

БИОЭНЕРГЕТИКА. ДРЕВЕСНЫЕ (ТОПЛИВНЫЕ) ГРАНУЛЫ

На основании литературного обзора рассмотрено современное состояние и перспективы развития технологии производства древесных (топливных) гранул в России и за рубежом. Определены требования к процессу гранулирования древесных опилок и особенности этого процесса.

Ключевые слова: биоэнергетика, топливные гранулы, древесные гранулы, пеллеты, гранулятор.

В начале XXI века перед человечеством встал комплекс проблем, связанных с исчерпанием традиционных энергоносителей и глобальным изменением климата планеты. В качестве выхода из сложившейся ситуации предлагается переход на использование возобновляемых источников энергии. Одним из таких источников является растительное сырье, в частности древесина.

На предприятиях лесной промышленности, начиная с заготовки древесины до получения конечного продукта, образуются отходы, которые занимают много места и загрязняют окружающую среду. Современные экологические требования устанавливают строгие ограничения на хранение и переработку древесных отходов. Их вывоз на свалки и содержание свалок требуют больших затрат. Поэтому задача эффективной утилизации отходов является актуальной.

С другой стороны, древесные отходы являются хорошим топливом, имеющим высокую теплотворную способность. Главным достоинством этого топлива является его экологическая безопасность, так как при его сгорании образуется минимальное количество золы и вредных веществ [1].

Древесные отходы подразделяют на твердые – кусковые и мягкие – стружка, опилки, пыль [1].

Количество образующихся отходов зависит от вида и технического совершенства производства. Объем отходов колеблется от 22...25% на лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятиях до 50...60% в фанерном и паркетном производствах [1].

Если древесные отходы не могут быть использованы с большей выгодой, их следует использовать как топливо. Это обосновано тем, что при естественном разложении древесины в атмосферу выделяется то же количество углекислого газа, как при ее сгорании.

Интерес к использованию древесных гранул возрос в XXI веке в связи с подписанием в 1997 году Киотского протокола по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Это привело к расширению номенклатуры сырья для производства топливных гранул. В Швеции топливные гранулы изготавливают из древесины специальных энергетических посадок, торфа, соломы, энергетических трав, бытовых отходов [2]. Постепенно в производство топливных гранул вовлекается круглый лес. На немецком предприятии German Pellets GmbH импортный круглый лес составляет 20% сырья для гранулирования [3]. В Германии в 2006 году введен в строй первый завод по получению топливных гранул из круглого леса и горбыля [4], что свидетельствует о возрастающей потребности в возобновляемых источниках энергии.

Расширение использования древесины как топлива в России будет вызвано не проблемами охраны окружающей среды, а нехваткой природного газа и электроэнергии на внутреннем рынке [5].

Чтобы сжигание отходов происходило эффективно, эти отходы должны иметь примерно одинаковые размеры и форму, обеспечивающие необходимый контакт с кислородом воздуха, чтобы получить наибольшую теплоотдачу. Кроме того, эти размеры и форма должны обеспечивать возможность механизации и автоматизации их подачи в топку.

Технологии прессования предварительно измельченных древесных отходов реализуют эти условия. Они позволяют сделать основное производство малоотходным, улучшить экологическое состояние предприятия, повысить культуру производства, уменьшить затраты на хранение и транспортировку полученного биотоплива по сравнению с необработанными отходами и дровами, иметь дополнительную прибыль.

Изготовление биотоплива из древесных отходов возможно прессованием в гранулы или брикеты. За древесными (топливными) гранулами закрепилось их английское название (a pellet) в русской транскрипции – пеллеты. Эти гранулы появились в 70-е годы XX века в Швеции [6].

Выпускаются гранулы первого класса, которые применяются в системах отопления мощностью до 1 МВт, используемых в основном в частном секторе. Для более мощных отопительных установок, а также для систем комбинированного производства тепла и электроэнергии выпускают промышленные гранулы. В Европе в 2002 году цена промышленных гранул составила 75...100 евро за тонну, а гранул первого класса – 200...250 евро за тонну [7]. Гранулы первого сорта изготавливаются из древесины, очищенной от коры, а промышленные гранулы изготавливаются из древесины с корой.

К преимуществам процесса гранулирования следует отнести более высокую производительность и надежность оборудования, а также меньшую энергоемкость процесса. Небольшие размеры гранул обеспечивают их перемещение пневмотранспортными установками и самотеком, повышают точность дозирования топлива. Это позволяет использовать их в автоматических котельных установках небольшой мощности.

Сейчас в мире производится в двадцать раз больше топливных гранул, чем топливных брикетов [8].

