

Предложенная технология предполагает, что пиролиз измельченных отходов происходит по длине нагрева шнека, из которого твердая фракция - продукты пиролиза выгружаются в камеру сжигания, а летучие под разрежением дымососа втягиваются в цилиндрическую камеру дожига, в которой концентрируется все тепловыделение и обеспечивается температура не менее 1250°C. Зольный остаток периодически удаляется по мере накопления.

Режим пиролиза поддерживается и регулируется посредством газовых ИК – горелок. Заданная температура в камере нагрева шнека достигает 600-700°C, при которой пиролиз утилизируемых горючих отходов происходит после их предварительной сушки и нагрева до 250-300°C. За счет тепла уходящих дымовых газов в теплоутилизаторе происходит нагрев воды, которую можно использовать на технические нужды и для обогрева помещения.

Таким образом, горючие отходы производства и потребления можно рассматривать, как важный энергетический ресурс, способный в определенной степени заместить природный газ и мазут. Вместе с тем основными сдерживающими причинами являются:

- отсутствие отечественных технологий и оборудования для теплоутилизации горючих отходов в промышленном масштабе;
- высокая стоимость импортируемого оборудования;
- отсутствие в Беларуси опыта работы современных мусороперерабатывающих предприятий и установок.

#### *Литература*

1. Масликов В.И., Федоров М.Л. Природотехнические системы в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2006, № 5. - С 7-16.
2. Федоров М.Л. Вторичные энергоресурсы в системах обращения с отходами // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6.-С.3-10.
3. Боровков В.М., Зысин Л.В., Сергеев В.В. Итоги и научно-технические проблемы использования растительной биомассы и органосодержащих отходов в энергетике // Известия РАН, Энергетика, 2002, № 6. – С.13-23.
4. Рябов Г.А. Использование биомассы и отходов производства для решения проблем энергосбережения // Электрические станции, 2005, № 7. – С.33-38.
5. Рябов Г.А., Литун Д.С., Дик Э.П., Земсков К.В. Перспективы и проблемы использования биомассы и отходов для производства тепла и электроэнергии // Теплоэнергетика, 2006, № 7. – С.61-66.
6. Шубов Л.Я., Петруков О.П., Погадаев С.В. и др. Концепция управления муниципальными отходами мегаполиса // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, вып. № 6, М., ВИНТИ. С.2-77.
7. Шубов Л.Я. Проблема муниципальных отходов и рациональные пути ее решения // Экология и промышленность России, 2005, декабрь. – С.34-39.
8. Манелис Г.Б., Полианчик Е.В., Фурсов В.П. Энерготехнологии сжигания на основе явления сверхадиабатических разогревов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.537-545.
9. Салтанов А.В., Павлович Л.Б., Калинина А.В. Современные проблемы утилизации углеродсодержащих отходов // Химия в интересах устойчивого развития, 2000, № 8. – С.865-874.
10. Бельков В.М. Методы, технологии и концепция утилизации углеродсодержащих промышленных и твердых бытовых отходов // Химическая промышленность, 2000, № 11. – С.9-25.
11. Волков Э.П., Двоскин Г.И., Молчанова Й.В. и др. Энергию на свалку? Это не по-хозяйски // Энергия, экономика, техника, экология, 2001, № 5. –С.48-52.
12. Тугов А.Н., Москвичев В.Ф., Рябов Г.А. и др. Опыт освоения сжигания твердых бытовых отходов на отечественных ТЭС // Теплоэнергетика, 2000, № 7. – С.55-60.

## **СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИКРЕМНИЯ**

*Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Пальченко Г.И., Рабинович О.С., Акулич А.В., Корбан В.В.*

Энергетика является основой мирового экономического прогресса и непосредственно влияет на благополучие человечества. Надежное обеспечение современного общества различными видами энер-

гии по приемлемым ценам с минимальным ущербом для окружающей среды – один из важнейших факторов устойчивого развития цивилизации.

