



УДК 620.952.003.13

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-4

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ОСТЕКЛОВАННЫХ ПЕЛЛЕТ – ЗАЛОГ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бунецкий В. А.¹, инженер,
Бондаренко М. В., к. т. н.²

¹ Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко

² Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара
e-mail: engineering@bm-biomass.com

Аннотация – в статье рассмотрены основные технические принципы и преимущества создания энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства на основе сушильного комплекса СК-3. Проанализированы основные преимущества использования многостадийного измельчения древесины во время эффективного пеллетирования топлива. Сформулированы основные подходы и конструктивные особенности автоматизированных пеллетных линий, в состав оборудования которых входит сушильный комплекс СК-3.

Ключевые слова: сушка биомассы, пеллеты, сушильный комплекс СК-3, энергоэффективность, удельные производственные затраты, многостадийное измельчение.

В основу создания эффективного пеллетного производства положена такая технология, которая позволяет производить из имеющегося у инвестора сырья высококачественные пеллеты, сертифицированные по европейским стандартам [1]. Эта технология должна учитывать конкретные физико-химические и реологические свойства биосырья, и на их основе определять метод подготовки, деструкции и прессования готовой продукции. Научно-техническое обоснование такой технологии дает возможность на практике построить эффективно работающее, и дающее прибыль пеллетное производство. Энергетический мониторинг используемых технологий в пищевых производствах [5] и на маслоэкстракционных [6] предприятиях показал, что для повышения энергоэффективности огромное значение имеют методы подготовки сырья.

Компания VM-Engineering, постоянно проводя научно-исследовательские работы по модернизации сушильного комплекса СК-3, перешла к совершенствованию и испытаниям новейшей технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет.



Остеклование – такой физико-химический процесс изменения структуры древесины и других видов биомассы, при котором происходит переход термопластичных биополимеров из твердого упруго-вязко-пластичного состояния в остеклованное. Эти преобразования проходят в древесине под действием комплекса физических факторов (температуры и давления) в условиях определенной влажности [3, 4].

Поверхностно-остеклованные пеллеты (ПОП) по своим потребительским качествам соответствуют обыкновенным, отличаясь от них более твердой и гидрофобной наружной поверхностью, которая предохраняет их от рассыпания, и замедляет размокание пеллет при хранении в условиях высокой влажности. Такие пеллеты практически не разрушаются после упаковки, их можно хранить намного дольше одного года (отопительного сезона). Это – очень важное преимущество, т. к. обычные пеллеты быстро разрушаются и теряют потребительские свойства. Поэтому остеклованная продукция более предпочтительна для использования в качестве биотоплива при производстве тепловой энергии.

Для практической реализации разработанной технологии производства ПОП был разработан проект линии для изготовления такой продукции из биосырья различного происхождения. Основные узлы линии можно варьировать в зависимости от вида исходного сырья и типа получаемого готового продукта. Базовый проект линии, использующей в качестве сырья щепу, представлен на рис. 1.

На схеме рис.1. использованы такие обозначения:

M1 – бункер теплогенератора;	M16 – узел загрузки сырья;
M2 – узел выхода золы;	M17 – конвейер измельчителя;
M3 – устройство подача воздуха в топку;	M18 – измельчитель сырья;
M4 – устройство подача воздуха в теплообменный агрегат (ТОА);	M19 – конвейер просеивателя;
M5 – бункер сушиллки;	M20 – просеиватель узла первичного измельчения;
M6 – сушилка барабанная;	M21 – конвейер диспергаторов;
M7 – циклон-аспиратор;	M22 – диспергатор шнековый (1);
M8 – конвейер подачи топлива;	M23 – диспергатор шнековый (2);
M9 – конвейер подачи сырья;	M24 – просеиватель узла вторичного измельчения;
M10 – отвод сырья воздушный;	M25 – щепорез;
M11 – шлюзовик отвода материала;	M26 – гранулятор (1);
M12 – шлюзовик циклона аспирации;	M27 – гранулятор (2);
M14 – упаковочная машина;	M28 – охладитель-сортировщик, теплогенератор, теплообменник-утилизатор и трубы выхлопные.
M15 – отгрузка топлива;	

