

УДК 631.544.41:631.172

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДОГРЕТОГО
ВОЗДУХА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕПЛИЦЕ
С ВОЗДУШНО-КОНВЕКТИВНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**

В.В. КЛИМОВ

(Кафедра овощеводства)

В результате исследований, проводившихся в 1982—1984 гг. и в 1990 г., было установлено: при распределении воздуха через воздуховоды с нижним расположением перфорации значения коэффициента теплопередачи могут быть такими же, как в блочных теплицах с водотрубной системой отопления; при верхней их перфорации эти значения увеличиваются на 9,5% за отопительный сезон и на 12% для расчетных зимних суток, при сосредоточенном выпуске воздуха — соответственно на 15 и 19,4%.

При использовании отбросного тепла электростанций для обогрева теплиц применяются, как правило, воздушно-калориферные системы отопления с различными способами распределения воздуха. Именно система распределения воздуха наряду с первичной температурой теплоносителя, поступающего от электростанции, определяет теплотехнические характеристики теплицы. Хотя в случае использования отбросного тепла не имеет значения количество израсходованной низкопотенциальной энергии, необходимо все же знать параметры системы отопления, влияющие на капитальные и эксплуатационные затраты. Вследствие этого возникает потребность в определении такого теплотехнического показателя теплицы, как коэффициент теплопередачи, тем более, что при использовании низкопотенциального источника энергии система отопления работает в режимах, отличающихся от режимов типовых промышленных теплиц.

В первую очередь это касается повышенных скоростей движения воздуха и способов его распределения. В теплицах с воздушно-конвективными системами отопления на низкопотенциальном теплоносителе применяют либо сосредоточенную подачу воздуха в отдельные секции теплицы, разделенные пленочными перегородками, либо распределение его при помощи перфорированных пленочных воздухопроводов. Для создания равномерного температурного поля в теплице перфорация на воздуховоде направлена вниз и располагается в 2 ряда с отклонением от вертикали на 60° .

Однако в этом случае при интен-

сивных снегопадах тепло, поступающее к кровле, не обеспечивает таяния снега, накопление которого может вызвать разрушение теплицы. Для увеличения теплопотока к кровле необходимо развернуть воздухопровод перфорацией на кровлю. В предлагаемой статье приводятся результаты определения коэффициентов теплопередачи при 3 способах распределения воздуха: воздухопроводы с перфорацией, направленной вниз или вверх и при сосредоточенном выпуске воздуха.

Методика

Исследования проводились в теплице, построенной в 1980 г. на Овощной опытной станции Тимирязевской академии и оборудованной системами воздушного отопления.

Теплица блочного типа представляет собой прямоугольник в плане размером $14,96 \times 80,7$ м с шагом стоек $6,14 \times 3,74$ м (рисунок). Высота стоек — 2,8 м, высота в коньке — 3,8 м, высота бокового ограждения теплицы над цоколем — 2,5 м. Производственная площадь 450 м^2 . Покрытие теплицы выполнено из стекла толщиной 4 мм по металлическим оцинкованным шпросам с использованием герметизирующей мастики Гэлан.

Теплица разделена на 2 половины продольной пленочной перегородкой. Обогрев ее осуществляется от 2 тепловых пунктов, примыкающих к торцу теплицы.

Первый тепловой пункт оборудован 4 калориферами КВСП № 11, центробежными вентиляторами ЦЧ-70 № 5 и системой перфорированных пленочных воздухопроводов. В основные калориферы теплового пун-

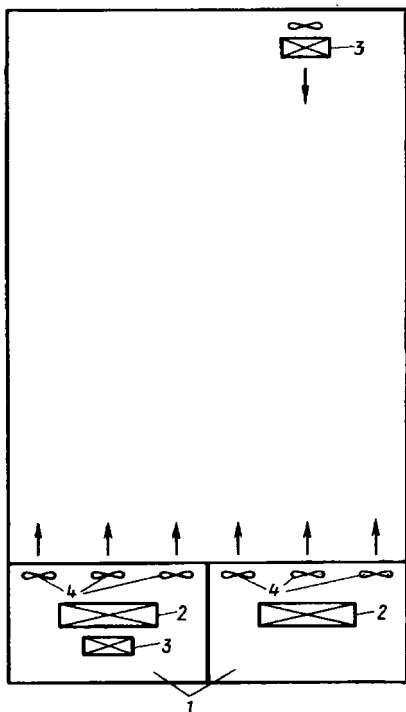


Схема экспериментальной теплицы.

