

УДК 620.952:631.365

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-55-67

## СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СК-3

Бунецкий В. А., инженер

*ООО VM-Engineering, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко*

Бондаренко М. В., к. т. н.

*Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара*

Тел.: 050-502-66-46

**Аннотация** – в статье рассмотрены основные технические особенности и преимущества создания энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства на базе сушильного комплекса СК-3. Проанализированы основные ошибки использования бывших в употреблении линий сушки травяной муки и предложено современное и эффективное пеллетирующее оборудование. Сформулированы основные подходы и конструктивные особенности пеллетных линий в зависимости от сырьевой базы.

**Ключевые слова** – сушка биомассы, пеллеты, сушильный комплекс СК-3, экологичность производства, энергоэффективность, удельные производственные затраты, теплогенератор.

**Постановка проблемы.** В последние годы на территории Украины многие компании пытаются создать пеллетные производства. Попытки реализации таких проектов обусловлены:

– наличием разнообразной сырьевой базы в виде отходов деревообработки и сельского хозяйства;

– широким предложением бывшего в употреблении оборудования, первоначально предназначенного для сушки травяной муки;

– развитием альтернативной энергетики, в связи с постоянным удорожанием ископаемых видов топлива;

– бытующим у большинства инвесторов мнением о том, что для создания подобных производств не нужно разрабатывать сложного полномасштабного проекта с учетом знания технологии переработки биомассы и основ современного пеллетного производства. Они считают достаточным смонтировать оборудование

и надеются, что оно само выйдет на оптимальный режим эксплуатации.

Все эти массовые заблуждения не позволяют создать эффективное пеллетное производство. При этом на современном украинском рынке пеллетирующего оборудования практически отсутствуют предложения качественных сушилок для биомассы, сравнительно доступных по капитальным вложениям, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты, высокое качество готовой продукции и соблюдение экологических норм производства при заданной производительности.

*Анализ последних исследований.* В настоящее время широко распространенные аэродинамические и совмещенные измельчительно-аэродинамические сушилки требуют очень высоких удельных эксплуатационных затрат и отличаются низкими производительностью и качеством пеллетной продукции. Затраты на их приобретение практически никогда не окупаются. Причины такой низкой эффективности кроются в том, что они были разработаны еще во времена СССР в расчете на низкую стоимость энергоносителей и высокую стоимость тонины помола биомассы. В настоящее время эксплуатация таких комплексов приводит к чрезмерно высоким затратам топлива и электроэнергии, что вызвано несогласованностью режимов сушки и измельчения, высоким аэродинамическим сопротивлением и завышенными расходами сушильного агента. Энергетический анализ процесса производства твердого биотоплива показал, что затраты энергии на предварительную сушку с последующим измельчением сухой и более твердой биомассы значительно превышают количество энергии, необходимое на измельчение влажного сырья [5].

Поэтому в современных экономических условиях особенно остро стоит научно-техническая задача разработки технологии производства высококачественных поверхностно-остеклованных пеллет и проектная реализация на ее основе энергоэффективного сушильного комплекса, предназначенного для сушки измельченной биомассы различного происхождения: древесины (порубочных остатков), травы, отходов деревообработки и сельского хозяйства и др.

Основные ошибки, возникающие при эксплуатации оборудования, не учитывающего технологию переработки биомассы в биотопливо.

В последнее время отечественные производители биомассы часто используют трехходовую барабанно-аэродинамическую сушилку АВМ, для которой характерны высокие энергозатраты на единицу производимой продукции и повышенная пожароопасность. Так как сушилку харьковские разработчики изначально

предназначали для высокотемпературной сушки и дезинтеграции (разрыва органических клеток) мокрой травы, то она хорошо работает с мелким и очень влажным сырьем с относительной влажностью 70-80%. А древесные опилки в сушилках типа АВМ спекаются, попадая в струю пламени в сильном потоке воздуха. При этом, частицы древесины быстро высыхают, а их поверхность оплавляється и чернеет, а внутри они остаются влажными. По термодинамике этот процесс напоминает получение корочки на поверхности свежее выпеченного хлеба. Для анализа процессов, протекающих при высокотемпературной сушке смеси биополимеров с использованием подачи горячего воздуха, были использованы подходы к расчетам из статьи [7].

