

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Дробыш А.С.

Цель. Разработать в программно-вычислительном комплексе ANSYS научно обоснованный и экспериментально валидированный метод моделирования поведения стеклопластикового двутаврового профиля с конструктивной огнезащитой при высокотемпературном воздействии пожара, учитывающий изменения его напряженно-деформированного состояния.

Методы. Анализ, моделирование, сравнение существующих результатов экспериментальных и теоретических исследований по исследуемой тематике.

Результаты. Рассмотрено применение модуля ANSYS Composite PrepPost (ACP) для численного моделирования строительных конструкций из композиционных материалов в условиях высокотемпературного воздействия. Описаны этапы построения геометрической модели стеклопластикового двутаврового профиля, определения свойств многослойных композитов и проведения тепломеханического расчета. Выполнено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, подтверждающее высокую точность метода моделирования поведения стеклопластикового двутаврового профиля.

Область применения исследований. Проектирование и строительство зданий и сооружений с использованием полимерных композитных (стеклопластиковых) материалов и конструкций.

Ключевые слова: композитные материалы, стеклопластик, моделирование, метод конечных элементов, огнестойкость, огнезащита, экспериментальные исследования.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2025 г.)

Введение

Развитие современных технологий в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений позволяет использовать численные методы расчета, реализуемые в специализированных программно-вычислительных комплексах. Существует множество программно-вычислительных комплексов, среди которых можно выделить ANSYS, ABAQUS, SolidWorks, Компас APM FEM, IDEA StatiCa и ряд других, которые используют численный анализ методом конечных элементов (далее – МКЭ) для решения задач, связанных с механикой деформируемого твердого тела, включая расчет прочности, устойчивости и др., а также анализ температурных, тепловых и других полей в исследуемых строительных конструкциях.

Применение имеющихся комплексов позволяет значительно сократить экономические затраты на проведение экспериментальных исследований, а также уменьшить временной ресурс, необходимый на выполнение работы. Отличительной особенностью при работе в программных комплексах является возможность многократного воспроизведения сценариев (условий) проведения исследования, вариативность и оперативность изменения необходимых параметров, а также детализация протекающих процессов во всем временном интервале. Стоит отметить, что применение комплексов играет важную роль на стадии проектирования, разработки и оптимизации нового или уже имеющегося объекта (строительные конструкции), которое позволяет найти оптимальное (рациональное) решение для исследуемого объекта, а также существенно увеличить эффективность проведения работы по исследуемой тематике.

Важную роль программно-вычислительные комплексы играют при оценке огнестойкости строительных конструкций, что связано с необходимостью моделирования их поведения при пожаре при длительном высокотемпературном воздействии. МКЭ позволяет смоделировать распределение значений температур по сечению и объему конструкции, изменение физико-механических свойств материалов в зависимости от значений температуры, термические деформации и напряжения, прогибы, а также процессы потери устойчивости и разрушения. Иногда МКЭ является единственно возможным способом прогнозирования, например, при оценке огнестойкости уникальных объектов или конструкций, а также в нестандартных условиях эксплуатации, когда проведение натурных испытаний в ряде случаев затруднено, экономически нецелесообразно или технически невозможно. Достоверность результатов, полученных при моделировании МКЭ, напрямую зависит от соответствия показателей (параметров) при моделировании и в реальной конструкции и не может быть гарантировано без сопоставления результатов моделирования с экспериментальными данными.

Таким образом, применение программно-вычислительных комплексов, основанных на МКЭ, является важным и перспективным направлением повышения эффективности проектирования и обеспечения пожарной безопасности строительных объектов, которые будут соответствовать установленным требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности.

Основная часть

Определение пределов огнестойкости, а также моделирование поведения конструкций при пожаре возможно в ANSYS, который является одним из самых универсальных и мощных комплексов конечно-элементного анализа и позволяет решить линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные пространственные задачи механики деформируемого твердого тела и механики конструкций, задачи механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей и др. [1; 2].

