

# ТЕХНОЛОГИИ МОШИНСОЗӢ – ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ – TECHNOLOGY OF MECHANICAL ENGINEERING

УДК: 531.8

DOI: 10.65599/RDLI1167

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ БИОМАССЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРА С ВОЛНОВЫМ ПРИВОДОМ

Б.Н. Акрамов, И.А. Исламов

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Рассматривается вопрос технологии изготовления топливных брикетов из биомассы (местного происхождения) для нужд сельского населения. Технология производства включает ряд этапов производства. Рассматриваются вопросы всех этапов производства: сырье из биомассы и его сбор и подготовка к обработке, формирование брикетов и т.д. Подробно рассматривается этап охлаждения и сушки топливных брикетов после их формирования на прессах ударного типа. Этап реализуется на специальном конвейере многосекционного типа и согласуется с параметрами (влажность и температура) топливного брикета. Конвейер при минимальных геометрических параметрах обеспечивает за счет специальной конструкции оптимальные условия. Приведен числовой расчет привода на основе оптимального выбора передаточных механизмов. Использование зубчатых механизмов нецелесообразно из-за большого передаточного числа привода, поэтому использован волновой зубчатый механизм.

**Ключевые слова:** биомасса, топливный брикет, технология изготовления, специальный конвейер, сушка и охлаждение брикетов, волновой зубчатый механизм.

## РУШДИ ТЕХНОЛОГИЯИ ТАЙЁР НАМУДАНИ БРИКЕТҲОИ СУЗИШВОРИ АЗ БИОМАССАҲО БО РОҲИ ИСТИФОДА БУРДАНИ КОНВЕЙЕРИ МАҲСУСИ ДОРОИ ҲАРАКАТОВАРАНДА БО МЕХАНИЗМИ МАВҶИ

Б.Н. Акрамов, И.А. Исламов

Дар мақолаи мазкур саволҳо оиди технологияи тайёрнамудани брикетҳои сузишворӣ аз биомассаҳои маҳали барои ниёзи мардуми дехот барасӣ мегарданд. Технологияи истеҳсоли брикет як қатор марҳалаи истеҳсолро дар бар мегирад. Саволҳо оиди ҳамаи зинаи истеҳсолот барасӣ мешаванд: ашёй ҳом аз биомассаҳо ва ҷамъоварии онҳо ва барои коркард тайёрнамудан, ташакули брикетҳо ва гайра дидо баромада мешаванд. Зинаи хунук ва ҳуҷакунии брикетҳои сӯзишворӣ байд аз ташакули онҳо дар зери мангани (пресс) зарбавӣ муфассал дидо мешаванд. Ин марҳала дар конвейрҳои намуди бисёрбахша амалӣ гардонида шуда ва бо параметрҳои (намнокӣ ва ҳарорат) брикетҳои сӯзишворӣ мутобиқ гардонида мешавад. Конвейр бо параметрҳои геометрии минимали аз ҳисоби соҳтори маҳсусашион шароити дурустӣ таъмин менамоянд. Дар асоси дуруст интиҳоб намудани адади гузариши механизмҳо ҳисоби рақами оварда шудааст. Истифодаи механизмҳои дандондор тавсия дода намешавад аз ҳисоби адади гузариши ҳаракатоваранда калон будан, аз ҳамин сабаб механизми дандондори мавҷи истифода шудааст.

**Вожаҳои қалидӣ:** биомасса, брикети сузишворӣ, технологияи тайёркунӣ, конвейри маҳсус, ҳуҷак ва ҳуҷакунии брикетҳо, механизми дандондори мавҷи.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PREPARATION OF FUEL BRIQUETTES FROM BIOMASS THROUGH THE USE OF A SPECIAL CONVEYOR WITH A WAVE DRIVE

B.N. Akramov, I.A. Ismatov

This article examines the technology for producing fuel briquettes from biomass (of local origin) for rural populations. The production process involves several stages. All stages of production are covered: biomass raw materials, their collection and preparation for processing, briquette formation, etc. The cooling and drying of fuel briquettes after their formation in impact presses is examined in detail. This stage is carried out on a dedicated multi-section conveyor and is tailored to the fuel briquette's specific parameters (moisture and temperature). The conveyor's special design ensures optimal conditions, despite its minimal geometric dimensions. A numerical calculation of the drive is presented based on the optimal selection of transmission mechanisms. The use of gear mechanisms is impractical due to the high drive ratio, so a wave gear mechanism is used.

**Keywords:** biomass, fuel briquette, manufacturing technology, special conveyor, drying and cooling of briquettes, wave gear mechanism.

Существуют различающиеся (незначительно) технологии изготовления топливных брикетов из биомассы, что определяется в первую очередь составом биомассы. В принципе в состав биомассы можно включать самые разные органические материалы, но в реальности это обычно отходы производства – остатки сельскохозяйственных растений (солома из-под пшеницы и других зерновых культур, гузапая от посевов хлопчатника и т.д.) и древесная клетчатка промышленного и природного происхождения (остатки кустарников и древесных растений). Точный состав используемой биомассы зависит от конкретного региона. Например, для Таджикистана это солома от зерновых культур (пшеница, рис и т.д.), отходы строительно – мебельного производства (опилки, обрезки и т.п.) и остатки растительного мира (старые деревья, кустарники и т.п.). Для регионов подобных Таджикистану топливные брикеты могут иметь большое экономическое и экологическое значения – незначительные и дорогие топливные ресурсы (нефть и газ практического значения не имеют, уголь низкого качества и в горных районах, удаленных от основных мест проживания населения), высокий прирост населения, малолесистая горная местность, хрупкая экологическая система (большое население, сконченное в одном месте, горная местность, жаркий климат (температура летом может достигать 50°C в тени при небольших водных ресурсах и т.д.). Поэтому

создание высокоэффективной и экономичной технологии создания топливных брикетов из дешевой (отходы сельскохозяйственного и промышленного производства) имеет важное значение [1].

Первым пунктом здесь стоит вопрос создания максимально широкой базы для биомассы (все что можно использовать), и вторым пунктом стоит вопрос эффективности производства топливных брикетов (максимально возможная дешевизна производства), третий вопрос – форма и размеры брикета для максимального удобства потребителя. Главный и основной потребитель – сельское население (для Таджикистана) – уголь малодоступен (низкое качество и дороговизна), практическая недоступность дров (отсутствие лесных массивов), отсутствие газа и нефти, ограничения на подачу электроэнергии (особенно в зимнее время, когда потребность в топливных ресурсах резко возрастает).

Для гражданского населения брикеты желательны небольших размеров (по опросам населения, это размеры стандартного кирпича), а сама форма непосредственно роли не играет. Для удобства доставки к месту назначения – предпочтительна многогранная форма – 3-х, 4-х или 6-ти - гранная (нецилиндрическая). С точки зрения производства форма топливного брикета особой роли не играет, а вот сам размер важен – он определяет процесс производства (чем меньше размеры брикета, тем важнее предварительная обработка биомассы – она должна быть более тщательно измельченной и перемешанной). Для оптимизации формы брикета можно воспользоваться математическими методами минимизации. Считаем, что цилиндр, при заданном объеме  $V$  фигуры, имеет максимальную площадь поверхности  $S$  (площадь, используемая для охлаждения и высушивания путем испарения жидкости через неё). Пусть  $L$  и  $D$  – длина и диаметр сечения цилиндра соответственно. Тогда объем  $V$  и площадь поверхности  $S$  можно выразить следующими выражениями:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * L$$

$$S = \pi * D * L + 2 * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Максимизируя это выражение (производную по площади приравниваем к нулю), получим:

$$L = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}} \text{ и } D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi}}$$

Итак, оптимальной формой с точки зрения сушки и охлаждения является топливный брикет кубической формы. Учтя предпочтения населения (маркетинг!), можно рекомендовать и призматическую форму (кирпич). Тогда необходимые размеры можно выбирать в следующих пределах: прямоугольное сечение  $D * (1,5 - 2,0) * D$  при длине  $L = (2,0 - 5,0) * D$ .

