

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 2, ISSUE 1

MARCH, 2025



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 1 MARCH, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The "**Journal of Transport**" established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo'Ichilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Investigation of the influence of tooling material and heat transfer method on the kinetics of the curing process of parts made of fiberglass plastics based on epoxy binder

U.D. Kosimov¹^a, A.D. Novikov², G.V. Malysheva²^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract: On the example of a part made of fiberglass plastic, the temperature fields arising in the process of its curing have been evaluated. A model of isotropic fiberglass plastic was developed and calculations were performed to determine the kinetics of temperature changes in different parts of the part (upper, middle and lower) when using two types of equipment for heating: furnace and press, which provide heating by convection and conduction, respectively. The influence of the material of the tooling in which the part to be manufactured is molded is considered. It was found that the highest speed, at which the uniform heating of the cured part by thickness is provided, is provided when using steel tooling and press.

Keywords: glass fiber-reinforced polymer (GFRP), curing, kinetics of heating process, heat transfer mechanisms, convection, heat conduction

Исследование влияния материала оснастки и способа теплопередачи на кинетику процесса отверждения деталей из стеклопластиков на основе эпоксидного связующего

Косимов У.Д.¹^a, Новиков А.Д.², Малышева Г.В.²^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Аннотация: На примере детали из стеклопластика, проведена оценка температурных полей, возникающих в процессе ее отверждения. Разработана модель из изотропного стеклопластика и проведены расчеты, позволившие определить кинетику изменения температур на различных частях детали (верхней, средней и нижней) при использовании для нагрева двух типов оборудования: печь и пресс, которые обеспечивают нагрев по механизму конвекции и теплопроводности, соответственно. Рассмотрено влияние материала оснастки, в которой формируется изготавливаемая деталь. Установлено, что наибольшая скорость, при которой обеспечивается равномерный прогрев отверждаемой детали по толщине, обеспечивается при использовании оснастки из стали и прессы.

Ключевые слова: стеклопластик, отверждение, кинетика процесса нагрева, механизмы теплопередачи, конвекция, теплопроводность


1. Введение

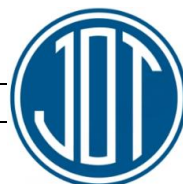
Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе волокнистых наполнителей нашли широкое применение при производстве ракетно-космической и авиационной техники [1, 2]. Наибольшее распространение получили волокнистые композиты на основе эпоксидных связующих, которые используют при изготовлении деталей, от которых требуется сочетание высокой прочности и минимальной массы [3-5]. ПКМ используются при изготовлении носовых обтекателей фюзеляжа, элеронов, силовой конструкции оперения и панелей пола, различных люков, створок шасси, рулей высоты и направления и многих других элементов. Доля ПКМ в конструкциях гражданских

самолетов в настоящее время уже превысила 50%, что позволило увеличить топливную эффективность и снизить продолжительность технического обслуживания.

В качестве армирующих материалов в ПКМ в настоящее время используются, как правило, углеродные и стеклянные наполнители, которые существенно различаются между собой по теплофизическим свойствам, что приводит к неравномерности прогрева композитной конструкции по толщине [6-9]. Авторы работ [10] провели теоретическую оценку кинетики процесса нагрева образцов из стекло- и углепластика и установили, что в начальный момент времени, значения температуры внутри стеклопластика ниже, чем на его поверхности.

^a <https://orcid.org/0009-0000-5681-524X>

^b <https://orcid.org/0000-0003-1053-4906>



Однако, в процессе отверждения имеют место экзотермические эффекты, которые приводят к тому, что температура внутри образца повышается и становится выше, чем на поверхности. Для углепластика закономерности изменения температурных полей аналогичны стеклопластикам, однако, из-за существенно меньшего значения теплоемкости и большего коэффициента теплопроводности, температурное поле по объему существенно более равномерное. Так разница в температурах на поверхности и в центре образца из стеклопластика размером 25x10x25 мм при скоростях нагрева 2°C, 3°C и 5°C составляет 22°C, 35°C и 65°C соответственно.