Более 200 лет потребности в энергии удовле-

творялись за счет ископаемого углеводородного топлива: угля, нефти и природного газа. Ограниченные запасы и глобальные изменения климата не позволяют увеличивать объемы использования этих видов топлива. Альтернативой использованию ископаемого топлива называют атомную энергетику. Однако высвобождаемая при этом теплота, может привести к так называемому «тепловому загрязнению» атмосферы Земли, последствия которого в настоящее время не определены. Так же атомная энергетика несет в себе определенную угрозу радиационного загрязнения окружающей среды. Вместе с тем, основным источником природных процессов на поверхности планеты является энергия солнечного излучения. Данный вид энергии является неисчерпаемым, экологически безопасным, достаточно равномерно распределенным и доступным для всех.

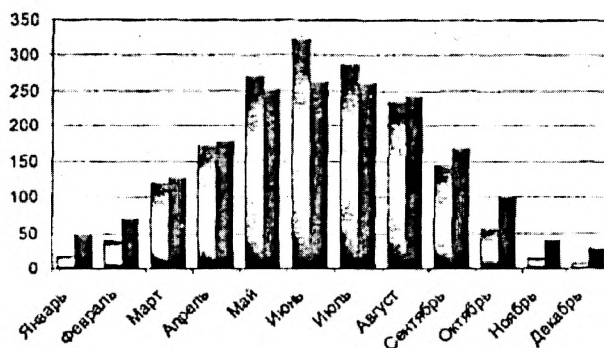
Потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в соответствии с данными Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь в 2005 году составило порядка 35 млн. т.у.т., что соответствует  $1,03 \cdot 10^{12}$  МДж/год. С учетом географической широты, облачности, атмосферных явлений, времени года и суток, годовое количество суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности составляет  $3500...3800$  МДж/м<sup>2</sup> в зависимости от географической широты. Соответствующая этой энергии среднегодовая плотность солнечного излучения на горизонтальную поверхность для Республики Беларусь –  $110...120$  Вт/м<sup>2</sup>. В течение года территория Беларуси получает в среднем  $7,5 \cdot 10^{12}$  МДж солнечной энергии, что в 750 раз превышает общее потребление ТЭР в республике. Таким образом, солнечная энергия может составить достаточно весомую долю в топливно-энергетическом балансе Беларуси.

В настоящее время имеются два основных направления использования энергии солнца: преобразование ее в электрическую энергию и получение теплоты для различных нужд.

Одна из проблем использования солнечного излучения в качестве источника энергии связана с его сезонной неравномерностью. По данным многолетних наблюдений метеорологических станций Государственного комитета по гидрометеорологии Республики Беларусь (рис. 1) максимум солнечного излучения приходится на период года с апреля по август (порядка 80 % от общего количества). Максимум потребления энергии, напро-

тив, приходится на зимние месяцы.

Еще одной проблемой является стоимость получаемой электрической энергии (рис. 2), хотя существуют оптимистичные прогнозы (рис. 2, вкладка).



Светлые столбики – месячные суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup>  
Темные столбики – средняя за месяц продолжительность солнечного сияния, часов

Рис. 1. Годовое распределение солнечной энергии для Беларуси

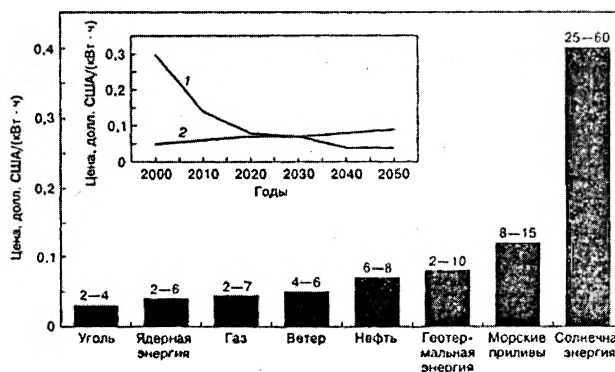


Рис. 2. Стоимость электроэнергии получаемой различными источниками энергии

Промышленно развитые страны планируют к 2031г. иметь совокупную установленную мощность электрогенераторов на солнечной энергии 1700 ГВт (для сравнения: в 2004г. – 1256 МВт). Если сегодня солнечная энергетика занимает менее 1% в общемировом балансе произведенной электроэнергии, то к 2040г. эта доля должна возрасти до 30% [1, 2].

