

УДК 662.993 (088.8)

*Христич А. С.*

**МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО УЧЕНЫХ  
КИЕВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
В РАЗРАБОТКЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Розглянуто використання в енергетичних та промислових цілях біомас рослинного походження. Показана можливість факельного спалення диспергованої біомаси за допомогою методів, застосованих при спаленні газових палив. На підставі дифузійно-стабілізаторного методу розроблено та впроваджено в народне господарство новий тип пальникового обладнання.

Рассмотрено использование в энергетических и промышленных целях биомасс растительного происхождения. Показана возможность факельного сжигания диспергированной биомассы с помощью методов, применяемых при сжигании газовых топлив. На основе дифузионно-стабилизаторного метода разработан и внедрен в народное хозяйство новый тип горелочного устройства.

Use of biomass of a vegetative origin for the power and industrial purposes is considered. The opportunity of dispersed biomass torch combustion by means of the methods applied for gaseous fuels combustion is shown. On the basis of diffusion stabilizer method the new type of burner devices is introduced and applied in industry.

**Введение.** Сокращение разведанных запасов нефти и газа, а также высокие цены на них стимулируют во всем мире интерес к альтернативным видам энергоносителей, среди которых определенная роль отводится топливам растительного происхождения. В мировой практике в качестве таких топлив успешно используют различные виды растительной биомассы.

Использование биомассы не только позволяет сократить расход дефицитных углеводородных топлив, но и способствует решению проблем охраны окружающей среды, так как открывает возможность вовлечения в топливный баланс широкой гаммы отходов сельскохозяйственного производства (солома, стебли хлопчат-

ника, подсолнечника и др.), деревообрабатывающей (опилки, стружка, щепы), сахарной (жом сахарного тростника: багассо и меолье) и пищевой (шелуха подсолнечника, риса, арахиса, орехов и др.) промышленности, которые при горении дают меньше выбросов в атмосферу, чем традиционные органические топлива.

Все это актуально и для Украины с ее нуждающейся в оздоровлении экологии, с ограниченностью ее собственных ресурсов традиционных топлив, но обладающей одновременно достаточно большими ресурсами различных биомасс растительного происхождения.

**Постановка вопроса.** В 1980–90 г. г. совместными исследованиями ученых Киевского политехнического института (КПИ) и Университета Лас Вильяс, г. Санта Клара, Куба (ЦУЛВ) была разработана оригинальная технология замены нефтяного и газового топлив факельным сжиганием отходов переработки сахарного тростника и другими видами растительных биомасс.

В 1965 году между КПИ и ЦУЛВ был подписан договор о научном и культурном сотрудничестве. Развивая и укрепляя сотрудничество, направленное на повышение качества подготовки специалистов для народного хозяйства и повышение квалификации научно-педагогических работников, породненные вузы вели общую работу по разработке учебных планов, программ по усовершенствованию форм и методов обучения, развитию совместных научных исследований.

В планах экономического развития Республики Куба действовала политика сокращения традиционных видов топлива за счет повышения экономичности топливосжигающих устройств и экономии топливоэнергетических ресурсов. Была разработана программа по экономии рациональному использованию энергии в масштабах страны.

Для многих стран тропического и субтропического пояса одним из альтернативных источников энергии являлось широкое применение в качестве топлив отходов сахарного производства. Основу экономики Республики Куба составляла сахарная промышленность, сырьем для которой служит выращиваемый на острове сахарный тростник. В связи с тем, что страна практически не имеет своих традиционных топлив (нефть, уголь, природный газ), ей приходилось покупать их за рубежом и ориентироваться на широкое использование возобновляемых источников топлива — отходов производства ведущей отрасли промышленности — тростниковой сахарной.

Для практического использования таких биомасс в качестве энергетического или промышленного топлива, для минимизации связанных с этим капитальных затрат необходимы рациональные технологии их сжигания совместные с существующим котельно-печным оборудованием, допускающие взаимозаменяемость с другими топливами, легкость регулирования и автоматизации процесса горения.

Эффективное сжигание отходов переработки сахарного тростника. Разработка одного из вариантов организации сжигания биомассы проводилась в Научно-исследовательском отделе «Проблем горения» КПИ, руководимом д. т. н., проф. Христю В. А. с участием кубинских аспирантов — преподавателем ЦУЛВ (г. Санта Клара) П. Роке и аспирантом заочником, производственником лаборатории горения Министерства базовой промышленности Кубы (г. Сьенфуэго) Д. Абелардо,

применительно к сжиганию древесины и отходов переработки сахарного тростника — багассо и меолье.

