

15%, содержание летучих 50–65%, зольность 9–25%, содержание серы 0,7–0,9%, хорошую термостойкость, хорошую реакционную способность, экологически безвредны при сжигании.

Несмотря на необходимость больших капитальных вложений связанных с созданием установки по производству брикетов из ОСВ, получаемый эффект будет больше, особенно если учесть экономический и экологический ущерб от нецивилизованного складирования ОСВ [4, 5].

Значительные трудности вызывает то, что для промышленного использования осадков сточных вод в Республике Беларусь отсутствует соответствующая нормативно-правовая база, позволяющая произвести сертификацию (паспортизацию) ОСВ для определения способа утилизации.

Интерес представляют исследования в области технологии утилизации ОСВ и получения топливных брикетов на их основе с использованием нефтесодержащих шламов, лигнина и прочих отходов производства предприятий г. Гомеля и Гомельской области. Это позволит частично решить задачу размещения ОСВ Гомельских очистных сооружений в окружающей среде с учетом экологической безопасности, создать альтернативные возобновляемые виды топлива и обеспечить тепловой энергией собственные потребности Гомельских очистных сооружений.

Оригинальный вклад исследований заключается в том, что в случае успешной реализации будет найдено комплексное решение эффективного использования вторичных возобновляемых материальных ресурсов и улучшения экологической обстановки территорий, прилегающих к городской черте.

Экономический эффект состоит в экономии денежных средств на строительство новых иловых карт и вывоз ОСВ на полигон твердых бытовых отходов, в сокращении расходов на обеспечение тепловой энергией собственные потребности очистных сооружений, в получении дополнительной прибыли от реализации топливных брикетов сторонним промышленным предприятиям и населению.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Туровский, И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 376 с.
2. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения: учебное пособие / Е.П. Пахненко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 311 с.: ил.
3. Черноусов, С.В. Энергосбережение, как средство решения экологических проблем // С.В. Черноусов, С.П. Руднева / Энергоэффективность. – № 11. – 1999. – С. 6–9.
4. Определение размера экономического ущерба, причиненного загрязнением, деградацией и нарушением земель (Методика 0212.4.-97). Утверждена приказом Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 20 мая 1997. – № 112.
5. Временная методика определения размера экономического ущерба, причиненного загрязнением, деградацией и нарушением земель (Методика 0212.4.-97). Утверждена приказом Министра природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 112 от 20.05.1997.

Материал поступил в редакцию 21.02.12

#### VOSTROVA R.N., MAKAROV D.V. Production of fuel briquettes on the basis of the precipitation of sewage of city treatment facilities

At present there is an urgent need for disposal of sewage sludge, caused by its large accumulations in plants. The problems of making fuel briquettes from sewage sludge with the addition of waste from other industries.

УДК 620.9

Северянин В.С., Янчилин П.Ф.

### НЕКОТОРЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ГЕЛИОТЕХНИКИ

**Введение.** Возрастающие потребности в энергии – электричества и теплоты – заставляет, несмотря на многолетние и масштабные исследования, разработки, применения, искать дальнейшие пути развития гелиоустановок. Для укрепления позиций гелиоэнергетики в ряду других энергопроизводителей необходимо:

- снижать капитальные затраты на изготовление, монтаж, эксплуатацию солнечных установок (СУ);
- повышать энергетическую эффективность СУ (отношение поданной потребителю энергии к первоначальному солнечному потоку);
- решать вопрос аккумуляции энергии непостоянного восприятия солнечной энергии;
- предложить новые применения СУ для других технологий, кроме отопления и электротехники.

Эти задачи следует решать как через изучение энергетических процессов, так и созданием новых принципиальных схем и конструкций СУ.

В ряде работ [1...5] описываются проекты, посвященные упомянутым проблемам: геогелиотеплоцентральный (аккумуляция и использование большого количества теплоты, накопленной за лето); солнечная газотурбинная установка (нагрев рабочего тела – воздуха – гелиоконцентратором, работа его в турбине для электрогенератора); ректификационные СУ для крекинга нефти; плавательный наплавной бассейн, обогреваемый гелиоконцентратором; новые схемы привода следящего гелиоконцентратора нового типа и др. Предложен расчет геометрии гелиоконцентратора нового типа.

В научно-исследовательской лаборатории «ПУЛЬСАР» Брестского государственного технического университета к настоящему времени разработаны на уровне изобретений дальнейшие усовершенствованные конструкции, рассмотрены перспективные пути применения СУ.

**Технологические возможности Солнечного потока.** Солнце – центральное тело Солнечной системы, раскаленный плазменный шар, типичная звезда-карлик. Температура фотосферы 5770 К. Хромосфера и корона излучают в межпланетное пространство лучистую энергию и солнечный ветер. Планета Земля, находящаяся на расстоянии  $149 \cdot 10^6$  км от нее, получает  $2 \cdot 10^{17}$  Вт лучистой энергии. Суммарный поток солнечного излучения, проходящий через единичную площадку, перпендикулярную направлению солнечных лучей и находящуюся на расстоянии 1 астрономической единицы от Солнца, составляет  $1373 \pm 20$  Вт/м<sup>2</sup> [6].

Однако до поверхности Земли доходит существенно меньшая доля этой энергии, что зависит от широты местности, погодных условий, суточных и сезонных изменений. Применительно к Республике Беларусь Кузьмич В.В. дает следующие параметры [7], представленные в таблицах 1 и 2.

