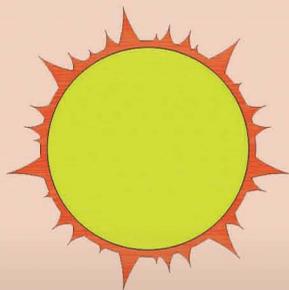


Н.И. Подгорнов

ТЕРМООБРАБОТКА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ



Н.И. Подгорнов

**ТЕРМООБРАБОТКА
БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**



Издательство АСВ
Москва
2010

УДК 693.547.1:697.329

Рецензенты:

Зав. кафедрой «Организация строительного производства» МГСУ, д.т.н., профессор *Олейник П.П.*;
д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, Лауреат Государственных премий СССР и РФ, Президент Российской инженерной академии *Гусев Б.В.*

Подгорнов Н.И.

Термообработка бетона с использованием солнечной энергии: Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 328 с.

ISBN 978-5-93093-756-5

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований методов использования солнечной энергии для термообработки бетона, изучены теплообменные и термовлажностные процессы и кинетика роста прочности при твердении бетона в различных гелиотехнических устройствах и системах, оптимизированы режимы его выдерживания. Показано влияние технологии термообработки и условий окружающей среды после ее окончания на физико-механические свойства и долговечность бетона. Произведена технико-экономическая оценка и определена область рационального применения технологии термообработки бетона в условиях прерывистого характера поступления солнечной энергии.

Книга предназначена для инженерно-технических специалистов научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, полезна магистрам, аспирантам и преподавателям строительных вузов.

ISBN 978-5-93093-756-5

© Подгорнов В.И., 2010

© Издательство АСВ, 2010

Научное издание

Николай Иосифович Подгорнов

**ТЕРМООБРАБОТКА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ
ЭНЕРГИИ**

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев* Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 06.06.10. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. 20,5 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №

ООО «Издательство АСВ» 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации –
оф. 511, тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>

ПРЕДИСЛОВИЕ

Некоторые проблемные вопросы энергопотребления

Диалектика движения человечества в будущее знаменательна обострением конфликта между технократичным и биосферным вариантами развития. Первая, следуя сложившимся стереотипам, ведет к интенсификации природопользования; вторая исходит из необходимости его многократного уменьшения. Речь, по сути, идет о самоуничтожении или выживании человечества.

Еще в 1992 году международный Союз обеспокоенных ученых» в заявлении 1680 научных лидеров из 70 стран, включая 104 нобелевских лауреатов, предупреждал, что «...человеческие существа и мир природы находятся на пути к столкновению... уменьшается способность Земли обеспечить потребность растущего числа людей, и она быстро приближается к многим из соответствующих пределов. Осталось не более, чем одно или несколько десятилетий до тех пор, когда шансы устранить возникновение перед нами угрозы будут утрачены и перспектива для человечества неизмеримо сократится».

Всемирный экологический саммит в Йоханнесбурге (2002 г.) после обстоятельного дискуссионного обсуждения определил пять основных областей экологозащитной деятельности: вода и санитария, энергия, здоровье, сельское хозяйство и биоразнообразие. В частности, премьер-министр Дании так обобщил итоги этого обсуждения: «...Сегодня, как никогда, выбор, который стоит перед миром, – это общее будущее, иначе будущего не будет вообще».

К началу XX в. численность населения нашей планеты составила 1,6 млрд человек, а мировой валовой продукт оценивался в 60 млрд долл. Мощность процессов разрушения биосферы Земли была примерно в три раза меньше мощности ее самовосстановления, что позволяло иметь тройной экологический запас защиты окружающей среды планеты. К концу XX в. численность населения Земли увеличилась примерно в четыре раза и исчисляется 6,4-6,5 млрд человек, при мировом валовом продукте 20,0 трлн долл. Даже учитывая десятикратное уменьшения реального стоимостного наполнения доллара и то обстоятельство, что более 50% прироста учетного мирового валового продукта относится к чисто банковским операциям, оказывается, что масса товаров и услуг в перечне на одного жителя Земли возросла более чем в 8 раз, и как следствие объемы используемых природных ресурсов и техногенных загрязнений окружающей среды увеличились более чем в 30 раз, т.е. на порядок превыси-

ли предельные возможности самовосстановления природных биоресурсов. При этом интенсивность перемещения людей выросла примерно в 100 раз, мощность искусственно созданных источников энергии – в 1000 раз, разрушительная сила оружия – в 100 000 раз. Загрязнения околоземного космического пространства, выполняющего функции защитной оболочки Земли, в $1,5 \cdot 10^5$ раз превышают природные на поверхности планеты.