1 — тепловые пункты; 2 — основные калориферы;
3 — дополнительные калориферы; 4 — вентиляторы.

кта подается теплая вода с регистрируемыми температурой и расходом. При недостаточном съеме тепла (например, при низких температурах наружного воздуха) в работу автоматически включается паровой калорифер типа КВСП № 5.

Второй тепловой пункт оборудован паровым калорифером КВСП № 5 и вентилятором LANW 500,4 производительностью 5000 м³ воздуха в час для съема тепла, а также 3 осевыми вентиляторами типа ВО-7М для циркуляции воздуха. Температура воздуха на выходе из тепло-

вого пункта регулируется автоматически и поддерживается на уровне температуры воздуха на входе в воздуховоды первого теплового пункта. В противоположном торце теплицы установлен дополнительный паровой калорифер, включаемый автоматически при аварийном понижении температуры воздуха.

Для обеспечения таяния снега при интенсивных снегопадах в теплице предусмотрен подлотовый обогрев, выполненный в виде труб диаметром 40 мм с применением пара в качестве теплоносителя.

Расчетная теплопроизводительность системы отопления в каждом отделении теплицы — 155 кВт, в том числе на низкопотенциальном теплоносителе — 61,6 кВт, или 40% суммарной. Теплоотдача магистральных трубопроводов и подлотового обогрева в первом отделении — 37,91 кВт, во втором — 32,64 кВт.

В 1982—1983 гг. в теплице изучались режимы энергопотребления [10], в 1990 г. уточнялись коэффициенты теплопередачи. К этому времени система отопления в теплице была несколько модернизирована. Во втором тепловом пункте вентиляторы ВО-7М были заменены на вентиляторы 06-320 № 7, а в подлотовом обогреве вместо пара стал использоваться низкопотенциальный теплоноситель.

Определение коэффициентов теплопередачи проводилось в феврале — марте 1990 г. Методика исследований была следующей. При различных способах распределения воздуха вначале определялась реальная производительность (L_r) каждого вентилятора (табл. 1) по формуле

$$L_i = 3600 \times S_i \times V_{\text{ср.}i}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где S_i — площадь сечения воздуховода или направляющей насадки, м^2 ; $V_{\text{ср.}i}$ — средняя скорость воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

Центробежные вентиляторы в первом тепловом пункте нагружались

на воздуховоды диаметром 400 мм, во втором — на воздуховоды 500 мм. Перфорация их 2-рядная, шаг — 22,5 см, диаметр — 25 мм. Скорость воздушного потока измеряли микроманометром по методике [10].

Т а б л и ц а 1

Зависимость производительности вентиляторов ($\text{м}^3/\text{ч}$) от способа распределения воздуха

Способ распределения воздуха	№ вентилятора					
	1	2	3	4	5	6
Сосредоточенный	5470	6621	6183	5151	5080	5010
По воздуховодам	4815	5893	5527	3557	3507	3458

Для определения теплопроизводительности системы отопления измеряли при помощи регистрирующих мостов и потенциометров КСМ-4 и КСП-4 температуру воздуха на входе в тепловые пункты и на выходе из вентиляторов и затем для каждого агрегата рассчитывали Q_i по формуле

$$Q_i = \frac{L_i \gamma_B C_B (T_1 - T_2)}{3600}, \quad (2)$$

где Q_i — теплопроизводительность агрегата, кВт; γ_B — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_B — теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$; T_1, T_2 — температура воздуха на входе и выходе из теплового пункта, $^{\circ}\text{C}$.

При расчете теплопроизводительности системы подлотового обогрева $Q_{\text{подл}}$ использовали данные о средней температуре теплоносителя и известной поверхности

$$Q_{\text{подл}} = S_{\text{подл}} (T_{\text{подл}} - T_{\text{вн}}) 10^{-2}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где $S_{\text{подл}}$ — площадь системы подлотового обогрева, м^2 (в данном

случае 37 м^2); $T_{\text{подл}}$ — средняя температура трубопроводов системы подлотового обогрева, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{вн}}$ — температура воздуха в теплице, $^{\circ}\text{C}$.