Естественно, воспринимаемая мощность зависит от диаметра (поперечного сечения) солнечного потока, а температура у теплоприемника – от качества изготовления, оптических свойств, концентрации солнечных лучей. В [8] приводятся такие данные как

Северянин Виталий Степанович, д.т.н., профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Янчилин П.Ф.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология

Таблица 1. Действительные и возможные (при ясном небе) среднемесячные суммы солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Минске, кВт·ч/м<sup>2</sup>

Месяц	Прямая		Рассеянная		Суммарная	
	Действительные суммы радиации	Возможные суммы радиации	Действительные суммы радиации	Возможные суммы радиации	Действительные суммы радиации	Возможные суммы радиации
1	4,7	26,7	13,96	13,96	18,6	40,7
2	11,6	52,3	26,7	19,8	38,3	72,1
3	39,5	107,0	46,5	31,4	86,0	138,4
4	52,34	144,2	60,5	36,0	112,8	180,2
5	83,7	190,7	76,8	46,5	160,5	237,2
6	95,4	205,9	81,4	44,2	176,8	250,1
7	88,4	203,5	80,2	44,2	168,6	247,7
8	62,8	155,8	65,1	39,5	127,9	195,3
9	41,9	111,6	45,4	26,7	87,3	138,3
10	16,3	69,8	29,1	19,8	45,4	89,6
11	4,7	32,6	13,96	12,8	18,7	51,3

Таблица 2. Число солнечных дней

Месяц	Полоцк	Гродно	Минск	Горки	Пинск	Василевичи
1	10	11	13	15	14	14
2	17	14	14	15	15	15
3	23	23	23	21	24	22
4	27	26	26	27	27	26
5	30	29	29	29	29	29
6	29	28	29	29	29	29
7	30	30	30	31	31	30
8	29	29	30	30	29	29
9	27	27	27	28	28	27
10	20	21	21	24	23	22
11	12	9	11	13	11	14
12	9	10	8	9	11	10
Год	258	257	261	263	271	266

рекордные показатели: мощность СУ (состоит из гелиоконцентратора диаметром 10 м, камеры нагрева, регулятора) – 1 МВт, температура 3500–3800 °С (Франция, Фон-Рёме-Одейо, 1970 г). Для обычных применений (например, отопление) такая высокая эксергия (работоспособность) не нужна. Развивающиеся в настоящее время солнечные электростанции используют так же рабочее тело с такой температурой, чтобы обеспечить кипение, например, воды. Поэтому гелиоконцентраторы (чаще всего – параболично-цилиндрического типа) проще, чем для уникальных СУ.

Солнечные термоэлектрические генераторы (термо-ЭДС по эффекту Зеебека) и солнечные батареи (фотоэлектрические генераторы – фотоэлементы, в которых возбуждается ЭДС, например, на границе между проводником и светочувствительным полупроводником – кремнием и др.) имеют незначительную удельную мощность, низкий КПД, высокую стоимость, требуют больших площадей для восприятия солнечного потока.

СУ со следящими гелиоконцентраторами намного более энергетически эффективны, чем плоские неподвижные гелиоколлекторы. Согласно результатам по [7] получено, что при ориентации по азимуту, т.е. когда поверхности оптимально ориентированы по двум углам (углу наклона к горизонту и азимутальному углу), средневневной приход прямой солнечной радиации на тепловоспринимающую поверхность увеличивается на 28–30% по сравнению с приходом на горизонтальную поверхность, и на 18–20% — по сравнению с тепловоспринимающей поверхностью южной ориентации.

**Тепловые процессы в теплоприемнике.** СУ в общем состоит из *солнцевоспринимающей поверхности* (солнечный коллектор – плоскость, облучаемая солнцем; гелиоконцентратор – оптическая система из зеркал или линз), *теплоприемника*, на который солнцевоспринимающая поверхность подает солнечные лучи (для простейшего коллектора первое и второе могут совпадать), *теплопровода*, отводящего теплоту от теплоприемника к теплопотребителю.

Далее будем рассматривать только СУ в роли теплогенератора (а не преобразователя в другие формы энергии), и только СУ с гелиоконцентратором. Расчет солнцевоспринимающей поверхности в виде комплекса конических зеркал (по нашему мнению, энергетически и экономически весьма эффективной) дан в работе [4].

Для теплоприемника важны следующие факторы: качество и оптические свойства поверхности, направленной на лучи; форма и размер поверхности, габариты; компоновка с другими элементами; подвод и отвод теплоносителя.

Внешняя поверхность теплоприемника должна обладать следующими оптическими свойствами – максимально поглотить попавшее на неё солнечное излучение и минимально отразить его обратно в атмосферу. Для этого применяют специальное селективное покрытие для лучепоглощающей поверхности теплоприемника. Оно обладает высоким коэффициентом поглощения  $\alpha_c$  коротковолнового солнечного излучения (короче 2 мкм), низкой излучательной способностью  $\epsilon_\tau$  в инфракрасной области (длиннее 2 мкм), стабильной величиной степени селективности  $\alpha_c/\epsilon_\tau$ , способностью выдерживать кратковременный перегрев и хорошей коррозионной стойкостью. Для идеальной селективно-поглощающей поверхности  $\alpha_c = 1$  и  $\epsilon_\tau = 0$  [9].

Поверхность «Н» теплоприемника (с гелиоконцентратором) по тепловой работе обусловлена степенью концентрации солнечного потока «К» (отношение поперечного сечения солнечного потока «F» к величине поверхности теплоприемника).

При данном солнечном потоке F для определенной тепловой мощности Q справедливы соотношения:

$$k = \frac{F}{H}; \quad Q = H \cdot q; \quad q = \frac{Q \cdot k}{F},$$

где  $q$  – удельный тепловой поток, падающий от гелиоконцентратора на теплоприемник, он пропорционален степени концентрации солнечного потока  $k$ .

Лучистый теплообмен между телами (здесь: Солнце и теплоприемник):

$$q_0 = \varepsilon_n \cdot C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ Bm} / \text{m}^2, \quad (1)$$

где  $q_0$  – удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>, от Солнца (см. выше):

$$q = q_0 \cdot k, \text{ Bm} / \text{m}^2, \quad (2)$$

$T_1$  и  $T_2$  – температуры Солнца и теплоприемника;

$C_0$  – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела;

$\varepsilon_n$  – приведенная степень черноты системы:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (3)$$

здесь  $\varepsilon_1 = 1$ , а  $\varepsilon_2$  зависит от оптических свойств поверхности теплоприемника.

По зависимости  $q$ ,  $q_0 = f(T_1, T_2)$  можно оценить температуру поверхности теплоприемника  $T_2$ .

Воспринятая тепловая мощность  $Q$  утилизируется в теплоприемнике (нагрев теплоносителя, конструкции и т. п. –  $Q_n$ ), и частично теряется в окружающую среду через обратное излучение  $Q_l$  (уже в инфракрасной части спектра) и конвекцию  $Q_k$ , для стационарного режима верно условие:

$$Q = Q_n + Q_l + Q_k, \text{ Bm} \quad (4)$$

$$Q_n = \Delta i \cdot D, \text{ Bm}, \quad (5)$$

где  $\Delta i$  – приращение энтальпии теплоносителя,  
 $D$  – расход теплоносителя,

$$Q_l = \varepsilon_2 \cdot C_0 \cdot \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \cdot H, \text{ Bm} \quad (6)$$

$$Q_k = \alpha_k \cdot \Delta T \cdot H, \text{ Bm}, \quad (7)$$

где  $\alpha_k$  – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·С°,

$\Delta T$  – разность температур между поверхностью и окружающей средой, С°.

