

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
имени Серго Орджоникидзе

На правах рукописи

А. Л. АБИБОВ

БЕСПРЕССОВЫЙ МЕТОД
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ
АВИАКОНСТРУКЦИЙ С ЛЕГКИМИ
ПЕНОЗАПОЛНИТЕЛЯМИ

(Исследование основных факторов технологического
процесса).

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ
НАУК

Научный руководитель —
проф. ГОЛЯЕВ Д. В.

Научный консультант —
старш. научный сотрудник,
к. т. н. ПОПОВ В. А.

МОСКВА
1 9 5 7

Развитие скоростной авиации выдвинуло перед конструкторами и производственниками многочисленные требования, среди которых важное место занимают повышение прочности и жесткости конструкций и улучшение обтекаемости внешних обводов самолетов. В зависимости от конкретных требований эти задачи решаются различными методами: увеличением толщины обшивки, подкрепленной силовым набором и применением специальных технологических приемов при сборке, применением монолитной конструкции, в которой элементы каркаса выполняются как одно целое с обшивкой методами фрезерования, штамповки, химического травления, литья и т. п.

Кроме того, за последние годы все большее распространение в самолетостроении находят так называемые трехслойные конструкции, которые, удовлетворяя указанным выше требованиям, обладают целым рядом преимуществ перед другими конструкциями.

Идея трехслойной конструкции не является новой. Подобная конструкция была разработана еще в 1928 г. в Московском авиационном институте С. И. Зоншайном. Однако практическое осуществление ее стало возможным лишь в последние годы в связи с появлением новых материалов и новых технологических процессов. В трехслойной конструкции в пространство между двумя тонкими листами обшивки из металла или неметаллических материалов вводится легкий заполнитель из сот (металлических и неметаллических), либо из газонаполненных пластмасс (пено и поропластов), который соединяется с листами путем склеивания, пайки или сварки, в зависимости от требований конструктора и применяемых материалов. Такое сочетание материалов приводит к созданию конструкций, обладающих высоким отношением прочности к весу, что особенно важно в самолетостроении.

Как в СССР, так и в зарубежной практике трехслойные конструкции с легким заполнителем находят применение в самолетостроении при изготовлении рулей, элеронов, килей, стабилизаторов, предкрылков, закрылков, отсеков и панелей крыльев и фюзеляжей. Почти все виды обтекателей радиолокационных антенн современных скоростных самолетов и управляемых снарядов представляют собой трехслойные или многослойные конструкции из неметалличе-

ских материалов. Известно применение легких заполнителей в воздушных винтах самолетов и вертолетов. Легкие заполнители используются также при изготовлении пелов, перегородок, оконных рам и легкой мебели в пассажирских самолетах. Эти материалы, наконец, с успехом применяются для целей тепло и звукоизоляции.

Преимущества трехслойных конструкций подробно освещены в большом количестве работ советских и иностранных исследователей, многие из которых посвящены изучению прочности и созданию методики расчета этих конструкций.

При всем многообразии технологических процессов изготовления трехслойных конструкций выделяются два основных метода — прессовый и беспрессовый.

Наиболее распространенный в настоящее время прессовый метод изготовления трехслойных конструкций, при котором производится предварительная механическая обработка и тщательная пригонка заполнителя перед его соединением с обшивками, обладает рядом недостатков и отличается большой трудоемкостью. Появление беспрессовых методов с применением пенозаполнителей позволяет преодолеть многие из этих недостатков и значительно упростить технологический процесс. Эти методы в настоящее время находят все более широкое применение в самолетостроении.

При беспрессовом методе пенопласт образуется в полости заправляемого изделия и под воздействием развивающегося в массе полуфабриката давления занимает весь рабочий объем, подлежащий заполнению. Благодаря высоким адгезионным свойствам пенопласт прочно склеивается с обшивками.

В настоящее время отечественной промышленностью освоено производство самовспенивающихся пенопластов типа ФФ и ФК, разработанных в ВИАМ'е в 1949 — 53 гг. Эти термореактивные пеноматериалы, помимо технологических особенностей, в отличие от других, освоенных промышленностью (например, ПХВ-1, ПС-1, ПС-IV), обладают и сравнительно более высокой теплостойкостью. Из них наиболее подходящим для заполнения самолетных конструкций является пенопласт марки ФК-20, который и был использован в данной работе. В основе этого материала лежит совмещенная композиция фенольно-формальдегидной смолы и нитрильного каучука с соотношением 100 и 20 весовых частей.

