

Проблемы строительства объектов холодильного хранения плодов и овощей

Д-р техн. наук А. Я. ЭГЛИТ, канд. техн. наук А. А. КРУГЛОВ,
М. Ю. КАТРАЕВ

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

The inaccuracies implicated in the calculations of thermal resistance of enclosures for fruit and vegetables storage facilities and found in normative documentation have been considered. Specific recommendations with regards to the choice of parameters, entering the formula for the calculation of thermal resistance depending on the climate and type of products are given. The methods proposed by the authors to evaluate the heat input through the enclosure for fruit storage are given, which offer the values of heat inputs by 30–40 % lower than those recommended by the existing method.

Особенностью зданий плодоовощехранилищ является знакопеременность потоков теплоты и влаги в течение года. Ввиду этого они выделяются практически в отдельную группу зданий согласно [4]: «Требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен и покрытия помещений хранения картофеля, овощей и фруктов, а также других продуктов, хранение которых осуществляется при температурах -4°C и выше, для условий эксплуатации в зимнее время года следует определять по СНиП 23-02-2003; при этом температуру воздуха в помещениях хранения следует принимать по нормам технологического проектирования, а нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции — по таблице 8». Однако справедливость информации, приведенной в этой таблице по ряду плодоовощной продукции, вызывает определенные сомнения. Например, виноград должен храниться при температуре воздуха от $+1^{\circ}\text{C}$ (ранний) до -2°C (поздний), и, следовательно, рекомендуемый нормативный температурный перепад для наружных стен в $1,5^{\circ}\text{C}$ не всегда гарантирует отсутствие конденсата. Между тем согласно п. 5.1 [5] температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций должна быть выше температуры точки росы.

Для корнеплодов и других культур, при хранении которых относительная влажность воздуха в помещении должна составлять 90–95 %, перепад температур должен составлять 1 К, а не 2 К, как ошибочно указано в табл. 8, п. 2.40 [4].

Согласно п. 5.4 СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [5] для производственных зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12°C и ниже приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (за исключением светопрозрачных) R_{req} ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$) следует принимать не менее значений, определяемых по формуле

$$R_{req} = n(t_{int} - t_{ext})/(\Delta t_n \alpha_{int}), \quad (1)$$

где n — коэффициент, учитывающий зависимость поло-

жения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

t_{int} — расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$;

t_{ext} — расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^{\circ}\text{C}$ (для всех зданий, кроме производственных, предназначенных для сезонной эксплуатации), принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки [6];

Δt_n — нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, К;

α_{int} — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

В Санкт-Петербурге для хранилища корнеплодов $R_{req} = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$.

В производственных зданиях, предназначенных для сезонной эксплуатации, в качестве расчетной температуры наружного воздуха в холодный период года t_{ext} следует принимать минимальную температуру наиболее холодного месяца, определяемую как среднюю месячную температуру января, уменьшенную на среднюю суточную амплитуду температуры воздуха наиболее холодного месяца [5].

Трудно представить, о каких объектах в современных экономических условиях идет речь, но для подобных зданий можно использовать в качестве расчетной для Санкт-Петербурга температуру $-13,4^{\circ}\text{C}$ [6], что уменьшает требуемое термическое сопротивление до $1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$.

Фактором, заметно влияющим на величину требуемого термического сопротивления, является коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждения α_{int} , который согласно табл. 7 [5] не превышает $8,7 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Для современных плодоовощехранилищ рекомендуемая скорость движения воздуха в конце действия струи должна быть не менее $0,5 \text{ м/с}$, что примерно соответствует $\alpha_{int} = 8 \text{ Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. В то же время скорость воздуха на выходе из воздухоохладителей доходит до $4...5 \text{ м/с}$ и более, что опре-

делает значительно большее значение α_{int} (в 2–3 раза) и соответственно меньшее R_{req} .

Столь высокая неоднородность поля скоростей по объему камеры не позволяет однозначно определить величину R_{req} . Для первичной оценки этого фактора можно воспользоваться положениями п. 4.5 [3]. Кратность циркуляции воздуха в период поступления фруктов должна быть 40–60 объемов в 1 ч, а в период хранения — 10–30 объемов в 1 ч. Для обеспечения нужной кратности циркуляции необходимо предусматривать регулирование производительности вентиляторов, которое может осуществляться с помощью двухскоростных электродвигателей, частотных преобразователей или отключением части вентиляторов. При достижении оптимальной температуры в камерах необходимо обеспечить непрерывную циркуляцию воздуха (не менее 20–25 % от расчетной). Если распространить на холодный период года необходимость непрерывной расчетной циркуляции воздуха, то коэффициент теплоотдачи в расчете можно принять $15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Учитывая вышеизложенное, а также принимая во внимание прогнозируемое потепление климата и исходя из того, что абсолютно минимальная температура имела место 1 раз за 100 лет наблюдений, можно сделать следующие выводы.

