

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВО ВНУТРЕННИХ ОБЪЕМАХ ОБРАЗЦОВ БРОНЕТАНКОВЫХ ВООРУЖЕНИЙ**

Докт. техн. наук, проф. ДЯЧЕК П. И., адъюнкт МЕЗЕНЦЕВ А. С.

*Белорусский национальный технический университет,  
Военная академия Республики Беларусь*

В процессе длительного хранения образцы бронетанковых вооружений (БТВ) испытывают воздействие внешних метеорологических факторов, особенно при размещении их на открытых площадках. Температурный режим во внутренних объемах образцов БТВ формируется в условиях переменного режима погоды, задержки в передаче внешних воздействий к внутренним объемам (прогрев танка Т-72Б с массой 45 т требует и длительного времени, и значительных затрат энергии), неплотности стыковых элементов конструкции, сложности формы и конструкции оболочки. Вследствие этого во внутренних объемах может повышаться относительная влажность воздуха, в том числе и с выпадением конденсата на холодных поверхностях. Как при выпадении конденсата, так и при повышении влажности (особенно в условиях высоких температур) ускоряются коррозионные процессы.

Переменный температурный и влажностный режимы приводят также к деформации пластмассовых деталей и их разрушению, дегидратации и разрушению гигроскопических материалов, растрескиванию стекол, ускоренному уходу параметров схемных элементов, старению полимерных материалов.

При периодических изменениях температуры (без выпадения росы) и в условиях пониженной влажности интенсивность коррозионных процессов во многих случаях превышает интенсивность коррозии при повышенной влажности и относительно стабильной температуре. К таким выводам приводят результаты наблюдения за образцами БТВ, находящимися на хранении. Очевидно, что при периодическом изменении температуры конструкции пленка окислов, выполняющая защитные функции, разрушается из-за неодинакового с металлом температурного расширения, и процесс коррозии, по крайней мере, не замедляется.

Вследствие указанных выше причин исследование процесса формирования температурного режима во внутренних объемах БТВ является важной и актуальной задачей.

Микроклимат внутреннего объема образца БТВ формируется в основном под действием факторов окружающей среды. Возможные внутренние источники тепловой энергии в этот период находятся в отключенном состоянии. На внешнюю поверхность образца БТВ в процессе хранения в общем случае оказывают воздействие следующие тепловые факторы (рис. 1):

- тепловое излучение Солнца  $Q_c$ ;
- тепловое излучение в мировое пространство или на окружающие предметы, имеющие более низкую температуру «видимой» поверхности  $Q_{и}$ ;
- конвективный тепловой поток от движущегося атмосферного воздуха или циркуляции воздуха, формирующейся в боксах  $Q_k$ ;
- тепловое излучение днища на поверхность Земли  $Q_3$ ;

- тепловой поток в результате фильтрации воздуха через открытые проемы или неплотности в люках  $q$ .

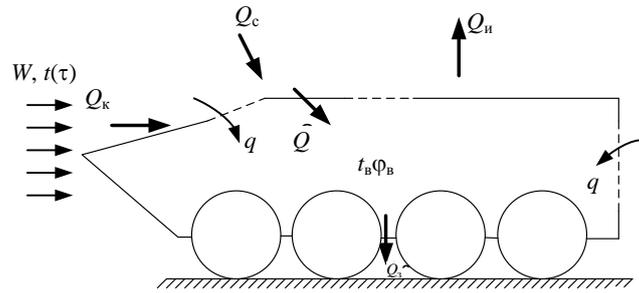


Рис. 1. Схема тепловых воздействий на образец БТВ в процессе хранения

Под воздействием потоков  $Q_c$ ,  $Q_{и}$ ,  $Q_k$ ,  $Q_з$  формируется температура поверхности внешних элементов образцов БТВ. За счет теплопередачи через элементы конструкции оболочки теплота поступает к внутреннему объему (тепловой поток  $Q$ ). Под воздействием  $Q + q$  формируется режим изменения температуры  $t$  и влажности  $\phi$  воздуха во внутренних объемах образцов БТВ.