Нитрильный каучук вводится для придания вязкости фенольно-формальдегидной смоле и повышения упругих свойств пеноматериала. Кроме того, в композиции содержатся отвердители смолы, вулканизатор каучука и газообразователь.

Практическое применение пенопластов этого типа, вспениваемых непосредственно в трехслойных конструкциях, в настоящее время сопряжено с немалыми трудностями. Эти трудности обусловлены рядом специфических особенностей, присущих подобным пеноматериалам.

Необходимо отметить, что в литературе исследованию технологических процессов изготовления трехслойных конструкций уделяется недостаточное внимание, а по беспрессовому методу литература практически отсутствует.

Настоящая работа посвящена исследованию основных факторов технологического процесса изготовления трехслойных конструкций беспрессовым методом.

Работа состоит из пяти глав.

Первая глава посвящена обзору современного состояния вопроса и анализу существующих методов изготовления трехслойных конструкций.

Во второй главе рассмотрены механизм образования пенопластов типа ФК из соответствующих полуфабрикатов и теоретические предпосылки к исследованию вопроса.

В третьей главе описаны методика проведения экспериментов и экспериментальные установки, использованные в работе.

Четвертая глава посвящена анализу экспериментальных данных, на основе которых определены: оптимальный термический режим изготовления трехслойных конструкций, величина давления, развиваемого в ограничительных формах и изделиях в процессе термической обработки полуфабриката, возможности применения токов высокой частоты для образования пенопласта и изготовления трехслойных конструкций и др. В этой главе приводятся также данные об основных физико-механических свойствах пеноматериала и заполненных им трехслойных конструкциях.

В пятой главе приводятся практические рекомендации по изготовлению трехслойных конструкций и технологической оснастки.

Сущность процесса заполнения изделий пенопластами типа ФФ и ФК заключается в следующем: исходная композиция в виде порошка, кусков отвальцованной пленки, цилиндров из сплошного или пустотелого шнура вводится в полость заправляемого изделия и подвергается термообработке.

По достижении температуры 70—75°C полуфабрикат оплавляється и переходит в вязкотекучее состояние.

В интервале температур 80 — 110°C под воздействием разложившегося газообразователя масса полуфабриката вспенивается, заполняет весь объем и склеивается с обшивками.

При дальнейшем нагреве до 150°C и выдержке при этой температуре происходит отверждение смолы и вулканизация каучука.

Исследования показали, что необходимым условием получения качественного пеноматериала является равномерный нагрев всей массы полуфабриката, при котором все частицы полуфабриката одновременно вступают в стадии сплавления, газообразования и

отверждения. Однако осуществление равномерного нагрева затрудняется из-за низкой теплопроводности полуфабриката и пенопласта. Поэтому правильный выбор режима термической обработки имеет решающее значение для образования качественного пеноматериала и заполнения им изделий. При разработке этих режимов должны быть учтены как размеры изделий, так и теплофизические свойства полуфабриката. Поскольку в настоящее время отсутствуют какие-либо систематизированные рекомендации, учитывающие эти факторы, в большинстве случаев для заполнения разнообразных конструкций режимы устанавливаются опытным путем. Известен, например, режим термообработки, рекомендованный техническими условиями МХП СССР (ТУ № М 496-56) для определения вспенивающейся способности пенопласта в контрольной форме высотой 35 мм. Этот режим общей продолжительностью в 6 часов предусматривает ступени выдержки при температурах 100°C, 110°C и 150°C. Однако его нельзя механически распространять на все виды изделий, поскольку это может привести к браку, заключающемуся в неполном заполнении изделий, в неравномерности структуры пенопласта и т. п.

1. Режим термической обработки

В рассматриваемой работе разработана методика, позволившая установить оптимальный режим термообработки для изделия определенных размеров с заданным объемным весом пенозаполнителя и распространить полученные результаты на другие виды изделий.