✓ Допустимый перепад между температурой внутренней поверхности наружного ограждения камеры плодоовощехранилища и температурой воздуха в ней следует определять, исходя из технологических требований к параметрам воздуха для конкретного вида продукции, или по наименьшему значению для возможного варианта хранящейся продукции.

✓ Для плодоовощехранилищ в районах с морским климатом в качестве расчетной температуры воздуха при определении требуемого термического сопротивления можно принимать минимальную температуру наиболее холодного месяца, определяемую по средней месячной температуре января, уменьшенной на среднюю суточную амплитуду температуры воздуха наиболее холодного месяца.

✓ Для плодоовощехранилищ в районах с резко континентальным климатом в качестве расчетной температуры воздуха при определении требуемого термического сопротивления можно принимать среднюю температуру наиболее холодной пятидневки.

✓ Для обеспечения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{int} = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ требуется создание бесканальной системы воздухораспределения с высокой кратностью циркуляции (не менее 60 объемов в 1 ч) при условии непрерывной работы ее в холодный период года.

Одновременно следует отметить тенденцию к строительству в городах круглогодичных плодоовощехранилищ (складов). При этом корпуса бывших овощебаз сезонного профиля с двойным технологическим назначением (охлаждение и хранение) перепрофилируются в охлаждаемые склады.

В настоящее время большинство подобных складов строится из легких металлических панелей. В новых экономических условиях в тепловой нагрузке на холодильное оборудование охлаждаемого склада возрастает роль

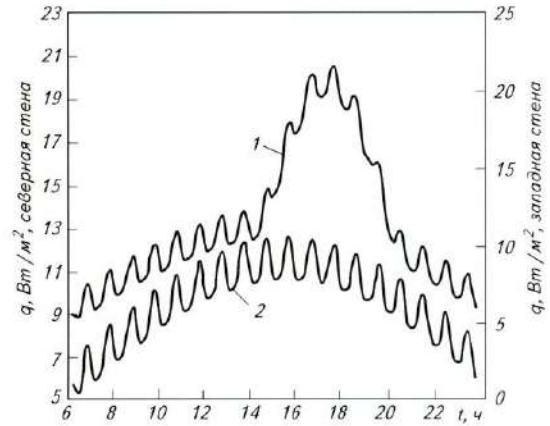


Рис. 1. Изменение плотности теплового потока q в течение суток через западную (1) и северную (2) стены холодильника из легких теплоизолирующих панелей в условиях Санкт-Петербурга

теплопритока через ограждение, который и ранее оценивался в 40–50 % [1] для отдельно стоящего склада. Связано это, во-первых, с ростом доли импортного продукта, имеющего близкую к технологическим требованиям хранения температуру поступления, и доли отечественного продукта, аналогичной по этому показателю, а во-вторых, с созданием более эффективных систем тепловоздушной защиты дверного проема, чем господствовавшие ранее воздушные завесы.

Между тем действующая методика оценки теплопритока через ограждения имеет спорные положения. Признавая малую инерционность ограждений из легких металлических панелей, рекомендации [2] предлагают учитывать это увеличением расчетной температуры наружного воздуха на 10...12 °С для всех климатических зон России. В них отсутствует учет того обстоятельства, что согласно п. 2.25 СНиП 2.11.02 – 87 «Холодильники» [4] пространство над перекрытием такого здания должно иметь естественное проветривание. Существующая методика подбора холодильного оборудования практически не учитывает длительность периода близкой к экстремальной тепловой нагрузки.

Результаты аналитических исследований на математической модели, в основу которой положен метод элементарных тепловых балансов, позволяют утверждать, что совместное действие близкой к абсолютному (за сутки) максимуму температуры наружного воздуха и солнечной радиации на западной стене в условиях Санкт-Петербурга вызывает тепловой поток от внутренней поверхности ограждения к воздуху помещения плотностью 21 Вт/м². Для северной стены близкая к абсолютному максимуму температура наружного воздуха дает тепловой поток плотностью порядка 12 Вт/м² (рис. 1).

Экспериментальные исследования этой величины при температуре наружного воздуха в диапазоне 22...26 °С показали отклонение от расчета в 3 % для стен, подверженных воздействию солнечной радиации, и 13 % для северной стены.