Экстренные опросы ученых, проведенные в 50 странах мира в рамках подготовки к саммиту в Йоханнесбурге, обозначили более 30-ти глобальных разрушительных факторов, непосредственно угрожающих человечеству. Среди них:

- истощение невозобновляемых природных ресурсов;
- нарушение энергетического равновесия Земли;
- загрязнение окружающей среды (воды, воздуха, территорий);
- дефицит питьевой воды;
- утеря биоразнообразия;
- опустошение лесных массивов целых регионов;
- увеличение численности и анархическая миграция населения;
- неадекватное реальным обстоятельствам качество управления.

Хочется согласиться с мнением Т.А. Акимовой и В.В. Халкина, которые считают, что критерий разумности вообще не следует применять к человеческому обществу, лучше – критерий целесообразности.

Заметим, что если нехватку какого-либо конкретного ресурса можно технологически отодвинуть, сокращая потребление или замещающая его ресурсами, то нарушения энергетического равновесия Земли, которое, в частности, проявляется в планетарных изменениях климата, растущем числе и увеличении природных катаклизмов, можно попытаться спрогнозировать, последствия их воздействия смягчить, но не предотвратить (например, повышение среднегодовых температур в Арктике, приводящее к быстрому таянию полярных льдов и неблагоприятным изменениям характеристик масс воды, отклонило от Европы в сторону Северной Америки траекторию теплого атлантического течения Гольфстрим, что для европейской части России опасно усилением континентальных признаков климата и уменьшением годового объема атмосферных осадков).

Между тем в материалах, опубликованных по итогам саммита в Йоханнесбурге, предполагается дальнейшее увеличение численности населения Земли до 8 млрд человек к 2025 г. и до 9,3 млрд человек к 2050 г.; одновременно констатируется рост необходимой калорийности питания в расчете на одного человека с 2100 до 2700 кал/сут., т.е. на 28%, в развивающихся странах и с 3000 до 3400

кал/сутки, т.е. на 13%, в развитых странах. Это значит, что общая потребность в продуктах питания и энергопотребности увеличивается почти вдвое (1,8). Очевидны проблемы, которые в связи с этим ожидают человечество, ведь уже в настоящее время более 1 млрд человек недоедают или голодают.

Одновременно необходимо отметить, что независимые модельно-компьютерные прогнозы (Д.Д. Меднузы – Италия, М. Месанович – США, Э. Пеегель – Германия и др.) указывают на то, что, напротив, начиная с 2030 г., численность землян начнет стремительно уменьшаться и к середине XXI вернется к численности начала XX в. Причем сокращение численности будет происходить не синхронно в разных странах и не добровольно, а вынуждено – голодом, холодом, болезнями, террором (социальным, техногенным, криминальным), войнами (с применением всех видов оружия, включая геофизическое). В частности, для России английские премьер-министры М. Тэтчер и Т. Блэр определяют численность населения в 15–50 млн человек.

Очевидно, что численность населения Земли и объемы природопользования могут стабилизироваться, только придя в соответствие с хозяйственной емкостью биосферы, при условии нейтрализации названных выше разрушительных факторов и нравственной смене социальных ценностей.

Итак, если до самого последнего времени задача состояла в оценке осуществляемого с помощью новых технологий компромисса между природопользованием и природосбережением (и это называлось оптимизацией), то теперь, когда масштабы необратимого и некомпенсируемого разрушения человеком природной среды превысили критические пороги и экологическая катастрофа весьма-весьма вероятна, вплоть до неотвратимости, речь может идти сначала только об относительной, а затем и об абсолютной минимизации потребления невозобновляемых природных (и прежде всего энергетических) ресурсов и загрязнения окружающей среды и постепенном восстановлении биосферы Земли.

В число неотложных мер входят:

- сохранение уцелевших и восстановление как можно большего количества здоровых экосистем;
- полная экологоизоляция потребления;
- жесткая рационализация потребления;
- естественная нормализация численности землян.

