

Из рис. 3 видно, что время закрытого состояния заслонки должно находиться в пределе до 0,6 сек., после чего воздуха подается меньше чем при стационарной подаче.

В течение времени пока закрыта заслонка  $\alpha < 1$ , так как  $V < N$ , образуется какое-то количество газов, как только открывается заслонка  $\alpha > 1$ , так как  $V > N$ , сгорают образовавшиеся газы, и, как только они сгорели, закрывается заслонка и процесс повторяется.

**Заключение.** Прерывистая подача воздуха обусловлена режимом открытия и режимом закрытием заслонки, регулирующей подачу воздуха. При таком способе подачи воздуха реализуются следующие факты:

1. Расход воздуха может быть увеличен при прерывистой подаче воздуха в топку [1].
2. В уходящих газах уменьшаются концентрации вредных веществ.

3. Кроме того, можно добиться таких режимов подачи воздуха, при которых в одном и том же топочном объеме будет происходить и газогенерация – горение при коэффициенте избытка воздуха меньше 1; и дожигание генераторных газов – горение при коэффициенте избытка воздуха больше 1. Последний факт позволит упростить конструкцию оборудования для сжигания местных твердых видов топлива (как правило, они низкосортны).

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Черников, И.А. Повышение эффективности сжигания низкосортных топлив в топках кругового ворошения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Брест, 2004.
2. Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. – М.: Энергия, 1975.

Материал поступил в редакцию 09.04.09

**SEVERIANIN V.S., KUSHNERIK V.V. Osobennosti of faltering giving of air in a fire chamber**

In article some features of faltering submission of air in the boiler, and influence of such way of submission of air on processes of burning are considered.

УДК 620.9

Северянин В.С.

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ**

**Введение.** Несмотря на сложности реализации проектов солнечной энергетики, особенно в странах с незначительной и неравномерной инсоляцией, исследовательские и внедренческие работы не ослабевают. Громадный поток солнечной световой энергии столь значителен (более 1,3 кВт/м<sup>2</sup>) на уровне орбиты Земли, что заставляет постоянно возвращаться к этому возобновляющемуся энергоисточнику и решать не только задачи по улавливанию, фиксации, аккумулярованию и передаче потребителям этой энергии, но и оптимизации потребления, поиску новых целесообразных потребителей.

В предыдущем номере нашего журнала (Вестник БрГТУ. – №2, 2008. – С. 40–48) описаны разработанные научно-исследовательской лабораторией ПУЛЬСАР-БрГТУ некоторые конструкции гелиоустановок. В настоящей статье показаны такие направления использования гелиотехники, которые являясь неординарными, позволят смягчать проблемы энергосбережения для крупных энергопотребителей и энергопроизводителей: нефтехимическая промышленность, энергетика, коммунальное хозяйство. Эти примеры подчёркивают необходимость дальнейшего развития гелиотехники.

**Способ ректификации.** Способы ректификации (или крекинга, перегонки) нефти основаны на том, что при нагреве нефти образуется паровая фаза, отличающаяся от жидкости. Конденсируя пар при разных температурах получают бензин, лигорин, керосин, дизтопливо, мазут. Это сопровождается большим расходом топлива для получения необходимого количества теплоты в процессе ректификации. Для этого используется топливо в специальных печах с теплообменниками. Недостаток процесса – отрицательное экологическое действие горения, уменьшение выхода продукта из-за потребления его в качестве топлива. Поэтому надо уменьшить расход топлива на проведение процесса ректификации нефти, что реализуется применением солнечной энергии. Технический результат – уменьшение загрязнения окружающей среды продуктами горения, расхода топлива, увеличение количества продукта при том же исходном количестве нефти. Это достигается тем, что ректификация, заключающаяся в нагреве путём подачи теплоты к кипящему потоку нефти с последующим многоступенчатым отбором паров, их конденсацией и охлаждением продукта, ведётся так, что параллельно нагреву нефти в огневых подогревателях осуществляют подогрев в гелиоустановке, причём последовательно: в гелиоколлекторах до температуры кипения, в гелиоконцентраторах – при температуре кипения нефти.