Новизна оригинальной технологии замены нефтяного и газового топлив факельным сжиганием биомассы подтверждена авторскими свидетельствами СССР и Кубинскими патентами.

Багассо — это остаточный продукт при производстве сахара из сахарного тростника. Одним из главных аспектов программы развития экономики Кубы являлось рациональное использование багассо в качестве возобновляемого источника энергии. По своему составу и теплотехническим свойствам сухой багассо близок к древесине и поэтому используется в качестве топлива. Но с другой стороны багассо является сырьем для производства целлюлозы, бумаги, дрожжей, спирта и других дефицитных в условиях Кубинской Республики товаров. Однако, острая потребность в энергии позволяла выделить для этих целей лишь 3% образующегося в сахарной промышленности багассо. Остальные 97% этого продукта расходовались для производства энергии. Поэтому рациональное сжигание багассо имело большое практическое значение.

Горение багассо является сложным процессом. Существовавшие способы сжигания багассы имели ряд недостатков. Для повышения производительности паровых котлов в НИО «Проблем горения» КПИ был разработан способ сжигания измельченной багассы в воздушном потоке с помощью специально созданных горелок.

Этот способ был перспективен также с точки зрения уменьшения загрязнения окружающей среды токсичными выбросами.

Основным направлением научных работ НИО «Проблем горения» являлось изучение физики горения, повышение эффективности использования топлив в теплоэнергетических установках и охрана окружающей среды от загрязнения.

Однако, опыта использования багассы в качестве топлива не было и создание горелочных устройств наталкивалось на трудности, связанные с недостаточной изученностью механизма физико-химических превращений багассы в воздушном потоке. Существующие данные были недостаточны, а иногда и противоречивы. Необходимо было выяснить механизм и определить кинетические параметры и топохимические уравнения для составных стадий процессов горения багассы. Для разработки эффективных методов подготовки и использования багассы в качестве топлива с минимальным загрязнением окружающей среды требовались знания их основных физико-химических свойств, кинетических характеристик и рациональной организации их использования.

Горение багассы является сложным процессом. В стендовых условиях, обеспечаивающих широкий диапазон температур и скоростей воздушного потока, изучалась кинетика процессов удаления влаги, прогрева, газификации, воспламенения и выгорания элементарных частиц багассо разных размеров, плотности и влажности.

Результаты исследований. Кубинским аспирантом П. Роке проведена работа по выяснению механизма и определению кинетических параметров и топохимических уравнений для составных стадий процессов горения [3,4,5,6].

Установлено, что процесс горения багассо состоит из последовательных физико-химических превращений. Экспериментально определены температурные и временные границы основных стадий физико-химических превращений измельченной багассовой частицы в горячем воздушном потоке. Исследовано влияние на характерные времена этих стадий размера частиц, скорости и температуры потока.

Полученные эмпирические данные и обобщающие зависимости позволили более рационально осуществить расчетно-конструкторские разработки энергетических и топочных устройств для сжигания, а также установок для сушки и термической переработки багассы.

Вместе с тем, багассо не является единственным отходом сахарного производства. Каждой тонне багассо, используемой в качестве сырья или топлива, сопутствует примерно 0,4 тонны другого продукта — меолье (мелкие фракции отходов переработки сахарного тростника). Меолье образуется из соединительной ткани, связывающей волокна багассы. По элементарному составу и теплотворной способности меолье, как и багассо может использоваться в качестве топлива. Однако, они резко отличаются своими физическими свойствами. Меолье в сухом виде представляет собой легкую витающую в воздухе пыль. Меолье в виду его специфических физических свойств не использовался ни в качестве сырья, ни в качестве топлива, хотя его химический состав мало отличался от багассо, а теплотворная способность даже превышала теплотворную способность багассо.

Ввод меолье в топливный баланс позволял существенно сократить потребление нефтепродуктов в производстве энергии и, одновременно, высвободить значительное количество багассо для использования в качестве сырья для химической и бумажно-целлюлозной промышленности. Наряду с вполне удовлетворительными теплотехническими свойствами, такие топлива обладают обычно неблагоприятными физическими свойствами, затрудняющими их транспорт в топку и эффективное сжигание традиционными способами. Сжигание таких топлив, как меолье, вообще невозможно без подсветки факела вспомогательным высококалорийным топливом (газ, мазут).