Очевидно, что для климатических условий Санкт-Петербурга увеличение расчетной температуры наружного воздуха

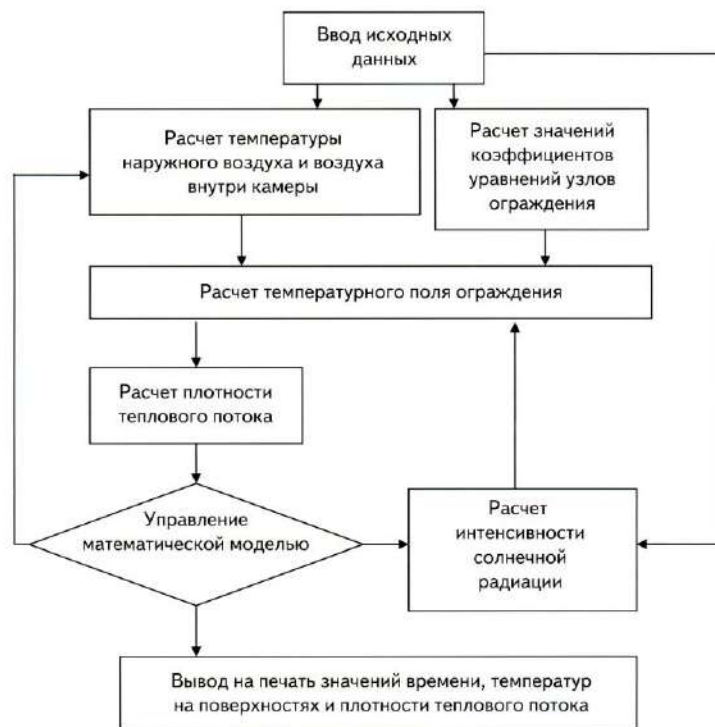


Рис. 2. Структурная схема расчета температурного поля теплоизоляционной панели

ха для стен склада явно необоснованно. Разработанная математическая модель позволяет адекватно оценивать теплоприток через стены в его динамике как в течение дня, так и за период в несколько особенно жарких суток (рис. 2).

Следует отметить, что при выборе толщины теплоизоляционного слоя ограждений объектов с температурой воздуха, близкой к 0 °С, в большинстве случаев приходится руководствоваться не экономически целесообразными значениями термического сопротивления ограждений по [4], а условиями отсутствия конденсатообразования на внутренней поверхности ограждения согласно СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» [5].

Экспериментальные исследования температурного поля в естественно проветриваемом чердачном перекрытии проводили на охлаждаемом складе вместимостью 1000 т условного груза, принадлежащем ПК «Реф-ро» (Санкт-Петербург), в следующих условиях:

- температура наружного воздуха 24...27 °С;
- скорость ветра над землей 1...3 м/с;
- движение воздуха в объеме перекрытия практически отсутствует.

Вместимость холодильника, т	Теплоприток по методике для массивных ограждений, кВт	Предлагаемый вариант расчета теплопритока Q_p , кВт	Теплоприток по методике для легких ограждений Q_p , кВт	$(Q_p - Q_p) / Q_p$, %
500	10,4	11,2	14,4	28
1000	18,2	18,8	25,3	34
2000	31,7	32	43,9	37
5000	69,4	68,3	96,1	41

В результате исследования удалось установить, что температура пола чердака не превышает 33 °С, температура кровли (со стороны чердака) на 10...15 °С выше, а температура воздуха в чердачном перекрытии на 1...2 °С ниже этого значения.

Результаты аналитических и экспериментальных исследований позволяют утверждать, что действительный суммарный теплоприток через ограждения из легких металлических панелей заметно (на 30–40 %) ниже рассчитываемого по действующей методике (см. таблицу). Для качественной его оценки необходимо использовать методику, учитывающую климатические особенности местности.

Список литературы

1. Гиндюк А. Г., Лифанов Б. В., Ходырева В. Т. Об оптимизации толщины слоя тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий холодильников // Холодильная техника. 1980. № 2.
2. Рекомендации по проектированию холодильных установок мясной и молочной промышленности. — М.: ВНИКТИХолодпром, 1985.
3. Рекомендации по проектированию фруктовых распределительных холодильников. — М.: ВНИХИ, 1969.
4. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Холодильники. СНиП 2.11.02–87.
5. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Тепловая защита зданий. СНиП 23-02–2003.
6. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Строительная климатология. СНиП 23-01–99.
7. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. — М.: Стройиздат, 1973.