Для достижения максимального отбора теплоты от СУ нужно соблюдать условие:

$$Q_n = Q - Q_l - Q_k \rightarrow \max, \quad (8)$$

т. е. по функциям (1-8)  $Q$ ,  $Q_l$ ,  $Q_k$ ,  $T_2 = f(H)$  найти оптимальное значение  $H$  при данных  $F$  и  $q_0$ . Качественно упомянутые зависимости показаны на рисунке 1.

Эти качественные тенденции приводят к выводам:

- для увеличения температуры теплоносителя нужно снижать  $H$ ;
- для увеличения расхода теплоносителя при незначительной температуре нужно увеличивать  $H$ ;
- для определённого расхода теплоносителя и заданной температуры нужно определить оптимальное  $H_{opt}$ ;
- величина  $H$  и ее форма уточняются через угловые коэффициенты облучения  $\varphi$ .

Выводы по теплоте относятся и к другим энергетическим потокам (например, свет).

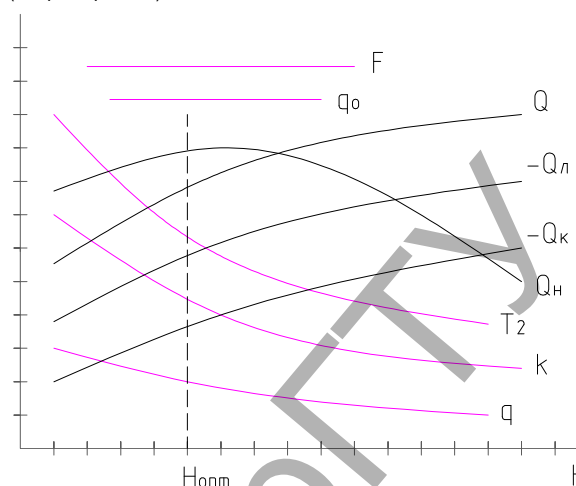


Рис. 1. Тепловые зависимости в теплоприемнике

### Новые схемы и конструкции солнечных установок

- Солнечный нагреватель [10]

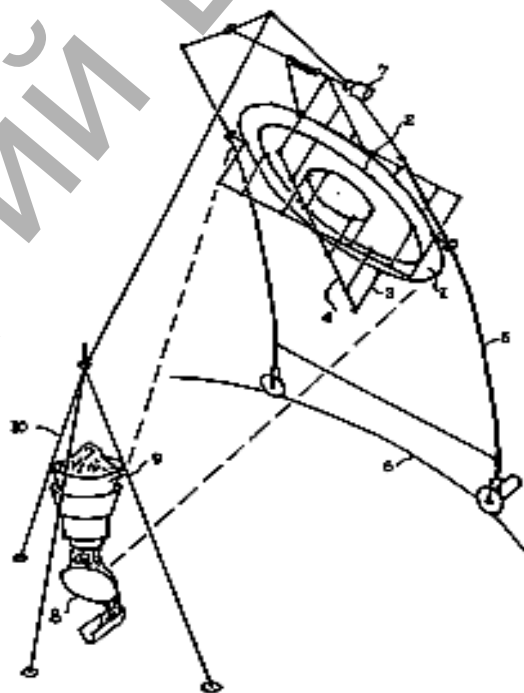


Рис. 2. Солнечный нагреватель

Солнечный нагреватель может быть использован для высокотемпературного нагрева различных объектов, в частности измельченных пластмассовых бутылок с целью утилизации путем плавления и получения пластмассового литья (строительные элементы, детали машин, аппаратов и т.д.). Основным элементом – линза (это – рефрактор, в отличие от рефлектора). Устройство линзы позволяет существенно снизить ее стоимость (ранее из-за этого фактора в солнечных нагревателях использовались исключительно зеркала – параболические, или составные из многих плоских зеркал). Линза 1 представляет собой две пленки достаточной прочности, например, из полистилена, полиуретана, фторопласта, между которыми залита вода (предпочтительно конденсат). Форма поверхностей линзы 1 корректируется и поддерживается кольцами 2, которые могут перемещаться прижимными винтами 3. Линза 1 проверяется на свои оптические характеристики: для этого кольцами 2 при помощи прижимных винтов 3 оптический фокус выводится на площадку 8. На

солнце линза 1 ориентируется путем перемещения каркаса 4, который своими проушинами скользит по вертикальным дугам 5, при этом вверх каркас поднимается при помощи двигателя 7 наверху дуги 5, вниз — отключением тормоза на оси этого двигателя. В горизонтальной плоскости линза 1 ориентируется перемещением по горизонтальной дуге 6. Двигатели 7 имеют программное управление для слежения за солнцем в течение светового дня в разные месяцы года. Засыпанный в бункер 9 измельченный материал опускается из устья его в виде столба, заполняя пространство между устьем бункера 9 и площадкой 8. Материал интенсивно прогревается солнечными лучами (известно, что достижима температура в несколько тысяч градусов). Так как фокус не обязательно иметь точечный, то требования к форме поверхностей линзы 1 не столь высокие. Теплота нагретого попутно воздуха передается стенкам бункера 9 через воздушную рубашку. При повороте системы каркаса 4 по горизонтальной площадке 8 сохраняется расположение фокуса на площадке 8, благодаря опоре 10, имеющей наверху подшипник на оси поворота. Расплав стекает с площадки 8 в специальные формы или лотки. Предполагаемая производительность 2-3 тонны в час по одной линзе.