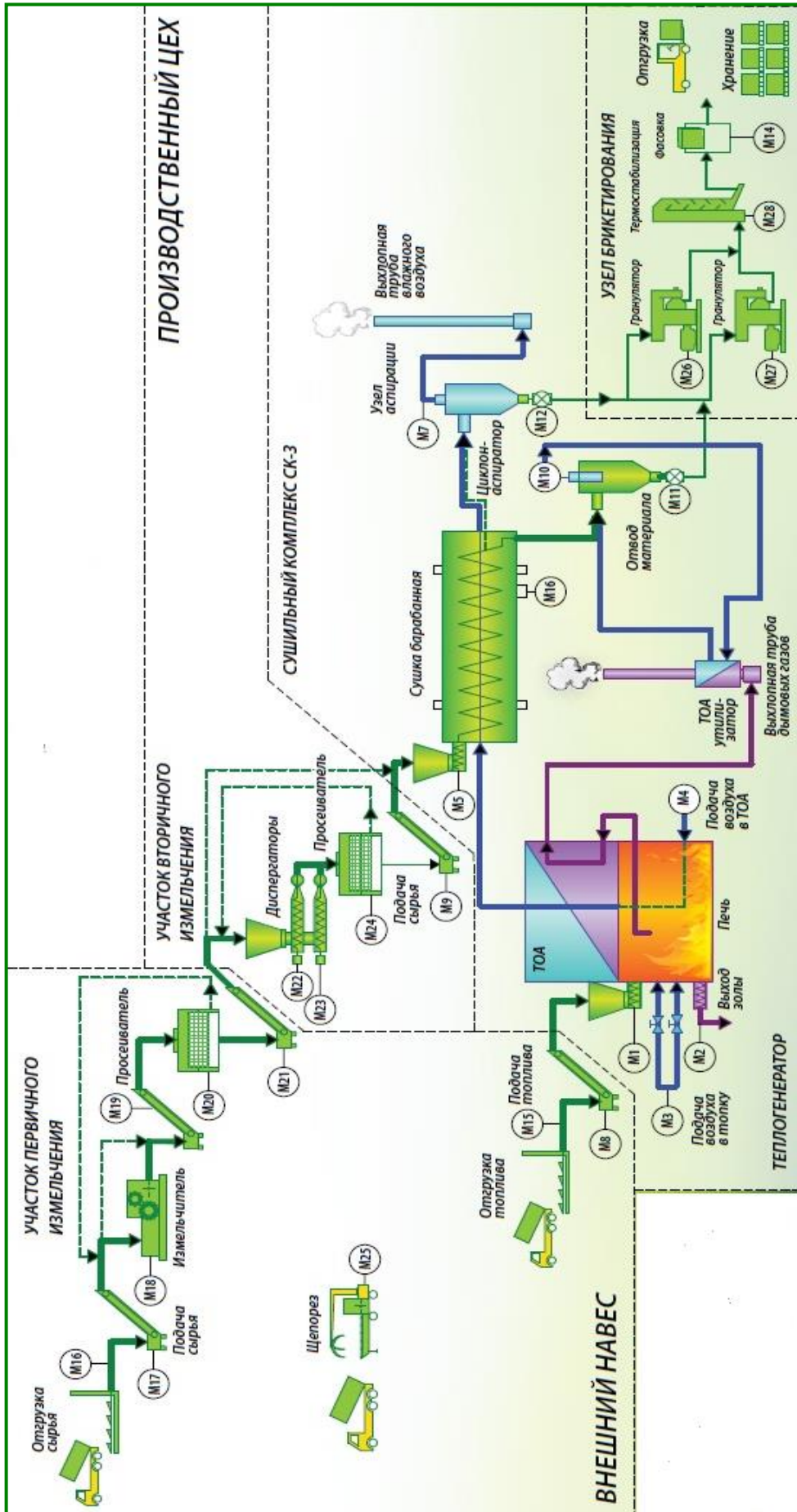


Рис. 1. Проект линии для производства пеллет на щепе. Производительность 1 т/ч. Принципиальная схема

Предлагаемая компанией VM-Engineering линия по производству поверхностно-остеклованных пеллет (рис. 1, 2) состоит из таких основных технологических участков:

1. Разгрузки и хранения сырья;
2. Первичного измельчения сырья;
3. Вторичного измельчения сырья;
4. Сушильного комплекса СК-3;
5. Смешивания подготовленного сырья;
6. Грануляции подготовленной биомассы;
7. Охлаждения и фасовки готовой продукции.