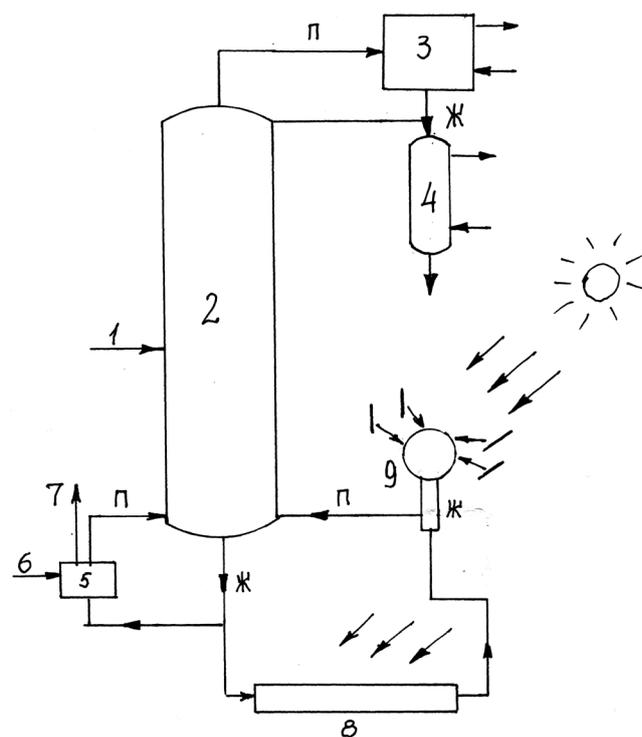


Рис. 1

Предлагаемый способ может быть реализован по схеме, изображённой на рис. 1, где обозначено: подача сырой нефти – 1, ректификационная колонна – 2, конденсатор -3, охладитель продукта – 4, огневой нагреватель – 5, подача топлива – 6, выброс продуктов сгорания – 7, гелиоколлектор – 8, гелиоконцентратор – 9, жидкость – Ж, пар – П используется существующее и новое оборудование. Подача сырой нефти 1 – обычными насосами и трубопроводами, ректификационная колонна 2 с ректификационными тарелками, конденсатор 3 обычного трубчатого типа, в трубки подаётся охладитель (вода и др.), охладитель продукта 4 – рекуперативный теплообменник, огневой нагреватель 5 – это печь с горелками с подачей топлива 6 и выбросом продуктов сгорания 7 в атмосферу, и теплообменни-

ком, в трубах которого протекает нефть, гелиоколлектор 8 – это солнечный нагреватель типа «чёрный ящик» с парниковым эффектом (плоская или выгнутая зачернённая поверхность, по которой выложены трубы, закрытые сверху стеклом), гелиоконцентратор 9 – это постоянно ориентированная на Солнце оптическая отражательно-фокусирующая система с теплоприёмником в виде зачернённой снаружи полости в её фокусе (см. в упомянутой выше ссылке). Нефть в жидком виде «Ж» или в паровой фазе «П» перемещается в трубопроводах с насосами, задвижками, приборами, блокировками, автоматическими регуляторами.

Системой подачи сырой нефти 1 из нефтепровода или от скважины нефть поступает в вертикальную ректификационную колонну 2, из которой пары сверху или сбоку подаются в конденсаторы 3, которые охлаждаются проточной водой (могут быть другие охладители, например, холодная сырая нефть). Охладитель продукта 4 выдаёт непосредственно товарный продукт (моторное топливо и т.п.).

Огневой подогреватель 5 включается в ночное время или пасмурную погоду подачей топлива 6 (в частности, вырабатываемое самой установкой), теплота продуктов сгорания передаётся нефти, выброс продуктов сгорания 7 через трубу в атмосферу.

Основная работа установки – действие солнечных нагревателей: гелиоколлектора 8 и гелиоконцентратора 9. В гелиоколлектор 8 нефть в жидком виде «Ж» поступает из нижней части ректификационной колонны 2, подогревается до температуры 100...300°C и насосами нагнетается в теплоприёмник гелиоконцентратора 9, где нагревается до температур 300...700°C, из него двухфазная среда «П» входит в ректификационную колонну 2. Жидкая фаза несколько охлаждается сырой нефтью и вновь подаётся в гелиоколлектор 8. Паровая фаза «П» в ректификационной колонне 2 подвергается обычному процессу разделения на фракции и затем конденсируется и охлаждается переходя в виде дистилата в продукт.

