л.С., Патрикеев И.А. «Брикетирующие твердых бытовых отходов с применением связующего компонента» // «Естественные и математические науки в современном мире». – 2014. – № 19.
5. Владимиров С.Н., Ермакова Л.С., Патрикеев И.А. «Связующее вещество при технологии брикетирования твердых бытовых отходов» // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 5 (6). – С. 145–148.
6. Владимиров С.Н., Ермакова Л.С., Патрикеев И.А. «Безобвязочное брикетирование ТБО» // Вестник научных конференций. – 2016. – № 4–4 (8). – С. 33–34.