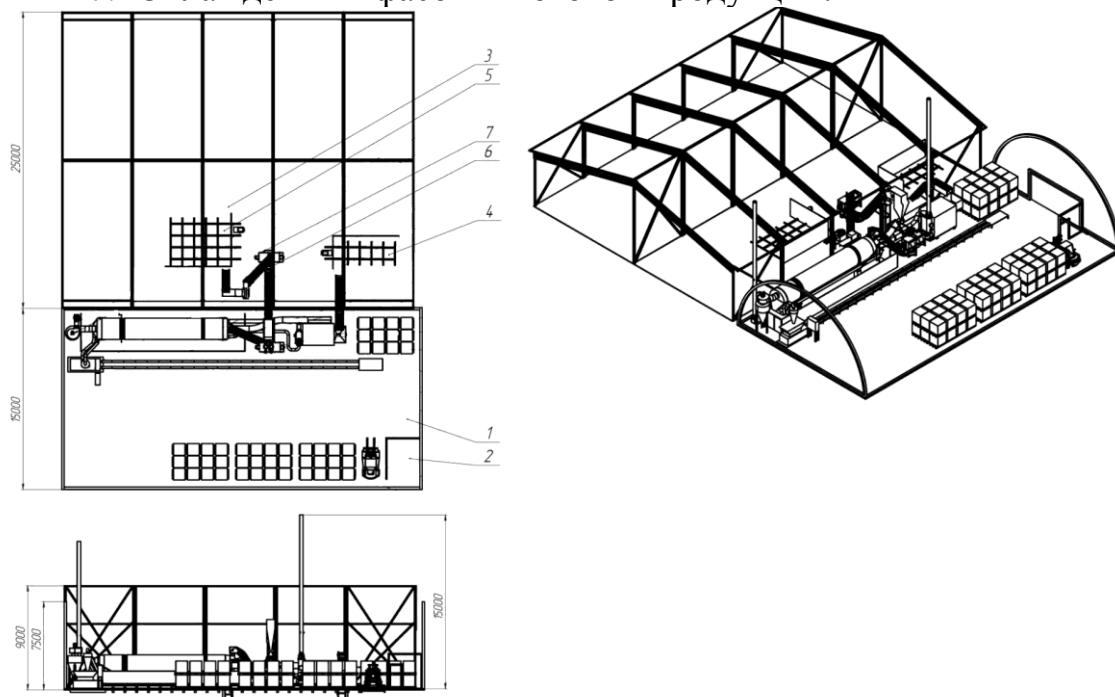


Рис. 2. Проект производственного помещения для линии производства пеллет из щепы. Производительность - 1 т/ч.

Узлы измельчения и предварительной подготовки сырья предназначены для подготовки к сушке и последующей грануляции фракций сырья нужного размера, а также очистки его от нежелательных примесей. На этом этапе выполняют окорку колод диаметром от 70 мм для получения пеллет класса **ENplus A1**, измельчение колод до размера щепы, и измельчение щепы до фракции частиц, необходимого для грануляции размера.

При измельчении древесины следует обращать внимание на такие особенности технологического процесса:

- для механического измельчения древесины можно использовать технологии раскалывания, помола и резания;

- измельчение влажной древесины требует меньших затрат энергии, по сравнению с сухой, и следовательно, является более эффективным экономически.

На основе анализа особенностей переработки древесины с точки зрения преобразования биополимеров [5, 6], можно сделать такие выводы:

1) при выборе технологии измельчения древесины необходимо использовать такое оборудование, которое ориентировано именно на работу с древесиной, как упруго-пластичным и пористым материалом. Например, оборудование для измельчения зерна – хрупкого материала, требует других технологических подходов. Среди наиболее подходящих для измельчения древесины механизмов - шредеры и барабанные измельчители. Они отличаются использованием технологии раскалывания, в то время как действие дисковых измельчителей основано на использовании эффекта рубки. Ножевые режущие установки, диспергаторы с эффектом размалывания эффективнее молотковых измельчителей, использующих для измельчения эффект удара (рис. 3, 4);