Существует множество примеров, где с помощью ANSYS в модуле Mechanical для стандартных строительных конструкций, выполненных из бетона, железобетона, дерева и стали, в том числе с огнезащитой, моделируют их поведение при высокотемпературном воздействии пожара, а также определяют предел огнестойкости исследуемой конструкции. Так, в работе [3], используя ANSYS, была создана модель, позволяющая учесть в расчетах напряжения и деформации бетона выше критических с учетом пластичности и возможных сдвиговых деформаций, что наиболее полно описывает поведение материала при нагружении. Полученные в статье результаты теоретических исследований использованы при проведении расчетов огнестойкости железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном, т.к. полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными. Компьютерное моделирование в ANSYS также было использовано для определения пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона [4]. В результате была разработана методика определения пределов огнестойкости по потере несущей способности (R) современных строительных конструкций из железобетона, и с помощью программно-вычислительного комплекса ANSYS был определен предел огнестойкости по потере несущей способности, а также разработаны методы повышения их огнестойкости. Результаты компьютерного моделирования задач по оценке огнестойкости незащищенных стальных колонн и стальных колонн с огнезащитой из вермикулитовых плит были представлены в работе [5], где была проведена оценка достоверности численного моделирования в ANSYS стальной колонны без огнезащиты. Было осуществлено сравнение представленных результатов решения теплофизической и прочностной задачи с имеющимися результатами натурных огневых испытаний. Проводилась оценка влияния толщины огнезащитного покрытия на огнестойкость стальных колонн, где был разработан ряд подпрограмм для параметрического расчета огнестойкости стальных колонн с различной приведенной толщиной

огнезащиты. Достоверности результатов численного моделирования в ANSYS и применения полученных результатов для параметрического расчета огнестойкости металлических конструкций, а именно моделированию работы вспучивающихся защитных покрытий посвящена работа [6]. В результате авторами получены данные с применением ANSYS, которые имеют хорошую сходимость с результатами натурных огневых испытаний, проводимых в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны». Оценке огнестойкости стальных конструкций с конструктивной огнезащитой из гипсовых плит посвящена работа [7], где в ANSYS на основании экспериментальных данных были созданы трехмерные расчетные компьютерные модели для моделирования теплообмена с газовой средой пожара для поперечных сечений вертикальных стальных профилей, защищенных огнестойкими гипсовыми плитами Knauf Fireboard толщиной 15...50 мм. Подводя итог, можно сделать вывод, что в стандартном модуле численного анализа Mechanical, используемом в ANSYS для стандартных строительных конструкций, возможно получить схожие с экспериментальными данными результаты поведения стандартных материалов и конструкций при высокотемпературном воздействии. Используя компьютерное моделирование, возможно создать верифицированную экспериментальными данными модель, которая позволит прогнозировать поведение аналогичных стандартных материалов и конструкций при пожаре.

Стоит отметить, что при моделировании композитных материалов и строительных конструкций стандартный модуль численного анализа Mechanical, используемый в ANSYS, не позволяет полноценно учесть сложную анизотропную структуру, состоящую из нескольких слоев с различными механическими характеристиками, которые существенно зависят от направления укладки волокон, поскольку он изначально предназначен для однородных или изотропных материалов. Применение стандартного модуля значительно упрощает модель и структуру композитных материалов, что приводит к снижению точности и достоверности результатов расчетов при моделировании. Для корректного моделирования поведения композитных материалов требуется специализированное программное обеспечение, в котором возможно задать количество и направление укладки слоев, ориентацию волокон, межслойные взаимодействия, критерии прочности и т.д. В рамках настоящей статьи в качестве основного инструмента численного анализа использован модуль Ansys Composite PrepPost (далее – АСР). АСР – это специализированный модуль в ANSYS, который специально разработан для моделирования композитных материалов, позволяющий детально задавать многослойную структуру материала с указанием последовательности слоев, ориентации и типа армирования. Кроме того, модуль АСР обеспечивает возможность проведения draping-анализа – растяжения и смещения волокон при укладке на поверхности сложной формы, что крайне важно при изучении реальных процессов укладки композитных материалов, а также для точности при расчете прочности в реальных изделиях.

Возможности модуля АСР от стандартного модуля Mechanical в ANSYS значительно отличаются и представлены в таблице 1.

Таким образом, использование специализированного модуля АСР в ANSYS существенно повышает точность и достоверность численного моделирования поведения композитных материалов. Это достигается благодаря детальному учету послойной структуры композитов, ориентации волокон, особенностей межслоевого взаимодействия и разрушения. