



М.В. Павлов, С.В. Лукин
 Вологодский государственный университет

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОГРЕВА КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рентабельность тепличного производства овощей и фруктов определяется, с одной стороны, технологией их выращивания (применением высокоэффективных удобрений, оптимальной работой оросительных систем и т.п.), а с другой – уровнем энергопотребления культивационных сооружений. В статье рассмотрены и проанализированы возможные пути повышения энергетической эффективности обогрева сельскохозяйственных зданий на примере зимних теплиц. Установлено, что существенного энергосберегающего эффекта можно достичь только за счет рационального подхода к выбору системы отопления объектов тепличного хозяйства.

Энергосбережение, энергетическая эффективность, отопление, теплица.

На значительной части территории нашей страны в связи с продолжительной, нередко суровой зимой и коротким, не всегда теплым летом складываются неблагоприятные условия для выращивания теплолюбивых растений в открытом грунте. Для расширения возможностей выращивания растений и снабжения населения свежими продуктами питания, особенно овощами (в первую очередь огурцами и томатами), в неблагоприятные периоды года применяют различные сооружения защищенного грунта, в которых искусственно создаются необходимые условия для роста и развития растений. По степени удовлетворения потребностей растений в комплексе факторов жизнеобеспечения или по технологической сложности все существующие сооружения защищенного грунта подразделяют на парники, утепленный грунт и теплицы. В отличие от парников и утепленного грунта в теплицах не только создаются благоприятные условия для развития растений, но также обеспечивается защита обслуживающего персонала от неблагоприятных климатических факторов [9].

Несмотря на очевидные преимущества, выращивание сельскохозяйственной продукции в тепличных условиях является непростой технологической задачей [7, с. 80]. На качество урожая влияет множество факторов [12, 13, 27]: температура и влажность внутреннего воздуха; интенсивность полива почвы и др. Например, в простейших теплицах с нерегулируемым солнечным обогревом создание благоприятных условий для выращивания растений является трудновыполнимой задачей. В ночное время суток, особенно зимой, солнечной теплоты для культивирования растений явно недостаточно, и они, как следствие, либо погибают, либо из-за стрессовых условий не дают ожидаемый урожай. Оснащение теплиц системами искусственного обогрева и соблюдение режима полива почвы позволяют увеличить продуктивность овощных культур (примерно в два-три раза) и защитить растения от возможных переохлаждений и засухи [11, 16].

Об огромной роли тепличного хозяйства в круглогодичном обеспечении населения овощами и фрук-

тами говорит хотя бы тот факт, что в соответствии с принятой «Государственной программой развития сельского хозяйства...» на период 2013–2020 гг. предусматривается существенное увеличение площади теплиц. По данным [15] нашей страной планируется к 2020 г. введение в эксплуатацию 4500 га зимних теплиц. Дело в том, что в настоящий момент времени в России потребность в овощах из защищенного грунта на душу населения обеспечивается всего лишь на 31% [26]. Сложившийся дефицит овощной продукции, в первую очередь, связан с развалом многих отечественных тепличных комбинатов, построенных в 70–80-х гг. прошлого века вследствие их нерентабельности. В прошлом недостаток сельскохозяйственной продукции частично восполнялся поставками из-за рубежа. В связи с введенными против нашей страны санкциями и разработанной Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации в настоящее время наметилась тенденция к возрождению тепличной отрасли, что в итоге потребует строительства новых культивационных сооружений [10]. Важным фактором, который также заставляет развивать тепличное овощеводство ускоренными темпами, является постепенное увеличение потребления овощей на душу населения. Например, в 2014 г. оно составило 111 кг на человека, что все еще ниже рекомендуемых норм (120–140 кг). Для сравнения на тот же период времени в Германии, Японии и Китае данный удельный показатель соответственно равнялся 129, 122 и 179 кг [1].

Нерентабельность тепличного хозяйства в России, которая стала причиной резкого снижения уровня производства сельскохозяйственной продукции, вызвана, прежде всего, конструктивными особенностями прежних теплиц. К их основным недостаткам можно отнести [6]: крупногабаритность и материалоемкость сооружений; низкокачественные полиэтиленовые и стеклянные покрытия, обладающие относительно невысокими технико-экономическими показателями; малоэффективные традиционные системы отопления, требующие всевозрастающих затрат на энергоносители и не обеспечивающие

рационального потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов.

С точки зрения потребления энергоресурсов нужно отметить, что в обычном тепличном хозяйстве значительную часть расходов составляет отопление теплиц. Например, требуемая мощность, необходимая для отопления теплицы площадью 1000 м², составила 360 кВт. При этом по расчетам за отопительный сезон будет израсходовано порядка 113 т.у.т., что равняется 300 тыс. руб. [5]. Снижения затрат энергии на отопление зимних теплиц для круглогодичного выращивания растений можно добиться несколькими путями: определением оптимальной планировки и поиском формы теплицы с минимальной площадью ограждения при максимальном ее объеме [20]; использованием высокотехнологичных материалов ограждающих конструкций, пропускающих солнечный свет и задерживающих тепло в помещении; внедрением современных энергоэффективных способов обогрева почвы.

Как отмечено в книге [3], зимние теплицы рекомендуется ориентировать коньками в направлении восток-запад, весенние – коньками на север-юг. При таком расположении в теплицах обеспечиваются наилучшие условия освещенности в зимние месяцы, а в весенние – более сглаженный световой режим в период возможных перегревов. Лучшие условия освещенности также достигаются в теплице с неравными углами наклона кровли: 60–75° – на южный скат и 30° – на северный. При этом солнечный свет не должен встречать никаких препятствий, т. е. должно быть полное отсутствие затененности теплицы от кустов, деревьев и строений [19]. Все эти объемно-планировочные решения позволяют максимально обогреть теплицу прямыми лучами Солнца. При выборе места для строительства теплицы следует обратить внимание на ее защищенность от господствующих ветров. Это обстоятельство особенно важно учитывать при выращивании растений в зимнее время года, поскольку сильный ветер существенно увеличивает тепловые потери в теплице.

Что касается ограждения теплицы, то оно должно быть выполнено из светопрозрачных материалов,

к которым, как правило, относятся полиэтиленовая пленка, стекло и сотовый поликарбонат. В целях уменьшения теплопотерь овощеводы часто применяют двухслойную пленку и стекло или комбинацию материалов, но светопрозрачность таких покрытий снижается. Поэтому инновационным решением стало применение для покрытия теплиц листов сотового поликарбоната. Главные преимущества полимерного материала заключены в его трех основных характеристиках [21]: прозрачность, аналогичная стеклу; прочность (в 20 раз прочнее стекла); энергосбережение (в 1,5 раза выше, чем у стекла). Благодаря структуре сотовый поликарбонат оптимизирует освещенность внутри теплицы: рассеянный свет равномерно распределяется на растения, что особенно важно зимой для светолюбивых культур [2].

В таблице 1 представлены для сравнения технические характеристики светопрозрачных материалов, применяемых для покрытия теплиц [4].

В соответствии с таблицей 1 с учетом имеющихся теплотехнических, эксплуатационных и технико-экономических преимуществ сотовый поликарбонат является оптимальным укрывным материалом для теплиц.

Сотовый поликарбонат получил свое название из-за особенностей структуры. Листы поликарбоната состоят из двух, трех и более тонких параллельных пластин и тонких перемычек между ними. В поперечном разрезе лист сотового поликарбоната разделен ячейками, имеющими форму многоугольника (соты), в пустотах которых воздух обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства, а перемычки – большую конструктивную жесткость при относительно небольшом весе материала [23]. За счет воздушных прослоек процессы теплопередачи через сотовый поликарбонат протекают медленнее в сравнении с монолитным поликарбонатом той же толщины (таблица 2). Однако, несмотря на повышенную удельную массу материала, монолитный поликарбонат лучше пропускает солнечный свет, чем сотовый поликарбонат [14].

Таблица 1

Технические характеристики светопрозрачных конструкций теплицы

Характеристика материала, изделия	Одинарное стекло, 4 мм	Двойное остекление	Однокамерный стеклопакет	Сотовый поликарбонат	
				10 мм	16 мм
Масса, кг/м ²	10	20	20	1,7	2,7
Светопропускание, %	90	80	80	80	76
Сопротивление теплопередаче, м ² ·К/Вт	0,005	0,34	0,34	0,29	0,42
Примерная стоимость, руб/м ²	340	680	1040	290	630
Горючесть	не горючее	не горючее	не горючий	слабогорючий	
Долговечность ¹ , год	-	-	-	10–20	10–20
Сопротивление ударным воздействиям	слабое	слабое	слабое	хорошее	
Размеры, м	-	-	-	2,1×6,0; 2,1×12,0	
Коэффициент линейного теплового расширения, °С ⁻¹	-	-	-	6,5·10 ⁻⁵	

¹Долговечность стекла в ограждающих конструкциях теплиц является неопределенной в связи с его хрупкостью и, как следствие, возможным разрушением ограждения при деформации каркаса, снегопадах (из-за образования «снеговых мешков» в ендовах блочных теплиц или вследствие отключения отопления) и граде (особенно в южных районах России). В теплицах ежегодно заменяется примерно 1–2% стеклянного ограждения из-за боя стекла.

Сравнение технических характеристик поликарбонатов

Толщина, мм	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)		Светопропускание, %	
	монолитный поликарбонат	сотовый поликарбонат	монолитный поликарбонат	сотовый поликарбонат
4	5,56	4,17	86,5	83,0
6	5,00	3,70	85,0	82,0

Как и все другие виды укрывных материалов, поликарбонат не лишен недостатков. В связи с его сотовой структурой он не всегда имеет достаточную прочность в случае продолжительного напряженно-деформированного состояния (например, при снеговой нагрузке в зимний период года), особенно при малой толщине покрытия [24]. Большим недостатком поликарбоната является низкая абразивостойкость его поверхности [18]. Повышенная чувствительность поликарбоната к ультрафиолетовому излучению может привести через определенный период времени к разрыву кислородных связей полимерных молекул в его поверхностном слое и впоследствии негативно отразиться на механической прочности и оптических свойствах материала [17].

Форма и расположение теплицы играют важную роль в получении максимального количества теплоты солнечного излучения. Теплозащитные характеристики ограждения вследствие малой толщины стенки в расчетах порой не учитываются (тепловые потери в теплицах примерно в 4–6 раз больше, чем в многоэтажных жилых зданиях) [22]. Поэтому энергосбережение тепличного хозяйства, в первую очередь, зависит от выбора системы отопления.

Теплицы круглогодичного использования, расположенные на территории нашей страны, по большей части нуждаются в сезонном отоплении. Для обогрева теплиц применяются различные виды систем отопления, которые имеют свои достоинства и недостатки, а также область применения. Проблема выбора усугубляется еще тем, что в разные периоды времени для созревания растений требуются разные способы обогрева [25]. Поэтому поиск системы отопления, которая бы в большей степени соответствовала потребностям жизнеобеспечения растений в теплице, является до сих пор актуальным. Ведь ни для кого не секрет, что создание благоприятных условий для выращивания сельскохозяйственной продукции в закрытом грунте является залогом получения богатого урожая с регулярной периодичностью два-три раза в год [8].

Литература

1. Бабушкин, В. А. Особенности и эффективность господдержки регионального овощеводства / В. А. Бабушкин, А. А. Дубовицкий, Д. О. Свиридов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 75–80.
2. Бахтияров, Р. Ф. Сотовый поликарбонат – современное энергосберегающее покрытие для теплиц / Р. Ф. Бахтияров // Гавриш. – 2011. – № 3. – С. 33–35.
3. Бондарева, О. Б. Устройство теплиц и парников / О. Б. Бондарева. – Москва: АСТ; Донецк: Сталкер, 2004. – 92 с.
4. Волченков, А. И. Анализ строительных решений фермерских теплиц круглогодичного использования / А. И. Волченков // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2017. – № 1 (8). – С. 78–83.
5. Захаров, Р. В. Энергоэффективная теплица – теплоэнергетический и экономический расчет / Р. В. Захаров, С. О. Апаев, С. В. Картавцев // Энергетики и металлурги настоящему и будущему России: материалы 17-й Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов. – Магнитогорск, 2016. – С. 181–183.
6. Зеленко, И. Ю. «Сибирская теплица» – современная технология производства овощных и зеленных культур в закрытом грунте / И. Ю. Зеленко, А. В. Васильев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 4 (12). – С. 24–27.
7. Кабанов, А. А. Система удаленного управления теплицей / А. А. Кабанов, Г. В. Никонова // Актуальные проблемы современной науки: материалы IV регион. науч.-практ. конф. – Омск, 2015. – С. 80–82.
8. Калинина, Т. О. Создание оптимальных тепловых условий в теплицах в зимний период / Т. О. Калинина, В. Ю. Полякова, К. В. Кичин // Молодой ученый. – 2016. – № 29 (133). – С. 81–86.
9. Климов, В. В. Оборудование теплиц для подсобных и личных хозяйств / В. В. Климов. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 96 с.
10. Ледовской, А. В. Вопросы проектирования культивационных сооружений / А. В. Ледовской // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. – 2016. – № 2 (7). – С. 128–133.
11. Липатов, А. В. Повышение эффективности систем отопления теплиц / А. В. Липатов, Е. В. Спиридонова, А. Ф. Фролов // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2017. – С. 108–112.
12. Лысак, О. Г. Микроклимат зданий для хранения сочного растительного сырья / О. Г. Лысак, А. М. Моисеенко // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4 (31). – С. 74–76.
13. Моисеенко, А. М. Моделирование температурно-влажностного режима в зданиях картофелеовощехранилищ / А. М. Моисеенко, О. Г. Лысак // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 2 (64). – С. 77–84.
14. Мухачев, А. Д. Применение поликарбонатов в качестве энергоэффективной светопрозрачной конструкции / А. Д. Мухачев // Образование, наука, производство. – Белгород, 2015. – С. 1326–1329.
15. Новые технологии в овощеводстве защищенного грунта / С. М. Сирота, И. Т. Балашова, Е. Г. Козарь, Е. В. Пинчук // Овощи России. – 2016. – № 4 (33). – С. 3–9.

