

УДК 699.865

Энергосберегающий эффект от применения теплоотражающих экранов при энергообеспечении тепличных хозяйств

Захаров В.М., канд. техн. наук, Смирнов Н.Н., ст. преп., Ащеулов В.И., д-р биол. наук, Лапатеев Д.А., студ.

Предложены новые энергосберегающие конструкции теплиц с использованием экранов. Приведены данные по снижению тепловых потерь при применении ограждающих конструкций с регулируемым сопротивлением теплопередаче в теплицах.

Ключевые слова: теплоотражающий экран, теплица, регулируемое сопротивление теплопередаче, снижение тепловых потерь, наледь.

Energy-Efficient Effect of Applying Heat-Reflecting Shields for Greenhouse Farming Power Supply

V.M. Zakharov, Candidate of Engineering, N.N. Smirnov, Senior Teacher, V.I. Asheulov, Doctor of Biology, D.A. Lapateev, Student

The new energy-efficient constructions of the greenhouses with heat-reflecting shields are suggested. The authors give data of decreasing heat losses while applying screening constructions with regulated heat transfer resistance in greenhouses.

Keywords: heat-reflecting shield, greenhouse, regulated resistance of heat transfer, decreasing heat losses, ice crust.

Отрасль защищенного грунта (тепличные комбинаты) является энергоемкой, индустриальной и технологичной. Стремительный рост цен на энергоносители, нарушение паритета цен и прочие экономические факторы в настоящее время поставили под сомнение необходимость этой отрасли. Сейчас в РФ действует около 2000 га стеклянных теплиц с физическим износом около 80–90 %. Расход тепла в отопительный период в таких теплицах в масштабах страны составляет около 30 млн Гкал/год, что эквивалентно энергии сгорания 3,75 млрд м³ природного газа. В структуре себестоимости овощной продукции большинства хозяйств затраты на энергоносители составляют уже 50–60 % [1]. Поэтому без проведения реконструкции тепличных комбинатов или строительства новых с учетом дальнейшего повышения цен на энергоносители существование отрасли проблематично.

В качестве энергосберегающих мероприятий при строительстве и реконструкции теплиц современными строительными организациями предлагаются:

- 1) увеличение высоты теплицы;
- 2) искусственное досвечивание энергосберегающими лампами;
- 3) устройство светопрозрачного ограждения кровли и периметра теплиц с использованием двухслойного стекла (двухслойный поликарбонат) с применением резиновых и ПВХ уплотнителей;
- 4) устройство эффективной системы форточной вентиляции;
- 5) монтаж системы отопления с разделением контуров отопления (на практике такая схема

показывает свою эффективность в плане экономии тепла и улучшения температурных полей);

б) компьютерное управление микроклиматом и источником теплоснабжения (экономия тепловой энергии при этом составляет около 15–25 %):

- монтаж и реконструкция существующих котельных с установкой АСУ плавного регулирования мощности горения, заменой насосного и запорно-регулирующего оборудования, управление котельной от климатического компьютера;
- монтаж установки отбора отходящих газов котельной для подкормки растений CO₂;
- обеспечение перехода от теплоснабжения центральных котельных с котлами большой мощности на встроенные в тепличные блоки автономные котельные.

Теплицы обладают большим процентом остекления (80–95 %), поэтому нами были разработаны и запатентованы энергосберегающие конструкции теплиц на основе применения теплоотражающих металлических экранов, размещаемых между слоями остекления, снаружи и с внутренней стороны светопрозрачной конструкции теплицы.

Для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток теплоотражающих экранов, которые снижали бы тепловые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопропускаемости фрамуги теплицы в светлое время суток. Теплоотражающие экраны задерживают элек-

тромагнитное излучение преимущественно в инфракрасной области.

Учитывая, что в течение отопительного периода в Центральном регионе РФ средняя продолжительность светового дня составляет около 8 ч, то остальные 16 ч теплицы могут быть закрыты теплоотражающими экранами. Для обоснования данного предложения в табл. 1 приведены значения среднемесячной длительности светового дня, отнесенного к длительности суток, в разных городах РФ для некоторых месяцев отопительного периода.