- Гелиоустановка [11]

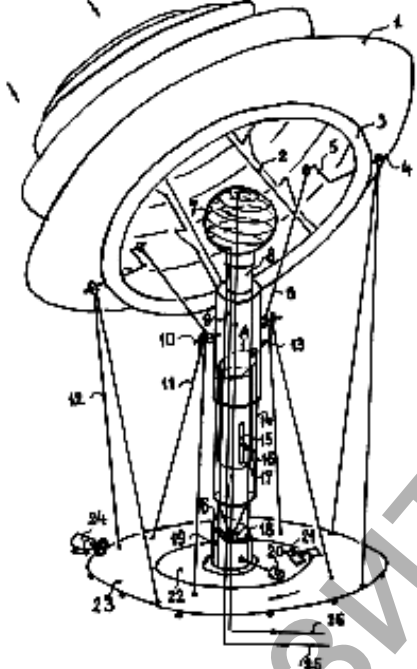


Рис. 3. Гелиоустановка

Гелиоустановка относится к коммунальной промышленной теплоэнергетике и может быть использована для нагрева жидких или газообразных теплоносителей, зарядки светоносителей (люминофоров) и работы фотоэлементов. При монтаже и строительстве гелиоустановка ориентируется так, чтобы верхняя часть наклонного верха А цилиндра 14 была направлена строго на юг, верхняя часть верха Б опоры 19 — тоже; при этом в полдень 21 июня конусы 1 своим широким основанием направлены на Солнце так, чтобы фокус лучей лежал на приемнике лучистой энергии 7. Если настройка идет в другое время, надо знать, что угол между зенитом и направлением конусов на Солнце равен широте минус угол наклона оси Земли к плоскости эклиптики ( $23^\circ$ ). Минимальный угол подъема конусов — 21 декабря, полдень. Включается привод 24. Он обеспечивает скорость вращения платформы 23, равную 1 обороту за сутки. Этим задается горизонтальное перемещение системы конусов 1, радиуса 2 и кольца 3. Это перемещение системы 1-3 идет благодаря стойкам 12, которые через оси 4 поворачивают систему 1-3. Одновременно поворотник 11 поворачивает благодаря выступам 10 кожух 9, штифт 13 скользит по наклонному верху А цилиндра 14, под действием веса всей системы 1-3 весь цилиндр опускается (или поднимается), и тяги 6, воздействуя на рычаги 5, поворачивают систему 1-3 вокруг осей

4. Так обеспечивается вертикальное перемещение оптической системы 1-3, а вместе с горизонтальным — суточное слежение за Солнцем для постоянной фиксации фокуса лучей на приемник лучистой энергии 7. Когда прижим 21 проходит над колесом 20, он его поворачивает, колесо прокатывается по основанию 22 так, что увлекает опору 19, поворачивая ее вокруг колонны 8 на  $1/365$  ( $365$  — число дней в году). Коррекция поворота может идти отдельным поворотом колеса 20. Таким образом цилиндр 14, поднимаясь или опускаясь при помощи ролика 18 на наклонном верхе Б опоры 19, щели 15 и стержня 16, поднимает или опускает наклонный верх А — это "сезонная коррекция". Ночью — холостой ход, система 1-3 направлена горизонтально, штифт 13 скользит по горизонтальному участку накладки 17, т.к. цилиндр 14 опущен. Привод 24 работает круглосуточно. Расход энергии минимален, т.к. скорость вращения платформы 23 мала. Холодный теплоноситель по холодной трубе 25 подается насосом в приемник лучистой энергии, там нагревается и выводится из гелиоустановки горячей трубой 26.

- Привод для СУ [12]

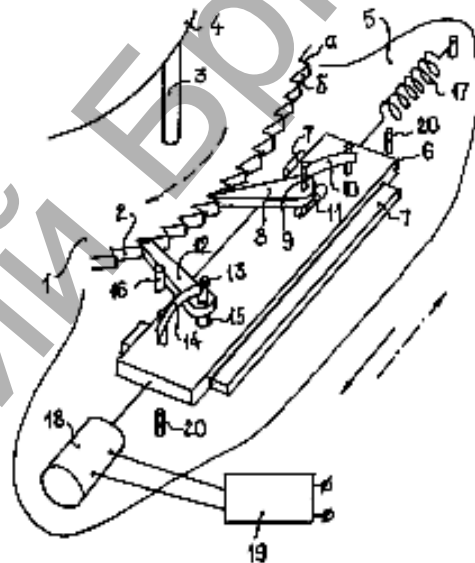


Рис. 4. Конструкция механизма привода для СУ

Привод гелиоустановки может быть использован в системах азимутальной монтировки гелиоконцентраторов гелиоустановок. Блок управления 19 подает напряжение на соленоид 18 в заданном режиме (например, включение на 0,5-0,8 с через каждые 10-15 мин в течение суток). Начинается движение по направлению сплошной стрелки. Планка 6 через отверстие 15 поворачивает стопор 12 вокруг его оси стопора 13, отгибая пружину стопора 14, так как стопор упирается в упор 16. Стопор 12 отходит от "Б", освобождая вращающуюся платформу 1. Далее планка 6, продолжая движение, выбирает длину паза 11 и начинает двигать ось зацепа 9. Зацеп 8, поджатый пружиной 10, давит на угол между зубцами 2. Вращающаяся платформа 1 поворачивается по штриховой стрелке. Пройдя расстояние, обусловленное ограничителями 20, планка 6 останавливается и при отключении соленоида 18 немедленно пружиной 17 возвращается назад (по штрих-пунктирной стрелке). Зацеп 8 за это время отходит на несколько зубцов назад, стопор 12 в конце этого обратного хода ложится на упор 16 под действием пружины стопора 14, заходя на длинную сторону другого зубца. Так готовится следующий шаг поворота вращающейся платформы 1. Благодаря такому действию происходит ступенчатый ("цифровой") поворот гелиоконцентратора 3 в горизонтальной плоскости, с фиксацией его расположения в период времени между включением соленоида 17 во избежание случайных нерасчетных поворотов (ветер, толчки, проскоки).

- СУ с термостатом [13]

Гелиоустановка может быть использована для производства теплоты в коммунальном и сельском хозяйстве для получения горячей воды различного назначения. Гелиоконцентратор 1 из комплекса ко-

нусных зеркал направляется на Солнце, чтобы сфокусировать лучи на внешней поверхности теплоприёмника 2. Механизм поворота 3 включён круглосуточно (действует непрерывно или импульсами); ночь – холостой ход, его длительность задаётся механизмом поворота 3, как у прототипа. По колонне 4 вверх подаётся холодная вода, во избежание охлаждения выходная труба 5 покрыта теплоизоляцией. Вода от излучения нагревается (порядка 50–90°C), поэтому термостат открывает проход воды на выходную трубу 5. В теплочувствительном элементе 8 нагретое вещество расширяется, и он выдавливается из штока, закрепленного на корпусе термостата 6, теплочувствительный элемент 8 тянет вверх клапан 7, вход в выходную трубу 5 открывается и нагретая вода начинает течь в неё. Если температура внутри полости теплоприёмника 2 падает (нет Солнца), вещество в теплочувствительном элементе 8 сжимается и пружина 9 отпускает клапан 7 на торец выходной трубы 5. Так переключается недогретая вода в бак-аккумулятор 10. Водопровод 11 подключён постоянно и потребитель 12 получает только горячую воду.