После определения суммарной теплопроизводительности системы отопления за фиксированный промежуток времени был рассчитан коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{(\sum Q_i + Q_{\text{подл}}) 10^3}{(T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}) S_{\text{огр}}}, \quad (4)$$

$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$,

где $\sum Q_i$ — суммарная теплопроизводительность воздушно-калориферных агрегатов, кВт; $S_{\text{огр}}$ — площадь ограждения теплицы, м^2 (в данном случае 860 м^2); $T_{\text{вн}}, T_{\text{н}}$ — температуры воздуха внутри и снаружи теплицы, $^{\circ}\text{C}$.

Температуру воздуха в теплице регистрировали в 12 точках и получали среднюю из ее значений в рабочей зоне.

Постоянно регистрировались параметры теплоносителя и внешних метеорологических факторов, поскольку коэффициент теплопередачи зависит и от этих показателей. Температура воздуха измерялась потенциометром КСП-4, направление и скорость ветра — при помощи метеостанции М-49.

Одновременно с коэффициентом теплопередачи рассчитывали и такой показатель, как удельные теплотопотери теплицы, отнесенные к площади ограждения

$$q = \frac{(\sum Q_1 + Q_{подл})10^3}{S_{огр}}, \quad (5)$$

Вт/м².

По этому нормируемому показателю в настоящее время проводится теплотехнический расчет теплиц [11].

Результаты

Результаты расчетов коэффициентов теплопередачи для 3 способов распределения воздуха представлены в табл. 2—4.

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициента теплопередачи при использовании воздухопроводов с перфорацией, направленной вниз

Дата, время	T _{вн} , °C	T _н , °C	ΔT, °C	V, м/с	T _{кал} , °C	K, Вт/м ² °C	q, Вт/м ²
2 марта:							
17—18	22,2	2,5	19,7	3,0	33,95	5,59	110,12
18—19	22,2	2,5	19,7	3,0	34,00	5,50	108,28
19—20	23,4	2,5	20,9	3,0	34,65	5,68	118,66
20—21	24,3	2,5	21,8	3,0	35,28	5,70	124,37
11 марта:							
17—20	19,6	1,2	18,4	1,0	32,48	4,36	80,40
21—24	18,8	-0,7	19,5	0,0	31,77	4,02	78,43
12 марта:							
17—20	22,0	0,4	21,6	1,0	35,67	4,46	96,43
21—24	23,1	0,9	22,2	1,5	35,58	4,77	105,89
13 марта:							
1—6	23,9	0,4	24,3	2,0	32,00	5,52	133,86
17—24	19,2	-2,1	21,3	2,0	33,20	5,05	107,41
14 марта:							
1—8	18,9	-5,1	24,0	1,6	31,13	5,01	120,24
15 марта:							
18—24	23,3	-1,5	24,8	2,0	34,95	5,57	137,97
Средние	21,7	0,6	21,1	1,9	33,7	5,10	110,18

Т а б л и ц а 3

**Значения коэффициента теплопередачи при использовании воздухопроводов
с перфорацией, направленной вверх**

Дата, время	$T_{\text{вн}},$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{вн}}',$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T,$ $^{\circ}\text{C}$	$V,$ м/с	$T_{\text{вн}}'',$ $^{\circ}\text{C}$	$q,$ Вт/м ²	$K,$ Вт/м ² $^{\circ}\text{C}$
13 февраля							
18—24	15,8	-0,2	16,1	3,0	24,07	86,35	5,38
14 февраля:							
0—4	16,20	-0,3	16,5	2,4	24,11	85,70	5,21
18—24	16,0	-1,0	17,0	7,0	29,33	123,76	7,28
0—3	14,3	-1,0	15,3	9,0	32,47	121,02	7,91
16 февраля:							
1—4	14,8	-4,0	18,8	6,0	30,03	133,67	7,11
18—24	13,3	-6,0	19,3	5,3	32,55	133,56	6,92
17 февраля							
0—6	13,9	-6,0	19,9	6,0	33,97	144,67	7,27
20 февраля							
18—20	18,4	2,1	16,3	2,0	31,73	86,72	5,32
21 февраля							
17—19	23,2	3,2	20,0	3,0	37,75	123,4	6,17
22 февраля							
15—19	16,2	4,2	12,0	5,0	24,93	68,52	5,71
23 февраля							
17—19	15,8	3,2	12,6	1,6	22,0	56,45	4,48
1 марта							
17—19	22,7	3,6	19,1	1,6	34,03	101,42	5,31
Средние	16,7	-2,2	18,9	4,3	29,75	105,44	6,17