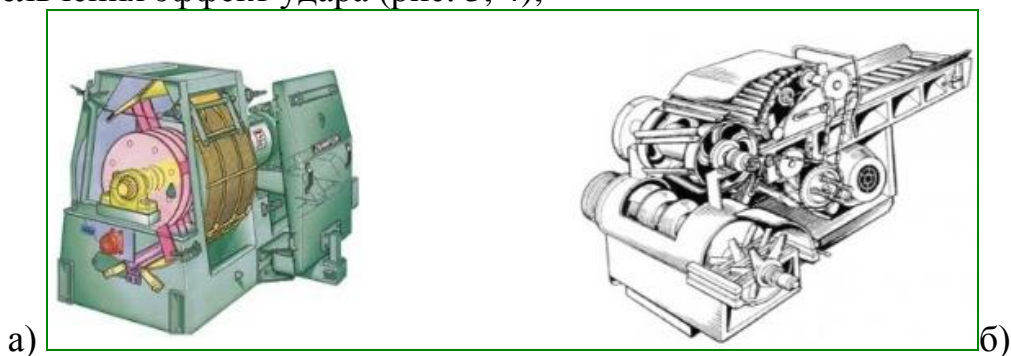


Рис. 3. Молотковый (а) и режущий (б) измельчители



Рис. 4. Измельчители тонкого помола

2) с точки зрения минимизации энергозатрат, все этапы измельчения сырья выгодно проводить до его сушки (рис. 5). При этом сам процесс обезвоживания будет интенсифицирован, а его скорость повысится. В результате время, необходимое для сушки, будет сокращено, а эффективность и производительность сушки будут повышены. Это приведет к экономии удельных производственных расходов за счет снижения затрат электроэнергии на этапах измельчения сырья перед грануляцией;



Рис. 5. Зависимость потребления энергии при одностадийном измельчении от глубины измельчения для биомассы разной влажности

3) контроль качества измельчения и просеивание сырья с использованием барабанных сепараторов и активных циклонов [2, 3] после каждого этапа измельчения, является важной особенностью участка измельчения. Необходим переход на многостадийное измельчение (рис. 6) с возвратом недостаточно измельченного ценного сырья в производственный процесс после каждой стадии измельчения. При этом уменьшатся потери сырья. А в готовой продукции будет увеличено содержание самой качественной, мелкой фракции, что повысит его удельную теплотворную способность.

Многостадийное измельчение (рис. 6) также помогает соблюсти "золотое правило измельчения" – значительную экономию энергии при поэтапном измельчении сырья в разных аппаратах линии пеллетирования. Это приводит к экспоненциальному снижению затрат на измельчение.

