

ВИАМ/2015-Тр-07-12



УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-7-12-12

ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

С.Е. Истягин

В.И. Постнов

доктор технических наук

Е.А. Вешкин

Июль 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-7-12-12

С.Е. Истягин¹, В.И. Постнов¹, Е.А. Вешкин¹

ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Приведены результаты исследования различных панелей теплоизоляции из стеклопластика на связующем ЭДТ-69Н, заполненных пенополиуретаном (ППУ). Проведены термовлажностные испытания панелей в соответствии с температурными этапами, а также опробованы методы неразрушающего контроля сплошности заполнения ППУ. Установлена возможность применения панелей из ППУ в конструкции сушилок, работающих при температурах до 100°C.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, панели теплоизоляции, пенополиуретан, стеклопластик, термовлажностное воздействие.

S.E. Istyagin, V.I. Postnov, E.A. Veshkin

HYDROTHERMAL TESTING OF THERMAL INSULATION PANELS

The results of studies of various thermal insulation panels made of fiberglass to communicate epoxy resin, filled with polyurethane foam (PPU). Test panels climate conducted in accordance with temperature stages. And also tried methods of nondestructive testing continuity foam filling PPU. The possibility of their use in the construction of dryers operating at temperatures up to 100°C.

Keywords: polymer composite materials, insulation panels, polyurethane foam, fiberglass, hydrothermal WHO-action.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

Полимерные композиционные материалы и их комбинации (трехслойные конструкции) широко применяются в качестве теплоизоляционных материалов. Они внедряются во многие отрасли обрабатывающей промышленности: машиностроительной, химической, строительных материалов, пищевой [1–4]. Теплоизоляционные панели применяются при сушке различных изделий для создания необходимого температурного поля, в процессе чего они подвергаются длительному воздействию влаги и высоких температур (термовлажностному воздействию).

Например, при сушке таких продуктов питания, как макаронные изделия, данное направление можно рассмотреть на системе фирмы Buhler. «Турботерматик» Buhler – это система сверхвысокотемпературной сушки. Сущность этой системы заключается в поэтапном повышении температуры воздуха на стадии предварительной сушки до 95°C за 45 мин, выдерживании при этой температуре в течение 40 ч при относительной влажности воздуха (85±5)% и затем в поэтапном снижении температуры сушки до 85°C на стадии окончательной сушки изделий.

В данной системе применяются стеклопластиковые панели на основе полиэфирного связующего (рис. 1). При производстве таких панелей необходимо удаление остаточных следов стирола, что усложняет процесс формования панелей. Данных недостатков лишены эпоксидные связующие [5]. Исследования панелей на их основе представлены далее.

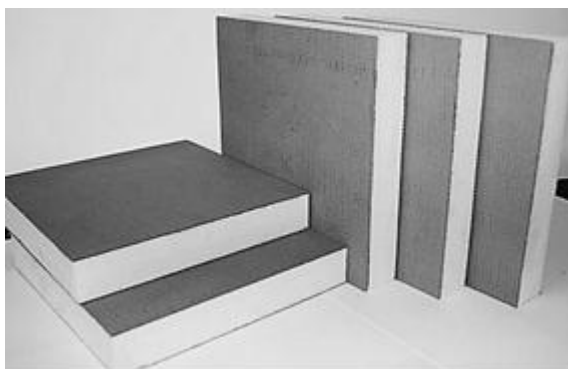


Рис. 1. Вид структуры стеклопластиковых панелей для сушилок фирмы Buhler

Немаловажным аспектом является накопленный опыт при производстве стеклопластиковых панелей на основе эпоксидного связующего ЭДТ-69Н для изделий авиастроения, который позволяет применить их для производства теплоизоляционных панелей для пищевой промышленности.