Согласно этой методике *оптимальный* термический режим определяется путем сопоставления качества получаемого пеноматериала и качества заполнения им изделий при шести различных режимах термообработки общей продолжительностью от 1 ч. 45 мин. до 7 ч. 20 мин. Эти режимы состоят в плавном нагреве полуфабриката до предельной температуры с последующей выдержкой при этой температуре в течение 20 минут. Основанием для замены рекомендованного ранее режима с двумя промежуточными ступенями выдержки плавным нагревом явились предварительные эксперименты, подтвердившие возможность подобной замены.

В качестве *основных критериев* для определения качества пеноматериала приняты *равномерность структуры, механическая прочность и законченность химического процесса отверждения*, определяемая содержанием спирторастворимых веществ. Кроме того, определялось влияние различных режимов на такие показатели, как усадка, весовые потери и водопоглощение.

На основе анализа экспериментальных данных установлено, что структура пенопласта делается более равномерной с увеличением общего времени термообработки до 4 ч. 20 мин. Дальнейшее увеличение продолжительности термообработки практически не сказывается на изменении равномерности.

Прочность пенопласта при этих режимах, характеризуемая временным сопротивлением образцов сжатию, изгибу и удельной ударной вязкостью изменяется в сравнительно небольших пределах, но наиболее стабильные и близкие показатели прочности по всем видам испытаний получаются при режимах с продолжительностью нагрева от 4 ч. 20 мин. до 7 ч. 20 мин.

Содержание спирторастворимых веществ при всех режимах изменяется в пределах 13,7 — 12%; весовые потери — в пределах от 2,8% (при режиме продолжительностью в 1 ч. 45 мин.) до 0,9% (при режиме в 4 ч. 20 мин.).

Линейная усадка изменяется незначительно и колеблется в пределах 0,72 — 0,84% от толщины образцов.

Значительная разница наблюдается в водопоглощении образцов, которое по истечении 30 суток изменяется в пределах 0,75 — 0,72 кг/м² (при режимах в 1 ч. 45 мин. и 2 ч. 30 мин.) — 0,3 — 0,26 кг/м² (при режимах в 4 ч. 20 мин. — 7 ч. 20 мин.). Такая разница в водопоглощении объясняется, по-видимому, особенностями структурного строения полученных образцов пенопласта.

Сопоставление всех экспериментальных данных позволяет заключить, что режим термообработки в 4 ч. 20 мин., из которых 4 часа составляет время нагрева с постоянной скоростью до 150°C, а 20 мин. — время выдержки при 150°C — является оптимальным режимом для заполнения изделий с толщиной слоя заполнителя в 40 мм и его объемным весом $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$.

Анализ температурных кривых, полученных путем регистрации изменения температуры на поверхности и в центре образцов в процессе термической обработки, позволил установить следующее:

а) максимальный перепад температур между поверхностью и центром исследованных образцов, соответствующий оптимальному термическому режиму, составляет $15 \pm 1^\circ\text{C}$,

б) начало вспенивания (интенсивного разложения газообразователя) соответствует 80°C,

в) для установленного оптимального термического режима экзотермический эффект, сопровождающий процесс отверждения вспененной композиции марки ФК-20, протекает в интервале температур 80 — 125°C.

Для распространения полученных результатов на другие изделия, отличающиеся от исследованного образца по размерам и по объемному весу пенопласта, в работе использованы известные положения и методы теории подобия и теории размерностей.

Посредством анализа размерностей при ряде упрощающих предположений решены задачи теплопроводности при отсутствии и при наличии внутреннего источника тепла. В результате получены безразмерные комплексы, являющиеся критериями подобия. Эти комплексы соответствуют известным в теории теплопередачи критериям Фурье (F_0) и Померанцева (P_0).

Для определения характерных значений этих критериев, соответствующих оптимальному режиму, произведено определение коэффициентов температуропроводности α полуфабриката и пенопласта по методу регулярного режима Г. М. Кондратьева. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Коэффициенты температуропроводности α полуфабриката и готового пенопласта ФК-20.