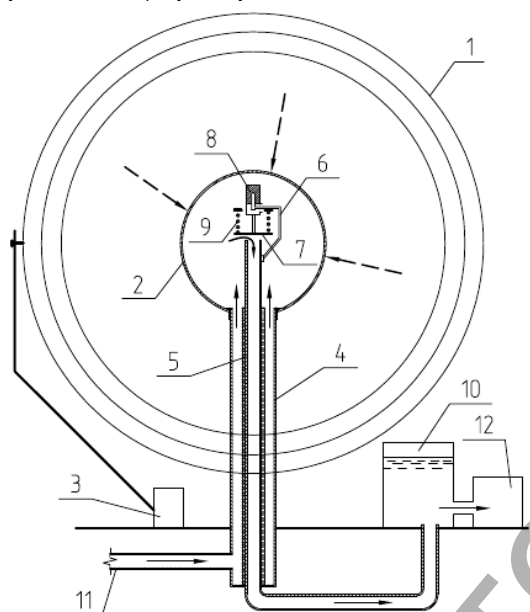


Рис. 5. Гелиоустановка с термостатом

- Когенерационная СУ [14]

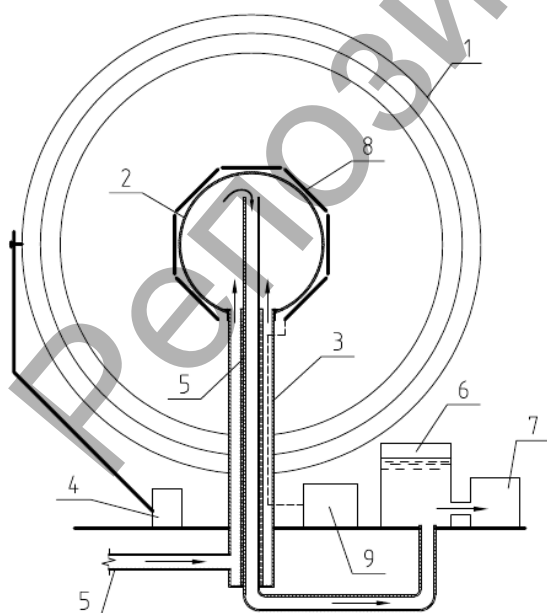


Рис. 6. Когенерационная гелиоустановка

Когенерационная гелиоустановка может быть использована для производства электроэнергии и теплоты в системах энергоснабжения, например небольших зданий, сигнальных, информационных, коммуникационных и других сооружений и устройств. Гелиоконцентратор 1 механизмом поворота 4 наводит солнечные лучи на поверхность теплоприёмника 2 со всех его сторон. По трубам 5 через колонну 3 подводится вода, она нагревается в теплоприёмнике 2, выводится в бак-аккумулятор 6 и далее — тепловому потребителю 7. В солнечных батареях 8 вырабатывается постоянный электрический ток и через систему регулирования (блокировки, распределители и т.д.) подаётся потребителю электроэнергии 9. Солнечные батареи 8 нагреваются от солнечных лучей, но теплопроводностью, лучистым и конвективным теплообменом отдают теплоту стенке теплоприёмника 2 и далее — теплоносителю в нём, происходит охлаждение солнечных батарей 8 и передача тепла тепловому потребителю 7.

Особенность действия данной установки — срабатывание энергии высокого потенциала сначала в солнечных преобразователях, а остаток энергии, прошедшей в виде теплового потока через фотоприёмники, передаётся охлаждённому теплоносителю. Так реализуется принцип когенерации. Тепловому потребителю отдаётся энергия материального или энергетического потока, который вначале выработал высокий потенциал (на ТЭЦ: сначала вырабатывается электроэнергия на турбогенераторах, а оставшаяся энергия пара отдаётся на теплофикацию).

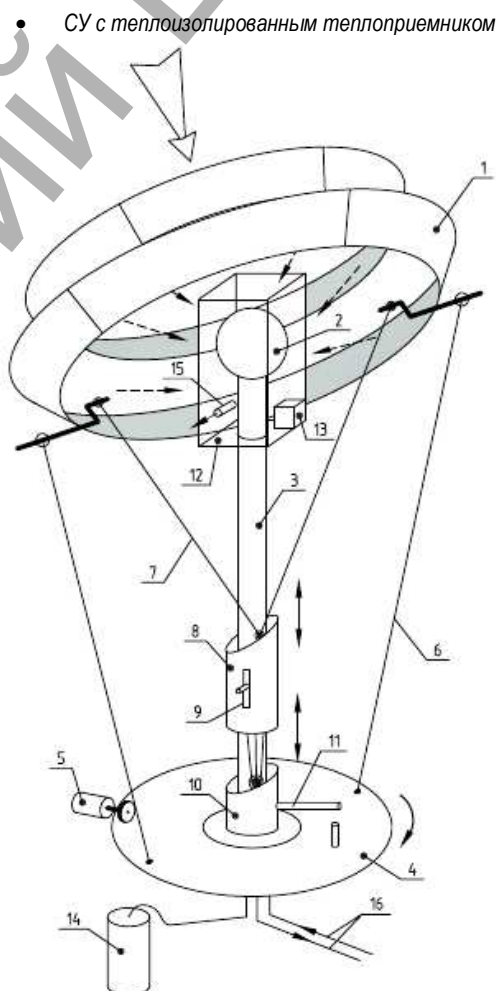
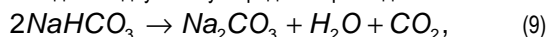