На кинетику процесса нагрева существенное влияние оказывает материал оснастки, которая применяется для формования и технологического оборудования, которое используется при отверждении.

В научной литературе изучению кинетики процесса нагрева при отверждении деталей из ПКМ, в том числе и стеклопластиков, уделено большое внимание [6-10], однако, подавляющее большинство исследователей рассматривали только нагрев в условиях конвекции, при котором в качестве технологического оборудования для нагрева используются сушильные шкафы (или печи). Как правило, такое оборудование применяется в условиях единичного или мелкосерийного производства. В условиях крупносерийного производства, особенно если продолжительность процесса отверждения не велика, а наряду с температурой, еще требуется прикладывать и давление, используется прессовое оборудование, которое обеспечивает нагрев в условиях теплопроводности.

Целью работы является исследование кинетики процесса отверждения деталей из стеклопластика в зависимости от механизма теплопередачи и материала оснастки.

2. Объекты и методы исследований

В работе проведена теоретическая оценка распределения температуры в процессе нагрева детали в зависимости от материала оснастки (табл. 1) и механизма теплопередачи. При отверждении по механизму теплопроводности, при которой используется прессовое оборудование, использовали оснастку из стали и для сравнения рассмотрели стеклопластик. При отверждении по механизму конвекции, при которой применяются стандартные сушильные шкафы или печи, использовали оснастку из алюминиевого сплава и также из стеклопластика.

Расчетная модель детали представляет с собой прямоугольный образец с геометрическими размерами в 200x200x20 мм из стеклопластика (табл. 1). В качестве наполнителя использован стохастический стекломат, что позволяло рассматривать данный стеклопластик, как изотропный материал. В качестве связующего использован эпоксидный состав марки ВСК-14-1, который получил широчайшее распространение в авиационной [11].

Таблица 1

Свойства материала детали и оснастки

Показатели	Материалы		
	Стеклопластик	Сталь	Алюминиевый сплав
Плотность, кг/м ³	1800	7829	2700
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C)	900	460	880
Теплопроводность, Вт/(м·°C):	0,55	64	190
λ_1			
λ_2			
λ_3	0,51		
Коэффициент теплового расширения, °C ⁻¹	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$	$2,16 \cdot 10^{-5}$

Процесс моделирования производился в CAD/CAM/CAE программе Siemens NX в приложении Пре/постпроцессор с инструментами для конечно-элементного моделирования и визуализации результатов, которое включает опорные многопрофильные рабочие потоки симуляции.

В процессе моделирования создавали геометрические и конечно-элементные модели детали и оснастки, далее задавали граничные условия и действующие тепловые нагрузки.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 1-4 приведено распределения температур на верхней, центральной и нижней частях детали из стеклопластика при использовании оснастки из стеклопластика для условий отверждения в печи (рис. 1,2) и в прессе (рис. 3,4). Это типовое и самое распространенное оборудование, которое применяется при изготовлении деталей и изделий из ПКМ в условиях единичного, мелкосерийного и даже серийного производств.

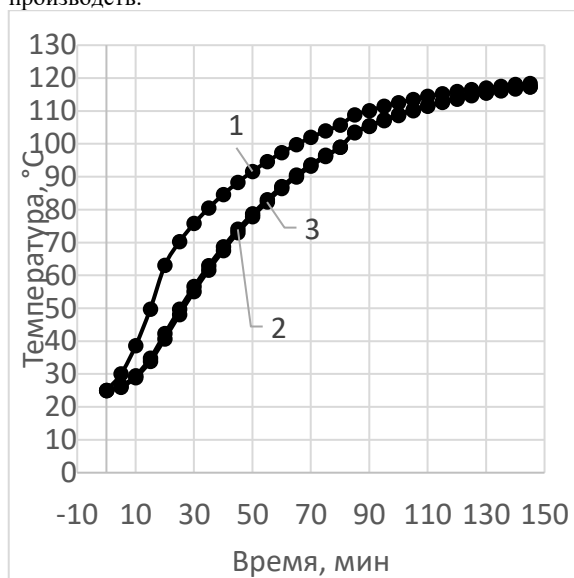


Рис. 1. Распределения температур на верхней – 1, центральной – 2 и нижней – 3 частях детали из стеклопластика при отверждении в печи с использованием оснастки из алюминия