Технология изготовления топливного брикета включает в себя следующую последовательность технологических операций[2]:

- сбор биомассы (промышленных отходов на производстве – промышленные рабочие, остатков сельскохозяйственных растений на полях – фермеры и временные сельскохозяйственные рабочие, древесных остатков – коммунальные службы и т.д.);

- предварительную обработку биомассы из древесных остатков (деревья и кустарники) и промышленных отходов (ломку больших ветвей деревьев и кустарников на дрова, распиловку на малые размеры панелей, досок, бревен и т.п. Ветки и ветви кустарников и растений при этом желательно подвергать предварительному прессованию на прессах – дополнительное размельчение и уменьшение объема этого вида биомассы;

- непосредственное изготовление из подготовленной биомассы топливных брикетов (процессы ударно - прессового и фрезерного этапов обработки с целью окончательного измельчения и перемешивания биомассы). Этот этап имеет особую важность, т.к. качество топливного брикета как агента теплообразования зависит существенным образом от размеров частиц горения и однородности смеси – чем они выше, тем выше теплота теплообразования. В процессе прессования происходит выделение из биомассы природного связующего вещества лигнина, который скрепляет компоненты биомассы между собой;

- окончательная обработка топливных брикетов (придание им товарного вида), которая включает в себя процессы охлаждения и сушки топливных брикетов (создание устойчивой внешней формы) и их упаковку (на хранение или на отправку потребителю).

Рассмотрим один из этапов полного производства топливных брикетов – сушку и охлаждение брикетов. В процессе создания брикетов (процессы измельчения, перемешивания и прессования) создают в биомассе избыточную температуру, которая может достигать 80 – 1000 С (иногда и больше). Эту избыточную теплоту необходимо убрать, охладив топливный брикет до температуры близкой к температуре окружающей среды (+20-300С). Обычно (вне зависимости от времени года) это означает необходимость снизить температуру брикета на 50 – 600С. С точки зрения себестоимости продукта предпочтительно естественное охлаждение (за счет воздуха окружающей среды). Некоторые элементы биомассы могут иметь естественную высокую влажность (деревья и кустарники) и эту влагу они принесут в изготавляемый продукт. Естественно, процент влаги в топливном брикете зависит от доли этих компонентов биомассы и может варьироваться в значительных пределах. Эта влажность также ухудшает качество топливных брикетов как агентов теплообразования, и естественно она должна быть уменьшена

до допустимых ГОСТом пределов. Поскольку уменьшение температуры и влажности брикета - взаимосвязанные процессы, их целесообразно решать единым подходом[3-5].

Для решения этой проблемы авторы предлагают использовать процесс транспортировки сформированных топливных брикетов к месту упаковки для хранения или доставки потребителю. Транспортировку предлагается осуществлять специальным конвейером, который при минимальных габаритах (длина, ширина и высота) обеспечил бы максимальную длину перемещения и соответственно максимальное время транспортировки – оптимальные условия для сушки и охлаждения топливных брикетов. Сходя с конвейера, брикеты попадают на сетчатые стеллажи для естественного (атмосферный воздух) досушивания и доохлаждения.

На рис. 1 показана схема одной из секций предлагаемого конвейера. Число секций конвейера может колебаться от 3-4 до 7-8 в зависимости от состава и состояний биомассы (большое количество древесных и кустарниковых компонентов), а также от времени года (лето или осень – зима – весна с высокой влажностью).

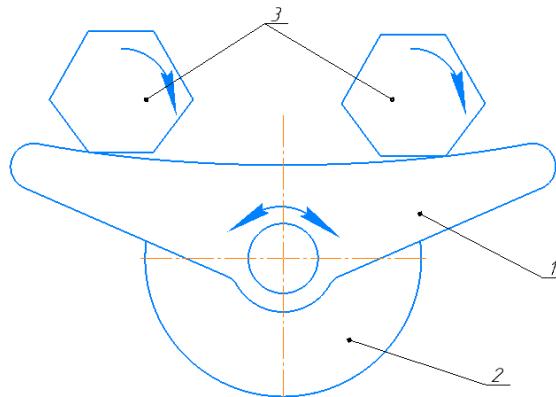


Рисунок 1 – Схема одной секции технологического конвейера:

1 – транспортирующий элемент тарелочного типа, 2 – зубчатый сектор цепи привода, 3 – топливный брикет.

Топливные брикеты, перекатываясь по рабочей поверхности секции, переходят с одной секции на другую. Секции устанавливаются с определенным сдвигом друг относительно друга, зависящим от числа элементов секции. Это обеспечивается средствами привода. При этом все поверхности топливного брикета равномерно (в одинаковой степени) подвергаются воздействию атмосферного воздуха, остывая и теряя влагу. При необходимости можно осуществлять подачу атмосферного воздуха принудительным способом (вентилирование) и после специальной обработки (нагревание и осушение).

