

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
ПРИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Методические указания

*к выполнению практических расчетов и курсовых работ
для магистрантов направления 08.04.01 «Строительство»;
для бакалавров направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
всех форм обучения*

Воронеж 2021

УДК 620.92(07)
ББК 31.15я7

Составители:

Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова, С. В. Чуйкин, М. А. Долбилова

Использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии при энергообеспечении зданий и сооружений: методические указания к выполнению практических расчетов и курсовых работ / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова, С. В. Чуйкин, М. А. Долбилова. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 15 с.

Изложены принципы проектирования гелиоустановок. Приведены рекомендации по расчету конструктивных параметров и технических характеристик энергетического оборудования.

Предназначены для магистрантов направлений 08.04.01 «Строительство»; для бакалавров направления 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.

Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК620.92(07)
ББК 31.15я7

Рецензент – *М. Н. Жерлыкина, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ*

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания необходимы для освоения методов расчета энергетических установок, функционирующих на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии (в частности, гелиоустановок) и могут быть использованы при курсовом и дипломном проектировании при разработке разделов энергетической эффективности зданий и сооружений.

Рассмотрены вопросы определения конструктивных параметров гелиоустановок и доли тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет использования солнечной энергии (коэффициент замещения).

В приложениях приведены следующие таблицы: валовый потенциал солнечной энергии (прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе в зависимости от географической широты; поправочный коэффициент ослабления валового потенциала солнечной энергии для некоторых регионов России; среднемесячный дневной приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы.

Номер варианта выбирается студентом согласно двум последним цифрам зачетной книжки.

В курсовой работе должна быть предусмотрена теоретическая часть с описанием основных формул, используемых при расчете, и графической иллюстрацией. Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Определить долю месячной тепловой нагрузки на горячее водоснабжение, обеспечиваемой за счет солнечной энергии (коэффициент замещения).

Исходные данные, необходимые для расчета, представлены в табл. 1

1.1. Выбор варианта

Номер варианта определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки или выдается преподавателем индивидуально. (Пример: Если две последние цифры номера зачетной книжки составляют число 11, то выбирают вариант 11. Если отсутствует необходимый номер варианта, то его следует определять путем сложения двух последних цифр номера зачетной книжки, например для номера 21 принимаем вариант № 3 ($2+1=3$)).

Таблица 1

Исходные данные необходимые для расчета

Номер варианта	Климатический район	Потребление горячей воды 55 °С на человека a , л/сут.	Количество потребителей m , чел.	Кoeff. замещения определять для i -го месяца	Произведение $F_R U_L V_T / (m^2 K)$	Произведение $F_R (\tau \alpha)_h$	Поправочный коэффициент, учитывающий влияние теплообменника F'_R / F_R
1	Москва	80	1	январь	2,0	0,7	0,98
2	Волгоград	110	4	февраль	2,5	0,65	0,97
3	Иваново	90	3	март	3,0	0,6	0,96
4	Краснодар	120	2	апрель	3,5	0,55	0,95
5	Курск	75	5	май	4,0	0,5	0,94
6	Новороссийск	95	3	июнь	4,5	0,45	0,93
7	Пенза	115	6	июль	5,0	0,4	0,98
8	Ростов-на-Дону	100	2	август	4,7	0,75	0,97
9	Воронеж	105	1	сентябрь	4,3	0,57	0,96
10	Рязань	60	4	октябрь	3,7	0,47	0,95
11	Саратов	65	6	ноябрь	3,3	0,58	0,94
12	Тула	115	3	декабрь	2,7	0,44	0,93
13	Новосибирск	120	5	январь	2,3	0,43	0,98
14	Хабаровск	90	4	февраль	4,1	0,7	0,97
15	Томск	95	1	март	4,2	0,55	0,96
16	Белгород	75	3	апрель	3,1	0,8	0,95
17	Орел	80	6	май	3,2	0,5	0,94
18	Самара	110	7	июнь	4,6	0,75	0,93
19	Санкт-Петербург	70	2	июль	4,8	0,62	0,98
20	Пермь	120	4	август	3,7	0,45	0,97