Реализация этих мер потребует скоординированного участия всех стран; концентрации не менее 90% материальных и трудовых ресурсов планеты; новых научнообоснованных методов управления

жизнедеятельностью человеческого сообщества. Этим же одновременно решается, наконец, одна из острейших социальных проблем XXI в. – проблема занятости.

Основным препятствием на этом пути является исторически сложившаяся доминанта общественной нравственности – эгоизм развращенных чрезмерным потреблением жителей одних стран, безответственная репродукция населения в других странах и, как следствие, жесткая иерархизованная структуризация современного мира по имущественному, военно-силовому, геополитическому и этническому признакам, когда каждая ячейка структуры имеет свою систему приоритетов, протекционизма и деспотии, а также бескомпромиссна и агрессивна по отношению к другим ячейкам. Это затрудняет согласование природовосстановительных действий и исключает легальные способы изменения (или даже коррекции) самой структуры.

Человечество втягивается в глобальные неуправляемые нелинейные турбулентные процессы, которые чреваты непредсказуемыми сменами социально-экологических формаций, зон экологических интересов, военного лидерства, интеграцией и дезинтеграцией государств, хозяйственной дезорганизацией стран, социально-экономическими и военными кризисами. Эти явления являются следствием и подтверждением исчерпания сложившихся форм развития общества в рамках существующих природно-ресурсных, экологических и демографических реалий; негативного влияния транснациональных компаний на экономику и культуру стран, особенно находящихся в стадии либерализации и дерегуляции хозяйственной деятельности.

Россия – северная страна с выраженным континентальным климатом; 60% ее территории расположено в зоне вечной мерзлоты, а среднегодовая температура в России – минус 5,5 °С (для сравнения: в Финляндии она – плюс 1,5 °С; США сравнимы по климату с Западной Европой, географически находятся южнее Кубани, а Нью-Йорк – примерно в широте Сочи). Все страны мира, за исключением Монголии, имеют более благоприятные климатические условия, чем Россия. Поэтому у нас удовлетворение условий, необходимых для нормальной жизнедеятельности, требует значительно большего расхода энергии; в настоящее время даже для средней полосы России доля отопления в объеме общих энергозатрат составляет 75%. В связи с этим к середине 80-х гг. XX столетия удельная энергоемкость единицы продукции в России в 2–3 раза превышала аналогичный показатель стран Западной Европы и в 4–5 раз – США и Японии. К этому нужно добавить, что все области России находятся в зоне

критического земледелия, климатический индекс плодородия, отражающий совокупность климатозависимых факторов урожайности (среднегодовые температуры и амплитуды их суточных колебаний, число благоприятных для растениеводства дней в году, количество годовых атмосферных осадков и распределение их по месяцам и т.п.), для которых равен 0,2 (для сравнения – этот индекс для Аргентины приближается к единице; для стран Западной Европы колеблется от 0,5 до 0,7; это значит, что при одинаковых технологиях и одинаковых производственных энергозатратах урожайность в Аргентине в 5 и в Западной Европе – в 2,5–3,5 раза выше, чем России). И действительно, средняя многолетняя урожайность зерновых в России составляла 13–14 ц/га, а в Аргентине – более 80 ц/га. Эти обстоятельства также существенно влияют на удельные расходы энергии.

По данным 2002 г. показатели удельных энергозатрат в России значительно ухудшились; так, на единицу ВВП Россия теперь тратит энергоресурсов в 5–6 раз больше, чем страны Западной Европы, и в 7–8 раз больше, чем США и Япония. В ухудшении указанных показателей проявились многие факторы; в частности, принятые и осуществляемые в США, Японии, Европе начальные программы энергосбережения изменили энергоемкости выпускаемой продукции, связанные с перемещением энергоемких производств в развивающиеся страны и др., но прежде всего ухудшение энергопотребления в России, когда затраты энергии, жилищно-коммунальные нужды сохранились неизменными, а выпуск продукции уменьшился в несколько раз. Следовательно, на единицу ВВП приходится расчетно значительно большая величина израсходованной энергии в целом.