Благодаря использованию солнечной энергии, резко снижается (вплоть до нуля) расход топлива на ведение технологического процесса. При этом предупреждается загрязнение атмосферы продуктами сгорания, повышается выход продукта. Описанная схема особенно целесообразна для регионов, обеспеченных нефтяными ресурсами и повышенной солнечной инсоляцией (Венесуэла, Иран, арабийский пояс и т.п.).

**Энергоустановка.** Газотурбинные энергоустановки состоят из турбины, компрессора, камеры сгорания. Воздух засасывается из атмосферы компрессором, в сжатом состоянии подаётся в камеру сгорания, где за счёт сжигания топлива его температура существенно, до 500...1000°C повышается, горячий сжатый газ поступает в турбину, которая производит полезную работу (часть её расходуется на привод компрессора). Недостаток – потребление высококачественного дорогого органического топлива.

В солнечных газотурбинных установках рабочее тело (газ, воздух, пары и др.) подогревается в солнечном котле, заменяющем обычную камеру сгорания. Здесь добавляется важный элемент – солнечный концентратор, величина и качество которого определяют электрическую и тепловую мощность энергоустановки. Установка также состоит из турбины, компрессора (или насоса, т.е. нагнетателя рабочего тела), теплообменника между турбиной и компрессором. Так как приток солнечной энергии неравномерен, используется также тепловой аккумулятор, расположенный между солнечным котлом и турбиной (по ходу рабочего тела). Из теплового аккумулятора рабочее тело поступает в турбину во время снижения или отсутствия солнечной инсоляции. Такие энергоустановки позволяют сократить промышленное потребление органического топлива. Недостаток – сложность схем и конструкций элементов, невозможность создать тепловой аккумулятор большой ёмкости (например, на зимний период) с большим давлением, дорогие вещества для сохранения теплоты. Поэтому предлагались только энергоустановки малой мощности. Необходимо усовершенствовать хранение теплоты путём увеличения её количества и повышения давления теплоносителя, являющегося рабочим телом энергоустановки, для создания промышленной энергоустановки, производящей электроэнергию и теплоту, исполь-

зующей альтернативный возобновляющийся энергоресурс – солнечную энергию. Это достигается тем, что энергоустановка, состоящая из солнечного концентратора, солнечного котла, турбины, компрессора, теплообменника, имеет тепловой аккумулятор в виде подземного пористого массива, связанного скважинами и трубопроводами с солнечным котлом и турбиной.