Материалы и методы

Панели 1–3 подвергали одностороннему нагреву с помощью специального обогреваемого стола (панели 1 и 2) и специального тонкостенного обогревательного элемента (панель 3), которые выставляли на расстоянии 5–7 мм от обогреваемой поверхности с помощью прокладок из пенопласта или стеклосотового блока.

Контроль температуры вели с помощью термодатчиков, установленных на обогреваемой поверхности и поверхности панелей. Уровень температуры составил:

- $(95 \pm 5)^\circ\text{C}$ – для обогреваемой оснастки;
- $93\text{--}98^\circ\text{C}$ – на поверхности панелей.

Панели 4–6 контролировали по толщине и массе. Термообработку этих панелей проводили в электропечи с принудительной вентиляцией воздуха при температуре $(95 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 8 ч (1 этап) и в течение 40 ч (2 этап – три панели).

Объектами испытаний являются:

– *панель 1* (рис. 2) – теплоизоляционная плоская из стеклопластика на основе связующего ЭДТ-69Н с пенопластовым наполнителем (ППУ) с перфорацией внешней обшивки – диаметр отверстий 6 мм, перфорация пенопластового наполнителя произведена шомполом до внутренней обшивки, в шахматном порядке с шагом 250 мм;

– *панель 2* (рис. 3) – теплоизоляционная плоская из стеклопластика на основе связующего ЭДТ-69Н с пенопластовым наполнителем с перфорацией торцевых поверхностей в продольном направлении через 250 мм по всей ширине панели, включая пенопласт в 26 точках;

– *панель 3* (рис. 4) – теплоизоляционная дуговая из стеклопластика на основе связующего ЭДТ-69Н с пенопластовым наполнителем с перфорацией торцевых поверхностей в продольном направлении через 250 мм по всей ширине панели, включая пенопласт;

– *теплоизоляционные панели 4–6* из стеклопластика на основе связующего ЭДТ-69Н, заполненные пенополиуретаном ППУ-335 без внешнего лакокрасочного покрытия.

Панель 4 покрашена в соответствии с серийной технологией покраски панелей и подвергнута термовлажностному воздействию при 100°C и влажности 90% в течение 8 ч.

Панели 4–6 подвергали контролю сплошности заполнения внутреннего пространства пенополиуретаном ППУ-335 с помощью радиоволнового метода (прибор СЭ-100АФ – сверхвысокочастотный дефектоскоп) и импедансным методом (прибор АД-40 – акустический импедансный дефектоскоп) по схеме, приведенной на рис. 4 [6].