Разумеется, что это увеличивает себестоимость, снижает конкурентность российских товаров на внешнем рынке и препятствует иностранным и частным отечественным инвестициям в российскую экономику, если только они не касаются скрытых отраслей; а их потенциал характеризуется следующим: Россия владеет около 1/3 всех ископаемых, 1/3 черноземов, до 40% пресной воды, около 1/2 гидроэнергетических ресурсов, не менее 1/2 экологически сохранившихся территорий земли. Хотя за последние 30–40 лет Россия растратила около половины ископаемых энергоносителей, по данным 2002 г. в ее недрах сосредоточено еще 45% мировых запасов природного газа, 23% – угля, 14% – урана, 13% – нефти. Рассмотрение совокупности описанных фактов и факторов влияния приводит к выводу о том, что решение обсуждаемой острейшей проблемы может быть найдено только с помощью системного решения в рамках исключительной

национальной программы. Нам видится, что в этой программе научно-техническими задачами строительной науки могут быть:

- оценка практических решений строительного комплекса, исходя из условий минимизации расхода энергии на всех стадиях по добыче сырья до сноса строительного объекта;
- участие в корректировке и пересмотре сложившихся принципов и стереотипов размещения производства и поселения;
- ориентация на реконструкцию зданий и сооружений вместо нового строительства;
- полные экологоизоляция строительного производства и утилизация отходов;
- создание долговечных экологически чистых, теплоэффективных материалов, конструктивных объемно-планировочных решений, средств поддержания комфорта в помещениях;
- разработка и внедрение современных способов инженерного теплоснабжения, приемов эффективного применения низкокалорийного топлива, структур автоматизированного контроля и управления энергопотребления;
- создание систем вторичного использования и аккумуляции тепла;
- широкое использование нетрадиционных источников энергии;
- масштабное внедрение строительных методов оптимизации и (или) минимизации гистерезисно необратимо расходуемой в технологических производственных процессах энергии в зданиях предприятий, транспортных и коммуникационных сооружениях.

В заключение отметим, что в связи с изложенным для современного периода эволюции человечества приоритетами, по-видимому, являются выборы обоснования принципов и технологии дальнейшего существования.

Для России – это прежде всего геополитическая безопасность и экономическая независимость, жесткое регулирование иммиграции, восстановление государственного протекционизма во всех областях государственной деятельности и всемирная поддержка и сохранение отечественного интеллектуального потенциала, при которых обеспечивается необходимый и достаточный баланс между ее вовлеченностью в мирохозяйственный оборот и самостоятельным самодостаточным развитием.

В.М. Бондаренко,
академик РААСН

ВВЕДЕНИЕ

При существующих темпах потребления энергоресурсов на промышленные и бытовые нужды современная цивилизация достигла предельного уровня самовосстановления окружающей среды.

Производственно-экономические процессы рыночного хозяйствования в современную эпоху привели биосферу в состояние экологического, а человечество – ресурсного кризиса. В прошлом тысячелетии гармонии отношений между человеком и природой не состоялось. Капитализм как система производственных отношений переживает упадок, но свои многие внутренние противоречия продолжает решать за счет прирастания чужого пространства, нещадно эксплуатируя на нем дешевую рабочую силу, рынок сбыта, природные ресурсы.

Полезные ископаемые, являющиеся сырьем для предприятий энергетики, постоянно истощаются. Достоверно известно, что их запасы через одно-два поколения безрассудно израсходуют. Только неистощимый оптимизм отдельных политиков о неисчерпаемости природных ресурсов и их желание как можно быстрее и больше извлечь углеводорода из недр Земли обрекают будущие поколения остаться без них.

Человечество обеспокоено стремительным изменением на планете природно-климатической среды его обитания. Возможным вариантом снижения неблагоприятного влияния человека на окружающую среду является введение в сферу потребления альтернативных видов энергии. При всей специфичности возобновляемых источников энергии их применение не нарушает экологического и энергетического равновесия на Земле. Если не будут найдены иные пути получения энергоресурсов, человечество вынуждено научиться пользоваться нетрадиционной энергией.

Многие страны активно проводят НИОКР по использованию солнечной энергии, силы ветра, геотермального тепла, морских волн и отливов, тепла окружающей среды для удовлетворения своих потребностей в энергоносителях.