В 2005г. было произведено ФЭП суммарной мощностью 1656 МВт (в том числе 1500 МВт на кремнии, 165 МВт на других материалах; рост объема производства составил 30% по отношению к 2004г.). В 2006г. произведено 2400 МВт (рост производства – 45%). После 2004-2005 гг. солнечная индустрия стала развиваться быстрыми темпами. Общий валовой доход отрасли (с учетом внутрит-

раслевых продаж) в 2005 г. составил 12 млрд долл. США, а общая условно чистая (до уплаты налогов) прибыль – 2,7 млрд долл. США. В 2006 г. общий валовой доход составил – 19 млрд долл. США, а условно чистая прибыль – ~5,7 млрд долл. США. Следствием этого бума явился сохраняющийся до настоящего времени дефицит исходного сырья для производства ФЭП [1, 2].

Первоначально (до 2000-2001 гг.) сырьевой базой солнечной энергетики являлись отходы «электронной» индустрии: некондиционный (off-grade) поликремний, получаемый в цикле производства поликремния электронного качества — куски слитков с повышенным содержанием лимитирующих примесей, например углерода (7-8% от общего произведенного количества поликремния), а также верхние и нижние конусы выращенных слитков кремния «электронного» качества (~10% от общего количества выращенных кристаллов).

Теперь источники сырья изменились: свыше 60% общей потребности обеспечивает поликремний, специально произведенный для солнечной энергетики двумя путями:

- по традиционной, но «упрощенной» технологии (либо прутки поликремния, полученные осаждением из трихлорсилана (ТХС) в «сименсовских» реакторах, либо гранулы поликремния, полученные пиролизом моносилана в реакторах кипящего слоя);

- по технологиям, специально разработанным для производства «солнечного» поликремния.

В технологической цепочке современного производства поликристаллического кремния существенная роль отводится методу кипящего слоя (КС). Кипящий слой обеспечивает интенсивный теплообмен между взвешенными твердыми частицами и газовым потоком, а также между слоем и поверхностью теплообмена; значительно возрастает площадь контакта реагентов, выравниваются температурные характеристики в рабочей зоне реактора. Вследствие этого – высокая производительность реактора кипящего слоя, сравнительная простота оборудования и возможность организации непрерывного автоматизированного технологического процесса, а также снижение удельного потребления энергии по сравнению с используемыми реакторами стержневого типа. Это позволяет значительно сократить затраты на производство солнечного кремния и сделать его более массовым, и как следствие – уменьшить стоимость получаемой энергии.

В лаборатории дисперсных систем ИТМО

НАНБ создана экспериментальная установка кипящего слоя для получения поликристаллического кремния (ПК) из моносилана, являющаяся прототипом промышленного реактора (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальная установка кипящего слоя для получения поликристаллического кремния

Проведенные на этой установке эксперименты продемонстрировали работоспособность и высокую эффективность технологии КС производства ПК из моносилана [3, 4]. Так, показатели реактора кипящего слоя значительно превосходят аналогичные показатели реакторов стержневого типа: его производительность при равных расходах моносилана возрастает в несколько раз, а удельный расход электроэнергии, соотношенный с производительностью, в 20-30 раз ниже. Выход кремния по отношению к стехиометрическому достигает 97%, что исключает необходимость введения рецикла обработанного газа [3, 4].

Созданная установка применялась на заключительной стадии лабораторной отработки предложенной в Беларуси новой технологии производства высокочистого поликристаллического кремния. Технологическая схема предполагает получение из кремнефторидной кислоты (побочного продукта при очистке экстракционной фосфорной кислоты от соединений фтора) кремнефторида натрия. На I стадии в результате термического разложения кремнефторида натрия выделяется газообразный тетрафторид кремния. На II стадии происходит химический передел тетрафторида кремния в моносилан, III стадия - пиролитическое разложение моносилана с образованием кремния и водорода.

Технология не имеет экологических проблем, т.к. продукты производства связывают фтор в нелетучие, малорастворимые в воде твердые химические соединения, которые легко утилизировать или использовать как товарные продукты.