Традиционные методы сжигания твердых топлив не могли обеспечить эффективного сгорания меолье в котельных топках промышленных печей. Лишь в ряде стран (Тайвань, Перу, Мексика) успехом считали попытки сжигания меолье совместно с мазутом. В условиях Кубы, не располагающей достаточными источниками нефти, такой прием экономически был не оправдан.

С другой стороны меолье — продукт вредный для здоровья и вызывает опасные заболевания дыхательных путей.

В связи с этим меолье обычно уничтожалось путем неэффективного горения, загрязняя окружающую среду интенсивными дымовыми выбросами.

В результате совместных советско-кубинских исследований пришли к выводу о возможности применения для сжигания багассо и меолье методов, применяемых при сжигании газовых топлив. Одним из таких методов являлся, разработанной в КПИ, метод диффузионного сжигания газовых топлив в турбулентном следе за стабилизатором [1,2]. В основе его рабочего процесса лежит диффузионное выгорание топливного факела в турбулентном следе за плохо обтекаемым

телом-стабилизатором. Основным рабочим органом горелки, разработанной в КПИ, являлся вращающийся конус стабилизатора, обтекаемый потоком вторичного воздуха.

Конус имеет двойные стенки, между которыми установлены радиальные лопасти, выполняющие при вращении конуса функции вентилятора. Последний осуществляет засасывание и подачу в зону горения первичного воздуха, выполняющего одновременно функции транспортирующего топливную взвесь потока.

В результате совместного воздействия вращения стабилизатора и двух обтекающих его потоков за ним образуется развитая зона циркуляции с невысоким уровнем скоростей, что увеличивает время пребывания топлива в зоне высоких, с достаточно высоким градиентом скоростей, обеспечивающими высокую интенсивность смесеобразования.

В случае ротационной (вращающейся) горелки нет необходимости в дополнительном виде топлива. Высокая эффективность и стабильность достигалась благодаря эффекту комбинаций двух стабилизирующих конусов, помещенных один в другой, и создающих центрическую силу посредством вращения в пространстве турбулентного следа.

Однако, наличие транспортирующего топливо агента и специфические свойства самого меоле требовали дополнительных исследований для обязательного учета всех свойств, для принятия рационального конструктивного решения при разработке горелочного устройства.

Промышленное применение. Решение задачи проводилось на лабораторном стенде, установленном на заводе азотных удобрений (г. Сьенфуэго) и на промышленном образце горелки, установленной на печи комбината «Pro — Сива» (г. Крузес). Экспериментальная часть работы выполнялась в условиях заочной аспирантуры Д. Абелардо под научным руководством проф. Христича В.А. Несмотря на сложность условий и большие трудности с материально-техническим обеспечением, удалось создать достаточно совершенный экспериментальный стенд и выполнить большой объем аэродинамических и теплотехнических исследований.

Был разработан метод, обеспечивающий эффективное сжигание меоле в котельных топках и промышленных печах без мазутной подсветки и без загрязнения окружающей среды. Разработанная горелка совместно решала обе эти задачи [7, 8, 9,10,15].

Раньше на комбинате «Pro-Сива» при подготовке сырья для своего производства сердцевина тростника — меоле удалялась и уничтожалась в специальных печах, где не только уничтожалось топливо (меоле), но и загрязнялась окружающая среда. Для покрытия потребности фабрики в тепле сжигался мазут.

Меоле при рациональных формах его сжигания стало источником полезного тепла, способного в значительной мере покрыть потребность данного вида производства в тепловой энергии.

Провинциальное руководство сахарной промышленности Кубы провело испытание разработанной горелки, где в качестве топлива ротационной горелки могут быть использованы также отходы деревообработки, в частности — опилки.