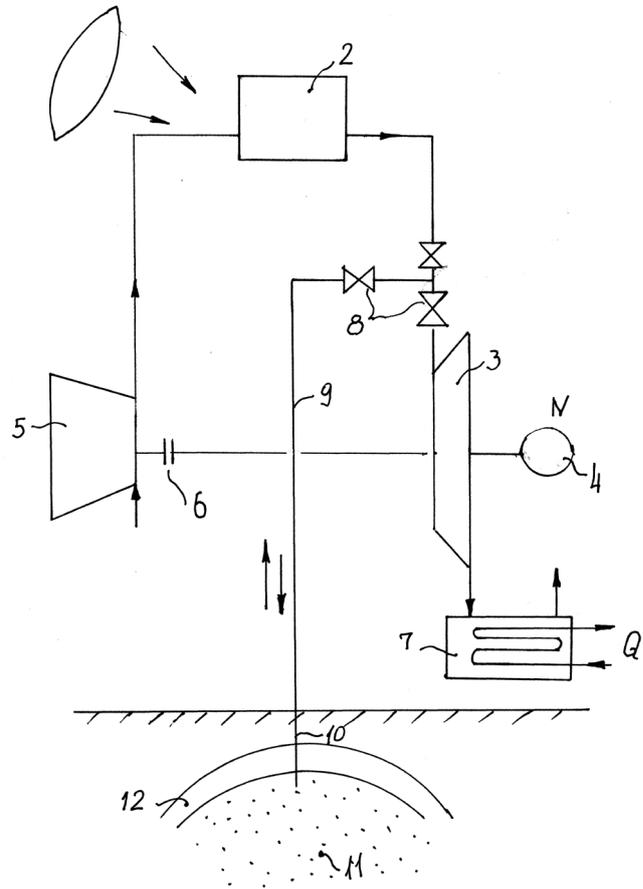


Рис. 2

На рис. 2 показана принципиальная технологическая схема энергоустановки. Обозначения: 1 – солнечный концентратор, 2 – солнечный котёл, 3 – турбина, 4 – электрогенератор, 5 – компрессор, 6 – Муфта, 7 – теплообменник, 8 – вентили, 9 – трубопроводы, 10 – скважина, 11 – пористый массив, 12 – газонепроницаемый слой.

Энергоустановка состоит из солнечного концентратора 1 (см. ту же ссылку). Солнечный котёл 2 – это поверхностный теплообменник, воспринимающий солнечное излучение, внутренняя часть – воздухоходы. Турбина 3 – обычная двух или трёхступенчатая турбина, на одном валу с ней – электрогенератор 4, вырабатывающий электроэнергию N. Соосно турбине установлен многоступенчатый компрессор 5, подсоединённый к турбине через муфту 6, позволяющую отключать его. Выхлоп из турбины 3 связан с теплообменником 7, через который отбирается тепло Q выхлопного воздуха для передачи тепловому потребителю (это системы отопления или регенератор в схеме энергоустановки). Вентили 8 установлены на трубопроводах 9, связанных со скважиной 10. Скважина 10 пробурена до пористого массива 11, перекрытого сверху газонепроницаемым слоем 12. Аналог этой структуры – подземное хранилище газа. Например, Прибужское ПХГ имеет полезную ёмкость пористой структуры порядка 1 млрд. м<sup>3</sup> на глубине 500...1500 м.

Работает энергоустановка следующим образом: в обычном режиме солнечный концентратор 1 нагревает воздух в солнечном котле 2 для подачи его в турбину 3, которая вращает электрогенератор 4 и компрессор 5. Выхлоп из турбины 3 идёт в теплообменник 7, отдаётся теплота тепловому потребителю. При снижении электрической нагрузки N часть воздуха после солнечного котла 2 трубопроводами 9 подаётся в скважину 10, и в пористом массиве 11 создаёт-

ся запас горячего воздуха с повышенным давлением (200...500°C, 10...50 атм). От утечек воздуха предохраняет газонепроницаемый (глиняный) слой 12.

На период снижения солнечной инсоляции муфта 6 отключает компрессор 5, вентилями 8 воздух из массива 11 через скважину 10 подаётся в турбину 3, что позволяет без перерывов производить электроэнергию и теплоту.

Технико-экономический эффект заключается в создании тепловых электростанций на альтернативных энергоресурсах, что позволяет уменьшить потребление топлива.

**Плавательный бассейн.** Плавательные бассейны состоят из водяных ванн различной величины и конфигурации. Они представляют собой ёмкость, оформленную соответствующими устройствами гидроизоляции, стенками, помостами. При увеличении размеров резко возрастает стоимость сооружения. Закрытые бассейны для плавания защищены от внешней среды строительными конструкциями. Недостатки: большой объём грунтовых работ при сооружении, сложность и большое количество строительных конструкций, требование подачи внешней теплоты для поддержания температурного режима, питание от городской водонагревательной сети. Как следствие – высокая цена строительства, эксплуатации, оплаты посещения бассейна. Поэтому желательно изучить вопрос, как отказаться от дорогих строительных работ и конструкций, уменьшить потребление теплоты и воды от городских источников. Технический результат – плавательный бассейн массового посещения благодаря низкой стоимости его возведения и эксплуатации, т.е. решается и важная социальная проблема оздоровления населения и занятости молодёжи. Это достигается тем, что плавательный бассейн содержит ванну с арочным перекрытием, гардероб, душевые, подогреватель воды, водоочиститель, ванна изготовлена из наружной и внутренней ёмкостей, вложенных одна в другую с зазором между ними, заполненным теплоизоляцией, ёмкости смонтированы в существующем акватории, арочное перекрытие представляет собой плёнку, уложенную на надувные лонжероны, подогреватель воды состоит из топливного нагревателя и соединённого с ним солнечного нагревателя, установленного на колонне с гелиоконцентратором и механизмом поворота, чем данный бассейн отличается от всех других типов.