Крупные частицы биомассы, случайно попавшие в сушилку, скапливаются и налипают внизу барабана. Сила аэродинамического потока оттуда их не выносит. В результате, сырье часто пересушивают, что приводит к возгоранию или взрыву сушилки. При несоблюдении расчетных величин влажностного и фракционного состава сырья, а также его расхода, отсутствии автоматического контроля мощности сушилки, ее эксплуатация теряет стабильность и надежность.

Распространенная ошибка – сушка биомассы дымовыми газами, полученными в теплогенераторе, в котором сжигают влажное топливо (рис. 1). Такую технологию может использовать только нерадивый и технически неграмотный производитель пеллет. При этом происходят значительные выбросы в атмосферу загрязненных дымовых газов, что запрещено экологическим законодательством. Кроме того, высушиваемое сырье сильно загрязняется, что приводит к увеличению на 0,2-3 % зольности готовых пеллет. Те специалисты, которые профессионально разрабатывают проекты пеллетных производств «под ключ» и заботятся об экологии, качестве выпускаемых пеллет и стоимости готовой продукции, используют технологию сушки только чистым воздухом, соблюдают технологические режимы и так рассчитывают параметры работы оборудования, чтобы условия сушки биомассы не находились в зонах термодеструкции смеси органических полимеров.

На украинском рынке, к сожалению, пока не используют распространенные в развитых странах барабанные и ленточные сушилки для энергетической биомассы. Их также не производят в Украине. Предлагаемые у нас бывшие в эксплуатации сушилки сильно изношены, а новые зарубежные очень дороги, их стоимость составляет в среднем \$ 200 000-\$ 300 000 для производительности оборудования 1000 кг/час.



Рис. 1. Системы удаления влаги из биосырья.

В работах [1, 2, 3] были предложены инновационные подходы к переработке биомассы, при использовании которых вместо сушки биосырья были предложены его мойка, измельчение и последующее прессование с использованием сдвиговых деформаций слоев биополимера. В статье подробно рассмотрены подходы к разработке оборудования для производства поверхностно-остеклованных пеллет, созданные и внедренные украинским производителем, компанией VM-Engineering. Целью публикации является обоснование создания эффективного и быстро окупаемого производства пеллетной продукции с учетом имеющейся сырьевой базы. В основе производства лежит использование сушильного комплекса СК-3.

*Постановка задания.* Описание оборудования для производства поверхностно-остеклованных пеллет компании VM-Engineering - сушильного комплекса СК-3.

*Основная часть.* При разработке сушильного оборудования в основу проекта были положены такие основные требования, обязательные для создания эффективного пеллетного производства:

- низкие удельные эксплуатационные затраты на сушку биомассы;
- пожаробезопасность;
- интегрируемость сушильного комплекса с любой производственной пеллетной линией;
- стабильности работы вне зависимости от сезона;
- настраиваемость системы управления на работу с сырьем различного происхождения и качества;
- производство качественного, незагрязненного продукта, с возможностью сертификации по европейским стандартам.

Также при разработке проекта сушильного комплекса были учтены основные технологические ошибки, с которыми сталкиваются более 70 % пеллетных производств, работающих на старом

«советском» оборудовании. Срок окупаемости сушильного комплекса существенно сокращен, благодаря особенностям конструкции и режимов работы барабанной сушилки, а также уникальному теплогенератору, который снабжен футерованной камерой сгорания и буферным теплообменником, что позволяет избежать дополнительного загрязнения оборудования и окружающей среды.

Преимущества сушильного комплекса СК-3, по сравнению с самой популярной в Украине барабанной сушилкой АВМ-1.5:

– на 1 тонну готовой продукции потребляет электроэнергии на 100 кВт меньше;

– потребляет на 10 % меньше сырья, что составляет до 800 тонн сырья в год;

– для грануляции от 1 тонны биомассы в час на СК-3 нужно использовать только один гранулятор ОГМ-1.5. Для сравнения, для работы линии на базе АВМ необходимо использовать два аналогичных гранулятора;

– снижен износ матриц гранулятора за счет повышения реакционной способности сырья;

– инновационные технологические решения, реализованные в сушильном комплексе СК-3, позволяют снизить себестоимость готовой продукции на 30 % и улучшить ее качественные показатели. Использование СК-3 позволяет получать чистые пеллеты класса ENPlus, что увеличивает прибыль от продажи пеллет на 50 %...300 %.