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ, ОБЕСПЕЧИВАЕМОЙ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

2.1. Определение безразмерных комплексов Q_1 и Q_2

Доля полной месячной тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счёт солнечной энергии f , есть функция безразмерных комплексов Q_1 и Q_2 , определяемых выражениями [1]

$$Q_1 = AF'_R U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t / L, \quad (1)$$

$$Q_2 = AF'_R (\bar{\tau}\alpha) \bar{H}_T N / L, \quad (2)$$

где A - площадь солнечного коллектора, м²; F'_R - эффективный коэффициент отвода теплоты, учитывающий влияние теплообменника; U_L - полный коэффициент тепловых потерь коллектора, Вт/(м²·°C); Δt - число секунд в месяце; T_{ref} - базисная температура, принятая равной 100 °C; \bar{T}_a - среднемесячная температура наружного воздуха, °C; L - полная месячная тепловая нагрузка, Дж; \bar{H}_T - среднемесячный дневной приход суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора, Дж/м²; N - число дней в месяце; $(\bar{\tau}\alpha)$ - среднемесячная приведённая поглощательная способность.

Безразмерные комплексы Q_1 и Q_2 имеют определённый физический смысл: Q_1 – отношение месячных тепловых потерь коллектора при базисной температуре к полной месячной тепловой нагрузке; Q_2 – отношение количества энергии, поглощаемой пластиной коллектора в течение месяца, к полной месячной тепловой нагрузке.

Уравнения (1) и (2) можно переписать в виде

$$Q_1 / A = F'_R U_L (F'_R / F_R) (100 - \bar{T}_a) \Delta t / L, \quad (3)$$

$$Q_2 / A = F'_R (\bar{\tau}\alpha)_n (F'_R / F_R) [(\bar{\tau}\alpha) / (\tau\alpha)_n] \bar{H}_T N / L. \quad (4)$$

Полная месячная тепловая нагрузка определяется по формуле [2]

$$L = Q_{\text{зв}}^i + Q_{\text{от}}^i, \quad (5)$$

где $Q_{\text{зв}}^i$, $Q_{\text{от}}^i$ - соответственно месячная нагрузка на горячее водоснабжение и отопление i -го месяца, Дж.

Полную месячную тепловую нагрузку на горячее водоснабжение для переходных месяцев определяем по формуле:

$$Q_{гв}^i = 24 \cdot n_i \cdot Q_{гв}^{зим} + 24 \cdot n_i \cdot Q_{гв}^{лет}, \quad (6)$$

где n_i – число дней в i -ом месяце;

$Q_{гв}^{зим}$ - средний тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный период, Вт;

$Q_{гв}^{лет}$ - средний тепловой поток на горячее водоснабжение в летный период, Вт.

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный период, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{гв}^{зим} = \frac{1,2cta(55 - t_{хв}^3)}{24 \cdot 3,6}, \quad (7)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий теплоотдачу в помещение от трубопровода системы горячего водоснабжения;

m – число потребителей;

a – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55°C на 1 человека, л/сут;

$t_{хв}^3$ - температура холодной водопроводной воды в отопительный период.

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение в летный период, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{гв}^{лет} = Q_{гв}^{зим} \cdot \frac{55 - t_{хв}^3}{55 - t_{хв}^3} \cdot \beta, \quad (8)$$

где $t_{хв}^л$ - температура холодной водопроводной воды в неопотительный период;

$\beta = 0,8$ – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на ГВ в неопотительный период по отношению к отопительному периоду.

Продолжительность отопительного периода района строительства определяется по таблице 3.1 [3].

Величины $F_R U_L$ и $F_R(\tau\alpha)_n$ определяются на основе испытаний того или иного типа коллектора (для коллекторов выпускаемых в промышленных масштабах, они известны).