В отличие от других типов бассейнов этот можно назвать «наплавной бассейн».

На чертеже изображён поперечный разрез по предлагаемому плавательному бассейну, где обозначено: существующий акваторий – 1, дно – 2, ванна – 3, наружная ёмкость – 4, внутренняя ёмкость – 5, теплоизоляция – 6, помост – 7, надувной лонжерон – 8, плёнка – 9, колонна – 10, растяжки – 11, поворотный механизм – 12, солнечный нагреватель – 13, гелиоконцентратор – 14, топливный нагреватель – 15, душевые – 16, гардероб – 17, водоочиститель – 18, водоводы – 19.

Плавательный бассейн монтируется в существующем акватории 1, естественном или искусственном (реки, озёра, пруды, бездействующие зимой бассейны различного назначения), дно 2 которых почти не требует особой строительной подготовки, только выравнивание по требуемой глубине. Объём ванны 3 образуют: наружная ёмкость 4 – это плёночный параллелепипед, внутрь которого вложена внутренняя ёмкость 5 такой же конструкции; предварительно между ними рассыпана теплоизоляция 6 (это могут быть пустые бросовые пластмассовые бутылки). Ёмкости 4, 5 закрепляются к помосту 7, имеющему каркас, перила, поручни, лестницы и т.п. К помосту 7 прикреплены надувные лонжероны 8, покрытые сверху плёнкой 9 на всю длину бассейна. Надувные лонжероны 8 и плёнка 9 являются арочным перекрытием. Сквозь плёнку 9 проходит колонна 10 (это алюминиевая труба), место её установки в центре или в углах бассейна, уточняется заказчиком, колонна закрепляется растяжками 11, опирающимися на помост 7. Снизу колонны 10 расположен поворотный механизм 12 для слежения за Солнцем, снабжённый электродвигателем с редуктором и регулятором. В верхней части колонны 10 смонтирован солнечный нагреватель 13 в виде зачернённой полости, вокруг которой ориентирован гелиоконцентратор 14. Он представляет собой группу зеркальных конусов, в фокусе которых находится солнечный нагреватель 13.

На береговой части бассейна находятся вспомогательные объекты: топливный нагреватель 15, душевые 16, гардероб 17. Под ними смонтированы водоочистители 18 (фильтры, насосы, дозаторы, регуляторы, сборники отходов).

Технологическое перемещение воды в бассейне обеспечивается водоводами 19 (стальные или пластмассовые трубы с необходи-