Объемный вес γ г/см ³	$\alpha \cdot 10^3$ полуфабриката при 70°C м ² /час	$\alpha \cdot 10^3$ пенопласта м ² /час при	
		100°C	150 C
0,15	0,648	0,864	0,860
0,20	0,465	0,751	0,540
0,22	0,360	0,617	0,532

При изменении толщины изделий для обеспечения равномерности нагрева полуфабриката перед вспениванием, т. е. по достижении 80°C, между поверхностью и наиболее отдаленной точкой внутри изделия необходимо соблюсти перепад температур, соответствующий оптимальному термическому режиму. Этому условию удовлетворяет постоянство критерия Фурье, характерное значение которого, отнесенное ко всему интервалу термообработки, составляет $F_0 = 4,65$. С учетом этого значения F_0 получена формула, удобная для практического пользования при определении оптимального режима термообработки.

$$\tau = 1,16 \frac{H^2}{\alpha},$$

где τ — время плавного нагрева с постоянной скоростью до 150°C, часы

H — максимальная толщина пенозаполнителя. м

α — коэффициент температуропроводности м²/час.

Эта формула рекомендуется для расчета времени нагрева до 150°C при заполнении изделий, в которых толщина заполняемого слоя превышает 25 мм. Для изделий с толщиной менее 25 мм рекомендуется общее время нагрева до 150°C установить в 2 часа.

Такое ограничение связано с особенностями процесса вспенивания рассматриваемого материала. Оно исключает возможность внезапного, быстрого подъема вспенивающейся массы, вследствие которого воздух, пары влаги и другие летучие не сумеют уйти из заполняемой полости изделий и могут образовать воздушные пузыри, пустоты и т. п.

Результаты расчетов для некоторых толщин получаемого пеноматериала при различных значениях его объемного веса приводятся в таблице 2.

Таблица 2.

Оптимальный режим термообработки полуфабриката (время плавного нагрева до 150°C).

Высота изделия H (мм)	Время термообработки τ (часы) при γ		
	0,15 г/см ³	0,20 г/см ³	0,22 г/см ³
25	2,0	2,0	2,0
30	2,0	2,3	3,0
35	2,2	3,1	4,0
40	2,9	4,0	5,2
45	3,7	5,1	6,6
50	4,5	6,3	8,1
55	5,5	7,6	9,8
60	6,5	9,0	11,6
65	7,6	10,6	13,7
70	8,8	12,3	15,9
75	10,1	14,1	18,2
80	11,5	16,0	20,7
85	13,0	18,1	23,4
90	14,5	20,3	26,2

Экспериментальная проверка на значительном количестве образцов показала, что с учетом приведенного ограничения при соблюдении постоянства критерия Фурье (F_0) достаточно удовлетворительно соблюдается и постоянство критерия Померанцева (P_0), о чем свидетельствует близкое совпадение характера и величины перепада температур у температурных кривых.

Установлено также, что при соблюдении расчетного режима термической обработки достигаются удовлетворительное качество пенопласта и полное заполнение им внутренних объемов изделий. Время окончательной выдержки, при соблюдении оптимального термического режима, может не превышать 20 — 30 минут, если это время не обусловлено еще какими-либо факторами, как например, характером термообработки клеевого подслоя, нанесенного на внутреннюю поверхность обшивки заполняемого изделия.

Для изделий переменного сечения и сложных геометрических форм режим термообработки рекомендуется определять по при-

веденной формуле, исходя из максимальной толщины заполняемого слоя.

2. Давление, развивающееся в изделиях, при их заполнении пенопластом

При проектировании изделий и технологической оснастки важное значение имеет знание величины давления, развивающегося в изделиях, заполняемых пенопластом. Наличие этого давления в определенных границах необходимо для надежного заполнения изделия и склеивания пеноматериала с обшивкой. Однако избыточное давление может привести к деформации недостаточно жестких изделий, для предотвращения чего заполняемое изделие вводится в специальное ограничительное приспособление. С другой стороны, весьма важно изыскать возможности снижения давления с целью упрощения и облегчения конструкций ограничительных приспособлений.

Определение давления в условиях непрерывного изменения температуры и агрегатного состояния полуфабриката представляет значительные трудности. В настоящей работе принят метод электрических измерений для определения характера и величины давления. С этой целью сконструирован и изготовлен тензометрический приемник давления, электрическая схема которого представляет собою мостовую цепь постоянного тока. Для тарировки приемника давления сконструирован и изготовлен пневматический тарировочный пресс, позволивший максимально приблизить условия тарировки к условиям термообработки.