Отношение F'_R / F_R называют поправочным коэффициентом, учитывающим влияние теплообменника (вследствие применения антифриза), которое может быть определено по номограмме или по формуле

$$F'_R / F_R = [1 + (F_R U_L / (G c_p)) (A G c_p / (\varepsilon_c C_{\min}) - 1)]^{-1}, \quad (9)$$

где G - расход воды в теплообменнике в расчёте на 1 м^2 площади коллектора, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; c_p - удельная теплоёмкость раствора антифриза, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$; ε_c - эффективность теплообменника; C_{\min} - меньший из двух водяных эквивалентов в теплообменнике (водяным эквивалентом называется произведение массового расхода жидкости и её теплоёмкости).

Смысл коэффициента F'_R / F_R состоит в том, что его значение в конечном итоге определяет размер компенсации за создание отдельного циркуляционного контура для отвода теплоты из коллекторов.

Среднемесячный дневной приход суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность равен

$$\overline{H}_T = \overline{R} \cdot \overline{H}, \quad (10)$$

где \overline{H} - среднемесячный дневной приход суммарного излучения на горизонтальную поверхность, $\text{Дж}/\text{м}^2$, определяется с помощью таблицы валового потенциала солнечной энергии на горизонтальную поверхность при безоблачном небе, с учетом коэффициента ослабления валового потенциала солнечной энергии; \overline{R} - отношение среднемесячных дневных приходов суммарного излучения на наклонную и горизонтальную поверхность.

Величину \overline{R} можно определить по формуле

$$\overline{R} = \left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) \overline{R}_b + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2}, \quad (11)$$

где \overline{H}_d - среднемесячный дневной приход диффузного излучения на горизонтальную поверхность, $\text{Дж}/\text{м}^2$; \overline{R}_b - отношение среднемесячных приходов прямого излучения на наклонную и горизонтальную поверхности; s - угол наклона коллектора к горизонту, град.; ρ - отражательная способность земли, принимаем равной 0,2. Оптимальный угол наклона s солнечного коллектора равен географической широте района строительства φ .

Отношение приходов диффузного излучения к суммарному излучению $\overline{H}_d / \overline{H}$ определяется для каждого месяца с помощью номограммы или по формуле

$$\overline{H}_d / \overline{H} = 1,39 - 4,03 \overline{K}_T + 5,53 \overline{K}_T^2 - 3,11 \overline{K}_T^3, \quad (12)$$

где \overline{K}_T - показатель снижения солнечного излучения атмосферой Земли, который определяется по формуле

$$\overline{K}_T = \overline{H} / \overline{H}_o, \quad (13)$$

где \overline{H}_o - среднемесячный дневной приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы, МДж/м² (значения \overline{H}_o для северных широт определяем по табл. П.1.3).

Значение \overline{R}_b для ориентированных на юг поверхностей может быть определено по номограммам (рис. П.2) в зависимости от широты местности φ и угла наклона коллектора к горизонту s .

Значение $F_R(\tau\alpha)_n$, определяемое экспериментально, представляет собой величину, соответствующую падению излучения по нормали к поверхности. В зависимости от ориентации коллектора и времени года среднемесячные значения пропускательной и поглощательной способности могут быть значительно меньше, чем при нормальном падении излучения. Отношение $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ может быть определено по формуле

$$\begin{aligned} (\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n = & (1 - \overline{H}_d / \overline{H})(\overline{R}_b / \overline{R})(\overline{\tau\alpha})_b / (\tau\alpha)_n + (\overline{H}_d / \overline{H})(1 / \overline{R}) \times \\ & \times [(1 + \cos s) / 2](\overline{\tau\alpha})_d / (\tau\alpha)_n + \rho(1 / \overline{R})[(1 - \cos s) / 2](\overline{\tau\alpha})_r / (\tau\alpha)_n, \end{aligned} \quad (14)$$

где $(\overline{\tau\alpha})_b$, $(\overline{\tau\alpha})_d$, $(\overline{\tau\alpha})_r$ - среднемесячные значения приведённой поглощательной способности по отношению к прямому, диффузному и отражённому от земли излучениям.