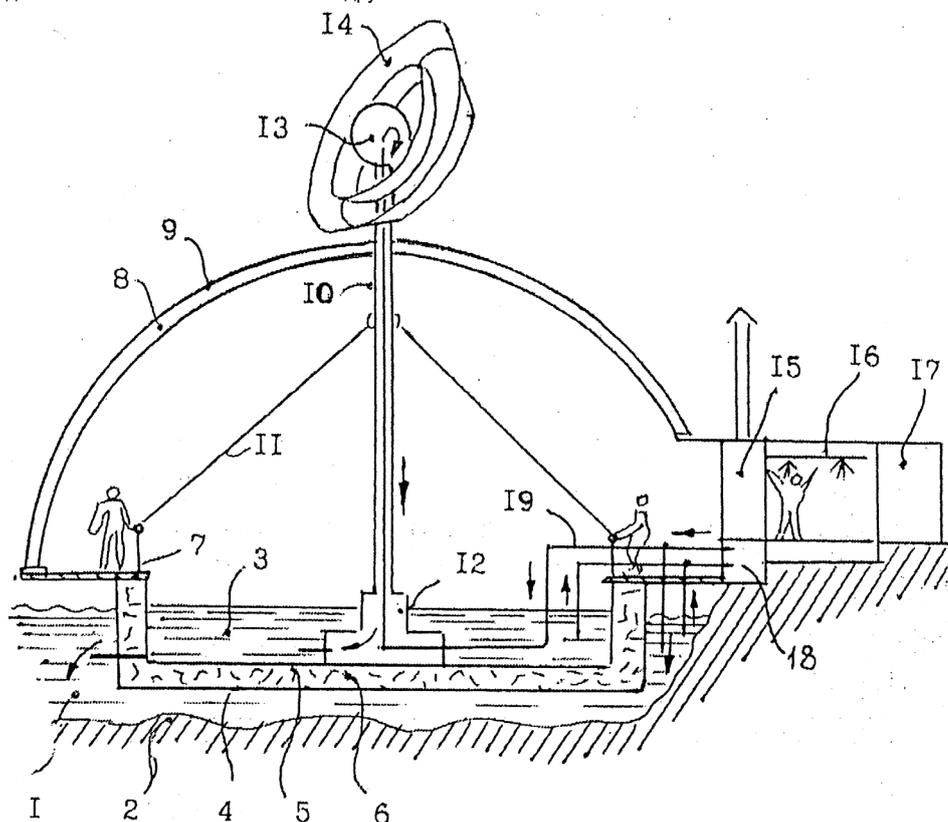


Рис. 3

мыми задвижками, вентилями, расходомерами и другими приборами), см. стрелки на чертеже.

При строительстве выбирается по соответствующим критериям для населения, экологической и экономической целесообразности существующий акваторий 1, выравнивается дно 2. Формируется ванна 3, для этого выкладывается на воду наружная ёмкость 4, насыпается теплоизоляция 6, на неё кладётся внутренняя ёмкость 5 и заполняется наружной водой. Ёмкости 4, 5 сами опускаются на требуемую глубину, выполненная дешёвым материалом с высокими теплозащитными свойствами (теплоизоляция 6 из пустых утилизированных пластмассовых бутылок), обеспечивает сохранность тепла, чему способствует арочное перекрытие из лонжеронов 8 и плёнки 9. При наличии инсоляции вода, подаваемая в солнечный нагреватель 13 трубой в колонне 10, нагревается гелиоконцентратором 14,

опускается по колонне 10 (между внутренней трубой и стенкой колонны) и подаётся во внутреннюю ёмкость 5. При необходимости включается топливный нагреватель 15 (работает на газообразном, жидком или твёрдом топливе). Вода может циркулировать (ёмкость 5 – нагреватели 13 и 15) или забираться снаружи и сбрасываться наружу переключением задвижек на водоводах 19.

При необходимости наружная ёмкость 4 заякоривается. Для работы бассейна используется вода существующего акватория 1 (исключая забор с листового дна 2) для заполнения ванны 3. Теплогидроизоляция между наружной 4 и внутренней 5 ёмкостями, выполненная дешёвым материалом с высокими теплозащитными свойствами (теплоизоляция 6 из пустых утилизированных пластмассовых бутылок), обеспечивает сохранность тепла, чему способствует арочное перекрытие из лонжеронов 8 и плёнки 9.

При наличии инсоляции вода, подаваемая в солнечный нагреватель 13 трубой в колонне 10, нагревается гелиоконцентратором 14,

Посетители после гардероба 17 и душевых 16 попадают в бассейн с заданной температурой воды и воздуха. Водоочиститель 18 не допускает наличия вредных веществ в ванне 3 и в сбросной воде в акваторий 1. Отходы концентрируются и вывозятся в контейнерах.

Экономический эффект заключается в снижении стоимости строительства и эксплуатации плавательного бассейна, снижении сроков проектирования, строительства, доводок, уменьшении загрязнения окружающей среды.

Социальный эффект – оздоровление населения, спортивные мероприятия, полезная занятость молодёжи.

Социальный эффект – оздоровление населения, спортивные мероприятия, полезная занятость молодёжи.