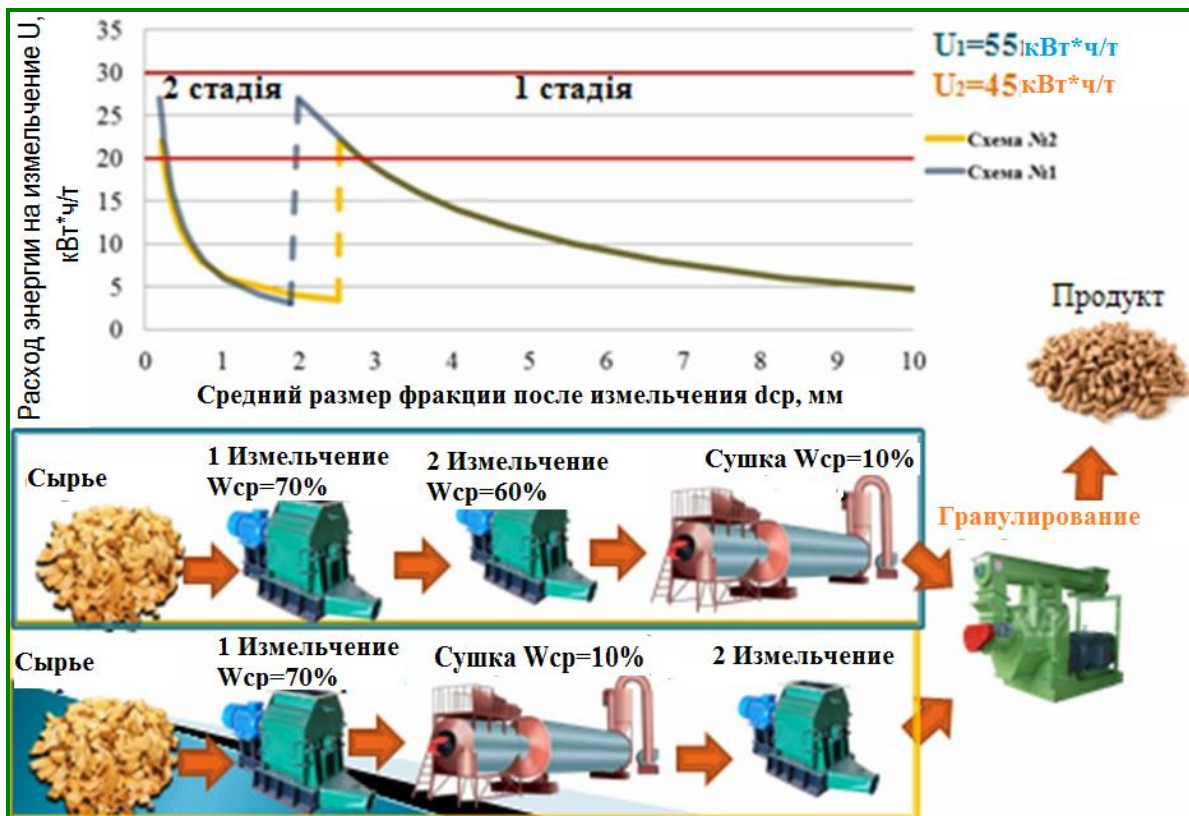


Рис. 6. Варианты комбинаций стадий измельчения молотковыми дробилками с учетом зависимости энергозатрат при двухстадийном измельчении влажного сырья до мелкой фракции ($x < 0,63$)

Применение многостадийного процесса измельчения сырья до фракции древесной муки, необходимого для производства одной тонны пеллет из поленьев, можно выполнить с энергозатратами около 100 кВт*ч, вместо обычных 160-180 кВт*ч. Это позволит на комплексе производительностью 1 т/ч экономить около \$12 тыс. ежегодно только на электропотреблении участка измельчения. Также многостадийность измельчения значительно снижает количество поломок и износ оборудования, что также удешевляет технологический процесс. Общий расчет затрат для линии грануляции, использующей технологию изготовления поверхностно-остеклованных пеллет, показан в таблице 1 и диаграмме на рис. 7.

Этап сушки и прогрева сырья перед грануляцией в технологической линии производства поверхностно-остеклованных пеллет обеспечивает оборудование сушильного комплекса СК-3.

Этапы грануляции, охлаждения гранул и фасовки в технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет аналогичны тем, которые используют в классической комбикормовой технологии. Преимущество состоит в повышении производительности гранулятора, и уменьшении доли гранул, которые рассыпаются на этапе охлаждения и фасовки.

Таблица 1

Сравнение параметров технологий для пеллетирующего оборудования. Производительность 1/ч из сырья с относительной влажностью 50%

Параметр	Комбикормовая технология				МБ-3			Торрефикация		Древесный уголь
	Белые пеллеты ENplus B (сушка 300°C)	Белые пеллеты ENplus B (сушка 120°C)	Поверхностно-остекло-ванные пеллеты ENplus A2 (сушка 180°C)	Поверхностно-остекло-ванные пеллеты ENplus A1 (сушка 120°C)	Остеклованные пеллеты ENplus A1 (90°C)	Плавленный биоуголь (120°C)	Плавленный биоуголь (140°C)	Торреф. пеллеты (сушка 220°C)	Торреф. пеллеты (сушка 300°C)	
Теплотворная способность, МДж/кг	17	17,5	18	18	19	21	22	21	22	26
Входящая сырьевая фракция	щепы	бревна	щепы	бревна	щепы	щепы	щепы	щепы	щепы	дрова
Потеря массы, %	0	0	0	0	0	5%	10%	15%	30%	67%
Возможное количество дней работы в течение года	250	250	345	345	345	345	345	230	230	325
Количество дней ремонта в год	40	40	20	20	20	20	20	60	60	40
Расход электроэнергии, кВт*ч/т	170	260	150	215	150	170	190	180	200	
Расход сырья на сушку, %	30	30	23	23	0	0	0	40	50	
Себестоимость производства (1 т/ч)	89	104	73	89	57	60	63	115	151	200
Капитальные затраты (тыс. \$/(1т/ч)	250	500	350	450	800	800	800	800	800	2 200
Срок хранения готовой продукции. vtczwtd	1	6	18	18	72	72	72	24	36	72
Цена оптовая, \$/т	100	150	110	150	150	170	180	170	180	300