Теплообмен между двумя воздушными средами, разделенными жесткой многослойной конструкцией, количественно может быть оценен исходя из законов конвективного, кондуктивного и радиационного переносов теплоты. Перенос теплоты от воздуха к поверхности и наоборот определяется закономерностями конвективного переноса и радиационного теплообмена поверхности с окружающими предметами, трехатомными газами окружающей атмосферы, а для наружных поверхностей – еще и излучением в мировое пространство. С учетом традиционной модели теплопроводности в пограничном слое конвективный перенос на поверхностях моделируется с помощью искусственно вводимых понятий о теплоотдаче или тепловосприятии.

При определении математической модели теплопередачи через корпус и башню образцов БТВ принимаем следующие условия:

- конструкции являются многослойными (рис. 2), причем на поверхностях контакта слоев принимаются граничные условия четвертого рода; на внешних границах оболочки – третьего рода, осложненные радиационным переносом теплоты;

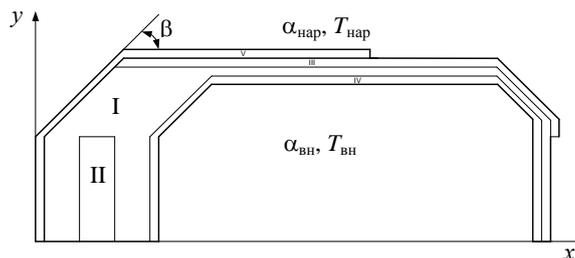


Рис. 2. Модель башни танка Т-72Б: I – сталь; II – вставка; III – надбой; IV – подбой; V – динамическая защита

- теплотехнические характеристики материалов слоев не зависят от влажности и температуры и не изменяются во времени;
- в формировании теплового баланса рассматриваемых объемов учитывается фильтрация воздуха через щели в сопрягающихся элементах конструкции;

- башня и корпус представляют собой фигуры, состоящие из прямоугольных пластин, параллельных или расположенных под различными углами друг к другу;

- температурное поле рассматривается для одного меридионального сечения по корпусу и по этой причине принимается двумерным.

Последнее замечание требует дополнительного пояснения. Контуры рассматриваемых образцов БТВ имеют сложную трехмерную форму, математическое описание которой возможно, но связано с огромными физическими и умственными затратами. Этот фактор, а также некоторая условность всякой модели формирования режима погоды или микроклимата в месте хранения БТВ требуют разумного упрощения задачи. По этой причине в работе принята двумерная модель температурных полей, которая позволяет выявить качественную картину процессов формирования микроклимата во внутренних объемах БТВ в процессе хранения и на основании экспериментальных измерений скорректировать полученные результаты.

Это утверждение основано на теореме [1], согласно которой решение трехмерной задачи теплопроводности может быть представлено в виде произведения решений для одномерных задач, т. е.  $\Theta(x, y, z, \tau) = \Theta(x, \tau)\Theta(y, \tau)\Theta(z, \tau)$ . Отсюда следует, что всегда можно найти функцию, связывающую решение двумерной и трехмерной задач.

Процессы теплообмена между образцом БТВ и воздушной средой происходят при нестационарном режиме. При исследовании процессов нестационарной теплопроводности искомой величиной является распределение температуры во времени и пространстве, т. е. функция вида

$$T = f(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – пространственные координаты;  $\tau$  – время, с.

Уравнение нестационарной теплопроводности в двумерном представлении при отсутствии источников и стока теплоты имеет вид

$$\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \lambda = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (2)$$

Здесь  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\rho$  – объемная масса, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – теплоемкость, Дж/(кг·К).