Разработана методика определения давления в негерметичной ограничительной форме, а также определения условного давления, развиваемого вспенивающейся композицией в герметичной форме.

Сопоставлением температурных кривых с кривыми изменения давления по времени термообработки установлено, что характер изменения давления соответствует характеру изменения температуры в центре образца. Установлено, что в негерметичной форме величина давления зависит от режима термообработки и для марки полуфабриката ФК-20 с 3-мя процентами газообразователя с $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$ изменяется в значительных пределах: от $2,6 \text{ кг/см}^2$ при режиме в 1 ч. 45 мин. до $4,6 \text{ кг/см}^2$ при режиме в 7 ч. 20 мин.

Условное давление, развивающееся в герметичной форме, значительно выше и практически не зависит от режима термообработки; при вспенивании полуфабриката той же марки оно колеблется в пределах от $4,5 \text{ кг/см}^2$ при $\gamma = 0,1 \text{ г/см}^3$ до $6,1 - 6,3 \text{ кг/см}^2$ при $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$.

Получение в процессе исследования из композиции ФК-20-3 с насыпным весом $0,2 - 0,22 \text{ г/см}^3$ пенопласта с объемным весом $0,08 - 0,1$ свидетельствует о реальной возможности уменьше-

ния в его составе содержания газообразователя и некоторого снижения за этот счет величины внутреннего давления, что весьма важно для упрощения и облегчения конструкций ограничительных приспособлений.

При общем стремлении совершенствовать технологический процесс с целью получения качественных изделий, важное значение имеет сокращение времени термической обработки при заполнении их пенопластом. Поэтому в работе исследуется возможность такого сокращения.

3. Использование контактного электронагрева

Проведенные исследования показали целесообразность применения контактных электронагревательных устройств при заполнении изделий, что позволяет существенным образом сократить время термообработки за счет непосредственной передачи тепла поверхности изделия и обеспечивает более точную регулировку режима термообработки. Контактные электронагревательные устройства были использованы в ограничительных приспособлениях для заполнения пенопластом ряда опытных изделий.

В работе приводятся методика расчета и технологический процесс изготовления подобных нагревательных устройств.

4. Использование высокочастотного нагрева

В работе установлена возможность применения токов высокой частоты для ускоренной термической обработки самовоспенивающихся заполнителей. Как известно, при нагреве в электрическом поле высокой частоты скорость нагрева не лимитируется ни толщиной нагреваемого слоя полуфабриката, ни его теплопроводностью. Наиболее существенным фактором, влияющим на количества выделяющегося тепла в материале вследствие воздействия токов высокой частоты, является фактор потерь материала, определяемый произведением его относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) на тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg} \delta$).

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что нагрев в электрическом поле высокой частоты может быть применен достаточно эффективно для термообработки полуфабрикатов типа ФФ и ФК, при этом время термической обработки сокращается в десятки раз. Так, при данных экспериментальной установки ($f = 14 - 15 \text{ мгц}$, $U = 1500 \text{ в}$) время термообработки полуфабриката для получения бруска пенопласта толщиной 30 мм и с $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$ сокращено до 10 мин. Режим термообработки можно регулировать в широких пределах изменением частоты и напряженности поля.

Результаты механических испытаний и определения содержания спирторастворимых веществ в образцах пенопласта ФК-20-3, полученных с применением токов высокой частоты, свидетельствуют о том, что качество их вполне удовлетворительно и соответствует получаемому путем нагрева внешними источниками. Нагрев в электрическом поле высокой частоты может быть с успехом применен и для изготовления некоторых типов трехслойных конструкций. Наиболее эффективно применение этого способа нагрева при изготовлении пенопласта в виде блоков или плит, отличающихся сравнительно большой толщиной.

5. Комбинированный метод заполнения изделий

Существенным образом позволяет сократить общее время термической обработки и улучшить качество изделий предложенный и практически осуществленный в работе комбинированный метод заполнения изделий. Сущность метода сводится к следующему: в полость заправляемого изделия вводится вкладыш из предварительно вспененного и грубо обработанного пенопласта ФК-20 так, что внешние контуры его приближенно эквидистантны контурам изделия, но между ними остается зазор в 10 — 12 мм. Пространство это заполняется исходной композицией, которая вспенивается по режиму, соответствующему двойной толщине зазора. Вспенивающаяся композиция надежно склеивается и с поверхностью вкладыша и с внутренней поверхностью обшивки.