Страны ЕС за счет использования возобновляемых источников энергии уменьшили к 2000 г. на 10% (а к 2020 г. предположительно – на 20%) энергопотребление для бытовых и промышленных нужд (горячее водоснабжение, отопление помещений, опреснение воды, обогрев бассейнов, кондиционирование помещений). Производство электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии увеличилось на 14,2%. Активное использование возоб-

новляемых источников энергии позволило за эти годы на 30% снизить импорт в эти страны нефти и газа, а также существенно сократить выбросы углекислого газа в воздушный бассейн.

ЕС разработал новый стандарт тестирования и контроля независимыми лабораториями качества и безопасности работы солнечных установок. Государствами обеспечиваются налоговые и иные экономические поощрения использования возобновляемых источников энергии.

Гелиотехники Российской Федерации и стран СНГ разработали и успешно применяют в народном хозяйстве различные промышленные и бытовые гелиотехнические системы и установки: солнечная станция в Крыму, высокотемпературные печи для получения сверхчистых материалов и сплавов, солнечные батареи прямого получения электроэнергии, гелиокухни, коллекторы нагрева воздуха или воды, опреснители, теплицы, сушилки для сельхозпредприятий различного назначения, имеется определенный опыт использования солнечной энергии в строительстве.

Производство бетона как основного строительного материала связано с затратами значительного количества топливно-энергетических ресурсов в виде низкопотенциального тепла. На изготовление сборных железобетонных изделий расходуется 12 млн тонн у.т., при возведении монолитных конструкций – более 6 млн тонн у.т. Из общего расхода топливно-энергетических ресурсов 35% приходится на районы с благоприятными условиями применения солнечной энергии. Противоречия, заложенные в потребностях производства в теплоносителе, и прерывистый характер поступления солнечной энергии ограничивают область ее практического применения на предприятиях стройиндустрии. При высокой (17–21%) доле энергозатрат в себестоимости строительной продукции продолжают сохраняться низкие цены на энергоносители, сдерживающие строительные организации в освоении альтернативных видов энергии.

Отсутствие федерального закона, регламентирующего проведение НИОКР по использованию возобновляемых источников энергии, ограничивает проведение энергосберегающей политики в стране. Только применение солнечной энергии для термообработки бетона позволяет ежегодно на 40–50% снизить расход традиционных теплоносителей при изготовлении сборных железобетонных изделий и возведении монолитных конструкций.

Автор выражает благодарность и признательность ректору Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства, члену-корреспонденту РААСН, д.т.н., профессору

А.А. Кальгину, заведующему кафедрой «Железобетонные конструкции», академику РААСН, д.т.н., профессору В.М. Бондаренко – за содействие и неизменную поддержку при работе над книгой; рецензентам – президенту Российской инженерной академии, члену-корреспонденту РАН, д.т.н., профессору Б.В. Гусеву, заведующему кафедрой «Организация строительного производства» Московского государственного строительного университета, д.т.н., профессору П.П. Олейнику, сотрудникам кафедры «Технология вяжущих материалов и бетонов», кафедры «Строительное производство» Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства – за ценные рекомендации по улучшению содержания книги.

Представленные в книге материалы не претендуют на завершенность исследований, и автор надеется, что они явятся основой дальнейших НИОКР по применению альтернативных видов энергии в строительстве.

ГЛАВА 1. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА

1.1. Энергоносители, применяемые для ускорения твердения бетона

Для производства бетонных и железобетонных изделий, а также на потребление коммунально-бытовых и технологических нужд предприятия стройиндустрии расходуют топливно-энергетические ресурсы. Обеспечение предприятий теплоносителем осуществляется от собственных тепловых установок или централизованно от существующих территориальных теплоагрегатов.

На получение теплоносителя для ускорения твердения бетона расходуется твердое и жидкое топливо, природный газ, электроэнергия. Наиболее распространенным видом твердого топлива является уголь. Нарастание производства природного газа, являющегося наиболее экономически чистым видом топлива, снизило лидирующее положение угля в удовлетворении энергетических потребностей. Обострение в 80-е гг. прошлого столетия энергетического кризиса повысило роль угля в энергобалансе предприятий топливно-энергетического комплекса. Вызвано это тем, что угледобывающая отрасль имеет высокую капиталоемкость и длительные сроки создания новых угледобывающих предприятий. К твердым видам топлива относят торф и горючие сланцы, используемые также в тепловых установках.