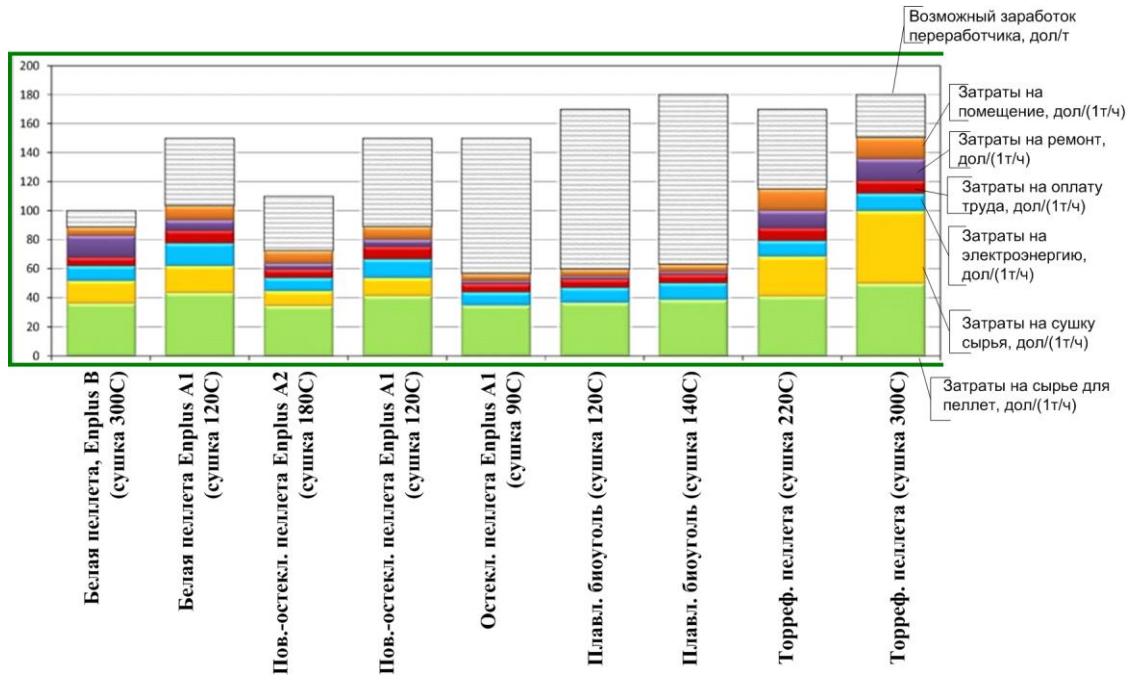


Рис. 7. Сравнение себестоимости производства топливных пеллет для разных технологий

Преимущества предлагаемой линии для производства поверхностно-остеклованных пеллет представлены в таблице 2.

Важным аспектом создания экономически эффективного комплекса по производству поврехностно-остеклованных пеллет является система автоматизации, которая оптимально регулирует все этапы технологического процесса.

Выводы.

Впервые предложенная линия по производству поверхностно-остеклованных пеллет на базе сушильного комплекса СК-3 обладает такими основными преимуществами по сравнению с традиционным оборудованием АВМ-1,5:

1) За год эксплуатации потребляет на 10% меньше сырья, что соответствует приблизительно 800 тоннам биомассы и \$15 тыс. экономии средств на приобретение сырья.

2) На переработку 1 тонны биомассы потребляет на 100 кВт*ч электроэнергии меньше, что соответствует общему энергопотреблению 600 МВт*ч или \$35 тыс. экономии на оплату электроэнергии в год.

3) Для грануляции 1 тонны сырья в час в технологической линии СК-3 можно использовать только один гранулятор ОГМ-1,5. А в линии на базе АВМ-1,5 необходимо использовать два таких гранулятора. Это приводит к удорожанию стоимости линии (повышению капитальных затрат) и повышает удельные эксплуатационные расходы.