Конструкционные узлы комплекса СК-3 представлены на рис. 2, технологическая и функциональная схема автоматизации комплекса СК-3 - на рис. 3. Обоснование энергоэффективных режимов работы барабанной сушки комплекса производства композиционного биотоплива приведено в [6].

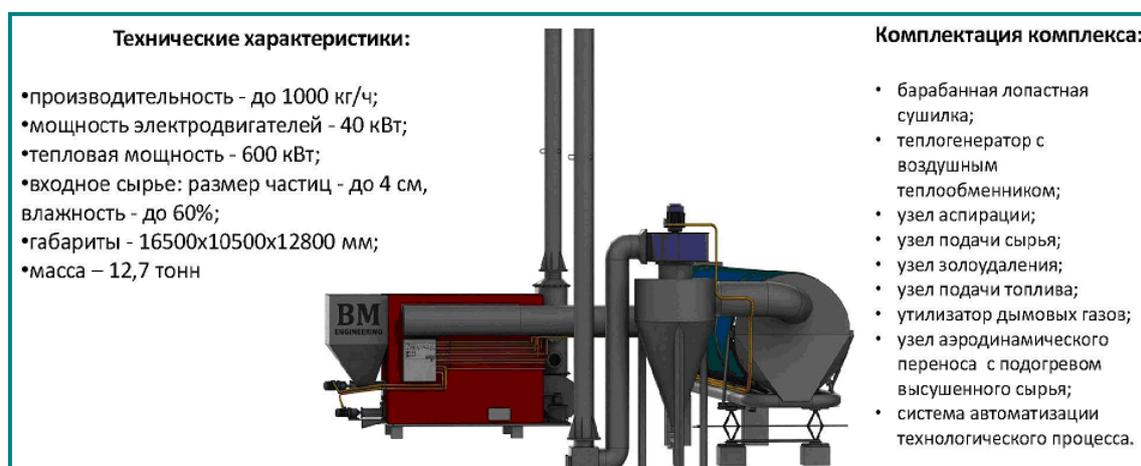
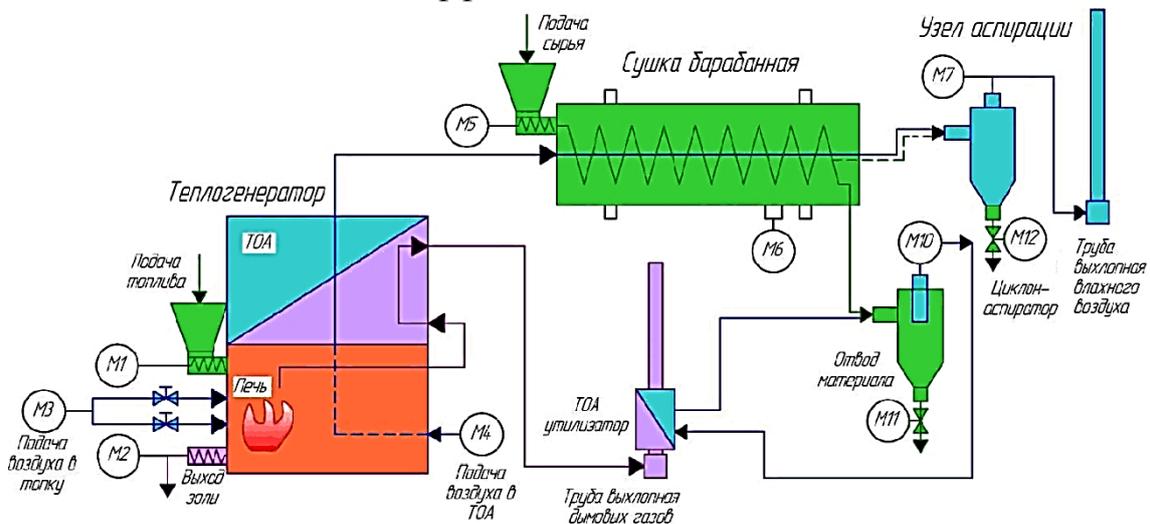


Рис. 2. Общий вид сушильного комплекса СК-3 и перечень его основных узлов.