Рекомендуемый метод позволяет, например, при заполнении изделия толщиной в 90 мм пенопластом с $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$ сократить общее время термической обработки с 20 ч. 30 мин. до 2 ч. 30 мин., т. е. в 8 раз. Качество изделия при этом улучшается за счет уменьшения величины усадки. Комбинированный метод позволяет также по желанию конструктора производить заполнение изделий пенопластом переменной плотности, что в определенных конструкциях целесообразно и может повысить их удельную весовую прочность.

* * *

В работе приводятся также результаты исследования свойств трехслойных панелей фюзеляжа с пенозаполнителем марки ФК-20-3, изготовленных совместно с ОКБ. Испытания на прочность, а также проверка полноты заполнения и точности внешних обводов 30 панелей показали, что они удовлетворяют заданным требованиям. Результаты рассматриваемой работы легли в основу создания совместно с ОКБ технологической инструкции и изготовления изделия, установленного на опытную машину.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика, позволившая на основе изучения технологических и физико-механических свойств пенозаполнителя марки ФК-20 установить оптимальный режим термической обработки при заполнении изделий определенных размеров пенозаполнителем определенного объемного веса. Эта методика может быть использована для исследования других марок пенопластов подобного типа.

2. Сформулированы условия для распространения полученных результатов на другие изделия, отличающиеся размерами и сыпным весом заполнителя.

Получена расчетная формула для определения оптимального режима термообработки, удобная для практического пользования. Проверка этой формулы при изготовлении значительного количества образцов показала удовлетворительные результаты.

3. Разработана методика и создана аппаратура, позволившие определить характер и величину давления, развиваемого полуфабрикатом марки ФК-20 при термообработке в герметичных и негерметичных формах и изделиях.

Установлена зависимость между характером и величиной давления и режимом термообработки.

4. Исследованы некоторые возможности сокращения общего времени термообработки при заполнении изделий и получении пенопласта из полуфабриката и в частности:

а) установлена практическая возможность термообработки полуфабриката и заполнения им некоторых типов трехслойных конструкций путем нагрева в электрическом поле высокой частоты, что сокращает время термообработки в десятки раз,

б) предложен и практически осуществлен комбинированный метод заполнения изделий пенопластом ФК-20, что также дает значительное сокращение времени термообработки.

5. Выявлена возможность и целесообразность контактного электронагрева при термической обработке полуфабриката для получения пенопласта и трехслойных конструкций.

6. На основе опыта, накопленного в совместной работе МАИ, ВИАМ и ОКБ, сформулированы некоторые общие требования, предъявляемые к изделиям, заполняемым пенопластом и к ограничительным приспособлениям. Совместно с ОКБ разработана и утверждена технологическая инструкция, на основе которой изготовлено реальное изделие на опытную машину.

* * *

Применение беспрессового метода изготовления трехслойных конструкций является прогрессивным в технологии современного самолетостроения.

Совершенствование технологических процессов изготовления трехслойных конструкций с целью более широкого их внедрения в отечественную авиационную промышленность является актуальной задачей, стоящей перед учеными и производителями. К числу частных задач, требующих в связи с этим разрешения относятся:

- разработка новых, более легких, прочных и технологически более совершенных теплостойких пенозаполнителей;

- снижение давления, развиваемого в изделиях в процессе их заполнения пенопластом;

- разработка новых конструкций с учетом специфических особенностей пенопластов;

- изыскание более совершенных методов для осуществления контроля качества трехслойных конструкций;

- исследование прочности трехслойных конструкций при повышенных и отрицательных температурах и при переменных нагрузках.

По теме диссертационной работы опубликована статья А. Л. Абибова и В. А. Попова «Беспрессовый метод получения газонаполненных пластмасс и легких заполнителей элементов авиационных конструкций» в сборнике трудов МАИ № 93 «Исследование некоторых резиновых и пластических материалов», Оборонгиз, 1957.