Решение (2), соответствующее рассматриваемой задаче, получено при следующих начальных условиях:

$$T_0 = T(x, y, 0). \quad (3)$$

Граничные условия определяют закономерность изменения значений переменных на границах расчетного пространства и в данном случае состоят в задании условий теплового взаимодействия тела с окружающей воздушной средой:

$$-\lambda_{\text{нар}} \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_{\text{нар}} (T_{\text{нар}} - t_{\text{нар}}) + q_{\text{изл}}, \quad (4)$$

$$-\lambda_{\text{вн}} \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_{\text{вн}} (T_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}), \quad (5)$$

где  $\frac{\partial T}{\partial n}$  – градиент температуры по нормали к рассматриваемой поверхности;  $\lambda_{\text{вн}}, \lambda_{\text{нар}}$  – коэффициент теплопроводности слоя сопрягающегося соответственно с внутренним и наружным воздухом;  $\alpha_{\text{вн}}, \alpha_{\text{нар}}$  – то же теплооб-

мена на поверхности, сопрягающейся соответственно с внутренним и наружным воздухом;  $q_{\text{изл}}$  – суммарный эффект от излучения на внешнюю поверхность Солнца (прямая и рассеянная радиация) и излучения внешней поверхности на окружающие предметы и строения, а также в мировое пространство;  $T_{\text{вн}}$ ,  $T_{\text{нар}}$  – температура поверхности, сопрягающейся соответственно с внутренним и наружным воздухом;  $t_{\text{вн}}$ ,  $t_{\text{нар}}$  – то же наружного и внутреннего воздуха.

На поверхностях контакта слоев задавались условия четвертого рода (условия сопряжения), которые сводятся к одновременному заданию равенства температур и тепловых потоков на границе раздела:

$$T_1|_{\text{гр}} = T_2|_{\text{гр}}; \quad (6)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} \Big|_{\text{гр}} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n} \Big|_{\text{гр}}. \quad (7)$$

По линии сопряжения расчетной области с другими элементами БТВ ( $y = 0$ ) принято условие:

$$q_x \neq 0; q_y = 0. \quad (8)$$

Условия (3)–(8) допускают различные модификации в зависимости от конкретных физических условий на границе раздела сред. Так, при хранении образцов БТВ в закрытых помещениях значение  $q_{\text{изл}}$  будет существенно отличаться от численного значения этого параметра для условий открытого хранения. Корпус и башня танка являются многослойной оболочкой (надбой, броня, подбой). Контакт между этими средами не идеален вследствие неплотности соприкосновения поверхностей. Термическое сопротивление контакта в отдельных случаях может быть пренебрежимо малым, но иногда общее тепловое сопротивление многослойной стенки благодаря сопротивлению в местах контакта увеличивается в несколько раз.

Теплофизические коэффициенты, входящие в уравнения (2)–(7), определялись как экспериментально, так и теоретически.

Получить решение уравнения (2) в аналитической форме не представляется возможным. Поэтому для решения задачи применен метод конечных разностей [2, 3].

На рис. 3 представлена расчетная область со схемой образования сеточных узлов. Для удобства организации вычислительного алгоритма принята неравномерная сетка,  $\Delta y = \Delta x \text{tg} \beta$ . На каждом из характерных размеров расчетной области укладывается целое число узлов.

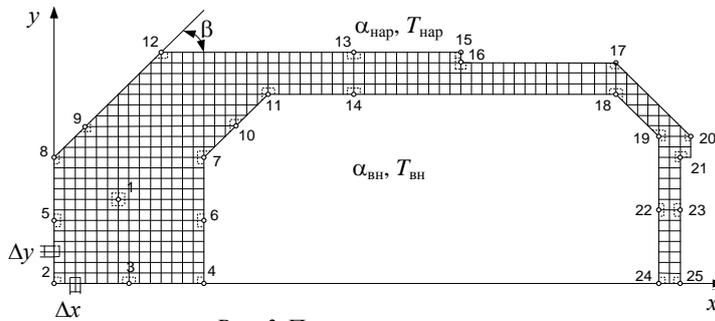


Рис. 3. Пространственная сетка

Уравнение (2) на трехточечном шаблоне аппроксимировано неявным консервативным конечно-разностным аналогом