Сушильный комплекс СК-3 (рис. 1) состоит из узла подачи сырья, оригинального теплогенератора, барабанной сушилки

производства BM–Engineering, теплоутилизатора, системы пневмотранспорта, системы автоматизации процесса сушки. Измельченная биомасса поступает в барабанную сушилку через узел подачи сырья. Высушенное до нужной влажности сырье пневмотранспортом подают на прессование. В процессе пневмотранспортировки к нему подводят тепло, отведенное от отработанных дымовых газов в теплоутилизаторе. Предварительный нагрев сырья перед прессованием позволяет увеличить реакционную способность частиц биомассы и уменьшить их влагоразность. Топливо (отходы биомассы) в теплогенератор подают через узел подачи по мере необходимости. Конструкция топki теплогенератора обеспечивает высокий коэффициент использования топлива.



- |                             |                              |                              |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| М1 – бункер теплогенератора | М5 – бункер сушки            | М9 – конвейер подачи сырья   |
| М2 – выход золы             | М6 – сушка барабанная        | М10 – отвод сырья воздушный  |
| М3 – подача воздуха в топку | М7 – циклон-аспиратор        | М11 – шлюз отвода материала  |
| М4 – подача воздух в ТОА    | М8 – конвейер подачи топлива | М12 – шлюз циклона аспирации |

Рис. 3. Технологическая схема автоматизации комплекса СК-3.

Определяющими характеристиками производительности барабанных сушильных комплексов являются тепловая мощность теплогенератора и время пребывания сырья в сушильном барабане. В комплексе СК-3 использован барабан длиной 11 метров и диаметром 1700 мм с возможностью оперативного регулирования угла наклона барабана. Изменение угла наклона влияет на время пребывания сырья в барабане. Это время необходимо рассчитывать в зависимости от фракционного состава и влажности сырья. Таким образом, управление степенью влажности сырья после сушки осуществляют не за счет

регулювання кількості оборотів барабана, що негативно впливало б на ефективність сушки (сирову сушать, коли вона перебуває в польоті всередині барабана), а за рахунок регулювання швидкості переміщення сирову вздовж барабана.

В сушильному комплексі СК-3 ми пропонуємо застосовувати теплогенератор з футерованою печюю і теплообмінником. Печь з об'ємом топку  $0,7 \text{ м}^3$  і потужністю до 1200 кВт здатна спалювати до 300 кг сухої деревини в годину. Вона обладнана бункером для щепи з шнековими подачами і системою відводу золи.

Для нагрівання сушильного агента, чистого повітря, використовують модульний теплообмінник з оребрених труб, який за потреби можна легко розібрати і очистити від налиплих частинок біомаси. Перед надходженням в теплообмінник повітря нагрівається, циркулюючи в каналах під теплоізолюючою обшивкою теплогенератора. Таким чином, зменшують втрати тепла. Також при розробці сушильного комплексу враховувалася важливість дотримання температурного режиму сушки для отримання якісного пеллетного палива. Температура поверхні матеріалу не повинна перевищувати  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , щоб не викликати частинної торрефікації (температурного розкладання, потемніння поверхні сирову) при збереженні вологи всередині частинок матеріалу.

Отрабовані димові гази з теплогенератора надходять в теплоутилізатор. Золу від згорілого палива видаляють через спеціальний вузол золоудалення. Рекуперація теплоти отрабованих димових газів і використання її для попереднього нагрівання сирову перед пресуванням, оригінальна конструкція теплогенератора і барабанної сушилки забезпечують високу енергоефективність сушильного комплексу СК-3.

Всім процесом керує система автоматизації, участь оператора мінімально, він контролює тільки наявність сирову в вузлі подачі. Автоматика теплогенератора (рис. 3) виконує функції:

- 1) контролю температури в зоні горіння;
- 2) контролю температури на виході з димової труби;
- 3) контролю температури сушильного агента;
- 4) регулювання потужності вентилятора подачі повітря в топку;
- 5) регулювання швидкості обертання шнека подачі палива.

Таким чином, досягають оптимального режиму горіння і економлять значительну кількість сирову, йдущого на паливо (рис. 4).

Для запобігання виносу в атмосферу важливої для якісного пресування мелкодисперсної фракції, застосовують вузол аспірації, який збирає пил [4], унесену потоком сушильного агента з сушильного барабана і повертає її в технологічний процес.