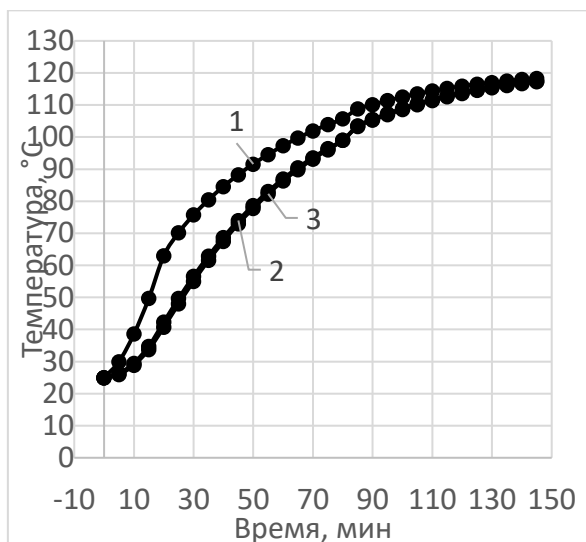


Рис. 2. распределения температур на верхней – 1, центральной – 2 и нижней – 3 частях детали из стеклопластика при отверждении в печи с использованием оснастки из стеклопластика

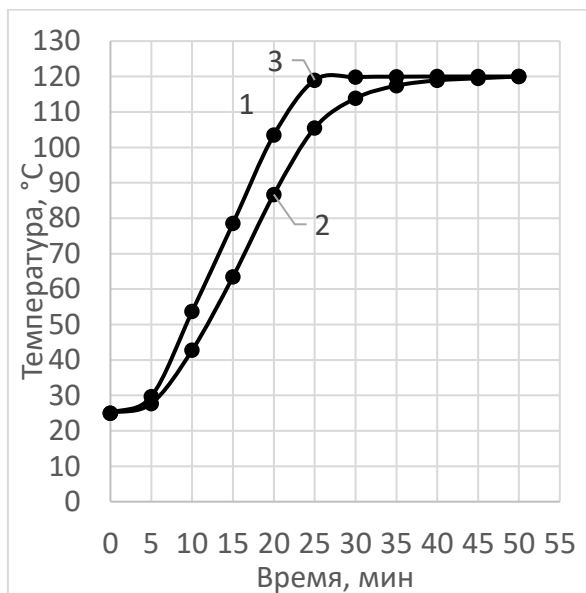


Рис 3. Распределения температур на верхней – 1, центральной – 2 и нижней – 3 частях детали из стеклопластика при отверждении под прессом с использованием оснастки из стали

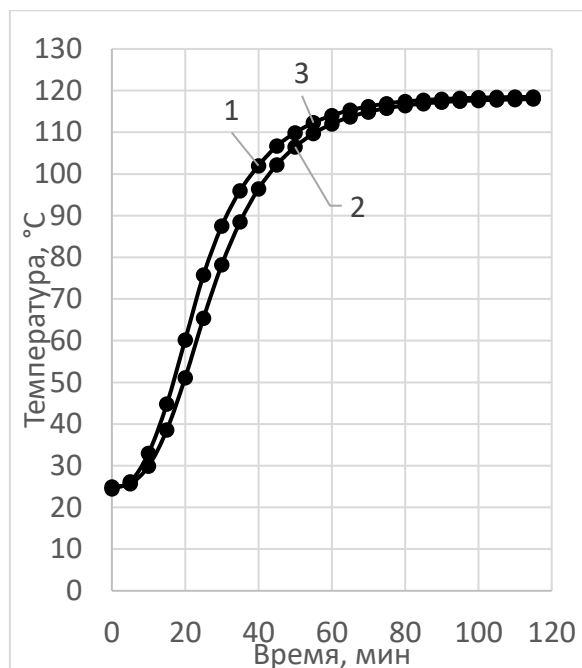


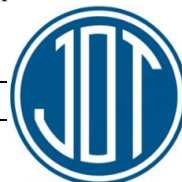
Рис 4. Распределения температур на верхней – 1, центральной – 2 и нижней – 3 частях детали из стеклопластика при отверждении под прессом с использованием оснастки из стеклопластика

В результате проведенных расчетов (см. рис. 1) установлено, что при использовании алюминиевой оснастки, верхняя часть детали прогревается за 20 мин до 66 °С и максимальная разница температур между верхней (1) и нижней (3) частями составляет около 20 °С, а между верхней (1) центральной (2) частью детали – 15 °С. Полный прогрев детали до заданной температуры отверждения в 120°С происходит за 110 минут.

Если в качестве материала оснастки использовать стеклопластик, то на 20-й минуте верхняя (1) часть детали прогревается до 62 °С и разница температур между нижней (3) частью составляет 23 °С, а с центральной (2) – 20 °С, а полный прогрев детали до заданной температуры отверждения происходит за 145 минут.

Таким образом, за счет более низкой теплопроводности стеклопластиковой оснастки, увеличивается суммарная продолжительность процесса нагрева до заданной температуры отверждения и имеет место большая разница в температурах по толщине детали по сравнению с аналогичной оснасткой из алюминиевого сплава.

На рис. 3,4 приведены аналогичные результаты расчетов при использовании оснастки из стеклопластика и металла для условий формования под прессом. В результате проведенных расчетов установлено, что нагрев до заданной температуры на прессе происходит намного быстрее (чем в печи) и с меньшей разницей температур по толщине детали. Это связано с тем, что процесс теплопередачи происходит за счет прямого контакта поверхностей оснасток с опорными плитами преса. За счет двустороннего подвода тепла верхняя и нижняя части детали нагреваются одинаково равномерно и прогрев детали в



стальной оснастке происходит за 50 минут, а в стеклопластиковой оснастке практически в два раза дольше и составляет около 105 минут. Однако, по сравнению с нагревом в печи, суммарная продолжительность нагрева на 27,6% меньше. Также меньше и перепад температур по толщине детали, который на 20 минуте нагрева составил 16°C и 9°C для оснастки из стали и стеклопластика.

4. Заключение

Разработана модель из изотропного стеклопластика и проведены расчеты, позволившие определить кинетику изменения температур на различных частях детали (верхней, средней и нижней) при использовании для нагрева двух типов оборудования: печи и прессы, в которых нагрев осуществляется по механизму конвекции и теплопроводности, соответственно. Также рассмотрено влияние на кинетику процесса нагрева материала оснастки. Если нагрев проводят в печи, то в качестве материала оснастки, как правило, применяют стеклопластик или алюминиевые сплавы. Если же процесс отверждения проводят непосредственно в прессе, то в качестве материала оснастки применяют, как правило, сталь.

В результате проведенных расчетов установлено, что для изотропной детали из стеклопластика, толщиной 20 мм, использование прессы и стальной оснастки позволяет проводить нагрев за минимальное время и при этом обеспечить наименьший разброс температур по толщине детали.