К жидким видам топлива относят нефть. В тепловых установках предприятий стройиндустрии применяют нефтепродукты – мазут. Его транспортируют по специальным трубопроводам или в автомобильных, железнодорожных цистернах. Хранят мазут в резервуарах при 60–80 °С с последующей подачей насосами по трубопроводу и сжигании его в топках теплоагрегата.

Бурное развитие техники транспортирования газа по трубопроводам и технический прогресс в его сжижении расширили область применения этого вида природного топлива. На предприятиях стройиндустрии газ используется для получения технологического пара или теплоносителя в рециркуляционных камерах для прямой термовлажностной обработки железобетонных изделий в продуктах его сгорания.

При изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий, а также при возведении монолитных конструкций электроэнергия потребляется на технологические и бытовые нужды. На ее производство расходуются полезные ископаемые, природные и трудовые ресурсы.

Развитие топливно-энергетического комплекса связано с возрастанием стоимости и ресурсоемкости вовлекаемых в топливно-энергетический баланс дополнительных источников энергии. Добыча природных залежей топлива в настоящее время ведется в отдаленных районах в сложных природно-климатических и геологических условиях, а его транспортирование к месту потребления требует значительных инвестиций. В этих условиях энергетическая политика России должна предусматривать не только наращивание энергетического потенциала страны за счет потребления традиционных энергоресурсов, но и освоение возобновляемых источников энергии. Потенциальные ресурсы возобновляемых источников энергии являются неисчерпаемыми; они экологически чисты. При ежегодном мировом потреблении первичных энергоресурсов на уровне 10^4 млн тонн условного топлива (т.у.т.) годовое поступление солнечной энергии на Землю составляет $1,2 \cdot 10^8$ млн, геотермальной энергии – $3,8 \cdot 10^7$ млн, энергетический эквивалент биомассы – $2,4 \cdot 10^5$ млн, энергии ветра – $5 \cdot 10^3$ млн тонн условного топлива. Лучистая энергия Солнца во многих странах активно используется для бытовых нужд: нагрев воды, отопление и кондиционирование зданий. Из нетрадиционных видов энергии в строительстве и стройиндустрии практическое значение имеет применение солнечной радиации для интенсификации твердения бетона. Наиболее перспективно использование этого источника энергии в районах с дефицитом органического топлива, а также там, где централизованное энергоснабжения экономически не оправданно.

1.2. Потребление энергоресурсов на термообработку бетона

В стройиндустрии для термообработки сборного бетона и железобетона применяются различные тепловые установки (табл. 1).

Наиболее распространены ямные камеры и стенды. Доля выпуска продукции в этих агрегатах составляет 84%. Следует отметить, что около 60% общего количества ямных камер работает с одним оборотом и менее в течение 1 сут:

Продолжительность тепловой обработки, ч	до 12	13–14	17–20	21–24	25 и более
Коэффициент оборачиваемости	2	1,5–1,8	1,2–1,4	1,0–1,1	0,96
Общее количество камер, %	5,2	18,7	16,4	46	13,6

Действующие нормативные документы предусматривают для всей территории страны одинаковый в течение года расход энерго-ресурсов на термовлажностную обработку бетонных и железобетонных изделий. Это привело к тому, что фактические расходы тепловой энергии на производство сборного железобетона в южных районах практически не отличаются от расходов на предприятиях, расположенных в районах с умеренным холодным климатом.

1.3. Солнечная энергия. Понятия и определения

Солнечный шар, раскаленный в результате термоядерных реакций, излучает равномерную во все стороны световую энергию мощностью $3,86 \cdot 10^{26}$ Вт. На Землю попадает лишь половина миллиардной доли всего солнечного излучения. Эта величина, умноженная на светимость Солнца, дает световую энергию мощностью $1,75 \cdot 10^{17}$ Вт.

Масса Солнца в 330 тыс. раз превышает земную. Под влиянием собственной гравитации его вещество в центре сжато до столь большой плотности и имеет настолько высокую температуру, что там возникают ядерные реакции. Они-то и являются источником энергии, которая непрерывно излучается Солнцем в пространство.