Таблица 1. Среднемесячная длительность светового дня в сутках в различных городах РФ, %

Город	Месяц		
	Ноябрь	Январь	Март
Краснодар	39,7	36,4	49,9
Москва	34	32	49
Иваново	33,3	30,7	49,1
С.-Петербург	30,9	25,8	49,5
Мурманск	23	6	52

Было исследовано несколько конструкций энергосберегающих оконных блоков с применением теплоотражающих экранов [2]. Отправной точкой исследования послужила конструкция блока, предложенная сотрудником ИГЭУ еще в 2000 г. Для удобства обслуживания в данную конструкцию были внесены некоторые конструктивные изменения [3]. На рис. 1 приведена конструкция оконного блока, который состоит из корпуса 1 с установленным в нем шкивом 2, который с помощью тросика 6 перемещает металлический экран 4, свернутый в рулон.

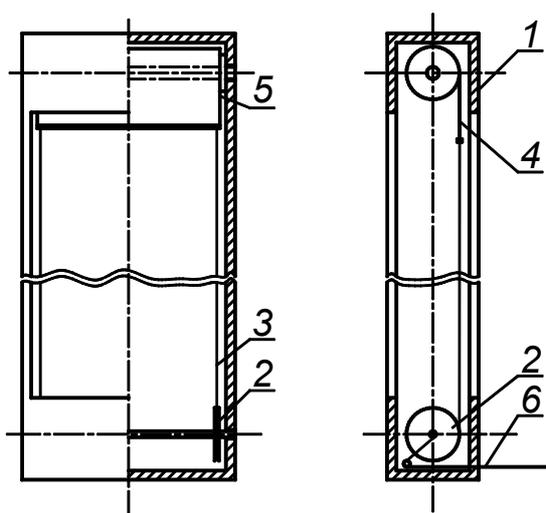


Рис. 1. Конструкция оконного блока с теплоотражающим непрозрачным металлическим сплошным экраном: 1 – корпус; 2 – шкив; 3 – направляющая; 4 – теплоотражающий экран; 5 – пружина; 6 – управляющий тросик

При натяжении тросика экран опускается, в результате закручивается пружина 5, при ослаблении тросика пружина раскручивается и экран поднимается, что обеспечивает возмож-

ность регулирования как светового, так и теплового потоков.

Для управления процессом теплообмена через окно и повышения его термического сопротивления между слоями остекления устанавливались жалюзи с горизонтальными поворотными элементами, выполненными из алюминия (рис. 2). Проводились экспериментальные исследования зависимости термического сопротивления окна вышеуказанной конструкции от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи α .

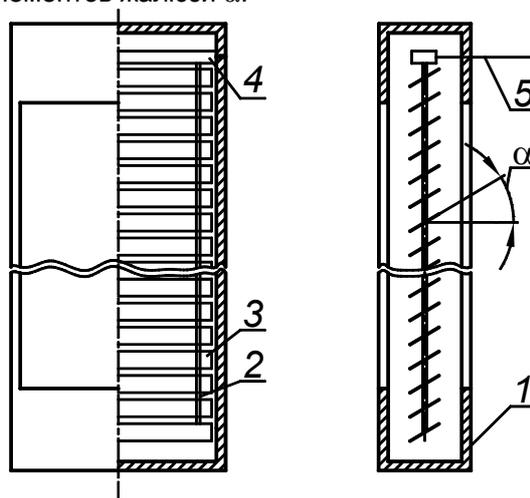


Рис. 2. Конструкция оконного блока с теплоотражающими непрозрачными металлическими жалюзи: 1 – корпус; 2 – направляющие; 3 – алюминиевый поворотный элемент; 4 – крепление; 5 – управляющий тросик; α – угол наклона поворотных элементов жалюзи относительно горизонта

Исследования проводились в лаборатории АНО «Ивановостройиспытания» в сертифицированной климатической камере [2] (табл. 2).