Т а б л и ц а 4

Значения коэффициента теплопередачи при сосредоточенном выпуске воздуха

Дата, время	$T_{\text{вн}},$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{вн}}',$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta T,$ $^{\circ}\text{C}$	$V,$ м/с	$T_{\text{вн}}'',$ $^{\circ}\text{C}$	$q,$ Вт/м ²	$K,$ Вт/м ² $^{\circ}\text{C}$
7 февраля							
19—24	22,6	1,1	21,5	2,0	36,67	132,22	6,15
8 февраля:							
0—4	21,3	1,1	20,2	2,0	36,10	121,20	6,00
4—8	21,5	0,5	21,0	2,0	34,57	127,68	6,08
18—24	18,2	3,2	15,0	4,7	25,70	92,10	6,14
9 февраля:							
0—4	17,3	2,3	15,0	4,0	25,57	88,05	5,87
4—8	17,6	2,2	15,4	4,3	26,05	97,64	6,34
15—22	17,9	5,2	12,7	3,0	26,42	66,68	5,25
22—5	17,8	2,7	15,1	2,2	23,88	78,22	5,18
10 февраля:							
5—12	18,3	0,8	17,5	2,0	24,31	93,98	5,37
18—22	17,4	0,6	16,8	2,0	23,50	88,70	5,28
22—2	16,8	0,6	16,2	2,0	22,70	78,18	5,11
Средние	16,8	2,9	16,8	2,7	27,37	95,77	5,67

Статистическая обработка результатов исследований методом регрессионного анализа показала, что наиболее существенное влияние на значение коэффициента теплопередачи оказывает скорость ветра. При направлении воздушного потока на растения не выявлено зависимости коэффициента теплопередачи от температуры теплоносителя. Получены следующие регрессионные зависимости коэффициента теплопередачи от разности температур внутреннего и наружного воздуха T , температуры теплоносителя в калориферах $T_{\text{кэл}}$ и скорости ветра V :

Для воздухопроводов с перфорацией, направленной вниз:

$$K = 2,4483 + 0,0783\Delta T + 0,5121V \pm 0,1545, \quad (6)$$

коэффициент корреляции $R = 0,9673$, коэффициенты частного определения $K_1 = 0,1035$, $K_2 = 0,8322$.

Для воздухопроводов с перфорацией, направленной вверх:

$$K = 1,8726 + 0,1139\Delta T + 0,0214T_{\text{кэл}} + 0,4619V \pm 0,0688, \quad (7)$$

коэффициент корреляции $R = 0,9985$, коэффициенты частного определения $K_1 = 0,118$, $K_2 = 0,0513$, $K_3 = 0,8278$.

Для сосредоточенного выпуска:

$$K = 1,7912 + 0,1268\Delta T + 0,0224 T_{\text{кэл}} + 0,4215V \pm 0,0872, \quad (8)$$

коэффициент корреляции $R = 0,9872$, коэффициенты частного определения $K_1 = 0,3398$, $K_2 = 0,1544$, $K_3 = 0,4804$.

Как правило, в справочной и нормативной литературе приводятся значения коэффициента теплопередачи, «привязанные» к определен-

ным фиксированным метеорологическим параметрам. Чаще всего коэффициент теплопередачи определяется для расчетной температуры и скорости ветра в зимний период, и это значение используется при расчетах системы отопления теплиц. В частности, для остекленных теплиц нормируемый коэффициент теплопередачи $6,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [1, 2, 4, 13], для пленочных теплиц — $7,5 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [6, 7].

Иногда нормируют составляющие коэффициента теплопередачи — коэффициенты теплоотдачи на внутренней и внешней поверхности ограждения $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ независимо от метеорологических условий. Так, в строительных нормах и правилах [12] значение $\alpha_{\text{в}}$ принимается равным $7,5+8,7$, а $\alpha_{\text{н}} = 23,2 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$.