Таблица 2

Преимущества линии для производства поверхностно-остеклованных пеллет

№ п/п	Технологическое решение	Результат*	Финансовый показатель*
1	Измельчение влажного сырья.	Уменьшение энергопотребления на стадии измельчения (около 30 кВт*ч на тонну производимых пеллет) и снижение износа измельчителей (продление срока службы в 1,5-5 раз).	Экономия до \$20 000 в год.
2	Применение ножевого измельчения.		
4	Применение истирающих измельчителей.		
2	Переход к многостадийному измельчению, применение просеивателей измельченного сырья	Контроль качества помола, уменьшение износа оборудования, обеспечение корректной работы сушки.	
5	Адаптированный к использованию мелкодисперсионной биомассы сушильный комплекс СК-3.	Контроль за качеством сушки, пожарная безопасность**, снижение затрат сырья, используемого в качестве топлива.	Экономия от \$25 000 в год**
6	Сушка чистым воздухом.	Обеспечение качественного сырья, возможность производить гранулы класса ENPlus A2, ENPlus A1.	Дополнительная прибыль от \$100 000 в год***
7	Подогрев сырья	Увеличение производительности гранулятора до 90% за год.	Дополнительная прибыль от \$35 000 в год.
8	Климатическая термокомпенсация.	Стабилизация производства пеллет вне зависимости от сезонных колебаний на уровне 1000 кг/час с OEM 1,5.	
9	Автоматизация и контроль технического процесса.	Экономия сырья, используемого в качестве топлива (до 15% от общего объема сырья в год).	Экономия до \$15 000 в год.
10	Разделение потоков воздуха, используемых для сушки и для переноса сырья.	Уменьшение потребления ресурсов на этапе сушки на 50% (100 кВт*ч/ т пеллет).	Экономия до \$35 000 в год.
*По сравнению с распространенными линиями на базе АВМ-1,5 при работе 7000 часов/год.			
** По статистике, при использовании сушек АВМ, один раз за 2 года работы линии происходят пожары. Под экономией подразумевается защита от потери производственной линии или получения убытков на сумму сгоревшего оборудования. Не учитывается неполученная прибыль в результате вынужденного простоя.			
*** Возможность сертификации и продажи пеллет по цене от \$200/тонну при торговле напрямую со странами ЕС.			



4) Использование СК-3 позволяет производить экологически чистые пеллеты класса EN1plus. Продавая такие пеллеты на рынке в Европе и Украине, получают прибыль на 50-300% выше, чем при производстве не сертифицированных пеллет.

5) Применение сушильного комплекса СК-3 компенсирует влияние климатических условий на качество производимой пеллетной продукции. При этом количество продукции, которую прессуют на ОГМ-1,5 возрастает почти в 2 раза. Т. е. производительность ОГМ-1,5 возрастает на 3500 т/год, и дает дополнительно прибыль в \$35 тыс.

6) Применение сушильного комплекса СК-3 снижает износ матриц гранулятора за счет повышения реакционной способности перерабатываемого сырья.

Все линии по пеллетированию биомассы, разработанные компанией на базе технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет, получают гарантию качества продукции и выгодно отличаются от оборудования, предлагаемого другими производителями, которые в своих проектах не учитывают особенности технологии переработки биополимеров.

Список використаних джерел

1. Бунецький В. Тверде біопаливо. Необхідність галузевого рішення. *Проблеми теплофізики та теплоенергетики*: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23-26 травня 2017 р.). URL: <http://ittf.kiev.ua/konferenciy/2017-nan-ukra%D1%97ni-ye-organizatorom-abo-spivorganizatorom/x-mizhnarodna-konferenciya-problemi-teplofiziki-ta-teploenergetiki/programa/> (дата звернення: 13.03.2019).

2. Циклон малого диаметра с активным инерционным пылеуловителем ЦсАИП-4+. Руководство по эксплуатации. ТУ У 29.5-2571100774-001:2011. 24 с.

3. Корінчук Д. М. Обґрунтування енерговитрат стадії подрібнення в технологіях виробництва біопалив. *Науковий вісник НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2018. № 268. С. 90-100.

4. Корінчук Д. М. Вплив температурної та фізико-механічної активації біомаси на енерговитрати процесу пресування біопалив деревинного та рослинного походження. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 5. С. 111-118.