#### Заключение

1. Предложено несколько новых направлений внедрения солнечных энергоустановок.
2. Вопросы об экономической целесообразности описанных предложений должны решаться на конкретных примерах с учётом не только замещения углеводородного топлива, но и социальных и экологических условий.
3. Дальнейшие конструкторские работы требуют инвестиций для теоретических и режимных исследований.

Материал поступил в редакцию 29.04.09

#### SEVERYANIN V.S. About use solar power-supplier

The using of solar energy sources some examples of using of solar energy sources are described in this article: for oil-chemical industry, for energetics, for municipal economy.

УДК 1621.311.25:551.521.1/363

Кузьмич В.В.

## РАСЧЕТ ПРИХОДА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

**Введение.** Для расчета прихода солнечной радиации на наклонную лучепоглощающую поверхность, необходимо знать углы падения солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности в данном месте [1, 2]. Положение некоторой точки *A* на земной поверхности относительно солнечных лучей в данный момент времени определяется широтой ее месторасположения  $\varphi$ , угловым солнечным временем  $\omega$  и склонением Солнца  $\delta$ . Широта  $\varphi$  — это угол между линией, соединяющей точку *A* с центром Земли *O* и ее проекцией на плоскость экватора. Угловое солнечное время  $\omega$  — это угол, измеренный в экваториальной плоскости между проекцией линии *OA* и проекцией линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Если каждый час измерять смещение Солнца относительно положения в полдень, то получим ряд значений угла  $\omega$ , характеризующих его угловые перемещения вокруг этой оси в зависимости от времени  $t$  после полудня, тогда  $\omega = t / 24 \cdot 360 = t / 24 \cdot 2\pi = 0,262 \cdot t$  рад.

Склонение Солнца  $\delta$  — это угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца и ее проекцией на плоскость экватора. Склонение Солнца в течение года непрерывно изменяется от  $-23^{\circ}5'$  в день зимнего солнцестояния 22 декабря до  $23^{\circ}5'$  в день летнего солнцестояния 22 июня и равно нулю в дни весеннего (21 марта) и осеннего (23 сентября) равноденствия.

В расчетах солнечной радиации используется также зенитный угол Солнца  $\theta_z$ , угол высоты  $\alpha$  и азимут  $\alpha_s$ , а также азимут поверхности  $\alpha_n$ . Зенитный угол Солнца  $\theta_z$  — угол между направлением на Солнце и вертикалью к горизонтальной плоскости. Зенитный угол вычисляется по следующей формуле:

$$\theta_z = 90^{\circ} - \alpha. \quad (1)$$

Высота Солнца  $\alpha$  над горизонтом — угол в вертикальной плоскости между солнечным лучом и его проекцией на горизонтальную плоскость. Угол высоты Солнца  $\alpha = 90^{\circ} - \theta_z$ , поэтому  $\sin \alpha = \cos \theta_z$ . Очевидно, в полдень высота Солнца  $\alpha = 90^{\circ} - \varphi + \delta$ , но в другое время суток кажущееся положение Солнца определяется несколько труднее, т.е.

$$\sin \alpha = \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta. \quad (2)$$

Азимут  $\alpha_s$  Солнца — это угол в горизонтальной плоскости между проекцией солнечного луча и линией, направленной на юг. Значения азимута Солнца на территории республики вычисляются по формуле:

$$\sin \alpha_s = (\cos \delta \cdot \cos \omega) / \cos \alpha. \quad (3)$$

Азимут поверхности  $\alpha_n$  измеряется как угол между нормалью к поверхности и направлением на юг.

**Угловые соотношения.** Тепловоспринимающая поверхность принимает наибольшее количество солнечной энергии в том случае, когда она расположена перпендикулярно к падающим солнечным лучам. При отклонении поверхности на юго-запад или юго-восток не более чем на  $15^{\circ}$  получим гелиорадиации около 99%.

Для определения возможного падающего солнечного излучения на поверхность, когда она поворачивается на некоторый угол  $\beta$  относительно горизонтальной плоскости, были произведены расчеты для всех широт республики при углах  $\beta$  от  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ .

Расчеты показывают, что для получения максимальной тепловой энергии (100%) поверхность должна быть установлена под углом  $\beta$  к горизонту в диапазонах, указанных в таблице 1.