В некоторых исследованиях приведены значения коэффициента теплопередачи в зависимости от скорости ветра [5, 15]. В.В. Есин [13] предлагает рассчитывать коэффициент теплопередачи в зависимости от скорости ветра, относительной влажности воздуха и ориентации теплиц:

$$K = K_{\text{ст}} K_{\text{вет}} K_{\text{инф}} K_{\text{с.св}} K_{\text{эл}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{ст}} = 6,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$; $K_{\text{вет}}$ — коэффициент, учитывающий поправку на скорость ветра сверх $2,3 \text{ м/с}$, $K_{\text{вет}} = 0,775 + 0,101 V$, здесь V — скорость ветра, м/с ; $K_{\text{инф}}$ — коэффициент, учитывающий потерю тепла вследствие инфильтрации теплого воздуха через неплотности в ограждении, $K_{\text{инф}} = 1,05 + 0,045V$; $K_{\text{с.св}}$ — коэффициент, учитывающий расположение теплиц относительно стран света, при южной ориентации его принимают равным $1,0$, при запад-

ной и восточной — 1,05, северной — 1,1; $K_{\text{вн}} = 0,27 + 0,008\varphi_{\text{н}}$, где $\varphi_{\text{н}}$ — относительная влажность воздуха, %.

Масленников [8] приводит формулу расчета коэффициента теплопередачи в зависимости от скорости ветра и температуры воздуха в теплице:

$$K = 1,464V^{0,685} + 0,028T_{\text{вн}} + 6,04. \quad (10)$$

Наиболее полно практическим требованиям отвечает методика теплотехнического расчета культивационных сооружений, разработанная в институте Гипронисельпром [11]. В методике приведены зависимости удельных теплопотерь теплиц от скорости ветра и перепада температур. Пересчет значений удельных теплопотерь дает значения коэффициентов теплопередачи, приведенные в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Значения коэффициента теплопередачи зимней остекленной теплицы при разных скоростях ветра и перепадах температур

Перепад температуры	Скорость ветра, м/с							
	3	4	5	6	7	8	9	10
25	6,16	6,44	6,72	7,00	7,28	7,56	7,84	8,12
35	7,31	7,58	7,85	8,12	8,39	8,66	8,93	9,20
45	7,91	8,26	8,61	8,96	9,31	9,66	10,01	10,36
55	8,56	9,23	9,60	9,97	10,34	10,71	11,08	11,45
65	9,65	10,08	10,51	10,94	11,37	11,80	12,23	12,66

При регрессионном анализе получена следующая зависимость коэффициента теплопередачи от скорости ветра и перепада температуры:

$$K = 2,4664 + 0,0989\Delta T + 0,345V \pm 0,1612, \quad (11)$$

коэффициент корреляции $R = 0,9954$, коэффициенты частных определений $K_1 = 0,751$, $K_2 = 0,2398$.

Представляет интерес сравнение значений коэффициентов теплопередачи, полученных различными исследователями. В табл. 6 приведены результаты расчетов коэффициента теплопередачи для двух расчетных режимов: за отопительный сезон и для расчетных зимних суток в условиях Москвы.

П р и м е ч а н и е . В расчетных формулах в числителе даны значе-

ния для отопительного сезона, в знаменателе — для расчетных суток. Для воздушных систем отопления температура низкопотенциального теплоносителя принята 35°C . Температура воздуха в теплице за отопительный период 22°C , для расчетных суток 15°C , температура наружного воздуха $3,7$ и -32°C , скорость ветра $3,83$ и $4,9$ м/с соответственно.

Сравнительные расчеты показали, что формулы, полученные Клерингом [5], дают сопоставимые результаты с данными Гипронисельпрома [11] при относительном «мягких» параметрах наружного воздуха. При низких температурах наружного воздуха использование этих формул приводит к занижению коэффициента теплопередачи.

**Расчетные значения коэффициента теплопередачи для различных режимов
в условиях Москвы**

Источник	Расчетная формула	Отопительный период		Расчетные сутки	
		К	%	К	%
[11]	$5,32/7,5 + 0,28V$	6,39	100,0	8,87	100,0
[15]	$4,06 + 0,65V$	6,55	102,5	7,24	81,6
[5]	$5,3 + 0,36V$	6,68	104,5	7,06	79,6
[3]	$5,12 + 0,9V$	8,57	134,1	9,53	107,4
[8]	$6,66/6,46 + 1,464V$	9,17	143,5	9,43	106,3
Воздуховоды с перфорацией вниз	$4,41/6,13 + 0,51V$	6,36	99,5	8,63	97,3
Воздуховоды с перфорацией вверх	$5,47/7,98 + 0,4V$	7,00	109,5	9,94	112,1
Сосредоточенный выпуск	$5,74/8,53 + 0,42V$	7,35	115,0	10,59	119,4

Формулы В.В. Есина и В.В. Масленникова [3, 8], напротив, более корректны в условиях расчетных суток, а для отопительного периода приводят к значительному завышению коэффициента теплопередачи.