Отношения $(\overline{\tau\alpha})_d / (\tau\alpha)_n$, $(\overline{\tau\alpha})_r / (\tau\alpha)_n$ можно рассчитать так им же образом, как и для прямого излучения. Отношение $(\overline{\tau\alpha})_b / (\tau\alpha)_n$ равно произведению значений τ / τ_n и α / α_n , соответствующих углу падения прямого излучения $\bar{\theta}_b$, который может быть определён по номограмме в зависимости от разности углов $(\varphi - s)$ (рис. П.3.1).

Средний угол падения диффузного излучения можно принять равным 60°. Для отражённого от земли излучения средний угол падения принимается также 60°.

Значения τ / τ_n , α / α_n для прямого, диффузного и отраженного от земли излучений в зависимости от угла падения для коллектора с одним, двумя и тремя листами стекла, для матово-чёрной (селективной) поглощающей поверхности могут быть определены по графикам (рис. П.3.2, П.3.3).

Умножая (3) и (4) на площадь коллектора, получаем значения безразмерных комплексов Q_1 и Q_2 .

2.2. Определение коэффициента замещения

Доля месячной нагрузки f , обеспечиваемая за счёт солнечной энергии, определяется в зависимости от Q_1 и Q_2 по номограммам или по формуле

$$f = 1,029Q_2 - 0,065Q_1 - 0,245Q_2^2 + 0,0018Q_1^2 + 0,0215Q_2^3. \quad (15)$$

Месячное количество солнечной теплоты (месячная теплопроизводительность солнечной установки) определяется умножением f на полную месячную нагрузку L .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бекман, У. Расчёт систем солнечного теплоснабжения: пер. с англ. / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
2. Козин, В. Е. Теплоснабжение: учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Козин. – М.: Высш. Школа, 1980. – 408 с.
3. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».
4. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
5. ГОСТ Р 51594-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 16 с.
6. ГОСТ Р 51595-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 8 с.
7. ГОСТ Р 51596-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 23 с.

Таблица П.1.1

Валовый потенциал солнечной энергии
(прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность при безоблачном
небе в зависимости от географической широты, МДж/м²

Расчетный пе- риод	Уравнение*
Январь	$y = -614,08 \cdot \ln(\varphi) + 2586,09$
Февраль	$y = -600,56 \cdot \ln(\varphi) + 2638,10$
Март	$y = -0,16 \cdot \varphi^2 + 5,41 \cdot \varphi + 677,87$
Апрель	$y = -364,69 \cdot \ln(\varphi) + 2108,73$
Май	$y = -150,26 \cdot \ln(\varphi) + 1444,03$
Июнь	$y = 0,00005571 \cdot \varphi^5 - 0,01486526 \cdot \varphi^4 + 1,57018502 \cdot \varphi^3 -$ $- 82,03553868 \cdot \varphi^2 + 2117,99506113 \cdot \varphi - 20707,95629264$
Июль	$y = 0,00163130 \cdot \varphi^4 - 0,34016927 \cdot \varphi^3 + 26,31315104 \cdot \varphi^2 -$ $- 896,02144210 \cdot \varphi + 12226,70616884$
Август	$y = -322,42 \cdot \ln(\varphi) + 1988,98$
Сентябрь	$y = -570,53 \cdot \ln(\varphi) + 2779,51$
Октябрь	$y = -762,80 \cdot \ln(\varphi) + 3343,38$
Ноябрь	$y = -650,10 \cdot \ln(\varphi) + 2760,50$
Декабрь	$y = -623,75 \cdot \ln(\varphi) + 2596,38$
Год	$y = -5345,15 \cdot \ln(\varphi) + 27218,19$

* у- валовый потенциал солнечной энергии (прямой и рассеянной) на горизон-
тальную поверхность при безоблачном небе, МДж/м²;
φ - географическая широта, °с.ш.