В качестве базовой конструкции (контроль 1) использовался деревянный оконный блок (размеры 1000x1000x140 мм) с одним остеклением 4М1, а также с отдельными переплетами (контроль 2), состоящий из ОСП 4М1-10-4М1 и стекла 4М1 (площадь светопрозрачной части 0,672 м², площадь всего окна 1 м²).

Выход системы на стационарный режим теплопередачи при изменении условий (поднятие-опускание экрана, изменение угла наклона поворотных элементов жалюзи и т.д.) достигался в течение 10–15 мин, в зависимости от тепловой инертности конструкции (ее размеров).

Опыты с использованием алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана, установленного между стеклами окна, показали увеличение приведенного сопротивления теплопередаче на 26 %, по сравнению с базовым вариантом (контроль 2), в то же время увеличилось термическое сопротивление светопрозрачной зоны окна на 48 %. Применение такой непрозрачной конструкции целесообразно в темное время суток, которое является доминирующим в течение отопительного периода практически на всей территории России.

Таблица 2. Значения приведенного термического сопротивления в зависимости от вида конструкции оконного блока*

Описание конструкции окна (материал и расположение экрана)	Приведенное термическое сопротивление теплопередаче светопрозрачной части $R_{0\text{пр}}^0$, ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) / %	Среднесуточное приведенное термическое сопротивление теплопередаче $R_{0\text{пр.сут}}^0$, ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) / %	Тепловые потери оконного блока площадью 1 м^2 , за отопительный период $Q_{\text{год}}$, Гкал	Снижение тепловых потерь (экономия) за отопительный период, %
Контроль 1	0,348 / -	0,452 / -	0,289	-
Контроль 2	0,568 / -	0,606 / -	0,191	-
Внутри металлический экран (контроль 1)	0,537 / 149	0,573 / 127	0,201	30
Между стеклом и стеклом металлический экран (контроль 2)	0,841 / 148	0,768 / 126	0,155	19
Между стеклом и стеклом металлические жалюзи ($\alpha = 90^\circ$) (контроль 2)	0,813 / 143	0,753 / 124	0,157	17,8
Между стеклом и стеклом металлический экран + металлический экран внутри (контроль 2)	1,197 / 211	0,942 / 155	0,128	33
Экран снаружи, внутри и между слоями остекления (контроль 2)	1,323 / 233	0,996 / 164	0,122	36

* рассчитано для условий отопительного периода Ивановской области

Следовательно, временным введением дополнительной конструкции в окно мы регулировали его термическое сопротивление.

Следует отметить, что благодаря применению экранов повысилась температура на внутренней поверхности остекления оконного блока (рис. 4), что немаловажно, так как в нижней части остекления располагается наиболее опасная зона для выпадения конденсата, инея и образования наледей, особенно при наличии высокой влажности внутри помещения.

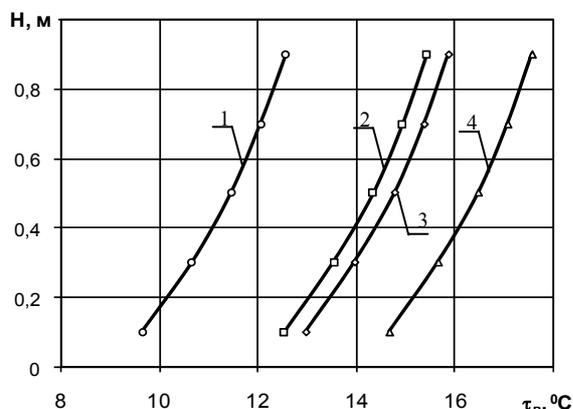


Рис. 4. Зависимости температуры на внутренней поверхности остекления средней зоны окна по высоте светопрозрачной части от конструкции оконного блока: 1 – без экрана (контроль 2); 2 – экран установлен снаружи (контроль 2); 3 – экран установлен между ОСП и стеклом (контроль 2); 4 – то же плюс экран снаружи (контроль 2); температура воздуха в «теплом» отделении камеры $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$, в холодном $t_{\text{н}} = -20^\circ\text{C}$