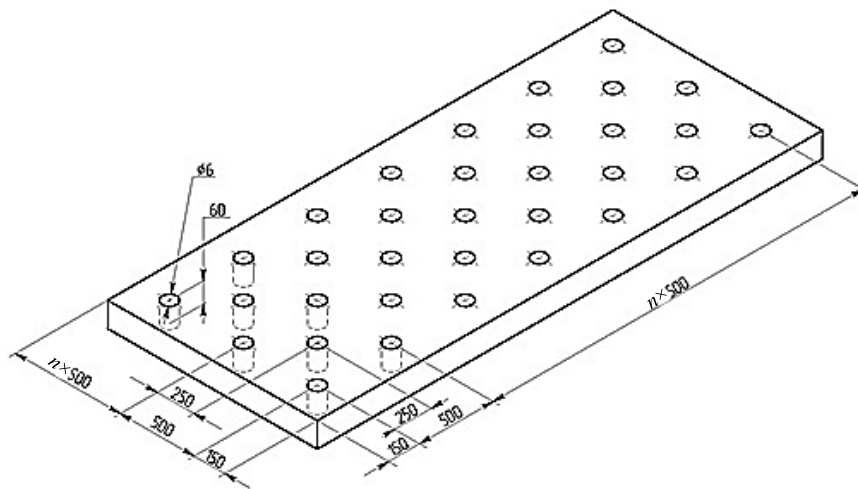


Рис 2. Вид панели 1 с перфорацией по внутренней поверхности

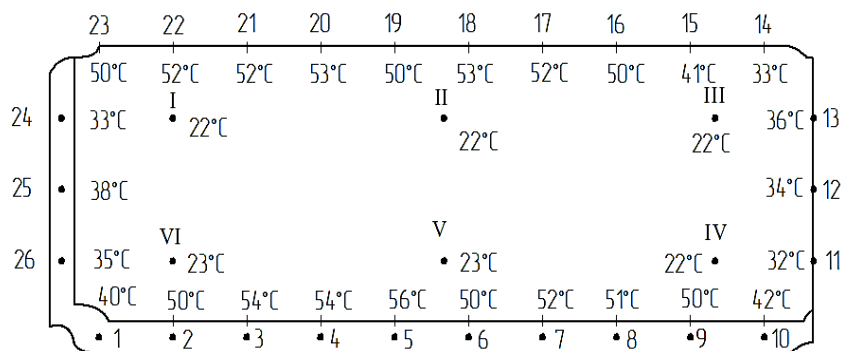


Рис. 3. Вид панели 2 с перфорацией по торцам и температурой при нагреве

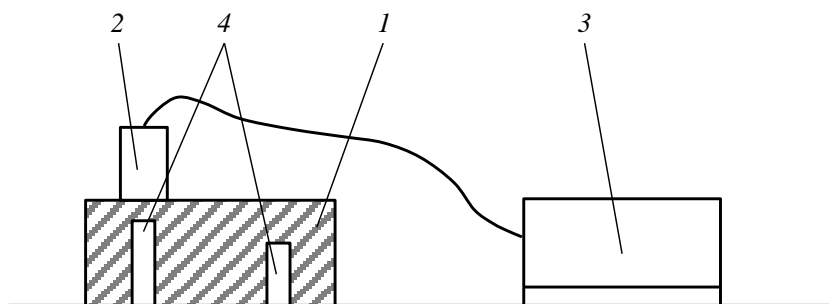


Рис. 4. Схема дефектоскопии теплоизоляционной панели:

– I радиоволновой метод: 1 – исследуемая панель; 2 – датчик; 3 – прибор СД-100АФ; 4 – дефекты с различной глубиной залегания;

– II импедансный метод: 1 – исследуемая панель; 2 – датчик ПАДИ-5; 3 – прибор АД-40; 4 – дефекты с различной глубиной залегания

Для исследований в опытном образце были изготовлены искусственные дефекты.

Результаты

Результаты замеров толщины (H) и массы (m) панелей приведены в таблицах после эскизов каждой из них для удобства анализа испытаний.

– Панель 1 устанавливали на обогреваемую поверхность стола и подвергали воздействию температуры $(80\pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 19 ч, после чего осуществляли сравнительный анализ изменения толщины панели. При данном режиме термообработки наблюдается увеличение толщины от 0,2 до 1,7 мм. Дополнительная термообработка данной панели при $(95\pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 7 ч привела к увеличению толщины еще на 0,2 мм относительно первого режима термообработки.

– Панель 2 подвергали термообработке на обогреваемой поверхности стола. В течение термообработки измеряли температуру на внешней поверхности и в отверстиях по торцам. Результаты приведены на рис. 3. В процессе прогрева измеряли температуру в середине панели в зоне перфорации по торцам, которая составила от 43 до 46°C при температуре поверхности обшивки в этой зоне соответственно – от 93 до 98°C . Температура внешней обшивки не превышала 23°C .

Кроме того, производили замеры температуры в сквозном отверстии панели, перемещая термодатчик через 10 мм. Результаты приведены на графике (рис. 5).

– Для испытания дуговой панели 3 разработана конструкция электронагревательного элемента с габаритами 4000×1350 мм и изготовлен опытный образец. Разброс температуры на всей поверхности такого нагревателя составлял $\pm 5^\circ\text{C}$ от номинальной температуры 90°C . Термообработку панели проводили при $(95\pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 42 ч.

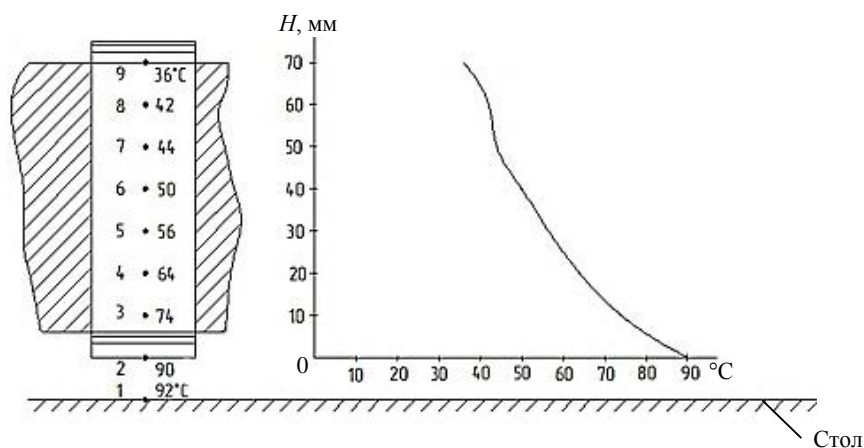


Рис. 5. Изменение температуры по толщине панели 2 в сквозном отверстии

После термообработки на внутренней поверхности панели выявлены дефекты в виде отслоений и коричневых пятен в двух зонах с увеличением толщины.

В зонах вздутия обшивки проведены замеры их высоты, увеличение которых составило соответственно для зоны 1 – $\Delta H=16$ мм, для зоны 2 – $\Delta H=7$ мм. После анализа состояния поверхности панели проводили проверку разреза обшивки в зонах 1 и 2 для более подробного анализа дефектов. Выявлено, что:

- пенопласт в этих зонах имеет слоистую структуру, причем толщина слоя около обшивки составляет 7–8 мм;
- разрыв заполнителя происходил по линии раздела слоев пенопласта;
- пенопласт в этих пограничных слоях имел потеки и более темный вид, чем прилегающий к нему, другой слой пенопласта;
- в этих зонах имеется большое количество крупных полостей;
- разрушение пенопласта по разделу слоев наблюдается как в зонах с изменением цвета стеклопластиковой обшивки, так и в зонах без изменения цвета.

Сравнительные замеры стрелы прогиба у дуговой панели показали, что наблюдается ее уменьшение относительно исходной величины, и она составляет 5 мм в охлажденном состоянии. Это позволяет заметить, что в процессе одностороннего нагрева происходило распрямление дуги панели и изменение зазора между обогревателем и поверхностью панели в сторону уменьшения, что могло привести к нарушению теплообмена и местному перегреву обшивки. Кроме того, деформация обшивки в продольном направлении могла привести к расслоению пенопластового заполнителя.

После анализа результатов эксперимента на панели был произведен повторный замер температурного поля по всей поверхности нагревателя, который показал, что разброс температур по 100 точкам составляет $\pm 5^\circ\text{C}$ от номинальной температуры 90°C . Это позволяет утверждать, что изменение цвета обшивки в двух зонах связано не с изменением работы нагревателя, а со структурообразованием пенопласта в момент заполнения полости панели.

- Необходимо отметить, что величина разнотолщинности исходных панелей 4–6 достигает – до 4 мм, которая после термообработки не исчезает, а в некоторых случаях даже и увеличивается. Схема замера толщины панелей приведена на рис. 6. Из данных таблицы видно, что толщина панели после первой термообработки изменилась в сторону увеличения. Это наблюдается и в панелях 5 и 6.