Таблица П.1.2

Поправочный коэффициент ослабления валового потенциала солнечной энергии
для некоторых регионов России

Показатели	Месяц года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Северо-Кавказский регион												
г. Краснодар (Краснодарский край, 45° 2' с.ш.)												
г. Сочи (Краснодарский край, 43° 35' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,51	0,53	0,54	0,65	0,73	0,77	0,78	0,79	0,71	0,64	0,49	0,40
Центрально-чернозёмный регион												
г. Воронеж (Воронежская область, 51° 43' с.ш.)												
г. Курск (Курская область, 51° 44' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,52	0,59	0,54	0,58	0,67	0,70	0,67	0,68	0,61	0,52	0,38	0,40
Центральный регион												
г. Павелце (Рязанская область, 53° 47' с.ш.)												
г. Москва (Московская область, 55° 45' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,47	0,55	0,50	0,53	0,54	0,57	0,55	0,56	0,50	0,45	0,34	0,38
Северо-Западный регион												
г. Валдай (Новгородская область, 57° 57' с.ш.)												
г. Санкт-Петербург (Ленинградская область, 59° 56' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,4	0,50	0,56	0,58	0,65	0,69	0,65	0,63	0,53	0,44	0,31	0,33
Северный регион												
г. Вологда (Вологодская область, 59° 14' с.ш.)												
г. Архангельск (Архангельская область, 64° 32' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,50	0,47	0,62	0,65	0,62	0,66	0,66	0,57	0,44	0,45	0,38	0,37
Дальневосточный регион												
г. Владивосток (Приморский край, 43° 12' с.ш.)												
г. Уссурийск (Приморский край, 43° 53' с.ш.)												
Сред. знач. коэфф. облач.	0,79	0,83	0,77	0,72	0,66	0,65	0,62	0,64	0,66	0,70	0,68	0,71

Таблица П.1.3

Среднемесячный дневной приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность за пределами земной атмосферы, МДж/м²

Северная широта	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
25	23,9	28,2	33,0	37,1	39,4	40,1	39,6	37,9	34,4	29,5	24,9	22,7
30	21,1	25,7	31,3	36,5	39,6	40,7	40,1	37,6	33,1	27,3	22,1	19,7
35	18,1	23,1	29,3	35,5	39,6	41,2	40,3	37,0	31,5	24,9	19,2	16,7
40	15,1	20,3	27,2	34,3	39,3	41,4	40,3	36,2	29,7	22,3	16,3	13,6
45	12,0	17,5	24,8	32,8	38,8	41,3	40,0	35,1	27,7	19,6	13,3	10,6
50	9,0	14,5	22,3	31,2	38,1	41,2	39,6	33,8	25,4	16,7	10,3	7,6
55	6,1	11,5	19,5	29,3	37,2	40,9	39,1	32,4	23,0	13,8	7,3	4,8