Рис. 7. Гелиоустановка с теплоизолированным теплоприёмником

Гелиоконцентратор 1 своими зеркальными конусами направляет солнечный поток на теплоприёмник 2. Гелиоконцентратор 1 при помощи привода 5, поворотной платформы 4, стоек 6, тяг 7 «обходит» вокруг теплоприёмника 2 по горизонтали, а при помощи цилиндра 8, перемещающегося по щели 9, и опоры 10, управляемой рыча-

гом 11, – по вертикали, т.е. учитывается как суточный, так и годовой ход Солнца. Как известно, парниковый эффект заключается в пропускании газовым слоем всего спектра излучения Солнца и задержании инфракрасной (тепловой) части обратного, отраженного светового потока, излучаемого нагретого прямым потоком тела. Прозрачный колпак 12 работает, во-первых, как газовоздушный теплоизолятор, так и, во-вторых, как термосопротивление для лучистого обратного теплопотока, т.е. уменьшается теплоотдача наружу (теплопотери) от теплоприёмника 2 конвекцией и радиацией. Так как тепловое излучение здесь идёт в основном в инфракрасном спектре, то необходимы трёхатомные газы, поглощающие эти лучи. Внутренний источник парниковых газов 13 при прямом нагреве Солнцем и отраженным инфракрасным потоком выделяет двуокись углерода и пары воды:



т.е. полость колпака 12 заполняется средой, удерживающей обратное излучение теплоприёмника 2. Можно использовать и другие газы (метан  $\text{CH}_4$  и т.д.), которые следует подавать из внешнего источника парниковых газов 14, открывая вентиль на нём для подачи парникового газа 15. Более того, в колпаке могут быть различные поглотители, а так же добавочные внешние прозрачные колпаки. Такая защита от теплопотерь дешевле вакуумирования полости колпака 12, особенно в обычных эксплуатационных условиях. Нагретый теплоноситель насосом подаётся тепловому потребителю и возвращается от него теплопроводами 16.

#### Новые применения солнечных установок

- Система освещения [15]

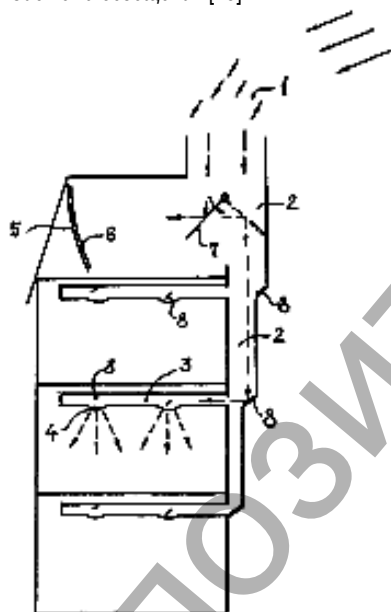


Рис. 8. Схема системы освещения

Система освещения может быть использована для освещения помещений в жилых и производственных зданиях. Прямые солнечные лучи или рассеянный свет светоприемником 1 направляется в перископ 2. Зеркалами 8 свет подается в горизонтальные световоды 3. Зеркалами 8 над осветителями 4 свет линзы попадает в помещения и создает необходимое освещение. Одновременно на слой люминофора 6 на поверхности 5 поворотными зеркалами 7 также подается часть светового потока солнечных лучей, люминофор поглощает свет, производится аккумуляция световой энергии. После ослабления Солнечного излучения (вечер, тучи) зеркала 7 автоматически или по заданному графику поворачиваются на  $90^\circ$  и, принимая излучение (фосфоресценцию) от слоя люминофора 6, передают его в перископ 2 и далее в световоды 3. Таким образом, после дневной подзарядки система освещения обеспечивает ночное

освещение помещений без потребления электроэнергии. Отключение освещения производится перекрытием штор (жалюзи) на осветителях 4.

- Способ освещения помещений и объектов [16]

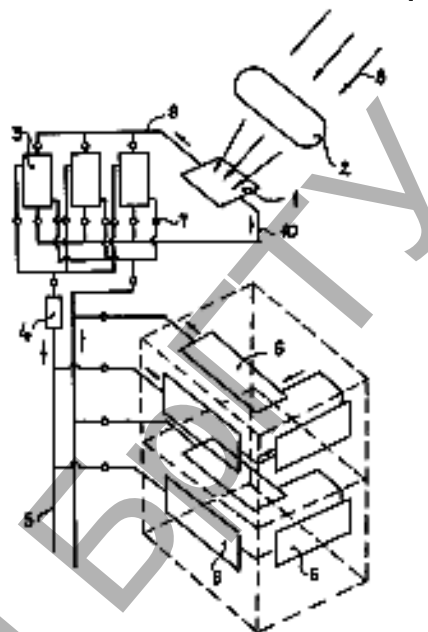


Рис. 9. Принципиальная схема освещения

Способ освещения помещений и объектов относится к инженерно-техническому оборудованию зданий и сооружений и может быть использован как для освещения помещений в обычных гражданских объектах, так и в специальных (подземные сооружения, заглубленные сооружения на безатмосферных телах, подводные объекты, космические постройки, а так же рекламные, пропагандистские и т.д. установки).

Люминофор в устройстве для экспозиции 1, имеющем прозрачную стенку, облучается солнечными лучами. Солнечный свет 8 для интенсификации облучения собирается концентратором 2 в пучок, который подается на устройство для экспозиции 1. Так как жидкий люминофор под воздействием солнечных лучей запасает не только световую, но и тепловую энергию, он нагревается, его плотность несколько уменьшается, возбужденный люминофор 9 поднимается и поступает в емкости 3. Так как в емкостях 3 имеется и отработанный, охлажденный люминофор 10, он по трубам поступает снизу в устройство для экспозиции 1, т.е. реализуется естественная циркуляция, благодаря которой люминофор постоянно движется и заряжается световой энергией, при этом увеличивается его свечение. Интенсивность естественной циркуляции зависит от движущего напора, равного произведению разности плотностей люминофора до и после устройства для экспозиции 1 и высоты участков с разными плотностями. Заряженный светом люминофор насосом 4 попадает в осветительные приборы 6 и производит освещение помещений, излучая световую энергию через прозрачные стенки осветительных приборов 6. Из осветительных приборов 6 люминофор под действием насоса 4 снова поступает в емкости 3. Потоки люминофора направляются и регулируются вентилями 7. Все емкости могут быть заполнены одним люминофором или каждая емкость может быть предназначена для определенного люминофора, чтобы можно было изменять цветность освещения помещений.