Небольшое ядро содержит большую часть массы Солнца и определяет его светимость. В центральной сфере находится 1/64 объема Солнца, в которой заключена половина массы и генерируется 99% солнечной энергии. В центре температура достигает $1,5 \cdot 10^6$ К, давление $250 \cdot 10^9$ атм., а удельная масса 160 г/см³. Энергия от ядра Солнца переносится к поверхности в виде излучения, при этом температура, плотность, давление среды и энергия фотонов быстро уменьшаются. Энергия, исходящая из ядра в виде высокоэнергетических гамма-лучей, превращается последовательно в рентгеновское, затем в дальнее ультрафиолетовое и, наконец, в видимый свет – наиболее характерную часть солнечной энергии.

Значительная доля энергии, освободившейся в процессе ядерного сгорания водорода внутри Солнца, в виде излучения уходит в межпланетное пространство через фотосферу. Последняя является непосредственным источником электромагнитного излучения, которое распределяется непрерывно по различным длинам волн (спектру) – от ультрафиолетовой до инфракрасной областей.

Основной энергетической составляющей электромагнитного излучения, приходящего в единицу времени на единицу площади по-

верхности, является плотность (или интенсивность) потока солнечного излучения. Плотность потока солнечного излучения на поверхность Земли в различные промежутки времени (минута, час, месяц, год) измеряется в кал/(см²·мин), кВт·ч/м², мДж/м², ккал/см², эти показатели связаны между собой соотношением 1 ккал/см² = 41,9 мДж/м² = 11,68 кВт·ч/м², 1 кал/(см²·мин) = 698 Вт/м².

Пространственное положение Солнца относительно Земли таково, что солнечное излучение зависит от состояния атмосферы и только за пределами ее интенсивность излучения имеет постоянный характер. На основе исследований установлена величина солнечной постоянной, равная 1353 Вт/м². Потоки солнечного излучения, взаимодействуя с атмосферой, претерпевают изменения, и на поверхность Земли они поступают в ослабленном виде.

Солнечная радиация включает в себя различные виды излучения. Прямое излучение (радиация) поступает от Солнца в виде излучения без изменения направления.

Диффузное (или рассеянное) излучение – это излучение после изменения его направления вследствие отражения и рассеяния атмосферой.

Атмосферное поглощение излучения в спектре солнечной энергии происходит за счет озона в ультрафиолетовой области спектра и полос водяного пара в инфракрасной области. В период сплошной облачности солнечное излучение рассеивается в облаках на частицах воды и пыли, все излучение, достигающее Земли, будет диффузным.

1.4. Солнечная энергия – перспективный энергоноситель

В окружающее пространство Солнце выделяет энергию в виде электромагнитного излучения (радиации), энергетической характеристикой которого является длина волны. Средняя область спектра электромагнитных излучений охватывает ультрафиолетовое излучение в интервале длин волн 0,01–0,38, видимое – 0,38–0,78, инфракрасное – 0,78–3,0 мкм. Энергетический спектр солнечной радиации вне земной атмосферы близок к энергетическому спектру «абсолютного черного тела» при температуре около 6000 °С (рис. 1).

Доля энергии излучения в интервале длин волн составляет: ультрафиолетовая – 0,07, видимая – 0,4729, инфракрасная – 0,4571. Поверхностная плотность потока излучения в этом же интервале равна соответственно 95, 640, 618 Вт/м² при общей солнечной постоянной 1353 Вт/м².

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА	12
1.1. Энергоносители, применяемые для ускорения твердения бетона	12
1.2. Потребление энергоресурсов на термообработку бетона ..	13
1.3. Солнечная энергия. Понятия и определения	22
1.4. Солнечная энергия – перспективный энергоноситель	23
1.5. Расчет поступления солнечной радиации на горизонтальную, вертикальную и наклонную поверхности	26
1.6. Основные направления решения проблемы использования солнечной энергии для термообработки бетона	30
ГЛАВА 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ	37
2.1. Анализ исследований и опыт применения различных гелиотехнических устройств для термообработки бетона .	37
2.2. Низкопотенциальные системы солнечного теплоснабжения как аналог гелиотехнических устройств и систем для термообработки бетона в опалубочных формах	43
2.3. Исследования твердения бетона под однослойным прозрачным покрытием	48
2.4. Результаты исследований твердения бетона под двухслойным прозрачным покрытием	51
2.5. Теплоаккумулирующие стены и гелиокамеры. Теплоаккумулирующие основания	53
2.6. Комбинированные гелиокамеры	60