$$\begin{aligned}
 c\rho_{k,l} \frac{T_{k,l}^{n+1} - T_{k,l}^n}{\Delta\tau} = & \frac{2}{x_{k+1} - x_{k-1}} \times \\
 & \times \left[ \frac{\lambda_{k+1,l}^{n+1} + \lambda_{k,l}^{n+1}}{2} \frac{T_{k+1,l}^{n+1} - T_{k,l}^{n+1}}{x_{k+1} - x_k} - \frac{\lambda_{k,l}^{n+1} + \lambda_{k-1,l}^{n+1}}{2} \frac{T_{k,l}^{n+1} - T_{k-1,l}^{n+1}}{x_k - x_{k-1}} \right] + \\
 & + \frac{2}{y_{l+1} - y_{l-1}} \left[ \frac{\lambda_{k,l+1}^{n+1} + \lambda_{k,l}^{n+1}}{2} \frac{T_{k,l+1}^{n+1} - T_{k,l}^{n+1}}{y_{l+1} - y_l} - \frac{\lambda_{k,l}^{n+1} + \lambda_{k,l-1}^{n+1}}{2} \frac{T_{k,l}^{n+1} - T_{k,l-1}^{n+1}}{y_l - y_{l-1}} \right], \quad (9)
 \end{aligned}$$

решение которого осуществлено с применением метода разделения переменных и прогонки. Разработан вычислительный алгоритм, обладающий устойчивостью и сходимостью.

Граничные условия применительно к расчетной области: по внутреннему контуру в соответствии с зависимостью (5), по внешнему контуру – в соответствии с зависимостью (4). По линиям сопряжения принято условие (8). Особую проблему при решении задачи представляет формирование начальных условий (3). Проблема решена следующим образом. Принималось условие  $T(x, y, 0) = (t_{\text{вн}} + t_{\text{нар}})/2$  и далее реализовывался вычислительный процесс для заданной закономерности изменения во времени параметров  $t_{\text{нар}}$  и  $q_{\text{изл}}$ . Начиная с некоторого значения  $\tau^*$  на результаты вычисления  $T(x, y, \tau)$  значение  $T(x, y, 0)$  уже не оказывало влияния. Установлено, что применительно к решаемой задаче имеем условие  $\tau^* > 3$  сут.

После каждого вычислительного цикла в соответствии с поступлением (стоком) теплоты корректировалось значение температуры внутреннего воздуха  $t_{\text{вн}}$ .

Ряд ячеек пространственной сетки имеет отличающуюся конфигурацию (узлы 2–25). Используя интегроинтерполяционный метод, для каждой из них составлено индивидуальное разностное уравнение (с учетом граничных условий). Например, для узла 6 уравнение имеет вид

$$\begin{aligned}
 c\rho_{N,l} \frac{T_{N,l}^{n+1} - T_{N,l}^n}{\Delta\tau} = & - \frac{2}{y_{l+1} - y_{l-1}} \left[ \frac{\lambda_{N,l}^{n+1} + \lambda_{N,l-1}^{n+1}}{2} \frac{T_{N,l}^{n+1} - T_{N,l-1}^{n+1}}{y_l - y_{l-1}} + \frac{\lambda_{N,l+1}^{n+1} + \lambda_{N,l}^{n+1}}{2} \frac{T_{N,l+1}^{n+1} - T_{N,l}^{n+1}}{y_{l+1} - y_l} \right] - \\
 & - \frac{2}{x_N - x_{N-1}} \left[ \alpha_{\text{вн}} (t_{\text{вн}} - T_{N,l}^{n+1}) + \frac{\lambda_{N,l}^{n+1} + \lambda_{N-1,l}^{n+1}}{2} \frac{T_{N,l}^{n+1} - T_{N-1,l}^{n+1}}{x_N - x_{N-1}} \right], \quad (10)
 \end{aligned}$$

Разностные схемы (9), (10) аппроксимируют исходную задачу с погрешностью порядка  $O(\tau + h_x^2 + h_y^2)$ .

Суточные колебания температуры наружного воздуха влияют на распределение температуры на внутренних поверхностях и на температуру воздуха во внутренних объемах образцов БТВ. В этих условиях необходимо найти технические решения, которые могли бы предотвратить снижение температуры во внутренних объемах ниже температуры «точки росы» и уменьшить амплитуду колебания температуры поверхности расположенных во внутренних объемах технических объектов. Это может быть обеспечено при допустимом изменении температуры, прежде всего на внутренних поверхностях оболочки, которые и должны стать основным объектом исследований.