- СУ с порошкообразным люминофором [17]

Гелиоустановка может быть использована для освещения внутренних помещений, как при наличии солнечного излучения, так и в промежутке между ними (ночь, тучи, туман), благодаря запасенному люминофором излучению во время инсоляции.

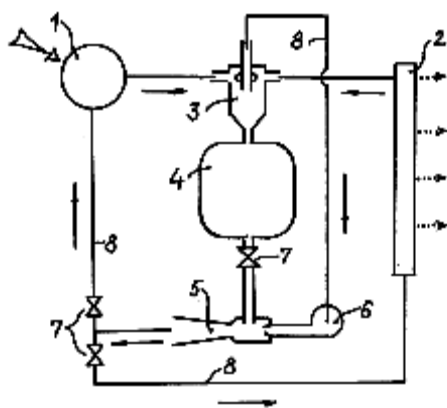


Рис. 10. Принципиальная схема СУ с порошкообразным люминофором

Гелиоустановка состоит из облучателя 1 в виде прозрачной полости, подлежащей инсоляции (это, например, шар внутри гелиоконцентратора). Осветительный прибор 2 выполнен также в виде прозрачной полости, по форме соответствующей требованиям интерьера (шар, плоскость, трубка, спираль и т.д.). Облучатель 1 и осветительный прибор 2 связаны с сепаратором 3 (это циклон с двумя тангенциальными и одним осевым патрубком). Снизу сепаратор 3 через отверстие связан с емкостью 4. Под ней монтируется инжектор 5 соплового типа, подключенный к вентилятору 6. Шиберы 7 установлены на трубопроводах 8, связывающих элементы гелиоустановки. В емкость 4 засыпается порошок люминофора (это, например, сульфид цинка, активизированный медью, или иттрийалюминиевый оксид, легированный редкоземельными элементами; порошок в виде частиц размером 50–100 нм, удельной поверхностью 70–120 м<sup>2</sup>/г). Облучатель 1 устанавливается в режим инсоляции, открывается шибер между инжектором 5 и облучателем 1, включается вентилятор 6. Благодаря действию струи воздуха (или другого газа, которым предварительно заполняется вся система) под емкостью 4 создается разрежение. Открывается шибер под емкостью 4, порошок увлекается струей и подается в облучатель 1, где идет зарядка люминофора. После облучателя 1 поток воздуха подает порошок в сепаратор 3. Взвешенные частицы центробежной силой отбрасываются на стенку и стекают вниз и далее – в емкость 4. В ней сверху накапливается облученный люминофор, а снизу выбирается инжектором необлученный. Так в емкости 4 собирается светящийся порошок. При окончании инсоляции (вечер) шиберы на облучатель и на инжектор закрываются, вентилятор отключается. Система готова к работе в режиме освещения. Для этого открывается шибер 7 на трубопроводе 8 на осветительный прибор 2, включается вентилятор 6, открывается шибер на инжектор 5, и светящийся порошок из емкости 4 движется при помощи инжектора 5 воздушной струей в осветительный прибор 2, из него – в сепаратор 3, отделяется от воздуха, возвращается в емкость 4. Проходя по 2, люминофор освещает соответствующее помещение. Кроме попеременного, возможно параллельное включение облучателя 1 и осветительного прибора 2.

• СУ со световолоконным световодом [18]

Гелиоустановка относится к инженерно-техническому оборудованию зданий и сооружений и может быть использована для освещения различных объектов, особенно при отсутствии инсоляции, за счет запасенной световой энергии. Гелиоустановка состоит из облучателя 1 с прозрачной стенкой со стороны инсоляции и осветительных приборов 2, содержащих отражатели 3 и связанные с емкостью 4 концы световолоконных кабелей 5. Другие концы (торцы) световолоконных кабелей 5 заделаны в стенке емкости 4. Под действием солнечных лучей в облучателе 1 жидкий люминофор заряжается световой энергией. За счет нагрева жидкость становится несколько легче, и осуществляется циркуляция её по контуру 1-4, т.е. емкость 4 заполняется заряженным люминофором. Люминофор через торцы световолоконных кабелей 5 передает свет в осветительный прибор

2, торцы кабелей 5 освещают отражатель 3, который распространяет свет на требуемый объект. При отсутствии инсоляции торцы кабелей 5 воспринимают свет из массы в объеме емкости 4, в течении времени свечения люминофора.

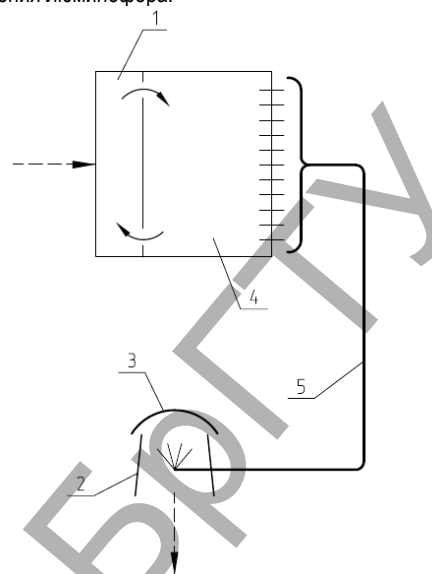


Рис. 11. Принципиальная схема СУ со световолоконным световодом

**Заключение.** Предложенные схемы и конструкции, разработанные в лаборатории «ПУЛЬСАР» БрГТУ, дают примеры снижения капитальных и текущих затрат в солнечной энергетике, повышения эффективности действия солнечных установок, возможности сохранения и утилизации теплоты.

Дана качественная оценка энергетических процессов в солнечной установке, позволяющая оценить важные параметры — температуру, расход теплоносителя, величину поверхности теплоприемника.