Древесина перестает быть местным топливом, если ее использовать в виде гранул [9].

Перечисленные преимущества делают гранулы из измельченных древесных отходов перспективным видом топлива.

В отношении возможности производства древесных гранул на отечественном оборудовании существуют различные мнения. По одним данным, попытки производства пеллет отечественными грануляторами кормов не увенчались успехом [10]. Однако есть и обратные примеры [11].

Следует отметить, что по официальной статистике 97% лесопильных заводов в России имеют количество древесных отходов, позволяющее выпускать не более 500 тонн пеллет в год. Их не обязательно продавать, можно использовать на свои же энергетические нужды [12].

Опыт эксплуатации заводов по производству топливных гранул показал, что наиболее эффективны заводы небольшой производственной мощности – до 1000 кг/ч [13]. Поэтому актуальна разработка мини-линий производства топливных гранул.

Немецкая компания Muench-Edelstahl GmbH предложила заводы-контейнеры по производству топливных гранул [14]. При разработке этих заводов фирма ориентировалась на Россию и Скандинавию. Такой завод может быть смонтирован на бетонном полу или размонтирован за 3...4 часа. Имеется предложение размещать линию гранулирования топливных гранул на автомобильных шасси [15].

Особенности получения топливных гранул

На качество полученных гранул влияют влажность, крупность и материал полуфабриката [1].

Некоторые источники указывают оптимальной при прессовании гранул из древесных отходов комнатно-сухую влажность полуфабриката 6...12%. Считается, что при большей влажности уменьшается плотность гранул и вследствие испарения влаги в гранулах возникают трещины, снижающие их прочность.

С уменьшением размера частиц полуфабриката качество гранул возрастает. Наилучшим качеством обладают гранулы из опилок. Кусковые отходы следует измельчать до средней крупности 0,5...1,0 мм, причем доля частиц размером 1,0...5,0 мм не должна превышать 25%. Наилучшее качество спрессованного полуфабриката наблюдается в случае, если размер частиц не превышает 2 мм [1, 16]. Однако существует спорное мнение, что мелкие опилки меньше изнашивают матрицу [16].

Кусковые древесные отходы обычно имеют значительно большие размеры: длина 10...6000 мм, ширина 10...400 мм, толщина 1...100 мм. Поэтому их предварительно необходимо измельчить. Измельченная древесина по ГОСТ 23246-78 подразделяется на щепу, стружку, дробленку, опилки, древесную пыль и древесную муку [1].

Если объем кусковых отходов небольшой, их сразу измельчают в опилки. Если выпуск составляет более трех тысяч тонн гранул в год, эффективнее сначала измельчать кусковые отходы до щепы или дробленки, а затем доизмель-

чать до опилок. Это связано с малой производительностью известных измельчителей кусковых отходов в опилки [1].

Считается, что связующим веществом в грануле является содержащийся в клетках древесины лигнин – аморфный полимер ароматической природы, который выделяется под действием давления и температуры. Содержание лигнина в древесине хвойных пород 28...34%, в древесине лиственных пород 17...27%, в коре в зависимости от породы дерева 17...44%. Цвет лигнина в зависимости от способа выделения из древесины изменяется от светло-желтого до темно-коричневого. Плотность лигнина 1250...1450 кг/м³ [1].

Элементный химический состав древесины практически одинаков для разных пород. Полуфабрикат включает древесину, воздух и воду. Их соотношение влияет на процесс прессования.

Кроме влажности и крупности частиц на процесс прессования, так же как и при гранулировании комбикормов влияют давление прессования, температура полуфабриката и время прессования.

Плотность спрессованного полуфабриката увеличивается при увеличении давления прессования и снижении влажности. При влажности древесины более 15% или при влажности коры более 10% гранулы и брикеты имеют недостаточную плотность и соответственно малую прочность [1].

Необходимо выдерживать прессуемый полуфабрикат в формирующей полости под давлением в течение определенного времени, чтобы произошла релаксация упругих напряжений.

Чем выше температура прессуемого полуфабриката, тем меньшее давление необходимо, чтобы его спрессовать до хорошего качества. При прохождении полуфабриката по формирующему каналу на его контактной поверхности образуется прочная и гладкая пленка.

Наибольшей прочностью обладает полуфабрикат, прессуемый при температуре более 150 °С. При меньшей температуре прессования прочность полуфабриката снижается. Верхним пределом температуры прессования является 250 °С, когда начинается реакция пиролиза – происходит частичное разложение древесины [1].