Производительность конвейера зависит от числа секций. Время прохождения топливного брикета по рабочей поверхности одной секции можно точным образом установить экспериментально. Учитывая большое передаточное число привода (маленькую скорость поворота рабочего элемента секции), можно приблизенно оценить его в 1-2 минуты. Время прохождения брикетом по рабочей поверхности увеличивается в зависимости от ее формы и радиуса кривизны и может быть подобрано экспериментально. Авторы считают вполне возможным использовать гиперболические поверхности.

Производительность конвейера приближенно можно оценить следующим выражением:

$$P = n * v * k * m * N$$

где:  $n$  – число брикетов в одном линейном ряду,  $N$  – число элементов конвейера (число секций),  $v$  – скорость перемещения брикета по рабочей поверхности секции,  $m$  – масса одного брикета,  $k$  – коэффициент, учитывающий конструктивные и технологические особенности конструкции и условий работы.

Если радиус  $R=1\text{м}$ , то поворот на угол  $2\phi$  кулачкового вала соответствует времени перемещения брикета по поверхности кулачка  $t = \frac{2R}{v}N$ . По литературным источникам  $V$  при охлаждении от  $80^{\circ}\div 85^{\circ}\text{C}$  до  $10^{\circ}\div 15^{\circ}\text{C}$  должно лежать пределах  $V = \frac{2RN}{t} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10}{1500} = 0.0133\text{м/с}$ .

где:  $N=10$  - число секций,  $t=25$  минут - время контакта с конвейером.

$$n_K = \frac{60 \cdot 0.0133}{3.14(1+0.1)} = 0.23 \text{ об/мин.}$$

Примем двигатель серии 4А 112МА8У3;  $P_{\text{Э}}=2.2\text{кВт}$ ,  $n_{\text{Э}}=710\text{об/мин}$  [9-10].

$$U_{\text{ПР}} = \frac{n_{\text{Э}}}{n_K} = \frac{710}{0.23} = 380.9 \approx 381$$

$$U_{\text{ПЛ}} = \frac{U_{\text{ПР}}}{U_{12}} \approx \frac{381}{3} = 127$$

где:  $U_{12}$  (зубчатый сектор)=  $U_{12}$  (зубчатый сектор) =  $\frac{36}{12} = 3$  (z1-корегированный)

$$U_{\text{ПЛ}} = 3.15 \div 12.5\eta = 0.96 \div 0.98$$

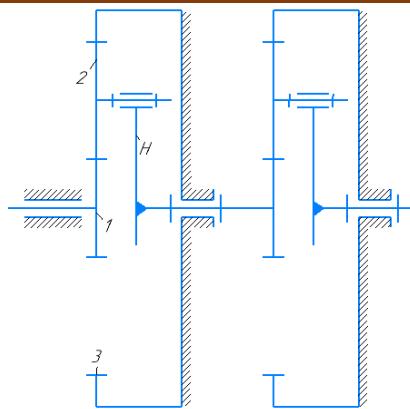


Рисунок 2 – Схема двухступенчатого планетарного механизма

Правильное распределение 2-х ступеней передачи (планетарный) (цель- минимизация габаритных размеров) [6-7].

$$a_W: \sqrt[3]{T}$$

Пусть  $T_1$  –на входе 1 – ступени. На выходе  $U_{12} \cdot T_1 \approx T_2$  (на входе 2-й ступени);

$$U_{OB} = U_1 \cdot U_2 = U_1 \cdot \frac{U_1}{\sqrt[3]{U_1}} = U_1^{\frac{5}{3}}$$

$$U_1^{\frac{5}{3}} = U_{OB}$$

$$U_1 = \sqrt[5]{U_{OB}^3} = \sqrt[5]{127^3}$$

$U_1 = 18.3$  - Планетарный редуктор не подходит ( $U_{max} \leq 12.5$ ).

Другие планетарные редукторы при высоких  $U$  имеют довольно низкий КПД. Единственный выход волновой зубчатый механизм.

Рассмотрим использование волнового зубчатого механизма.

