

УДК 631.41:658.26

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДУШНОЙ И ВОДОТРУБНОЙ СИСТЕМ ОБОГРЕВА ТЕПЛИЦ

Ю. М. БЕЛИКОВ, В. В. КЛИМОВ  
(Кафедра овощеводства)

Все существующие и строящиеся тепличные комбинаты, состоящие из зимних блочных теплиц, как правило, оборудуются трубной системой обогрева с теплоснабжением от собственных котельных или теплоэлектроцентралей. Эта система обеспечивает равномерное температурное поле в теплице при наличии лучистой составляющей в общей теплопередаче. Однако она имеет серьезный недостаток — большую металлоемкость. Для поддержания требуемого температурного режима в зимний период на каждом квадратном метре теплиц необходимо смонтировать 14—18 кг труб, на что идет почти в 2 раза больше металла, чем на сооружение каркаса теплицы. В настоящее время ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию менее металлоемких систем отопления.

Наиболее перспективным является повышение температуры теплоносителя, применение оребренных и остекленных труб. Например, повышение температуры воды в системе обогрева с 95 до 130° позволяет на 25—30 % снизить расход металла в системе отопления. Значительной экономии металла можно достигнуть и в так называемых воздушных системах отопления с использованием в качестве источника тепла пара, воды либо продуктов сгорания жидкого или газообразного топлива. В последнем случае достигается также и дополнительная экономия топлива за счет исключения потерь тепла в теплотрассах.

Для сравнения водяной трубной и воздушной систем обогрева теплиц нами разработана методика энергетической оценки двух систем по минимуму расхода топлива. При этом анализировался тепловой баланс теплицы при обогреве от котельной и теплогенераторами. Нагрузки систем обогрева в том и другом случаях и применяемое топливо для обеих систем приняты одинаковыми.

Тепловой баланс при централизованном сжигании топлива (на примере обогрева от котельной) можно описать уравнением

$$Q^k = Q_{\text{потр}}^k + Q_{\text{п.т}}^k + Q_{\text{с.н}}^k + Q_{\text{экр}}^k, \quad (1)$$

где  $Q^k$  — тепло, получаемое в результате сжигания определенной массы топлива, кДж;  $Q_{\text{потр}}^k$  — тепло, потребляемое объектом (полезно использованное);  $Q_{\text{п.т}}^k$  — потери тепла в теплотрассах и теплопроводах;  $Q_{\text{с.н}}^k$  — расход тепла на собственные нужды котельной;  $Q_{\text{экр}}^k$  — энергия, потребляемая электрооборудованием котельной (вентиля-

торы, дымососы, насосы и т. д.). Она эквивалентна тепловой энергии, полученной в результате сжигания дополнительной массы топлива.

Величины, входящие в формулу (1), можно представить в следующем виде:

$$Q^k = Q_n^p m^k \eta^k; \quad Q_{\text{п.т}}^k = K_{\text{п.т}} Q_{\text{потр}}^k;$$

$$Q_{\text{с.н}}^k = K_{\text{с.н}} Q_{\text{потр}}^k;$$

$$Q_{\text{экр}}^k = Q_{\text{э.о}}^k U_{\text{эл.эн}} / U_{\text{топл}},$$

где  $m^k$  — масса топлива, сжигаемого в котельной для обеспечения  $Q_{\text{потр}}^k$ , кг;  $\eta^k$  — коэффициент полезного действия котлов;  $K_{\text{п.т}}$  — коэффициент потерь тепла в теплотрассе;  $K_{\text{с.н}}$  — коэффициент, учитывающий потери тепла на собственные нужды котельной;  $U_{\text{эл.эн}}$  — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;  $U_{\text{топл}}$  — стоимость 1 кДж тепла, полученного в котельной.

В случае непосредственного сжигания топлива (например, в теплогенераторах) тепловой баланс выражается аналогичной формулой

$$Q^t = Q_{\text{потр}}^t + Q_{\text{с.н}}^t + Q_{\text{экр}}^t. \quad (2)$$

При обогреве от теплогенераторов тепло, используемое на собственные нужды, — это тепло, теряемое на подогрев топлива в танках (емкостях) в зоне заборного патрубка и обогрев здания топливной насосной. По опыту эксплуатации экспериментальной теплицы оно равно 10,8—14,4 ГДж в год. По сравнению с другими составляющими баланса тепла она невелика, но в расчете все-таки учитывается как часть установившейся мощности электрооборудования  $P_{\text{экр}}^t$ . Поскольку топливо на собственные нужды системы обогрева не используется, в формуле (2) примем  $Q_{\text{с.н}}^t = 0$ . В этой же формуле  $Q_{\text{п.т}}^t$  также равна нулю, так как теплотрассы при теплогенераторном способе обогрева отсутствуют.