2.7. Исследование и опыт применения промышленных систем низкопотенциального теплоснабжения для термообработки бетона в закрытых цехах	63
2.8. Опыт использования солнечной энергии для термообработки бетона в странах с развитой экономикой	66
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА	68
3.1. Методики исследований. Материалы и лабораторное оборудование для проведения экспериментальных работ .	68
3.2. Физические модели экспериментальных гелиотехнических устройств и систем и их энергетическая оценка	74
3.3. Материалы для устройства ограждений гелиотехнических устройств и систем. Полимерные пленки	80
3.4. Физико-технические свойства листовых и профильных прозрачных материалов	85
3.5. Исследование оптических свойств полимерных пленок....	89
ГЛАВА 4. ПРЯМОЙ НАГРЕВ БЕТОНА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ В ПРОСТЕЙШИХ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ И СИСТЕМАХ	97
4.1. Тепло- и массообменные процессы на поверхности твердеющего бетона	97
4.2. Исследование температурного режима бетона при прямом нагреве его солнечной энергией в опалубочных формах	114
4.3. Влияние на температуру в бетоне количества прозрачных пластин в штатной инвентарной раме к опалубочным формам, экспонируемым горизонтально на открытой площадке	120
ГЛАВА 5. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВУЮ В НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ И СИСТЕМАХ	130
5.1. Гелиокамеры, работающие по принципу «горячего ящика»	130

5.2. Тепло- и массообменные процессы в гелиокамерах различных конструктивных решений	135
5.3. Исследование термовлажностного режима работы гелиокамеры.....	154
5.4. Кинетика роста прочности бетона при тепловой обработке в гелиокамерах различной конструкции.....	158
ГЛАВА 6. АККУМУЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОЕМКИХ МАТЕРИАЛАХ	164
6.1. Необходимость аккумулирования солнечной энергии	164
6.2. Аккумулирование солнечной энергии в заполнителе и воде.....	169
6.3. Свойства бетонов, приготовленных на предварительно нагретых солнечной энергией заполнителях и воде	173
6.4. Нагретый в дневное время бетон как аккумулятор теплоты	181
ГЛАВА 7. КОНЦЕНТРАТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ	185
7.1. Системы концентрации плотности потока солнечной радиации	185
7.2. Определение геометрических и энергетических параметров зеркальных отражателей для выравнивания температурных градиентов в твердеющем бетоне.....	186
7.3. Расчет геометрических и энергетических параметров фасадного отражателя южной ориентации для повышения производительности работы гелиотехнических устройств и систем для термообработки бетона.....	191
ГЛАВА 8. КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И УСТАНОВКИ	201
8.1. Теоретические предпосылки создания комбинированных систем и установок.....	201
8.2. Исследование температурного режима термообработки бетона в комбинированных гелиоустановках и системах. Технологические линии.....	203

8.3. Кинетика роста прочности при комбинированной термообработке бетона	210
ГЛАВА 9. ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА	212
9.1. Особенности твердения бетона и технологии производства бетонных работ в условиях сухого жаркого климата	212
9.2. Твердение бетона с открытой поверхностью при прямом нагреве его солнечной энергией	216
9.3. Кинетика роста прочности бетона	226
9.4. Исследование роста послойной прочности бетона	236
9.5. Критическая относительно влагопотерь прочность бетона или критическая прочность прекращения ухода за ним	240
9.6. Оптимизация продолжительности тепловой обработки бетона с использованием солнечной энергии	247
9.7. Долговечность бетона, прошедшего тепловую обработку в гелиотехнических устройствах.....	255
ГЛАВА 10. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРАКТИКУ СТРОИТЕЛЬСТВА	275
10.1. Методы выдерживания свежесуложенного бетона монолитных конструкций.....	275
10.2. Производство сборных бетонных и железобетонных изделий.....	280
10.3. Техническая эксплуатация низкопотенциальных гелиотехнических устройств и систем	295
10.4. Экономическая эффективность использования солнечной энергии для термообработки бетона	299
ПРИЛОЖЕНИЯ	308
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	324