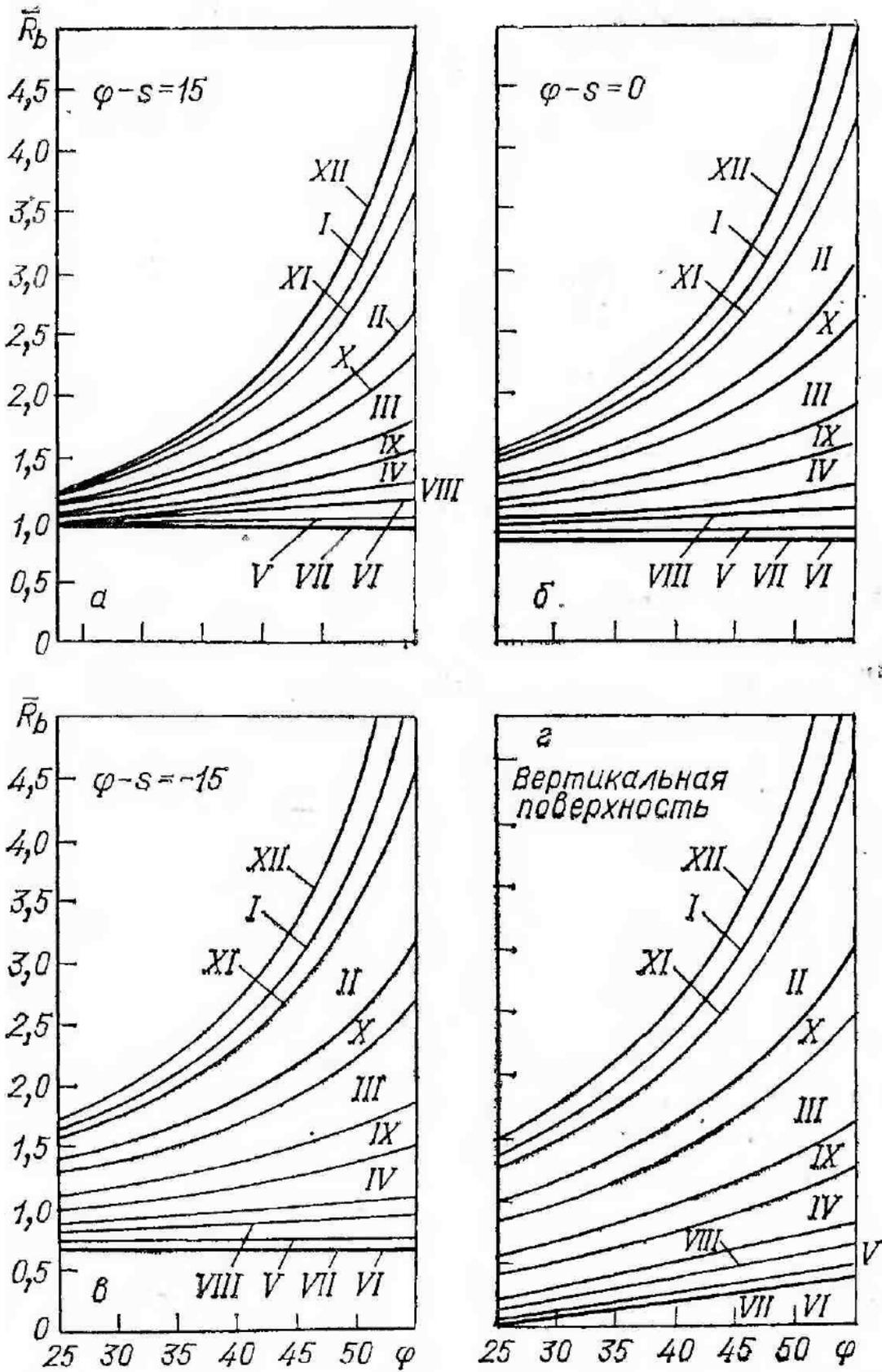


Рис. П.2. Величина \bar{R}_b для ориентированных на юг поверхностей (римскими цифрами указаны месяцы)

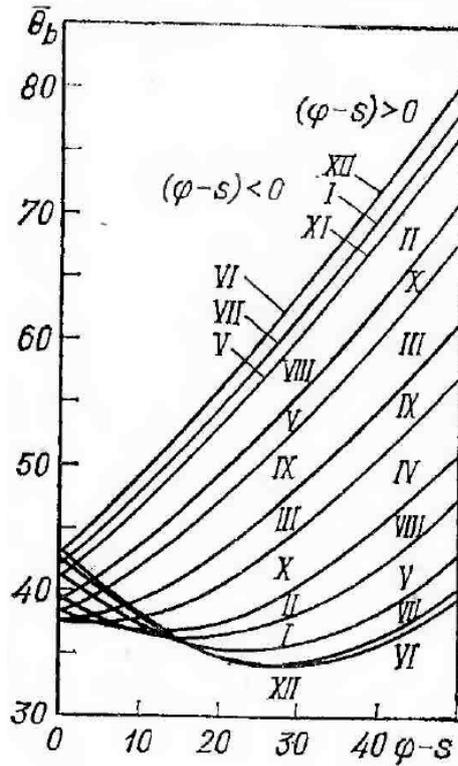


Рис. П.3.1. Зависимость угла падения прямого излучения $\bar{\theta}_b$ от разности углов $(\varphi-s)$