Преобразуя (1) и (2) с учетом указанных замечаний, имеем

$$Q_n^p m^k \eta^k = Q_{\text{потр}}^k + K_{\text{с.н}} Q_{\text{потр}}^k + K_{\text{п.т}} Q_{\text{потр}}^k + Q_{\text{э.о}}^k U_{\text{эл.эн}} / U_{\text{топл}}; \quad (3)$$

$$Q_n^p m^t \eta^t = Q_{\text{потр}}^t U_{\text{эл.эн}} / U_{\text{топл}}. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) получим выражения для определения массы топлива, сжигаемой в котельной  $m^k$  и в теплогенераторах  $m^t$ , обеспечивающей тепловую нагрузку  $Q_{\text{потр}}^k$ :

Таблица 1

Установленная мощность электрооборудования котельных  $P_{уст}$ , продолжительность использования  $T$  и годовой расход электроэнергии котельных  $Q_{э.о}$  различных тепличных комбинатов

Показатели	Совхоз-комбинат «Московский»	ЭТК «Симферопольский»	ЭТК «Кисловодский»	ЭТК «Кировоградский»
1975 г.				
$Q_{э.о}$ , тыс. кВт·ч	—	2 040	2 710	1 560
$P_{уст}$ , кВт	—	750	500	500
$T$ , ч	—	2 720	5 400	3 120
1976 г.				
$Q_{э.о}$ , тыс. кВт·ч	11 199	2 260	3 460	1 930
$P_{уст}$ , кВт	2 700	750	750	500
$T$ , ч	4 140	3 000	4 620	3 870
1977 г.				
$Q_{э.о}$ , тыс. кВт·ч	11 011	2 120	3 120	2 750
$P_{уст}$ , кВт	2 700	750	750	750
$T$ , ч	4 100	2 820	4 160	3 670
1978 г.				
$Q_{э.о}$ , тыс. кВт·ч	10 518	2 010	2 590	2 160
$P_{уст}$ , кВт	2 700	750	750	750
$T$ , ч	3 900	2 680	3 450	2 880
В среднем за 1975—1978 гг.				
$T_{ср}$ , ч	4 050	2 810	4 440	3 390

$$m^k = \frac{Q_{потр} (1 + K_{с.п} + K_{п.т}) + Q_{э.о}^k \frac{C_{эл.эн}}{C_{топл}}}{Q_n^B \eta^k}; \quad (5)$$

$$m^r = \frac{Q_{потр} + Q_{э.о}^r \frac{C_{эл.эн}}{C_{топл}}}{Q_n^P \eta^r}. \quad (6)$$

Разница в массе топлива, сжигаемого в котельной и в теплогенераторах, отнесенная к массе сжигаемого топлива при централизованном способе сжигания, определит степень экономичности непосредственного способа сжигания топлива

$$\Delta \% = \frac{m^k - m^r}{m^k} 100 \% = (1 - m^r/m^k) 100 \% = [1 -$$

$$\frac{Q_{потр} + Q_{э.о}^r \frac{C_{эл.эн}}{C_{топл}}}{Q_{потр} (1 + K_{п.т} + K_{с.п}) + Q_{э.о}^k \frac{C_{эл.эн}}{C_{топл}}} \times \left. \frac{\eta^k}{\eta^r} \right] 100 \%. \quad (7)$$

Произведем оценку входящих в формулу (7) величин, а также преобразование этой

формулы с целью ее универсального применения.

Потери в теплотрассах при обеспечении теплом от котельных составляют 8,0—10,0 % полного расхода тепла. Расход тепла на собственные нужды равен примерно 5 % [1, 4].

Коэффициент полезного действия котельных тепличных комбинатов находится в пределах 75—85 % [2, 3]. По опыту эксплуатации комбинатов Всесоюзного объединения «Союзтеплица» МСХ СССР, за 1975—1978 гг. на Симферопольском экспериментальном комбинате к. п. д. котельных составлял 82—85 %, на Кисловодском — 80—82 и Кировоградском — 78—82 %. К. п. д. котельных в совхозе-комбинате «Московский» равен 82—84 %. Примем  $\eta_{ср}^k = 0,80$ .