Узел отвода тепла и дополнительного подогрева материала, в котором материал прогревают и не дают ему остыть перед грануляцией, проектируют в соответствии с конкретными специфическими потребностями производственного процесса пеллетирования. Такие подходы к разработке проекта позволяют обеспечить повышенную производительность грануляторов и стабилизировать их производительность вне зависимости от сезона. Например, гранулятор ОГМ-1,5 будет иметь стабильную производительность 950-1100 кг/ч при работе с матрицей с диаметром отверстий 6 мм, вне зависимости от сезона, что на 60-90% выше его производительности в обычных технологических цепочках (рис. 5).

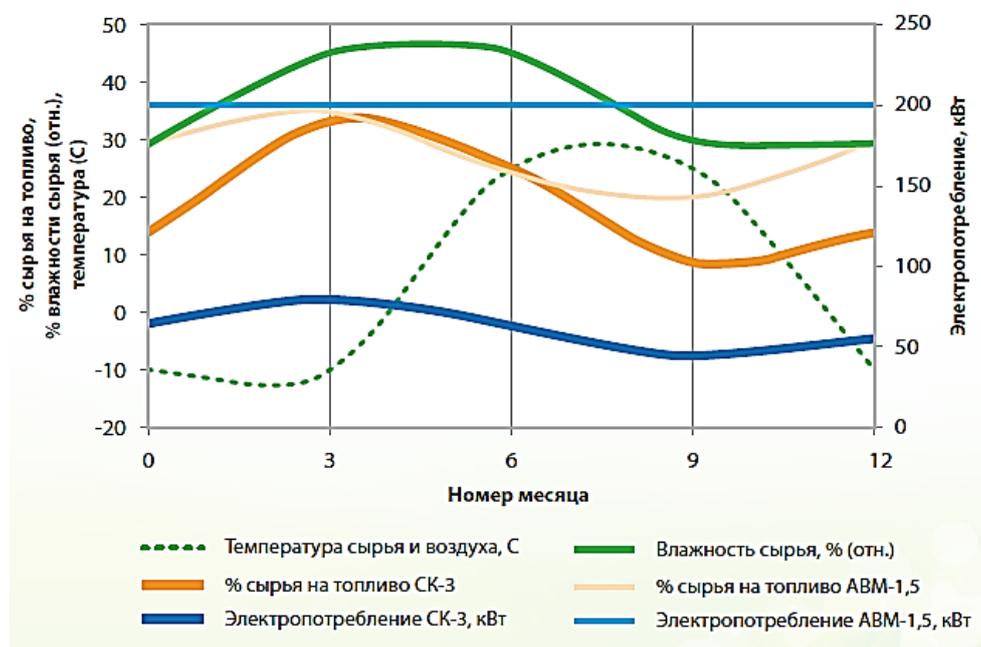


Рис. 4. Сезонні зміни тепло- та електропотреблення при виробництві біотоплива.

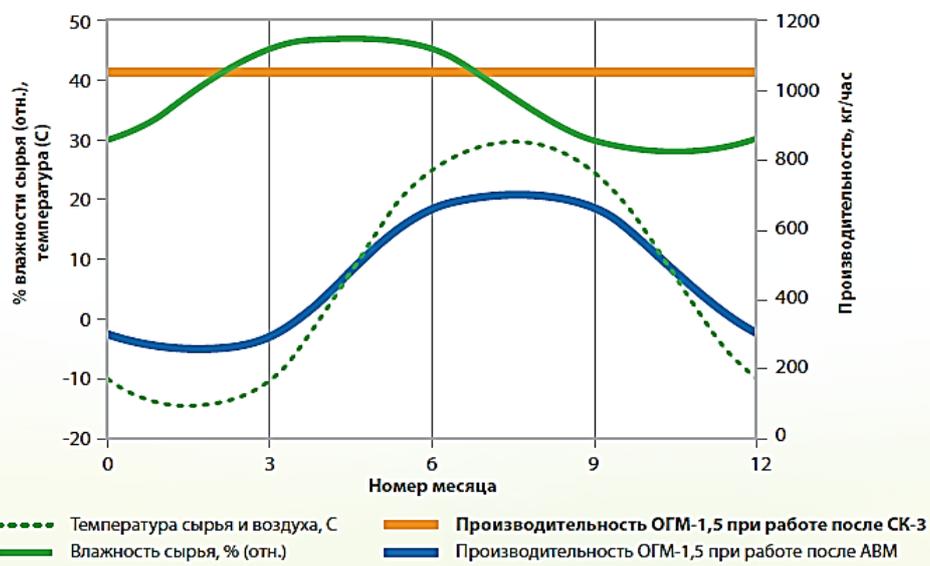


Рис. 5. Сезонна компенсація продуктивності гранулятора ОГМ-1,5 при роботі в лінії, укомплектованій СК-3 або АВМ.