**Выводы.** Результаты работ позволили разработать горелки для сжигания меолие в парогенераторах на сахарных заводах, при сушке в топках целлюлозно-бумажных комбинатов и др. Результаты работ докладывались и получили одобрение на многочисленных конференциях и симпозиумах, в том числе на Всесоюзном симпозиуме по макроскопической кинетике и химической газодинамике в Академии наук СССР (5), на I конференции провинциального филиала Кубинского общества технологов сахарной промышленности (Санта Клара, Куба, 1981 г.), на научных семинарах департамента промышленной теплоэнергетики ЦУЛВ, 1981–83 г. г., на конференции технических наук и архитектуры (Высший политехнический институт им. Х.А. Эчевары, Гавана, Куба, 1984 г.); на II провинциальном симпозиуме по экономическим вопросам (г. Сьенфуэгос, 1986 г.); на II национальном симпозиуме по экономическим вопросам в Академии наук Республики Куба (Гавана, 1986 г.); на II провинциальном форуме по вопросам энергии (г. Сьенфуэгос, 1987 г.) на II национальном форуме по вопросам энергии (Гавана, 1987 г.) и т.д. [11, 12, 13, 14]. Разработанная универсальная ротационная горелка для сжигания топлив, защищенная авторским свидетельством СССР, отмеченная премией на Национальном форуме «Энергия» в Гаване, экспонировалась в Москве на Международной выставке научно-технических достижений молодежи социалистических стран.

По этому вопросу было много публикаций в Кубинских газетах, а аспирант Д. Абелардо за важные разработки для народного хозяйства Кубы и рационализаторскую деятельность семь раз награждался Почетным нагрудным знаком «Кузнец будущего».

Головной образец горелки установлен в 1986 году на комбинате «Про-Куба», где работала на меолие без подсветки мазутом (как это принято в мировой практике), обеспечивая на экономии мазута большой экономический эффект, бездымность процесса, уменьшая загрязнение окружающей среды.

В процессе промышленной эксплуатации горелки показана принципиальная возможность работы ее на 3-х видах топлива: твердом (багассо, меолие, древесные опилки), жидком и газообразном.

Создание такого горелочного устройства представило для экономики страны большую роль, так как позволило решать одновременно три проблемы: топливную, сырьевую и экономическую. Разработанная горелка позволила ввести в топливный баланс Кубы меолие, бесполезно уничтожаемое в связи с вредностью, высвободить значительное количество багассо для использования в качестве сырья химической, целлюлозно-бумажной и другими отраслями промышленности, сократить применение в качестве топлива нефтепродукты.

К внедрению горелки и сотрудничеству по этой теме проявили интерес Министерство образования Кубы, Министерство сахарной промышленности, Министерство базовой промышленности. По протоколу совещания с Советником Управления науки и техники Минвуза Кубы (КПИ, 19.05.1988 г.) было признано целесообразным создание совместной кубинско — советской межотраслевой научно-производственной лаборатории рационального сжигания топлив в энергетике и промышленности. Со стороны Министерства сахарной промышленности

Республики Куба проф. Христичу В.А. было предложено принять на себя научное руководство создаваемой теплотехнической лабораторией.

Несмотря на отсутствие формальных организационных связей между КПИ и заводом азотных удобрений г. Сьенфуэгос, между их коллективами, занимающимися проблемами горения, в течение ряда лет сложилось плодотворное творческое сотрудничество. Был составлен проект программы научно — технического сотрудничества по вопросам повышения эффективности сжигания топлив в энергетике и промышленности на 1991–95 г. г.

Совместно с кубинской стороной в лице ректора ЦУЛВ была разработана программа работ по теме сотрудничества с Киевским политехническим институтом на 1991–95 г. г., предусматривающая:

- разработку новых технологий рационального сжигания альтернативных топлив (багассы, листьев, биогаза, водомазутных эмульсий и т. п.);
- подготовку научных кадров по поточной технике;
- подготовку совместных научных статей и итоговой монографии.

Были созданы 2 научно-технических Центра — плоды украинско-кубинского сотрудничества в г. Санта Клара и г. Сьенфуэгосе, имеющие целью дальнейшее развитие и внедрение своих разработок. Предполагалось, что эти Центры будут работать в сотрудничестве и под научным руководством НИО «Проблем горения» КПИ. Соответственно этому и были разработаны и согласованы с соответствующими кубинскими министерствами Программы сотрудничества на 1990–95 гг.

По заявке Министерства Газовой промышленности Кубы кубинский студент Модесто Эрнандес Эйва выполнил в НИО «Проблем горения» КПИ реальный дипломный проект «Универсальный стенд для испытания энергетических и промышленных горелок». Стенд был предназначен для создаваемой на Кубе лаборатории, развивающей совместные (КПИ–ЦУЛВ) разработки по рациональному сжиганию местных топлив, а инженер Эйва — являлся будущим научным сотрудником лабораторий.