Коэффициент полезного действия теплогенераторов определим по формуле

$$\eta^r = \eta_{т.г} = \frac{P_{н.т.г}^r}{q_{ч} Q_n^P} = \frac{P_{н.т.г}}{q_{ч} Q_n^P}, \quad (8)$$

где  $P_{н.т.г}$  — номинальная мощность теплогенератора.

Для типа FE=180  $P_n = 208,8$  кДж/с;  $q_{ч}$  — часовой расход топлива теплогенератора. Для типа FE=180  $q_{ч} = 20,4$  кг/ч, для типа FE=700  $q_{ч} = 78,8$  кг/ч.

К. п. д. (8) теплогенераторов при использовании печного топлива составляет для типа FE=180  $\eta^r = 0,86$ , для типа FE=700  $\eta^r = 0,87$ .

Учитывая, что теплогенераторы FE=700 используются как пиковые (при низких наружных температурах) и аварийные, примем  $\eta^r = 0,86$ .

В формуле (7) количество электроэнергии  $Q_{э.о}$  можно определить по числу часов  $T$  использования установленной мощности  $P_{уст}$  электрооборудования системы обогрева

$$Q_{э.о} = T P_{уст}. \quad (9)$$

По фактическим данным расхода электроэнергии на работу электрооборудования системы теплоснабжения совхоза-комбината «Московский» и экспериментальных тепличных комбинатов «Симферопольский», «Кисловодский», «Кировоградский» получены значения продолжительности использования установленной мощности электрооборудования котельными за 1975—1978 гг. (табл. 1).

Продолжительность использования установленной мощности электрооборудования котельных колеблется от 2810 до 4440 ч. Из табл. 1 видно, что эта величина в основном зависит от потребления электроэнергии оборудованием котельной. Установленная мощность электрооборудования типовых котельных примерно одинакова для определенной площади теплиц.

Продолжительность использования установленной мощности электрооборудования системы обогрева на базе теплогенераторов, по данным экспериментальной широкопроточной теплицы ВИЭСХ, за 1977—1978 гг. в среднем составила 1800 ч.

Экономия топлива Э при различном годовом расходе тепла в теплице с воздушным оборотом  $Q_{\text{потр}}$

$Q_{\text{потр}}$ , ГДж	20,9	41,9	62,8	83,8	114,7	125,7
Э, %	19,0	18,6	18,4	18,3	18,2	18,0

Стоимость 1 ГДж тепла, получаемого в котельных указанных комбинатов, находится в пределах 0,8—1,4 руб. Стоимость 1 ГДж тепла, получаемого от теплогенераторов при работе на печном топливе в экспериментальной широкопролетной теплице в 1977 и 1978 гг., в среднем была равна 2,05 руб; при работе теплогенераторов на газе она уменьшается до 1,57 руб. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, отпускаемой сельскохозяйственным потребителям, — 0,01 руб.

Отметим, что установленная мощность электрооборудования типовых котельных на 6 га теплиц равна 250—300, а при обогреве теплогенераторами экспериментальной широкопролетной теплицы ВИЭСХ — около 900 кВт. Тогда

$$P_{\text{уст}}^T = 3P_{\text{уст}}^K \quad (10)$$

Учитывая (9) и (10), преобразуем формулу (7):

$$\begin{aligned} \varepsilon = 1 - \frac{Q_{\text{потр}} + 3P_{\text{уст}}^K T^T C_{\text{эл.эн}} / C_{\text{топл}}}{Q_{\text{потр}} (1 + K_{\text{с.н}} + K_{\text{п.т}} + P_{\text{уст}}^K T^K C_{\text{эл.эн}} / C_{\text{топл}})} \times \\ \times \frac{\eta^K}{\eta^T} \quad (11) \end{aligned}$$

Произведем подстановку в формулу (11) параметров, оценка которых проведена выше:

$$P_{\text{уст}}^K = 50,0 \text{ кВт}; T^K = 4000 \text{ ч};$$

$$T^T = 1800 \text{ ч}; C_{\text{эл.эн}} = 0,01 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{топл}}^K = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ руб.}; C_{\text{топл}}^T = 1,81 \cdot 10^{-6} \text{ руб.}; K_{\text{с.н}} = 1,05;$$

$$K_{\text{п.т}} = 1,09; \eta^K = 0,80; \eta^T = 0,86.$$

Культурообороты и сорта в указанных хозяйствах были одинаковыми. Следовательно, и температурные режимы в теплицах требовались одни и те же.