Все узлы сушильного комплекса СК-3 собраны на собственных рамах (рис. 6). Их можно транспортировать отдельными модулями двумя машинами типа «Еврофура» без использования спецтранспорта. Это позволяет выполнить поставку оборудования на объект в Украине за один день и провести монтаж сушильного оборудования за две рабочие смены при наличии необходимых фундаментов и коммуникаций (рис. 6). Разработанная технология имеет ряд эксплуатационных и экономических преимуществ (табл. 1).



Рис. 6. Фотографии сушильного барабана и теплогенератора в процессе производства и монтажа.

Таблица 1 – Преимущества линии поверхностно-остеклованных пеллет и барабанного сушильного комплекса СК-3

Техническое решение	Эксплуатационное преимущество	Экономическое преимущество
Наличие теплообменника дымовых газов	Отсутствует озоление биомассы дымовыми газами	Возможность получать белые пеллеты малой зольности класса A1Plus
	Исключение возможности контакта горящих продуктов сухим сырьем	Пожарная безопасность
Длинная однопроходная сушка	Нет скопления сухих веществ и древесных газов в сушке	
Прогрев сырья на протяжении всего процесса	Повышение химической реакционной способности сырья	Получение поверхностно-остеклованных пеллет
		Повышение продуктивности гранулятора на 30...60 % (до 850... 1000 кг/ч вместо 550...650 кг/ч на ОГМ 1,5)
	Компенсация климатических условий	Продление срока службы матрицы гранулятора на 20%
Высокий уровень автоматизации	Снижение влияния человеческого фактора на	Стабильная работа комплекса вне зависимости от сезона
		Стабильная работа комплекса

Техническое решение	Эксплуатационное преимущество	Экономическое преимущество
процесса	процесс эксплуатации оборудования	
	Регулировка режимов работы в 4-х точках	Обеспечение температурного режима сушки
Модульность конструкции	Возможность быстрого монтажа оборудования	Уменьшение затрат на логистику и при перевозке и монтаже
	Перевозка на 2-х машинах типа "Еврофура"	
Возможность работы в противотоке	Вариативность режимов сушки	Возможность увеличения производительности при работе с влажным сырьем
Возможность контроля угла наклона барабана	Регулировка времени нахождения сырья в барабане	Возможность работы с разным фракционным составом и влажностью сырья
Теплообменник-утилизатор дымовых газов	Максимальная утилизация теплоты дымовых газов	Экономия топлива
Максимальное предварительное измельчение сырья	Возможность качественной сушки при низкотемпературных режимах	
	Упрощение аэродинамического переноса частиц сырья	
Аэродинамический перенос отдельным вентилятором	Нет привязки мощности основного вентилятора к транспортировочным потребностям	Возможна регулировка режимов
Двухстадийная система аспирации	Пассивный и активный циклон. Сбор и возврат в систему активных склеивающих веществ - древесной пыли	Уменьшение потерь сырья
		Повышение качества (плотность, твердость) пеллет
Утепленный барабан		Экономия топлива, безопасность при эксплуатации
Возможность модульной регулировки секций теплообменника	Регулировка номинальной мощности теплогенерации	Увеличение эффективности комплекса на малых и больших производительностях сушки

При ответственном подходе к проектированию технологической линии по производству пеллет, и принимая во внимание то, что каждая такая линия - это немалые капитальные затраты, авторы, как специалисты по комплексному проектированию и разработчики технологии влажного прессования поверхностно-остеклованных пеллет, рекомендуют доверять проектную работу профессионалам, в совершенстве владеющим технологией производства и планирования бизнес-процессов. Именно таким

является путь к построению и развитию успешного бизнеса в сфере пеллетного производства.