Однако, в связи с развалом СССР были нарушены дружеские и экономические связи. В Украине работы с этой проблемой были остановлены из — за не востребо-ванности их результатов. В то время как на Кубе они продолжались (при некоторой помощи КПИ) и для внедрения их результатов при двух основных Министерствах Кубы (базовой и сахарной промышленности) созданы соответствующие научно-технические центры.

#### **Список использованных источников:**

1. Христич В.А. Струйно-стабилизаторный способ смесеобразования и горения как один из методов повышения экономичности и снижения токсичности газотурбинных двигателей / В.А. Христич // Проблемы машиностроения. —К.: АН УССР, ИПМ, 1983 г.— Вып. 20. — С. 63-66.
2. Христич В.А., Любчик Г.Н. Газогорелочные устройства для сжигания газа при высоких и переменных избытках воздуха / В.А. Христич, Г.Н. Любчик. — М. ВНИИЭгазпром, 1978, Вып 10. — 60с.

3. Роке Диас Пабло Ромелио Физико-химические превращения при нагреве и горении багассы: автореф. дисс.канд.техн. наук / Роке Диас Пабло Ромелио. — К., 1984. — 12 с.
4. Роке Диас П. Р., Шемет В.Ж., Лавренко В.А., Христич В.А. Механизм горения и термической деструкции багассы / П. Р. Роке Диас, В.Ж. Шемет, В.А. Лавренко, В.А. Христич // Химическая технология. — 1984. — №4.
5. Роке Диас П. Р., Шемет В.Ж., Лавренко В.А., Христич В.А. Кинетика термической деструкции и механизма горения багассы / П. Р. Роке Диас, В.Ж. Шемет, В.А. Лавренко, В.А. Христич // Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума по макроскопической кинетике химической газодинамике. — Алма — Ата, 1984
6. Христич В.А., Роке Диас П. Некоторые особенности горения измельченной багассы в воздушном потоке / В.А. Христич, П. Роке Диас // Горение органического топлива. Материалы 5 Всес. конф. (Новосибирск, сент. 1985 г.). — Новосибирск, 1987. ч.1. — С. 206-210.
7. Родригес Ариас Абелардо Даниэль Ротационная горелка с самовсасыванием первичного воздуха для сжигания меоле: дисс... канд. техн. наук, / Родригес Ариас Абелардо Даниэль. — К., 1988 г. — 142 с.
8. А.с. №1348609 СССР. Горелочное устройство для сжигания пылевидного топлива / В.А.Христич, А.Д.Родригес. — в Б.И., 1987, —№40.
9. Hristich V.A., Abelardo D. Rodrigues Arias. Quemador para el guemado de combustible en polvo/ Patent de Cuba № 21752. — 1987. —C1 — F 23Д 1/02.
10. Abelardo D. Rodrigues Arias, Hristich V.A./Quemador universal para el guemado de combustibles solidos, liquidos y gaseosos // Patent de Cuba № 21753. -1987. C1- F 23 Д 17/00.
11. Abelardo Daniel Rodrigues Arias, V.A. Hristich. Diseno y construccion de un nuevo tipo de guemador de polvo y aplicacion a nuestra industria//Ponencia del Segundo Simposio Nacional de economia material — Habana: Comit e estatal abastecimiento tecnico material, 1986. P. 61.
12. Abelardo Daniel Rodrigues, V.A. Hristich. Nuevo tipo de guemador para combustibles solidos y sus aplicaciones a nuestra industria//Ponencia del II Forum Nacional de energia. Cienfuegos. 1987.-P.22-23.
13. Iesus Avalo Rodriguez, Abelardo Rodrigues Arias, Hristich V.A. Nuevo tipo de guemador para combustible en polvo y sus aplicaciones en nuestra industria. — Energia. La Habana, Cuba Revista 1/89.
14. Pablo Rogues Diaz , Vladimir A. Hristich , Vladimir Z. Shemet , Vladimir A.Lovrenko Caracteristicas guimicas de la combustion del bagazo y sus parametros cineticos» I Conferencia internacional de termoenergetica industrial Resumene Cuba. 17-19 de Noviembre, 1992.
15. Родригес А.Д., Роке П., Христич В.А. Факельное сжигание дисперсных топлив растительного происхождения с помощью ротационной горелки / А.Д. Родригес, П. Роке, В.А. Христич // Промышленная теплотехника. — 1992. — № 1-3 — С. 25-32.