16. Оценка эффективности системы воздушного отопления в теплице / В. А. Кубис, С. В. Баканова, А. И. Еремкин, Н. А. Орлова // Градостроительство и архитектура. – 2014. – № 2 (15). – С. 94–98.
17. Повышение устойчивости поликарбонатных изделий к действию ультрафиолетового излучения / О. А. Зубкова, Т. В. Лапова, Н. П. Горленко [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 6 (53). – С. 135–140.
18. Поликарбонат – анализ рынка и перспективы развития / В. В. Америк, С. А. Радзинский, И. Ю. Золкина [и др.] // Пластические массы. – 2013. – № 11. – С. 10–13.
19. Пучнин, А. М. Энергосберегающая мини-теплица для выращивания овощей и выгонки лука на перо в крестьянском индивидуальном секторе / А. М. Пучнин, В. В. Смирягин // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19, № 1. – С. 214–216.
20. Савин, В. К. Энергетическая эффективность и формообразование зданий / В. К. Савин, Н. В. Савина // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3. – С. 152–157.
21. Саттарова, Р. Сотовый поликарбонат – теплосберегающее покрытие для фермерских теплиц / Р. Саттарова // Гавриш. – 2013. – № 2. – С. 48–49.
22. Сканава, А. Н. Отопление: учебник для техникумов / А. Н. Сканава. – Москва: Стройиздат, 1988. – 416 с.
23. Талаев, К. И. Сотовый поликарбонат / К. И. Талаев, П. П. Долгих // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. – 2016. – № 5. – С. 234–236.
24. Хайруллин, Ф. С. Определение напряженно-деформированного состояния материала сотовой структуры / Ф. С. Хайруллин, С. Г. Сидорин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 18. – С. 23–25.
25. Шелехов, И. Ю. Оценка эффективности использования различных методов обогрева теплиц / И. Ю. Шелехов, А. Ю. Седелникова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2013. – № 1 (4). – С. 138–143.
26. Юдаев, И. В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната – покрывного материала круглогодичных теплиц / И. В. Юдаев // Поли-тематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 239–252.
27. Taylor, T. M. Secrets to a successful greenhouse business / T. M. Taylor // Mother Earth News. – 1992. – № 135. – P. 38–45.

M.V. Pavlov, S.V. Lukin
Vologda State University

WAYS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF CULTIVATION FACILITIES HEATING

On the one hand, cost effectiveness of producing vegetables and fruit in greenhouses is determined by cultivation technologies (application of highly effective fertilizers, optimal performance of irrigation systems etc.), and, on the other hand, by the energy consumption of cultivation facilities. This article considers and analyses possible ways to improve energy efficiency of agricultural facilities heating using winter greenhouses as an example. It has been found out that a considerable energy-saving effect can be achieved only with the rational approach to the choice of a heating system for greenhouse facilities.

Energy saving; energy efficiency; heating; greenhouse.