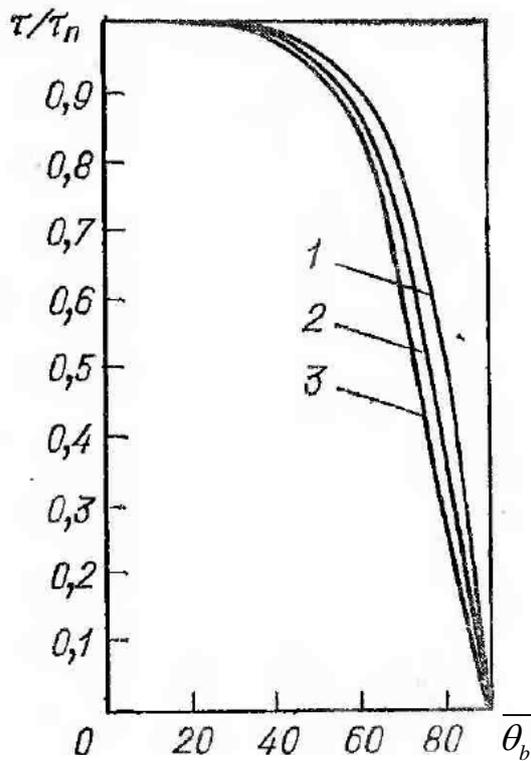


Рис. П.3.2. Зависимость τ/τ_n от угла падения излучения

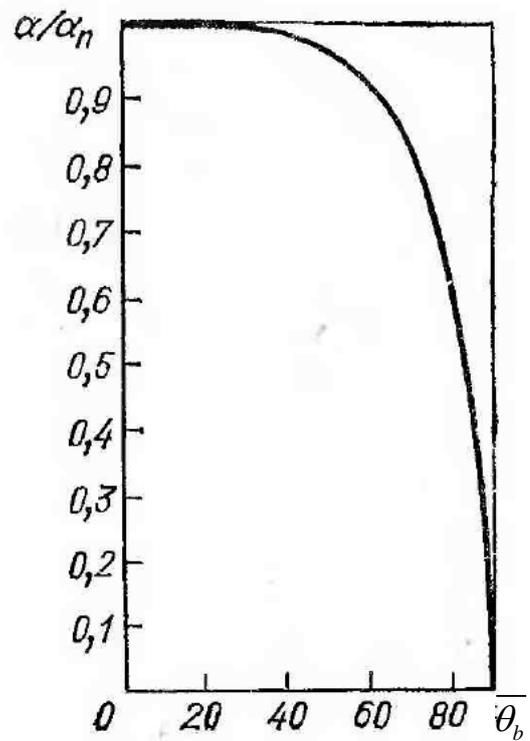


Рис. П.3.3. Зависимость α/α_n от угла падения излучения

Оглавление

Введение	3
1. Исходные данные.....	3
1.1 Выбор варианта.....	3
2. Определение доли тепловой нагрузки обеспечиваемой за счет солнечной энергии.....	5
2.1. Определение безразмерных комплексов Q_1 и Q_2	5
2.2. Определение коэффициента замещения.....	9
Библиографический список	9
Приложение 1	10
Приложение 2	13
Приложение 3.....	14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Методические указания

*к выполнению практических расчетов и курсовых работ
для магистрантов направления 08.04.01 «Строительство»; для бакалавров
направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
всех форм обучения*

Составители:

Чудинов Дмитрий Михайлович,
Петрикеева Наталья Александровна,
Попова Наталья Михайловна,
Чуйкин Сергей Владимирович,
Долбилова Марина Александровна

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 04.06.2021.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Уч.-изд. л. 0,9. Усл. печ. л. 0,9. Тираж 119 экз.

Заказ № 100

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14
Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394026 Воронеж, Московский просп., 14