Исследование закономерностей формирования температурного режима экспериментальным путем представляется достаточно затратным процессом – как с точки зрения затрат материальных ресурсов, так и затрат времени. Это показали проведенные эксперименты. По этой причине в данной работе эксперимент рассматривается в основном только как метод оценки адекватности аналитических решений реальным процессам формирования температурного режима.

Оценкой достоверности разработанной физико-математической модели является проверка ее адекватности, которая осуществлялась путем сравнения результатов расчетов на ЭВМ и экспериментальных данных при одинаковых температурных условиях.

При проведении натурального эксперимента и в ходе моделирования регистрировались следующие параметры: температура окружающего воздуха, температура некоторых точек внутри башни, относительная влажность, облачность. Для исключения влияния начальных условий на точность результатов, полученных при расчете на ЭВМ, показатели регистрировались после третьих суток.

В качестве меры совпадения результатов моделирования и натуральных экспериментов выбиралась величина относительной погрешности  $i$ -го регистрируемого параметра в  $k$ -м эксперименте

$$\delta_{i(k)} = |(Y_{i3} - Y_{ip})/Y_{i3}| \cdot 100, \quad (11)$$

где  $\delta_{i(k)}$  – относительная погрешность  $i$ -го регистрируемого параметра в  $k$ -м эксперименте, %;  $Y_{i3}$  – значение  $i$ -го регистрируемого параметра, полученное в результате  $k$ -го натурального эксперимента;  $Y_{ip}$  – то же по результатам математического моделирования.

Средняя относительная погрешность  $i$ -го регистрируемого параметра по совокупности экспериментов и расчетов на физико-математической модели определялась по формуле

$$\delta_{срi} = \frac{1}{N_3} \sum_{k=1}^{N_3} \delta_{i(k)}, \quad (12)$$

где  $\delta_{срi}$  – средняя относительная погрешность  $i$ -го регистрируемого параметра по совокупности экспериментов и расчетов на физико-математической модели;  $N_3$  – число проведенных экспериментов.

Данные сравнительной оценки результатов теоретических и экспериментальных исследований переноса теплоты приведены на рис. 4.

Отклонение расчетных данных от результатов экспериментальных исследований вызвано как наличием определенных погрешностей измерений температуры, так и невозможностью учесть все особенности строения, свойств материалов башни и характера переноса теплоты через элементы конструкции башни танка Т-72Б. Обобщения значений теплофизических характеристик материалов башни, которые были приняты в расчетах, для отдельных участков вполне могли не совпадать с соответствующими реальными величинами. Экспериментальные и расчетные значения температуры достаточно хорошо коррелируют по характеру изменения во времени. При этом расчетные температуры для двух характерных точек имеют меньшие численные значения, чем фактически измеренные. Отличие со-

составляет 0–1,5 °С. Это объясняется неучетом в вычислительном процессе излучения Солнца ввиду случайного характера появления реальных значений этого параметра и отсутствия возможности непрерывной регистрации этой величины в локальной точке. Варьируя значения теплофизических коэффициентов слоев, эту разность можно было бы свести к минимуму. Однако нами принято решение оставить вычислительный алгоритм без изменений, а имеющиеся отклонения использовать как запас при разработке рекомендаций и технических решений.

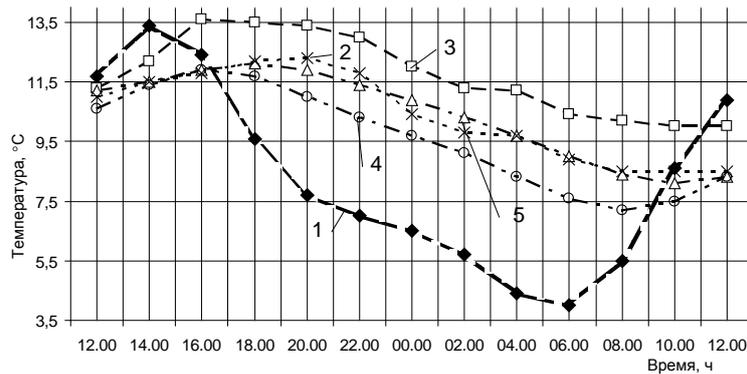


Рис. 4. Сравнительная оценка результатов теоретических и экспериментальных исследований переноса теплоты через башню танка Т-72Б: 1 – наружная температура; 2 – точка 22 (эксперимент); 3 – точка 7 (эксперимент); 4 – точка 22 (расчетная); 5 – точка 7 (расчетная)