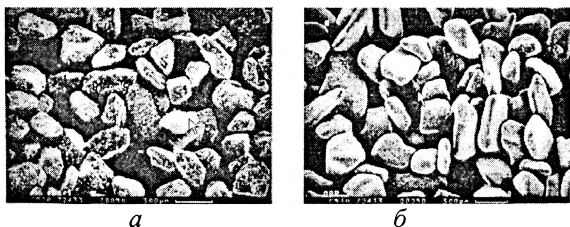


Рис. 4. Образцы исходных частиц-затравок (а) и гранулированного кремния при увеличении (б) в 50 раз

Для более глубокого изучения процессов, происходящих при пиролизе моносилана в реакторе кипящего слоя, оптимизации режимных параметров и устранения нежелательных эффектов, созданы численные модели реакторов кипящего слоя. Предложено несколько взаимодополняющих моделей, которые представляют собой различные уровни описания рассматриваемых явлений – от одномерного феноменологического до полного двух- или трехмерного описания гидродинамики и тепло- и массообмена. Сочетание различных подходов позволяет найти компромисс между производительностью (скоростью) численного расчета и достоверностью и детализацией получаемой в результате информации [3, 5].

Полученные результаты являются предпосылкой для создания опытно-промышленной установки с реактором кипящего слоя для получения поликристаллического кремния пиролитическим разложением моносилана.

### Литература

1. А.В. Наумов. Производство фотоэлектрических преобразователей и рынок кремниевого сырья в 2006-2010 гг. // Известия вузов. Материалы электронной техники, №2, 2006. С.29-35.
2. А.В. Наумов. Ещё раз о развитии солнечной энергетики и рынке кремниевого сырья в 2007-2010 гг. // Известия вузов. Материалы электронной техники, №1, 2007. С. 15-20.
3. А.П. Достанко, О.Л. Кайдов, В.П. Василевич, В.Н. Степаненко, В.И. Хитько, Л.М. Виноградов, А.В. Акулич, А.В. Васюков, Е.В. Глушко. Энергосберегающая технология получения поликристаллического кремния из отходов переработки апатитов гомельского химического комбината. // Доклады НАНБ, 2005, 49, №3, с. 56-60.
4. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Рабинович О.С, Акулич А.В. Теоретический анализ и моделирование получения поликристаллического кремния в реакторе кипящего слоя. // Инж.-физич. журн, 2005, 78, №1, с.48-53.
5. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Рабинович О.С, Пальченко Г.И., Акулич А.В., Корбан В.В. Моделирование тепло- и массообмена в реакторах кипящего слоя, используемых на различных стадиях производства поликристаллического кремния // Тепло- и массоперенос - 2007. Минск: ИТМО НАНБ, 2007. С. 20-25.

## РАЗРАБОТКА ГЕЛИОСТАНЦИИ НОВОГО ТИПА

*Северянин В.С., доктор технических наук, Почетный профессор  
Брестского государственного технического университета*

В стадии экспериментального изготовления находится описываемая ниже солнечная установка, не имеющая аналогов. Эта гелиостанция может быть применена как по известным, так и новым солнечным технологиям.

На рис. 1 изображена конструктивная схема гелиоустановки, где обозначено: конус – 1, радиус – 2, кольцо – 3, ось – 4, рычаг – 5, тяга – 6, приёмник лучистой энергии – 7, колонна – 8, кожух – 9, выступ – 10, поворотник – 11, стойка – 12, штифт – 13, цилиндр – 14, щель – 15, стержень – 16, накладка – 17, ролик – 18, опора – 19, колесо – 20, прижим – 21, основание – 22, платформа – 23, привод – 24, труба холодная – 25. Труба горячая – 26, А – наклонный верх цилиндра 14, Б – наклонный верх опоры 19. Стрелки вверх – солнечные лучи.

Гелиоустановка состоит из конусов 1, это ленты из листового материала, согнутые в виде усеченных конусов, внутренняя поверхность выполнена зеркальной, угол образующей конуса к его оси выбирается таким, чтобы солнечный луч направлялся в фокус. Конусов 1 несколько штук, между ними зазор, размеры конусов такие, чтобы их проекции на Солнце, не перекрывая друг друга, полностью, без пропуска, заполняли солнечный поток. Конусы 1 концентрические, все имеют один и тот же фокус.

Конусы 1 дистанционируются относительно друг друга радиусами 2, при этом образуется продуваемая прочная пространственная конструкция. Радиусы 2 – плоские элементы с углами, к которым крепятся конусы 1. Радиусы 2 закреп-