Впервые предложена и разработана конструктивная схема накопления света как жидким, так и порошкообразным люминофором, что приведет к существенной экономии электроэнергии на освещение, которое является весьма энергоемким.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Возможности использования солнечной энергии в Республике Беларусь. Северянин В.С., Тимошук А.Л. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2007. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 37–41.
2. Предложения лаборатории Пульсар в области солнечной и ветровой энергетики. Северянин В.С. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 40–48.
3. Об использовании солнечных энергоисточников. Северянин В.С. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2009. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 43–46.
4. Особенности расчёта оптической системы гелиоустановки «Луч». Северянин В.С. Янчилин П.Ф. // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 74–77.
5. О перспективах развития солнечной энергетики в Республике Беларусь. Северянин В.С., Янчилин П.Ф. // Перспективы инновационного развития Республики Беларусь: сб. науч. статей II Международной научной конференции, Брест, БрГТУ, 19-21 мая 2011. – С. 164–167.
6. Советский энциклопедический словарь. – Москва, 1985.
7. Кузьмич, В.В. Расчёт гелиоводонагревательных систем и их применение в сельском хозяйстве. – Минск: БелНИИСХМ, Препринт, 1997. – 87 с.
8. Политехнический словарь. – Москва, 1989.

9. Харченко, Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
10. Солнечный нагреватель: патент 934 Респ. Беларусь, МПК F 24 J 2/00 / Северянин В.С.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20020319 заявл. 01.11.2002.
11. Гелиоустановка: патент 3998 Респ. Беларусь, МПК F 24 J 2/00 / Северянин В.С.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20070327 заявл. 02.05.2007.
12. Гелиоустановка: патент 6003 Респ. Беларусь, МПК F 24 J 2/00 / Северянин В.С., Янчилин П.Ф.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20090647 заявл. 23.07.2009.
13. Гелиоустановка: патент 6325 Респ. Беларусь, МПК F 24 J 2/00 / Северянин В.С., Янчилин П.Ф.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20090995 заявл. 25.11.2009.
14. Когенерационная гелиоустановка: Положительное решение от 02.11.2011, № и 20110511 от 2011.06.23
15. Система освещения: патент 6524 С1 Респ. Беларусь, МПК F 21 S 11/00 / Северянин В.С.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № а 20000953 заявл. 2000.10.24, 2004.09.30.
16. Способ освещения: патент 6369 С1 Респ. Беларусь, МПК F 21 K 2/00 / Северянин В.С.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № а 20000955 заявл. 2000.10.24, 2004.09.30.
17. Гелиоустановка: патент 6889 U Респ. Беларусь, МПК F 21 K 2/00, F 21 S 11/00 / Северянин В.С., Власова Т.А.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20100484 заявл. 21.05.2010.
18. Гелиоустановка: патент 6939 U Респ. Беларусь, МПК F 21 K 2/00, F 21 S 11/00 / Северянин В.С., Янчилин П.Ф.; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т. — № и 20100555 заявл. 14.06.2010.

Материал поступил в редакцию 23.02.12

#### SEVERYANIN V.S., YANCHILIN P.F. Some ways of solar equipment evolution

The connections between energy parameters are considered for elements of solar. It is indicated that dimension of solar heat receiver is depended from many factors. Many examples of new solar equipments and using methods are described in this article.

УДК 534.142, УДК 628.3

Новосельцева Д.В.

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ГОРЕНИЯ

**Введение.** Высокоэффективным способом сжигания топлива является пульсирующее горение. Пульсирующим горением называется неустойчивый режим горения с изменяющимися во времени динамическими характеристиками процесса, имеющими периодическую составляющую. Изменение характеристик процесса во времени, полученное В.С. Северяниным, представлено на рис. 1 [1].

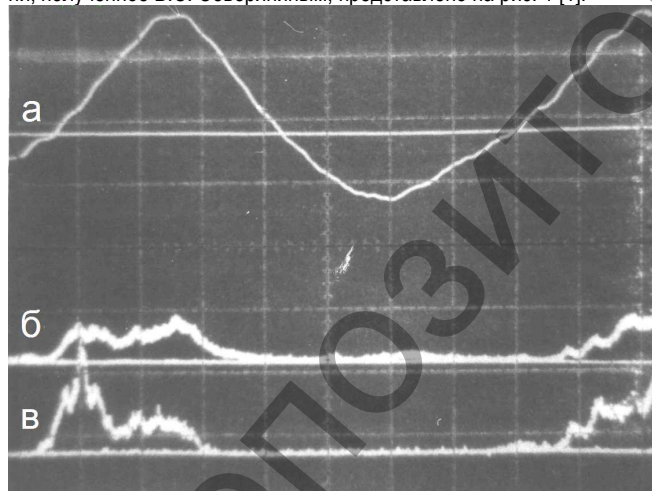


Рис. 1. Изменение динамических характеристик процесса во времени: а – изменение давления; б – изменение температуры; в – изменение концентрации радикалов

Для поддержания устойчивого пульсирующего режима необходимо соблюдение правила Рейля: теплоподвод должен осуществляться в фазе сжатия, т.е. должен совпадать с положительной фазой переменного давления.

При обсуждении особенностей пульсирующего горения газа [2] на первый план, как правило, выдвигаются вопросы интенсификации процессов переноса (теплопроводности, диффузии, конвективного теплообмена), перемешивания компонентов и т.д. под влиянием

пульсаций скорости. Наряду с этими важными явлениями большое значение имеет влияние пульсаций давления на макроскопическую кинетику реакций в пульсирующем газовом потоке. В настоящее время исследования по данному вопросу отсутствуют.

**Воздействие нестационарного давления.** Колебания давления, возникающие при слоевом пульсирующем горении газа, близки к гармоническим (см. рис. 1) и могут быть описаны известным соотношением [2]:

$$p(t) = p_{cp} + p_a \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1)$$

где  $p_{cp}$  – среднее значение давления (атмосферное), Па;

$p_a$  – амплитудное значение давления, Па;

$\omega$  – круговая частота пульсаций,  $c^{-1}$ .

Перед оценкой воздействия нестационарного давления на кинетику реакции выясним, как влияет частота данных колебаний на скорость химической реакции. Для этого рассмотрим две молекулы, реакция между которыми, согласно теории активных соударений [3], может произойти при выполнении следующих условий:

молекулы должны столкнуться;

молекулы должны обладать необходимой энергией (энергией активации);

молекулы должны быть правильно ориентированы относительно друг друга.

Предположим, что одна из молекул неподвижна, молекулы обладают энергией активации и правильно ориентированы относительно друг друга. Тогда единственным необходимым условием для начала реакции является прохождение молекулой некоторого пути до соударения с другой молекулой, называемого средней длиной свободного пробега.

Средняя длина свободного пробега может быть вычислена по формуле [4]:

$$\lambda = \frac{\bar{V}}{Z}, \quad (2)$$

Новосельцева Дина Владимировна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.