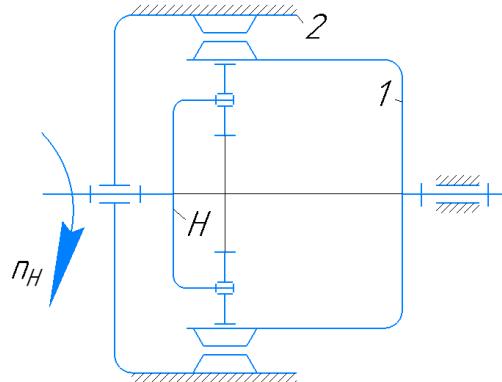


Рисунок 3 – Схема волнового зубчатого механизма

Передаточное число зависит от того, какое из колес 1 или 2 жесткое. При жестком колесе 2 (неподвижное колесо):

$$U_{H1}^2 = -\frac{z_1}{z_2 - z_1} = -\frac{127}{128 - 127} = -127$$

При этом гибкое колесо 1 вращается в направлении, обратном направлению вращения ротора Н. Если жесткое колесо 1 (подвижное):

$$U_{H2}^1 = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{127}{128 - 127} = 127$$

При этом жесткое колесо 1 поворачивается в направлении вращения генератора Н.

Выбор схемы произволен, т.к. привод можем привести к валу кулачка с соответствующим направлением вращения (соседние кулачки связаны друг с другом перекрестной ременной передачей) [8].

## Выводы

Производство топливных брикетов из местной биомассы (отходы промышленного и сельскохозяйственного производства, остатки древесной растительности и т.д.) экологично и

востребовано. Рассмотренная в статье технология включает специальный конвейер, который позволяет при минимальных габаритах произвести сушку и охлаждение полученных топливных брикетов, имеющих переменные параметры влажности и температуры до требуемой кондиции (за счет дополнительных секций конвейера). Приведен числовой расчет специального конвейера с волновым приводом.

*Рецензент: Гайбуллаева З.Х. — д.т.н., и.о. профессора кафедры «Технология химического производства» ТГПУ имени академика М.С. Осими*

## Литература

1. Коринчук Д.М. Выбор сушильной установки мобильного комплекса производства топливных брикетов и гранул из биомассы / Д.М. Коринчук // Вестник национального технического университета Украины, – Киев (серия химическая инженерия, экология и ресурсосбережение), №2(8), с. 37 – 41 – 2011
2. Бунецкий В.О. Анализ технологических процессов создания топливных брикетов / В.О. Бунецкий // Вестник ЦНЗ АПВ Харьковской области, вып 10, с. 328 -340 – 2011
3. Семирненко Ю.И., Семирненко С.Л., Довжик М.Я. Усовершенствование технологии изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы / Ю.И., Семирненко С.Л Семирненко., М.Я. Довжик // журнал «Молодой ученый», серия Технические науки, №10 (57), Октябрь 2013, с. 190 - 192
4. Трошин А.Г., Моисеев В.Ф., Тельнов И.А., Завинский С.И. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы / А.Г. Трошин., В.Ф. Моисеев., И.А., Тельнов С.И., Завинский. // – Восточно – Европейский журнал передовых технологий 3/8 (45), 2010 – с.36 -40
5. Гомонай В.М. Производство топливных брикетов / В.М. Гомонай // – М.: ГОУ МИО МГУЛ, 2006 – 68 с.
6. Фролов К.В. Теория механизмов и механики машин: учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов; под редакцией К.В. Фролов: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. -664с. ISBN 5-7038-1766-8.
7. Коловский М. З. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов по машиностроит. спец. / М.З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008-460с.
8. Матвеев Ю.А. Матвеева Л.В. Теория машин и механизмов: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Матвеев, Л.В. Матвеева - М.: Альфа - М, ИНФРА-М 2009 - 320 с. ISBN 978-5-98281-150-9
9. Иванов М. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов - 12-е изд. испр. - М.: Высш. школа, 2008. — 408 с:
10. Дунаев П.Ф. Леликов О.П. Курсовое проектирование детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов -2-е изд., перераб. и доп. – Высш. шк., 1990.–399с., ISBN 5-06-000696-4

## МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Акрамов Баҳром Ниёзович	Акрамов Баҳром Ниязович	Akramov Bahrom Niyazovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикисон ба номи академик М.С. Осими		
Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi	
E-mail: <a href="mailto:akramov57@bk.ru">akramov57@bk.ru</a>		
TJ	RU	EN
Исматов Исмоилҷон Аҳмадовиҷ	Исматов Исмоилҷон Аҳмадовиҷ	Ismatov Ismoiljon Akhmadovich
н.и.т. и.в., дотент	к.т.н., и.о., доцент	Candidate of Technical Sciences, acting Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикисон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:ismatov.ismoiljon@mail.ru">ismatov.ismoiljon@mail.ru</a>		