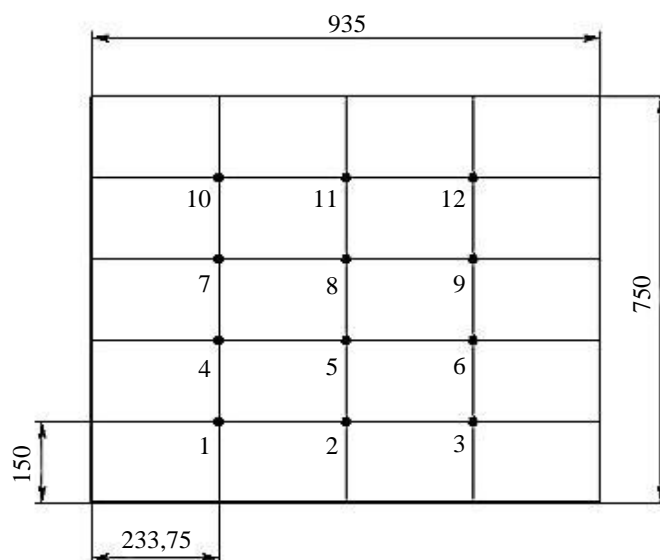


Рис. 6. Схема замера толщины панелей 4–6

Результаты замеров толщины панели 4

Номер точки замера	Толщина панели в исходном состоянии, мм		Толщина окрашенной панели, мм			
	до обогрева	после обогрева	до испытаний в климатической камере	после испытаний в климатической камере	после обогрева при 100°C, в течение, ч	
					40	100
1	66,0	71,25	68,4	68,1	68,5	68,45
2	66,4	68,2	67,6	68	68,4	69,3
3	65,8	68,1	68	68,2	68,1	69,2
4	66,8	69,6	68,4	68,3	69	69
5	66,2	67,9	69,4	68,4	68,9	68,9
6	65,8	68	70,5	70,7	70,9	71,7
7	68,0	69,25	68,8	68,3	68,7	69
8	66,9	67,55	69	68,3	68,6	69,25
9	66,1	67,65	70	70,1	70	70,25
10	69,2	70,7	70,2	70	70,4	71,85
11	68,0	69,5	71,5	70,2	71	71,5
12	67,8	69,1	71,6	71,1	72	71,8
Средняя толщина	67,0	68,7	69,6	69,3	69,7	70,02
Масса, кг	7,70	7,60	7,99	7,98	7,95	7,9

Уменьшение массы зафиксировано во всех панелях, это может быть связано с удалением абсорбированной влаги с поверхности стеклопластиковых обшивок, которые поступили на испытание без лакокрасочного покрытия.

После нанесения лакокрасочного покрытия, на панель 4 повторно нанесены координатные точки и проведен замер толщины и массы панели. В результате термо-влажностного воздействия в климатической камере «Tabai» при температуре 100°C и влажности 90% в течение 24 ч резких изменений толщины панели не обнаружено, что может указывать на термостабилизацию пенозаполнителя. Изменение массы панели

связано в основном с накоплением влаги в поверхностных слоях. В испытанных панелях разрушения лакокрасочного покрытия не обнаружено.

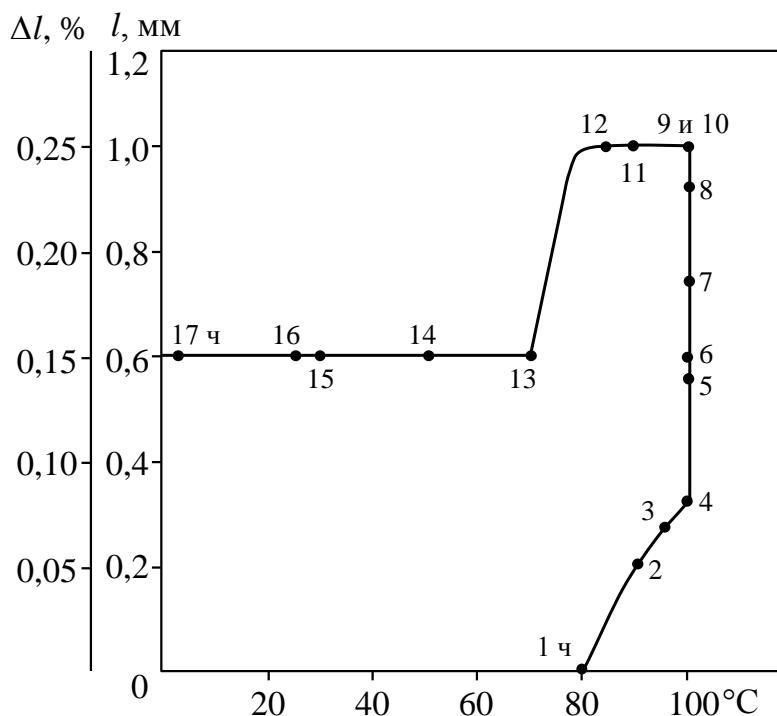


Рис. 7. Деформационные изменения в пенопластовом наполнителе при нагреве и охлаждении панели в течение 17 ч

Для выявления влияния повторного термонагружения на изменение толщины панелей в термопечи при температуре $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 40 ч испытаны панели 4–6. Результаты замера толщины панелей показали, что разнотолщинность панелей сохраняется приблизительно в тех же пределах, а толщина панелей осталась на уровне замеров после первого этапа термонагружения. Результаты замера деформации пенопластового наполнителя в процессе нагрева и охлаждения панелей (рис. 7) подтверждают наличие остаточного явления увеличения толщины теплоизоляционных панелей для сушилок. Однако наблюдаются и случаи увеличения толщины в отдельных точках поверхности панели по причине, которую трудно установить без разрезки панели в этих местах и разработки неразрушающего контроля пенопластового наполнителя.

Обсуждение и заключения

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Изменение толщины теплоизоляционных панелей при одностороннем нагреве находится в пределах 1,7 мм (по сравнению с исходной толщиной), что свидетельствует о едином характере изменений, происходящих в материале.

2. Изменение цвета стеклопластиковой обшивки (панель 3) в локальных зонах не связано с изменением режима работы нагревателя, а зависит от изменения условий теплообмена за счет уменьшения зазора между обшивкой и нагревателем в этих зонах из-за деформаций.

3. Деформирование внутренней обшивки (панель 3) подтверждено остаточным уменьшением стрелы прогиба панели на 5 мм (по сравнению с первоначальным состоянием). Пенопластовый наполнитель по толщине неоднороден и имеет ярко выраженную слоистость, связанную с процессом заливки ППУ-335, причем между слоями имеется недостаточная адгезионная связь, что подтверждается наличием большого количества зон со «стекловидной» поверхностью. Разрушение пенопласта происходило только по границе этих слоев, что привело к вздутию на поверхности панели.

4. Изменение температурного поля от зоны нагрева к внешней поверхности по толщине показывает высокую эффективность пенопластового наполнителя, так как температура на внешней поверхности не превышала 23°C.

5. Исследованные панели 4–6 в исходном состоянии имели разнотолщинность рельефа ΔH по поверхности панели от 1,4 до 3,7 мм, причем величина ΔH связана не с геометрическими размерами панели, а с точностью технологического процесса «сборки–склейки» обшивок между собой.

6. После первой термообработки панелей 4–6 (8 ч при температуре 100°C) во всех случаях произошло увеличение толщины исследуемых панелей на величину от 1,1 до 2,2 мм. Имеющийся в исходном состоянии рельеф поверхности панели сохранился практически в тех же пределах. При повторной термообработке панелей (40 ч при температуре 100°C) наблюдается, хотя и незначительное ($\leq 0,5$ мм), дальнейшее увеличение толщины панели. Как после первой, так и после второй термообработки разрушения обшивок панелей не наблюдается.