Следует также отметить, что при воздушной системе отопления и направлении воздушного потока на растения коэффициент теплопередачи несколько ниже, чем при системе отопления (соответственно 99,5 и 97,3% для отопительного периода и расчетных суток). При направлении воздушного потока на кровлю коэффициент теплопередачи увеличивается на 9,5 и 12,1%, при сосредоточенном выпуске — 15 и 19,4%. Эти данные хорошо согласуются с результатами, полученными в работах [14, 16, 17].

Выводы

1. При воздушно-конвективной системе отопления на низкопотенциальном теплоносителе и распределении воздуха с помощью перфорированных пленочных воздухово-

дов с направлением воздушного потока в зону растений коэффициент теплопередачи теплицы может быть принят равным коэффициенту теплопередачи блочных теплиц с водотрубной системой отопления.

2. При направлении воздушного потока из воздуховодов на кровлю коэффициент теплопередачи увеличивается на 9,5% за отопительный сезон и на 12% для расчетных зимних суток.

3. При сосредоточенном выпуске воздуха коэффициент теплопередачи возрастает по сравнению с его значением в случае водотрубной системы отопления на 15% за отопительный сезон и на 19% для расчетных зимних суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация и электрификация защищенного грунта / Под ред. Л.Г. Прищепа. М.: Колос, 1976. — 2. Гаврилов Н.И. Использование солнечной энергии в защищенном грунте М.: Москов. рабочий, 1963. — 3. Есин В.В. Методи-

ка расчета теплового баланса сооружений защищенного грунта. — В сб. научно-методических статей по теплотехнике, вып. 2 М.: Высшая школа, 1977, с. 60—79. — 4. *Захаров А.А.* Применение тепла в сельск. хоз-ве. М.: Колос, 1980. — 5. *Клеринг Х.П.* Оптимизация использования солнечной радиации и других видов энергии в производстве тепличных овощей. — Автореф. канд. дис., М., 1982. — 6. *Куртнер Д.А., Захаров Н.Г.* Исследование лучистого теплообмена и определение коэффициентов теплопередачи через ограждающие конструкции из светопрозрачной полиэтиленовой пленки. — В кн.: Полимерные пленки в овощеводстве. М.: Колос, 1967, с. 52—67. — 7. *Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф.* Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. Л.: Гидрометиздат, 1969. — 8. *Масленников В.В.* Исследование и разработка рациональных систем теплоснабжения тепличных комбинатов на базе теплоэлектростанций. — Автореф. канд. дис. М., 1979. — 9. Методика исследований микроклимата, систем вентиляции и отопления животноводческих и птицеводческих зданий / Отдел научно-технической

информации Гипронисельхоза. — М.: 1972. — 10. Отчет о научно-исследовательской работе «Испытания теплицы с конвективным обогревом низкопотенциальным теплоносителем». МСХА, № гос. регистрации 81085549. М., 1983. — 11. Руководство по теплотехническому расчету культивационных сооружений. Орел: Гипронисельпром, 1982. — 12. Строительные нормы и правила. Строительная теплотехника. СНиП 11-А. 7—62. М.: Госстройиздат, 1963. — 13. Теплично-парниковое хозяйство / Под ред. И.Т. Швеца. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. — 14. *Kantnak P.* Fortschritt-Berichte VDI-Z Reihe 6, 1969, № 28. — 15. *Sheard G.F.* Energy conservation in Horticulture. Produced for the Royal Agric. Soc. of England «Energy on the Farm» conference. 6 December, 1977. — 16. *Tantau H.J.* Heizungssysteme un Gewuchshaus, Gartenlautechnische Information / T.G. Hanmurer, Heft 1, 3. Auflage, 1982. Taspo Buchvertrieb Braunschweig. — 17. *Zabeltitz C.* Gewachshaus. — Handbuch des Erwerbsgartners. — Institute fur Techik in Gartenlan and Landwirtschaft der Universitat Hannover, 1986.
Статья поступила 21 октября 1994 г.

SUMMARY

As a result of investigation conducted in 1982—1984 and in 1990 the following data were obtained:

— for air distribution by air ducts with low disposition of perforations the coefficient of heat transfer may be the same as for block greenhouses with water-tube heating system;

— with using air ducts with upper perforation this coefficient increases by 9.5% during heating season and by 12% for 24 hours in winter;

— with concentrated air discharge the coefficient increases by 15 and 19.4% respectively.