При гранулировании древесных опилок оптимальной предполагается, по данным компании California Pellet Mill, температура гра-

нул от 88 до 102 °С. Это объясняется [16] тем, что должно обеспечиваться плавление лигнина, которое происходит при 90 °С, и отсутствовать образование водяного пара, разрывающего гранулу.

Потребительские свойства спрессованных опилок определяют их зольность и теплота сгорания [1].

Древесина имеет зольность от 0,1 до 1,0%, у древесной коры она достигает 7%. Зола можно использовать как удобрение.

Высшая теплота сгорания древесины определяется ее составом и поэтому примерно одинакова для всех пород древесины. У коры теплота сгорания выше, чем у древесины. Низшая теплота сгорания влажной древесины сильно уменьшается с увеличением влажности. При влажности в 70% она уменьшается более чем в 20 раз [1].

Древесные топливные гранулы имеют удельную теплоту сгорания 14...23 МДж/кг. Это больше, чем у бурого угля и торфяных брикетов [17].

При гранулировании опилок насыпная плотность полуфабриката увеличивается примерно со 100 до 650 кг/м³. Плотность гранул составляет более 1120 кг/м³ и может достигать 1700 кг/м³. При этом насыпная плотность составляет 850 кг/м³. Гранулы должны храниться при влажности менее 10%. Это обеспечивает требуемую стандартом теплоту сгорания гранул 18 МДж/кг [18]. При влажности более 30% гранулы превращаются в крошку. На гранулирование сухих древесных опилок расходуется энергия, составляющая около 3% энергетического содержания гранул. Однако если гранулы требуют сушки, расход энергии на их приготовление может возрасти до 20% от энергетического содержания [19].

Считается, что при гранулировании опилок хвойных пород производительность грануляторов выше, чем при гранулировании опилок лиственных пород [20].

К крошимости топливных гранул предъявляются высокие требования. Если количество гранул длиной меньше 10 мм в массе превышает 20%, это может привести к спеканию шлака и выходу из строя топки, в которой сгорают гранулы [21].

Технология гранулирования и область ее применения

Гранулами или пеллетами называют кусочки экструдированного полуфабриката, как

правило, цилиндрической формы, длина которых примерно в два раза больше диаметра. Максимальный диаметр гранул – один дюйм (25 мм). Экструдат с большим размером поперечного сечения обычно называют брикетами.

К древесным гранулам предъявляют следующие требования [6, 19].

Поверхность гранул должна быть гладкой и блестящей без трещин и вздутий. Гранулы обычно выпускают диаметром 4, 6, 8, 10 мм. Наибольший и наименьший диаметры применяют реже. Длина гранулы не должна превосходить 50 мм. От гранул должен исходить легкий сладковатый запах клея. Серый цвет указывает на долгое хранение гранул, снижающее их качество. Светлый цвет гранул свидетельствует об их хорошем качестве. Темный цвет гранулы не является признаком плохого качества, однако некачественные гранулы имеют обычно темный цвет. Наличие древесной пыли на гранулах является признаком их крошимости. Гранулы первого класса имеют диаметр 6 мм, чтобы обеспечить малую крошимость, промышленные гранулы могут иметь диаметр до 10 мм.

Специалисты фирмы BUNLER выделяют следующие технологические процессы и режимы изготовления древесных гранул [19].

Первичная обработка древесных отходов. Продукт должен обладать определенным гранулометрическим составом и влажностью 11...14%. Крупные куски дерева должны быть измельчены в стружку и при избыточной влажности подвергнуты сушке. Затем стружка и опилки измельчаются в молотковой дробилке для получения однородного состава.

Кондиционирование. В древесные отходы перед прессованием необходимо ввести пар и/или воду для улучшения связующих свойств содержащегося в древесине лигнина. Если в сырьевом материале количество лигнина недостаточно (древесина осины) или произошло разложение лигнина вследствие длительного хранения, силы сцепления в грануле можно обеспечить добавлением связующих веществ во время измельчения в дробилке. В соответствии со стандартом DIN 51731 в качестве связующих веществ допускается добавлять максимум 2% зернового крахмала или муки грубого помола.

Прессование. Древесные отходы прессуют в так называемых матричных прессах. Матрицы могут быть кольцевыми или плоскими. Прес-

сующие ролики продавливают продукт через фильеры матрицы. Образующиеся на выходе из матрицы цилиндрические столбики обламываются на необходимую длину.

Охлаждение. Гранулы выходят из пресса мягкими, влажными и горячими (как правило, их температура составляет 90...120 °С). Для того чтобы можно было транспортировать и складировать гранулы, их необходимо охладить и высушить. При этом происходит затвердевание гранул.