7. Применение известных методов дефектоскопии (радиоволнового и импедансного) не дало положительных результатов [7]. Учитывая необходимость контроля сплошности заполнения панели, целесообразно разработать для этих целей специальную методику.

8. Термовлажностное воздействие на панели 4–6 приводит к незначительному увеличению массы за счет пористости стеклопластиковой обшивки, которая полностью не

устраняется и при окраске. Вследствие этого при окраске необходимо обратить особое внимание на качество лакокрасочного покрытия.

9. Нагрев образца пенополиуретана ППУ-335 до 100°C, выдержка при данной температуре и последующее охлаждение показали, что максимальная относительная деформация пенопластового наполнителя составляет 0,25%, а при охлаждении образца наблюдается остаточная деформация на уровне 0,15%.

10. Длительная термообработка панелей в течении 100 ч при 100°C приводит к стабилизации значений толщины.

Таким образом, испытания теплоизоляционных панелей на связующем ЭДТ-69Н показали их пригодность для использования в конструкции сушильных камер, работающих при температурах до 100°C. Для исключения влияния перегрева и деформации, испытания дуговых панелей необходимо проводить в строго фиксированном положении с использованием всех элементов теплового экрана, которые будут эксплуатироваться вместе, а также с циркуляцией воздуха в зоне нагрева. При эксплуатации не следует допускать уменьшения расстояния между панелью и источником тепла, так как может произойти расслоение пенопласта и повреждение обшивки панели вследствие перегрева. Немаловажным моментом также является меньшее воздействие вредных факторов при изготовлении стеклопластика на основе эпоксидного связующего ЭДТ-69Н (в отличие от полиэфирного связующего). Данный вывод подтвержден применением панелей в конструкции сушильных камер фирмы «Верола» с 1990 года без повреждения их обшивок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 09 (viam-works.ru).
3. Тимошков П.Н., Хрульков А.В. Современные технологии переработки полимерных композиционных материалов, получаемых методом пропитки расплавным связующим //Труды ВИАМ. 2014. №8. Ст. 04 (viam-works.ru).
4. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения //Редкие земли. 2014. №3. С. 8–13.

5. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
6. Мурашов В.В., Косарина Е.И., Генералов А.С. Контроль качества авиационных деталей из полимерных композиционных материалов и многослойных клееных конструкций //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 65–70.
7. Мурашов В.В., Румянцев А.Ф., Иванова Г.А., Файзрахманов Н.Г. Диагностика структуры, состава и свойств полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2008. №1. С. 17–24.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
2. Sokolov I.I., Raskutin A.E. Ugleplastiki i stekloplastiki novogo pokolenija [Ugleplastiki and fibreglasses of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 09 (viam-works.ru).
3. Timoshkov P.N., Hrul'kov A.V. Sovremennye tehnologii pererabotki polimernyh kompozicionnyh materialov, poluchaemyh metodom propitki rasplavnym svjazujushhim [Modern refining technologies of the polymeric composite materials received by method of impregnation by the molten binding] //Trudy VIAM. 2014. №8. St. 04 (viam-works.ru).
4. Kablov E.N. Rossii nuzhny materialy novogo pokolenija [Materials of new generation are necessary to Russia] //Redkie zemli. 2014. №3. С. 8–13.
5. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
6. Murashov V.V., Kosarina E.I., Generalov A.S. Kontrol' kachestva aviacionnyh detalej iz polimernyh kompozicionnyh materialov i mnogoslojnyh kleenyh konstrukcij [Quality control of aviation details from polymeric composite materials and multi-layer kleeny designs] //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 65–70.
7. Murashov V.V., Rumjancev A.F., Ivanova G.A., Fajzrahmanov N.G. Diagnostika struktury, sostava i svojstv polimernyh kompozicionnyh materialov [Diagnostics of structure, structure and properties of polymeric composite materials] //Авиационные материалы и технологии. 2008. №1. С. 17–24.