Использованная литература / References

- [1] Васильченко К.С., Резник С.В., Аунг Н.Л., Гареев А.Р. Выбор оптимального профиля лопасти несущего винта малогабаритного беспилотного вертолета // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2022. №3. С.79-86.
- [2] Агеева Т.Г., Дудар Э.Н., Резник С.В. Комплексная методика проектирования конструкции крыла многоразового космического аппарата // Технология машиностроения. 2021. №3. С.34-37.
- [3] Баженов, А.А., Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. 352 с.
- [4] Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
- [5] Maung P.P., Htet T.L., Malysheva G.V. Simulation and optimization of vacuum assisted resin infusion process

for large sized structures made of carbon fiber-reinforced plastic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709 (2). 022041.

[6] Кепман А В, Макаренко И В, Страхов В Л. Экспериментальное исследование комплекса термохимических, теплофизических свойств и кинетики процесса отверждения полимерных композиционных материалов // Композиты и наноструктуры, 2016. № 8(4): С. 251-264.

[7] Мараховский П С, Баринов Д Я, Чуцкова Е Ю. Отверждение многослойных полимерных композиционных материалов. Часть 2. Формование толстостенной плиты стеклопластика // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2018 (6) С. 7-14.

[8] Хасков М А, Сафронов Е В. Моделирование процессов отверждения термореактивных матриц на примере сложнопрофильного образца // Труды ВИАМ, 2019 №12 С.46-54.

[9] Баринов Д.Я., Майорова И.А., Мараховский П.С., Зуев А.В., Куцевич К.Е., Лукина Н.Ф. Математическое моделирование температурных полей при отверждении толстостенной плиты стеклопластика // Перспективные материалы. 2015. №4. С.5-14.

[10] Yanyan C., Nelyub V.A., Malysheva G.V. An investigation of the kinetics of the heating process for made of carbon fiber in the process of curing // Polymer Science-Series D. 2019. 12(3). PP. 296-299.

[11] Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие, клеевые препрег. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.

Информация об авторах/ Information about the authors

Косимов Умидбек Дилшод угли Ташкентский государственный транспортный университет, Ассистент кафедры «Авиационный инжиниринг»
E-mail: umidbek.k@yandex.ru
Tel.: +99897 761 99 16
<https://orcid.org/0009-0000-5681-524X>

Новиков Андрей Дмитриевич К.т.н., доцент кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
E-mail: novikov.andrey.sm13@gmail.com

Малышева Галина Владленовна Д.т.н., профессор кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
E-mail: malyin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1053-4906>



<i>O. Turdiev, M. Rasulmuhamedov, A. Tukhtakhodjaev</i> <i>The intellectual approaches to data management in transport and freight operations</i>	5
<i>O. Turdiev</i> <i>Research of a stochastic optimizer based on a logical probability code converter</i>	9
<i>S. Boltaev, O. Muhiddinov, E. Joniqulov, B. Rakhmonov</i> <i>Analysis of centralized dispatch systems</i>	14
<i>K. Tashmetov</i> <i>Development of a traffic flow prediction and analysis model based on the Kolmogorov-Arnold Network (KAN) architecture</i>	20
<i>A. Obidjonov, A. Ibadullaev, A. Babaev, U. Chorshanbiev</i> <i>Modeling of fluid leakage processes from channels</i>	24
<i>Kh. Zukhridinov</i> <i>Possibilities of using the MPU 6050 sensor device in detecting weaknesses in railway installations</i>	29
<i>N. Turaeva</i> <i>Development of a probability distribution function for the timely delivery of aeronautical</i>	33
<i>D. Yuldoshev, A. Azizov</i> <i>Automated technologies in the production of the car body</i>	36
<i>Z. Mukhamedova, S. Akhmedov, S. Nematova, N. Otabaeva</i> <i>Determination of factors influencing the development of Uzbek-Chinese railway transport relations through correlation analysis</i>	41
<i>U. Kosimov, A. Novikov, G. Malysheva</i> <i>Investigation of the influence of tooling material and heat transfer method on the kinetics of the curing process of parts made of fiberglass plastics based on epoxy binder</i>	45