Просеивание. Отделение мелкой фракции производится с помощью просеивания охлажденных гранул. Сход снова подается в установку для изготовления гранул.

Утверждается со ссылкой на специалистов компании California Pellet Mill [16], что при диаметре фильер 6 и 8 мм длина формирующей полости должна составлять 40...45 мм. При этом качество гранул диаметром 6 мм выше, чем 8 мм. Отмечается также, что производители грануляторов рекомендуют непосредственно перед гранулированием вводить в опилки некоторое количество воды или пара, причем делается спорное утверждение об адекватности использования воды и пара.

Технология производства пеллет аналогична технологии производства гранулированных комбикормов и витаминно-травяной муки [11].

Пеллеты образуются без применения дополнительных связующих компонентов, однако иногда рекомендуют в качестве связующего использовать муку [22]. В последнее время появились рекомендации использовать при гранулировании высокомолекулярные пластификаторы – твердые органические связующие [23], которые не только позволяют снизить давление прессования, но и улучшают параметры горения гранул.

Компания BUNLER выделяет следующие направления развития технологии гранулирования биотоплива [24].

1. Увеличение единичной мощности производства. «Бюлер» создал во Флориде (США) крупнейший в мире завод, способный производить 500 тыс. тонн древесных гранул в год, для компании «Грин Серкл БиоЭнерджи Инк». Источник сырья для этого производства неизвестен.

2. Разработка комплектного оборудования производства гранул, включающего сушилку и измельчение лесоматериалов.

3. Расширение сырьевой базы производства топливных гранул из альтернативного сырья в виде соломы, пеннисетума красного, камыша, бамбука и отходов переработки сахарного тростника.

Технология гранулирования может быть применена и в процессе производства жидкого и газообразного биотоплива, где главной проблемой остается транспортировка громадных объемов биомассы, необходимых для производства биотоплива. Для работы установки средней производительности требуется 1500 тонн биомассы в сутки. Транспортировать такие объемы удобнее в гранулированном виде.

В последнее время появилось новое направление технологии гранулирования древесных отходов, связанное глубокой переработкой сырья [25]. Это производство биоугольных пеллет, или АСВ (от англ. Accelerated Carbonized Biomass) пеллет. Перед гранулированием биомассу подвергают обжигу без доступа кислорода при температуре 200...300 °С. Такой обжиг еще называют мягким или легким пиролизом. При этом у биомассы (древесина или сельскохозяйственные отходы) улучшаются параметры горения. Кроме того, в результате пиролиза пеллеты приобретают водоотталкивающие свойства, поэтому они не гниют. Отсюда возникает возможность их открытого хранения. Биоугольные гранулы имеют большую насыпную массу, чем древесные. Их можно сжигать вместе с ископаемым углем.

В настоящее время для прессования предварительно измельченных материалов растительного происхождения в основном применяются прессующие механизмы с кольцевыми матрицами и двумя прессующими роликами [26, 27].

Эти механизмы относятся к механизмам непрерывного действия. Отсутствие холостого хода рабочих органов и постоянство их скоростей сводят до минимума инерционные силы и, следовательно, общую массу прессового оборудования. Рабочие органы имеют относительно простую конструкцию. Все это позволяет сделать вывод о перспективности этих прессующих механизмов в качестве оборудования для гранулирования древесных опилок.

За рубежом созданы установки выработки древесных гранул производительностью до 10 тонн в час. В нашей стране такое комплектное оборудование не выпускается, однако ЗАО «ВНИИДРЕВ» на основании проведенных исследований установило, что вместо него можно использовать установки гранулирования витаминной травяной муки [16]. Следует учитывать, что при гранулировании древесных опилок производительность гранулятора в 2...3 раза меньше, чем при гранулировании комбикормов [22].

Из приведенной информации следует, что производство и использование древесных (топливных) гранул является перспективной бурно прогрессирующей отраслью биоэнергетики. В ближайшей перспективе следует ожидать роста производства этих гранул как в России, так и за рубежом.

Особенностью рассматриваемой технологии является использование для прессования древесных гранул уже существовавших грануляторов комбикормового производства. Это позволяет выдвинуть гипотезу о неоптимальных режимах процесса гранулирования древесных опилок, свойства которых отличаются от свойств комбикорма или травяной муки.

Для проверки гипотезы и повышения эффективности процесса гранулирования необходимо провести комплексное исследование процесса гранулирования, которое должно включать следующие этапы:

- экспериментальное определение физико-механических свойств древесных опилок в зависимости от их состава и режимов процесса с учетом влияния всестороннего давления;
- экспериментальное определение параметров взаимодействия гранулируемого полуфабриката с кольцевой матрицей и прессующим роликом гранулятора;
- математическое моделирование процесса гранулирования древесных опилок;
- оптимизация конструктивных параметров гранулятора и режимных параметров процесса гранулирования древесных опилок;
- разработка конструктивных и технологических решений, повышающих эффективность производства древесных гранул.

Список использованной литературы:

1. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.

2. Вершинин В. Чистая энергия // Леспроминформ, 2004, №5. – С. 66-67.
3. Ракитова О. Немцы выбиваются в лидеры рынка гранулирования // The BioenergyInternational. Россия, 2007, №2. – С. 12-13.
4. Первый завод по гранулированию круглого леса в Германии // The BioenergyInternational. Россия, 2006, №0. – С. 24.
5. Дмитриева Н.П. Основные результаты подготовки и о задачах реализации «Российской программы развития возобновляемых источников энергии» // Биоэнергетика, 2007, №1. – С. 4-15.
6. Самылин А. А. Пеллеты и автомобиль: встреча неизбежна! Часть 2 // Леспроминформ, 2006, №4. – С. 106-117.
7. Тиайнен В.С. Преимущества прессованного биотоплива: топливные гранулы и брикеты. Леспроминформ, 2003, №11. – С. 42-45.
8. Как дать жару Европе? // Леспроминформ, 2008, №4. – С. 154-155.
9. Гришкова Л. Утилизация отходов деревообрабатывающих и лесопильных производств // Леспроминформ, 2003, №11. – С. 46-47.
10. Гришкова Л. Перспективы развития производства биотоплива в России // Леспроминформ, 2004, №8. – С. 46-48.
11. Борисов Ю. Европейское качество // Леспроминформ, 2004, №9. – С. 86-87.
12. Маликова Г. Большой пеллетный обман, или Взгляд из кривого зеркала // Леспроминформ, 2007, №9. – С. 142-144.
13. Крылов С.В. Рациональное производство топливных гранул // Биоэнергетика, 2008, №2. – С. 24-25.
14. Шипкова Т. Россия в фокусе Германии // The BioenergyInternational. Россия, 2008, №1. – С. 4.
15. Плотников Д.А. Обоснование и разработка автономной установки для производства пеллет с энергообеспечением от перерабатываемого сырья. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ, 2008. – 24 с.
16. Ивин Е.Л., Глуховский В.М. Гранулирование древесины. Практические и теоретические основы, или Что происходит внутри гранулятора // Биоэнергетика, 2007, №2. – С. 64.
17. Шалашов А. П. Эффективные технологии переработки низкосортной древесины и древесных отходов // Леспроминформ, 2003, №6. – С. 36-38.
18. Дмитриева Н.П. Тепло из отходов // Биоэнергетика, 2006, №2. – С. 2-10.
19. Возобновляемый источник энергии будущего // Леспроминформ, 2007, №6. – С. 118-119.
20. Глуховский В. Древесные гранулы производят из любой породы // The BioenergyInternational. Россия, 2007, №1. – С. 10-11.
21. Вандышева А. Пеллеты: проблемы качества // Биоэнергетика, 2008, №2. – С. 46-47.
22. Туманов Ю. Подводные камни биоэнергетики // Леспроминформ, 2005, №3. – С. 54-56.
23. Мясоедова В. Композиции для пеллет и брикетов // The BioenergyInternational. Россия, 2007, №3. – С. 6-7.
24. Кукуруза, пшеница и соя букет для биотоплива // Леспроминформ, 2008, №3. – С. 140-141.
25. Яшин М. Энергия природы // Леспроминформ, 2009, №2. – С. 124-127.
26. Жислин Я.М. Оборудование для производства комбикормов, обогатительных смесей и премиксов. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Колос, 1981. – 319 с.
27. Кошелев А.Н., Глебов Л.А. Производство комбикормов и кормосмесей. – М.: Агропромиздат, 1986. – 176 с.

Sevastiyanova S.N.

BIOENERGETICS. WOOD (FUEL) GRANULES

Modern condition and perspectives of development of wood (fuel) granules production technologies in Russia and abroad are regarded in this article on the base of literary review. The demands to the process of saw dust granulation and peculiarities of this process are determined here.

Key words: bioenergetics, fuel granules, wood granules, pellets, granulator.

Сведения об авторе: Севастьянова Светлана Николаевна, ведущий специалист по работе с общественными организациями отдела по работе с общественными организациями и молодежными объединениями ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», 460018, Оренбург, пр-т Победы, 13, к.170714, тел.: (3532) 372453, 89033985301