5. Бурдо О. Г., Семков С. В., Сталымбовская А. С. Энергетический мониторинг пищевых технологий. *Интегрированные технологии и энергосбережение*. 2007. № 3. С. 71-78.

6. Бандура В. М., Маренченко О. І., Пилипенко Є. О. Енергетичний моніторинг олійного виробництва. *Наукові праці*



[Одеської національної академії харчових технологій]. 2017. Т. 81, вип. 1. С. 39-44.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВО-ОСКЛОВАНИХ ПЕЛЕТ – ЗАПОРУКА СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Бунецький В. А., Бондаренко М. В.

Метою розроблення технології виготовлення високоякісних поверхнево засклованих пелет з біомаси, що будуть сертифіковані за європейськими стандартами, є проектування та впровадження на її базі сучасного технологічного обладнання. Розроблена технологія повинна урахувати конкретні фізико-хімічні та реологічні властивості сировини, та відповідно до них визначати метод підготування, деструкції та пресування готової продукції. Науково-технічне обґрунтування такої технології дасть змогу на практиці побудувати прибуткове пелетне виробництво, що працюватиме ефективно. Під час розроблення технології виробництва поверхнево засклованих пелет було використано такий **метод** зміни структури деревини та інших видів біомаси, за використання якого здійснюється перехід термопластичних біополімерів з твердого пружно-в'язко-пластичного стану до засклованого. Ці перетворення реалізуються у деревині під дією комплексу фізичних факторів (температури та тиску) в умовах певної вологості. Головним результатом використання розробленої технології є її успішне застосування у конструкції та режимах експлуатування у лінії з виробництва поверхнево засклованих пелет на базі сушильного комплексу СК-3.

Вперше запропонована лінія з виробництва поверхнево засклованих пелет на базі сушильного комплексу СК-3 має такі основні переваги порівняно з традиційним обладнанням АВМ-1,5:

- 1) за рік експлуатування споживає на 10% менше сировини (800 тон біомаси, або \$15 тис. економії на сировині);
- 2) на переробку 1 тони біомаси споживають на 100 кВт електроенергії менше, що відповідає економії 600 Мвт*ч або \$35 тис. на рік;
- 3) для грануляції 1 тони сировини на годину СК-3 використовує один гранулятор ОГМ-1,5, а для АВМ-1,5 необхідно два таких гранулятора;
- 4) використання СК-3 дозволяє виробляти пелети класу EN1plus.

Ключові слова: сушіння біомаси, пелети, сушильний комплекс СК-3, енергоефективність, питомі виробничі витрати, багатостадійне подрібнення.

THE SURFACE-GLAZED PELLETS TECHNOLOGY USING IS GUARANTEE EFFECTIVE PELLETS MANUFACTURE

V. Buneckiy, M. Bondarenko

Summary

The technology for the production of high-quality surface-glazed pellets from biomass certified according to European standards developing purpose is the design and



implementation of modern technological equipment on its base. The developed technology should take into account the specific physical, chemical and rheological properties of raw materials and according to them determine the preparation method, destruction and compression of finished products. The scientific and technical justification of such technology will enable to build in practice a profitable pellet production that will work efficiently. During the development of the surface-glazed pellets production technology, this method was used to change the structure of wood and other types of biomass, which using allows the thermoplastic biopolymers transition from solid elastic-visco-plastic condition to a glazed. These transformations are realized in wood under the influence of a complex of physical factors (temperature and pressure) under conditions of certain humidity. The main result of developed technology using is its successful application in the design and operating modes in the production line of surface-glazed pellets based on the CK-3 drying complex.

Conclusions. The first proposed line for surface-glazed pellets production on the basis of the CK-3 drying complex has the following main advantages in comparison to traditional equipment ABM-1,5:

- 1) consumes 10% less raw material per year (800 tons of biomass, or \$ 15 thousand of raw materials);
- 2) for recycling 1 ton of biomass consumes 100 kW less of electricity, which corresponds to saving 600 MW * h or \$ 35 thousand per year;
- 3) For granulation 1 ton of raw material per hour CK-3 uses one granulator OGM-1,5, and for ABM-1,5 two such granulators are necessary;
- 4) the CK-3 using allows the production of EN1plus class pellets.

Keywords: biomass drying, pellets, drying complex CK-3, energy efficiency, specific production costs, multistage chipping of wood.