Расчет экономии энергетических затрат по формуле (11) произведем для различных значений годового потребления тепловой энергии ( $Q_{\text{потр}}$ ) гектаром теплиц и сравним с фактическими данными по расходу топлива в этих хозяйствах.

Как видно из табл. 2, значения экономии затрат практически не зависят от годового потребления тепловой энергии.

Сравним фактические расходы топлива в расчете на 1 га при обогреве от теплогенераторов в экспериментальной теплице Истринского ОПХ ВИЭСХ и при обогреве от котельной на газе в совхозе-комбинате

«Московский». В 1977 г. последним было израсходовано 1800 т условного топлива в расчете на 1 га теплиц, в экспериментальной теплице — 1430 т, экономия топлива составила 20,5 %. В 1978 г. расходы топлива были соответственно равны 1992,6 и 1373,9 т, экономия — 30,0 %.

Следовательно, фактические значения экономии топлива при воздушном обогреве экспериментальной теплицы ВИЭСХ (выраженные в процентах к базовому варианту) были больше теоретических в 1977 г. на 2,0, а в 1978 г. на 11,5 %. В среднем расхождение фактической экономии топлива с теоретическим значением составило 6,75 %.

Отличие теоретического значения экономии от фактического объясняется тем, что формула (11) учитывает только характеристики и параметры сравниваемых систем обогрева, но не учитывает параметры самой теплицы. Например, коэффициент ограждения, коэффициент теплопередачи, коэффициент инфильтрации и т. д.

Коэффициент ограждения экспериментальной теплицы ВИЭСХ в 1,135 раза меньше коэффициента ограждения блочных теплиц совхоза-комбината «Московский». Поскольку потери тепла в окружающую среду ограждением теплицы пропорциональны коэффициенту ограждения, система воздушного обогрева в сочетании с конструктивными параметрами широкопролетной теплицы ВИЭСХ может дать фактическую экономию больше рассчитанной по (11) в 1,135 раза и более.

В самом деле, фактические данные экономии топлива превышают теоретические в 1,4 раза, что говорит о хорошей герметизации кровли и малых значениях коэффициентов инфильтрации и теплопередачи.

### Выводы

1. Представленная методика определения эффективности применения воздушного способа обогрева зимних теплиц позволяет сделать количественную оценку экономии энергетических затрат на обогрев по техническим параметрам и характеристикам сравниваемых систем, а также обобщенным показателям эксплуатации электрооборудования и нормативным коэффициентам.

2. Воздушный обогрев с непосредственным сжиганием топлива в теплогенераторах, находящихся в производственных помещениях теплиц (с выбросом продуктов сгорания в атмосферу), экономичнее обогрева регистрами с горячей водой, подаваемой по теплотрассе из котельной. По теоретическим расчетам, экономия энергетических затрат должна составить 18—19 %, по фактическим данным равна 20—30 %.

3. При обогреве от котельной суммарные потери энергии в 2,1—3,1 раза больше, чем при обогреве теплогенераторами. В первом случае потери тепла составили от 30 до 39 %, во втором — от 12 до 18 %, экономия энергоресурсов — 18—21 %.

4. При использовании теплогенераторов установленная мощность электрооборудования в 3 раза больше, чем при использовании котельной для обогрева этой же площади теплиц, а число часов использования установленной мощности в 2—2,5 раза меньше.

Потребление электроэнергии оборудованием теплогенераторов примерно на 25—30 % больше потребления электроэнергии оборудованием котельной для теплиц с одинаковой площадью.

5. Расходы тепла на собственные нужды котельной и потери в теплотрассах составляют 35—38 % суммарных потерь и 13—15 % количества теплоты, выделяемого топливом.

При обогреве теплогенераторами потери теплоты в теплотрассах и расход на собственные нужды отсутствуют.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров А. А. Применение тепла в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1974. —  
2. Михеев М. А., Михеева И. А. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1971. —  
3. Недужий И. А., Алабовский А. Н. Техническая термодинамика и теплопередача. Киев: Вища школа, 1978. —

4. Разработка предложений по нормам расходования топлива для отопления теплиц. Научно-технический отчет. Орел: Гипронисельпром, 1975.

*Статья поступила 4 июля 1980 г.*