Анализ данных (рис. 4) показывает, что погрешности расчетов температуры внутренней поверхности лобовой брони и кормы башни, по данным каждого из экспериментов, находятся в пределах 1–19 %, а средняя относительная погрешность расчетов  $\delta_{срТ}$  составляет 11,6 %.

Это подтверждает приемлемость выбранной методики моделирования процесса переноса теплоты через башню танка Т-72Б.

Составленная на ЭВМ программа позволяет определять влияние окружающей среды на формирование тепловлажностного режима во внутреннем объеме образца БТВ для всех периодов года при различных положениях относительно сторон света и мест хранения.

В табл. 1–4 и графиках (рис. 1–7) показаны параметры температурного режима в башне танка Т-72Б для климатических условий г. Минска. Расчеты проводились для среднесуточной температуры +5,6 °С, максимальной амплитуды колебаний – 8,1 °С и средней относительной влажности 84 % (среднеклиматические данные для октября). Температура «точки росы» для этих параметров равна +3 °С. На наш взгляд, именно этот месяц является наиболее неблагоприятным для хранения образцов БТВ. Так как в октябре наблюдаются максимальные суточные колебания температуры и повышенная влажность, наибольший вред технике, находящейся на хранении, приносят переходы температуры через нуль градусов.

Расчеты показали, что наиболее динамична в отношении изменения температуры корма башни (точки 19, 22, рис. 3). Здесь наблюдаются наибольшие температурные перепады. Эти данные подтверждают и результаты эксперимента.

Разработанный алгоритм и программа расчета позволяют дать оценку влияния различных факторов на процессы формирования температурного режима танка. Например, хранение на открытой площадке и под тентом отличается различной степенью воздействия теплового излучения Солнца на внешние поверхности. Тент защищает от прямых солнечных лучей и существенно снижает излучение в мировое пространство на протяжении суток. На рис. 5 представлены результаты расчета с учетом и без влияния Солнца.

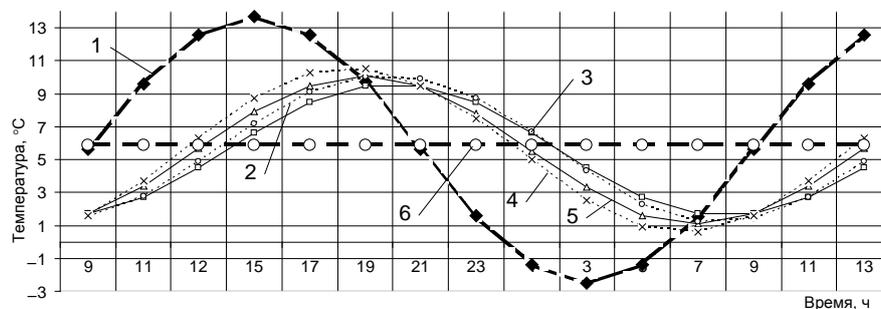


Рис. 5. График колебаний температур в башне танка Т-72Б в октябре, находящегося под навесом и на открытой площадке: 1 –  $T_{нар}$ ; 2 – Т7 (с учетом излучения); 3 – Т7 (без учета излучения); 4 – Т22 (с учетом излучения); 5 – Т22 (без учета излучения); 6 – температура «точки росы» при 60 %

Из табл. 1 видно, что на наиболее неблагоприятном участке температурного режима (темное время суток) наличие излучения в мировое пространство приводит к большему снижению температуры внутренних поверхностей. Хранение образцов БТВ под укрытием помимо прочих преимуществ обеспечивает более высокую температуру во внутренних объемах и, таким образом, снижает вероятность и продолжительность периода выпадения конденсата.