Мы продолжаем постоянно совершенствовать конструкцию и основные элементы нашего сушильного комплекса СК-3 и всегда выполняем индивидуальные проекты пеллетных производств или модернизации существующих линий с учетом вида и качества сырья, возможностей его поставки. Использование наших проектов и технологий – гарантия эффективного и быстро окупаемого производства.

*Выводы.* Впервые разработаны подходы к созданию по индивидуальным проектам энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства, в основе которого лежит метод влажного прессования и расчет технологических режимов, учитывающих именно вид перерабатываемой биомассы и производительность оборудования. Предлагаемые технические решения обеспечивают более полную переработку сырья без потерь его самой ценной мелкой фракции.

Наши дальнейшие разработки будут направлены на создание замкнутых комплексных энергокооперативов на основе пяти переделов биомассы, которые из собственного сырья будут производить топливные пеллеты и генерировать из них тепловую и электрическую энергию для собственных нужд и энергорынка.

#### Литература:

1. *Бунецкий В.* Тверде біопаливо. Необхідність галузевого рішення // Проблеми теплофізики та теплоенергетики: матеріали X Міжнар. конференції (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: 20.11.2018).

2. *Войтов В. А., Бондаренко М. В., Бунецкий В. А.* Переработка биомассы в твердое биотопливо второго поколения // Вестник ХНТУСХ. Харків, 2014. Вып. 155. С. 20-31.

3. *Войтов В. А., Бондаренко М. В., Бунецкий В. А.* Переработка органических полимеров растительного происхождения в твердое топливо // Вестник ХНТУСХ. Харків, 2013. Вып. 143. С. 38-45.

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

5. Енергетичний аналіз виробництва твердого біопалива / *Ю. Ф. Снежкін* та ін. // Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Т. 45, № 3. С. 187-190.

6. *Корінчук Д. М., Снежкін Ю. Ф., Бунецкий В. О.*

Обґрунтування енергоефективних режимів роботи барабанної сушарки комплексу виробництва композиційного біопалива // Scientific Works. 2018. Т. 82, № 1. С. 81.

7. Korinchuk D. N., Snezhkin Yu.F. Simulation of the High-Temperature Drying of a Composite Mixture in an Air Drier for Production of a Biocombustible // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018. Т. 91, № 5. P. 1155-1164.

## **СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕЛЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СК-3**

Бунецький В. А., Бондаренко М. В.

*Анотація* – розроблені вперше підходи до створення за індивідуальними проектами енергоефективного та окупного пелетного виробництва, у підґрунті якого лежить метод вологого пресування та розрахунок технологічних режимів, що ураховують саме вид перероблюваної біомаси та продуктивність обладнання. Запропоновані технічні рішення забезпечують більш повне перероблення сировини без втрат його найціннішої мілкої фракції.

## **EFFICIENT PRODUCTION CAPACITY BASED PELLET DRYING COMPLEX SC-3**

V. Buneckiy, M. Bondarenko

### *Summary*

**In today's economic conditions, it is urgent to solve the scientific and technical problems related to the development of high-quality surface-glazed pellet's production technology and to correspond on its basis project implementation for energy-efficient drying complex designed for different origin chopped biomass drying: wood, grass, wood-processing waste and agriculture, etc. Therefore, the purpose of modern biomass drying technology developing is precisely the further application of it in the drying complex СК-3. The main methods proposed for use in biomass drying technology were developed based on detailed analysis of the main mistakes in used grass-fiber drying lines using results. The project СК-3 was based on the basic requirements obligatory to effective pellet production creation: low for biomass drying specific operating costs; fire safety; drying complex integrability with any line for pellet's production; regardless of the**

**season work stability; control system customizability for work with different raw materials; production of high-quality, unsoiled product, with certification possibility according to European standards. The result of the work is in proposed by authors modern and effective drying equipment proposed, the basis of which is the following basic requirements that are required for modern pellet production: low specific operating costs, fire safety, the possibility of embedding the drying complex to any palletizing line, seasonal work stability, adjustment of the control system to work with different raw materials. All these requirements are fully consistent with the modular design of the drying complex СК-3.**

**Conclusions. Developed for the first time approaches to the creation of individual projects for energy-efficient and payback pellets based on the method of wet pressing and calculation of technological regimes that take into account the type of processed biomass and productivity of equipment. The proposed technical solutions provide a more complete raw materials recycle without losing its most valuable fine fraction.**