Относительно установки металлических жалюзи следует отметить тот факт, что максимальное приведенное термическое сопротивление $R_{\text{пр}}^0 = 0,813 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ было получено при $\alpha = +90^\circ$, когда жалюзи полностью перекрывали световой проем (рис. 5). При этом

воздушная прослойка межстекольного пространства разделялась на две, снижая конвективную составляющую теплообмена. Образовавшийся теплоотражающий экран снизил лучистую составляющую, поскольку каждый поворотный элемент выполнен из алюминия с высокой теплоотражающей способностью.

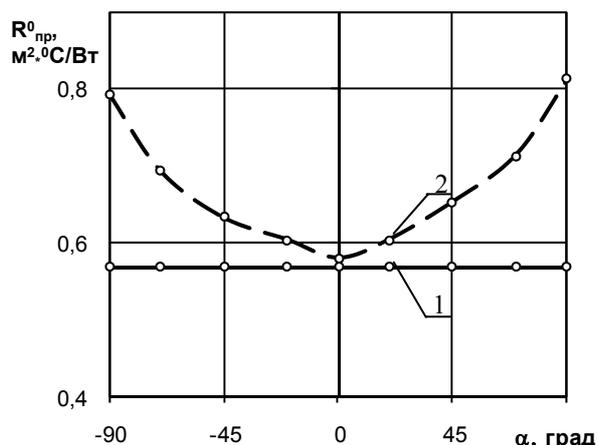


Рис. 5. Зависимость приведенного термического сопротивления окна от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи: 1 – оконный блок без жалюзи (контроль 2); 2 – оконный блок с жалюзи

Опираясь на данные, полученные при испытании оконных блоков, нами была разработана конструкция энергосберегающей теплицы с теплоотражающими металлическими экранами, приведенная на рис. 6. Экран открывается (закрывается) по мере необходимости дистанционно, от кнопки, или в автоматическом режиме, от системы управления микроклиматом теплицы. Сворачивание и разворачивание экранов осуществляется с помощью системы с электроприводом.

Как было сказано выше, процент остекления в тепличных хозяйствах составляет 80–95 %, поэтому применение теплоотражаю-

щих экранов в данном случае будет давать более высокую энергоэффективность по сравнению с использованием этой технологии в производственных цехах промышленных предприятий с процентом остекления 30–60 %.

Использование металлических экранов в теплицах предназначается для снижения перегревов воздуха в объеме культивационных сооружений в периоды с избыточной солнечной радиацией способом притенения и, в большей степени, для уменьшения тепловых потерь из теплицы через ограждение в холодные периоды года, для создания более равномерного и благоприятного для растений температурного поля и повышения влажности в объеме растительного ценоза на всей площади теплицы при сохранении проветривания.

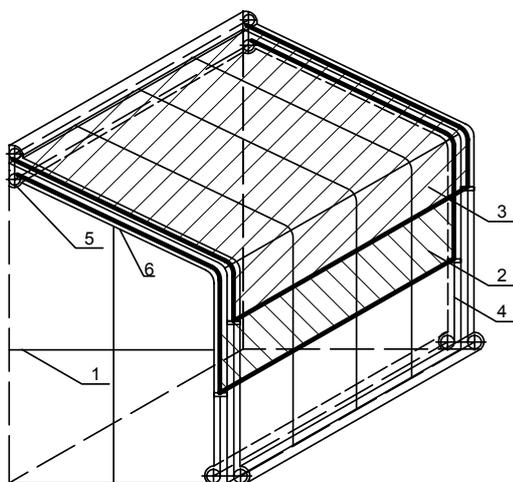


Рис. 6. Конструкция теплицы (одинарное остекление) с теплоотражающими металлическими экранами: 1 – каркас теплицы; 2 – внутренний экран; 3 – наружный экран; 4 – тросик управления; 5 – шкив с электродвигателем; 6 – направляющая