Изменение температуры внутренних поверхностей образцов БТВ в суточном цикле определяется только значениями амплитуды колебания наружного воздуха, геометрическими и теплофизическими параметрами элементов башни и может быть охарактеризовано двумя величинами: отклонением температуры от средней и фазовым сдвигом колебательного процесса. Так, при нахождении образца танка под навесом запаздывание составляет 4,2–5,1 ч, а в точке 22 (рис. 3) – 4,2 ч, при этом минимальное отклонение температуры от среднесуточного значения – 4,5 °С.

Таблица 1

Параметры изменения температуры внутренних поверхностей танка Т-72Б с динамической защитой без (числитель) и с учетом воздействия излучения Солнца (знаменатель)

Параметр	Точка 7	Точка 11	Точка 19	Точка 22
Запаздывание, ч	5,8/5,1	4,2/5,1	4,2/4,3	4,1/4,2
$T_{max}$ , °С	9,5/10	9,8/10,1	10,1/10,4	10,1/10,5
$T_{min}$ , °С	1,7/1,2	1,4/0,9	1,1/0,7	1,1/0,6

При расположении образца БТВ на открытой площадке (табл. 1, знаменатель) температура внутренних поверхностей уменьшается на 0,4–0,5 °С.

Расчеты на ЭВМ показали также, что ориентация образца БТВ относительно сторон света (табл. 2) оказывает малое влияние на распределение температуры во внутренних объемах. Однако при ориентации танка пуш-

кой на север температура внутренних поверхностей на 0,2–0,4 градуса выше. Что тоже снижает вероятность выпадения конденсата.

Таблица 2

**Параметры изменения температуры внутренних поверхностей танка Т-72Б с динамической защитой под действием солнечного излучения при ориентации пушкой на север (числитель) и пушкой на юг (знаменатель)**

Параметр	Точка 7	Точка 11	Точка 19	Точка 22
Запаздывание, ч	4,6/5,1	4,6/5,1	4,2/4,3	4,1/4,2
$T_{\max}$ , °С	10,3/10	10,5/10,1	10,8/10,4	10,9/10,5
$T_{\min}$ , °С	1,5/1,2	1,3/0,9	0,9/0,7	0,8/0,6

В отдельных случаях образцы БТВ устанавливаются на хранение без динамической защиты (ДЗ). Незаполненные коробки динамической защиты играют роль дополнительной теплоизоляции и, безусловно, влияют на процесс формирования температурного режима (рис. 6). Расчетные эквивалентные значения плотности и теплоемкости динамической защиты определены на основании принципа аддитивности, а коэффициент теплопроводности установлен на основании рекомендаций по расчету термического сопротивления воздушных прослоек.

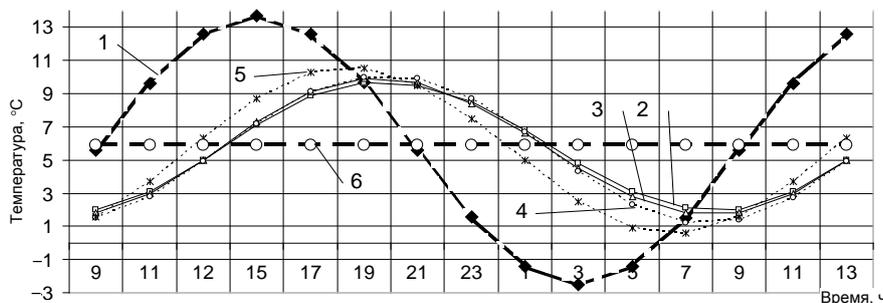


Рис. 6. График колебаний температур в башне танка Т-72Б в октябре (без и с динамической защитой): 1 –  $T_{\text{нар}}$ ; 2 – Т7 (без ДЗ); 3 – Т22 (без ДЗ); 4 – Т7 (с ДЗ); 5 – Т22 (с ДЗ); 6 – температура «точки росы» при 60 %

Из табл. 3 видно, что в дневное время коробки динамической защиты прогреваются быстрее, а в ночное – быстрее охлаждаются, что в свою очередь приводит к более интенсивному изменению температуры внутренних поверхностей. Следовательно, образцы БТВ, имеющие ДЗ, необходимо содержать под укрытием. Причем между укрытием и образцом БТВ должна быть воздушная прослойка.

Таблица 3

**Параметры изменения температуры внутренних поверхностей танка Т-72Б без динамической защиты (числитель) и с динамической защитой (знаменатель), находящегося на открытой площадке**

Параметр	Точка 7	Точка 11	Точка 19	Точка 22
Запаздывание, ч	4,6/5,1	4,6/5,1	4,2/4,3	4,1/4,2
$T_{\max}$ , °С	9,7/10	10,1/10,1	10,2/10,4	9,9/10,5
$T_{\min}$ , °С	2/1,2	1,5/0,9	1,4/0,7	1,8/0,6

Конденсация водяных паров происходит при снижении температуры воздуха ниже температуры «точки росы». Для гарантированного предотвращения конденсации влаги на внутренней поверхности конструкции

температура этой поверхности должна быть на 0,5–1,0 °С выше температуры «точки росы» для внутреннего воздуха.

Расчеты показывают, что без соответствующих мероприятий конденсация водяных паров на внутренних поверхностях объектов БТВ может происходить в течение всего года при соответствующей амплитуде колебания температуры наружного воздуха и его относительной влажности.

В условиях снижения температуры и повышения относительной влажности воздуха требуемый результат может быть достигнут при применении подогрева внутреннего воздуха. В табл. 4 показаны параметры температурного режима некоторых точек внутренней поверхности при включении подогревателя внутреннего воздуха мощностью 100 Вт. Обогреватель работает при температуре наружного воздуха ниже температуры «точки росы» при относительной влажности 60 %.

Таблица 4

**Параметры изменения температуры внутренних поверхностей танка Т-72Б с динамической защитой, находящегося под тентом при включении подогрева внутреннего воздуха**

Параметр	Точка 7	Точка 11	Точка 19	Точка 22
$T_{\max}$ , °С	16,6	15,7	13,7	11,6
$T_{\min}$ , °С	7,3	7,2	7,2	6,9

Анализ табл. 4 и данных рис. 7 показал, что при применении подогрева внутреннего воздуха можно исключить образование конденсата на внутренних поверхностях образцов БТВ.

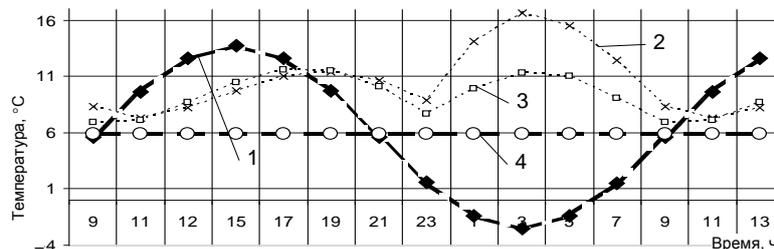


Рис. 7. График колебаний температур в башне танка Т-72Б в октябре (с отопителем):  
1 –  $T_{\text{нар}}$ ; 2 –  $T_7$ ; 3 –  $T_{22}$ ; 4 – температура «точки росы» при 60 %

## ВЫВОД

Разработанная физико-математическая модель формирования температурно-влажностного режима во внутренних объемах образцов БТВ обладает свойством адекватности реальным процессам переноса теплоты и позволяет разработать технические решения по управлению температурным режимом хранения бронетанковой техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности: учеб. пособие / А. В. Лыков; под ред. Е. С. Гридасова. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
2. Берковский, Б. М. Разностные методы исследования задач теплообмена / Б. М. Берковский, Е. Ф. Ноготов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 144 с.
3. Дульнев, Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: учеб. пособие / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М.: Высш. шк., 1990. – 207 с.

Представлена кафедрой  
теплогазоснабжения и вентиляции БНТУ

Поступила 09.09.2009