Для принятия решения о применении сплошного металлического экрана или металлических жалюзи в качестве энергосберегающего мероприятия, очевидно, следует руководствоваться следующими соображениями: стоимость металлических жалюзи на порядок выше стоимости сплошного экрана ввиду более сложной конструкции, но жалюзи могут плавно регулировать процесс инсоляции и светопоступления, что немаловажно для создания микроклимата в теплице в летний период, когда особенно важно, чтобы растения «не сгорели», так как избыток солнечной энергии приносит больше вреда, чем пользы растениям. Но даже при угле $\alpha = 0^\circ$ жалюзи заметно снижают поступление дневного света в теплицу. Исходя из вышесказанного, металлические жалюзи следует устанавливать на ограждающих конструкциях, имеющих южную, юго-восточную и юго-западную ориентацию, и на крышу теплицы, а сплошные металлические экраны – на северной, северо-восточной и се-

веро-западных сторонах теплицы, где в большей части присутствует рассеянный свет.

К сожалению, при высокой относительной влажности (при выращивании огурцов $\varphi = 85\text{--}90\%$, томатов – $\varphi = 75\text{--}80\%$) и температуре воздуха внутри теплиц (при выращивании огурцов $t = 25\text{--}27^\circ\text{C}$, томатов $t = 23\text{--}25^\circ\text{C}$) и низкой температуре наружного воздуха на внутренней поверхности остекления образовывался конденсат, который потом замерзал, но наледь образовывалась и в контрольном варианте.

В то же время, в отличие от конструкций с использованием теплоотражающих покрытий, нанесенных на стекло, окна с регулируемым сопротивлением на основе экранов не вызывают увеличения потребления электрической энергии на искусственное освещение, что особенно актуально для обеспечения необходимого количества света для растений и необходимого урожая.

В летнее время применение металлических жалюзи с солнечной стороны теплиц снижает поступление солнечной энергии в помещение, тем самым сократив затраты энергии в системах кондиционирования воздуха.

На основании проведенных испытаний был разработан проект реконструкции производственных помещений тепличного хозяйства ОАО «Совхоз «Тепличный»» (г. Иваново). Теплицы располагаются на площади 45,4 га, причем остекление составляет 590 000 м². Предприятие входит в пятерку самых крупнейших тепличных хозяйств РФ. У предприятия имеется своя водогрейная котельная, работающая на природном газе, установленной мощностью 120 Гкал/ч.

Объем теплиц отделен от окружающей среды светопрозрачным ограждением, а именно фрамугами с одинарным остеклением. Было рассмотрено несколько вариантов расположения теплоотражающих экранов относительно стекла фрамуг.

Согласно полученным данным (табл. 3), экраны снижают теплопотери на 20–40 %, поэтому их разворачивают в холодное время года и суток, когда потери от охлаждения выше, чем потери от снижения освещенности. Такое положение характерно для ночных периодов и для зимних пасмурных дней. Достижимая годовая экономия тепла (и денежных средств) находится в диапазоне 27–42 %, в зависимости от расположения экранов.

Недостатком технологии применения экранов является то обстоятельство, что при значительном уменьшении теплового потока через светопрозрачное ограждение ухудшается снеготаяние на крыше теплицы, поэтому во время снегопадов экраны должны быть свернуты для более полного прогрева кровли и улучшения снеготаяния.

Анализ результатов проведенных исследований (рис. 7) показал, что при применении теплоотражающих экранов отопительная нагрузка значительно снижается.

Таблица 3. Снижение потребления тепловой энергии при установке теплоотражающих экранов для теплиц ОАО «Совхоз «Тепличный»» (площадь остекления 590000 м²)

Светопрозрачная конструкция	Приведенное термическое сопротивление теплопередаче светопрозрачной части $R_{0,пр}$, (м ² °С/Вт) / $R_{0,пр}$, среднесуточ.	Расчетная нагрузка при $t_{вн} = -30^{\circ}\text{C}$, $t_{вн} = 23^{\circ}\text{C}$, $Q_{расч}$, МВт / $Q_{расч}$, при $R_{0,пр}$, среднесуточ	Потребление тепловой энергии за отопительный период $Q_{год}^{от}$, (тыс. ГДж/год) / %	Затраты на тепловую энергию $S_{год}^{теп}$, (млн руб/год) / %
Одинарное остекление	0,348 / 0,348	89,8	879 / 100	315 / 100
Одинарное остекление + экран внутри	0,537 / 0,474	57,9 / 65,6	645 / 73,3	231 / 73,3
Одинарное остекление + экран снаружи	0,522 / 0,464	59,6 / 67,1	659 / 74,5	236 / 74,5
Одинарное остекление + экраны снаружи и внутри	0,73 / 0,60	43,7 / 51,9	510 / 58,0	183 / 58,0

* $R_{0,пр}$, среднесуточ. вводится с учетом использования экранов только в ночное время и определяется как средневзвешенная величина между сопротивлениями в светлое и темное время суток

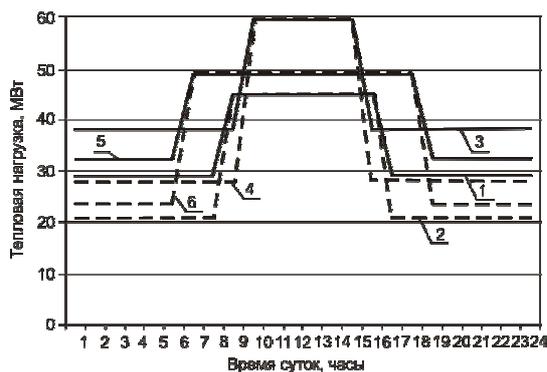


Рис. 7. Изменение потребляемой тепловой нагрузки на отопление теплиц ОАО «Совхоз «Тепличный»» в зависимости от времени суток (в темное время суток опускаются экраны): 1 – для ноября при использовании одного экрана; 2 – для ноября при использовании двух экранов; 3 – для января при использовании одного экрана; 4 – для января при использовании двух экранов; 5 – для марта при использовании одного экрана; 6 – для марта при использовании двух экранов

Годовое потребление тепловой энергии должно определяться исходя из реальных климатических данных (в том числе, среднемесячной продолжительности светового дня и температуры наружного воздуха) конкретных регионов РФ, так

Захаров Вадим Михайлович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-24,
e-mail: colia@rambler.ru

Смирнов Николай Николаевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон 8-903-879-99-26,
адрес: г. Иваново, ул. Смирнова, д. 10, кв. 6,
e-mail: nsmirnov@bk.ru

Ащеулов Василий Иванович,
ОАО «Совхоз «Тепличный»»,
доктор биологических наук, заместитель генерального директора по производству,
телефон (4932) 31-85-05,
e-mail: avasily@yandex.ru

Лапатеев Денис Александрович
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
студент
телефон (4932) 26-97-24.

как в зависимости от географической широты и суровости климата графики потребления теплоты будут значительно различаться.

Заключение

Проведенные испытания и теплотехнические расчеты энергосберегающих светопрозрачных ограждений подтвердили целесообразность применения теплоотражающих экранов при конструировании теплиц. Применение данных технологий значительно снизит нагрузку на системы энергообеспечения теплиц.

Список литературы

1. Лузик А.И. Использование энергосберегающих технологий при реконструкции теплиц // Мир теплиц. – 2007. – №6. – С. 14–17.
2. Смирнов Н.Н. Снижение нагрузок на системы энергоснабжения зданий при использовании энергосберегающих ограждающих конструкций с теплоотражающими экранами // Вестник ИГЭУ. – 2008. – №2. – С. 59–63.
3. Захаров В.М., Смирнов Н.Н. Патент на полезную модель «Оконный блок». Заявка №2008150026/22 (065645), приоритет от 17.12.2008г. Решение о выдаче патента 84042 от 27.02.2009г. Москва.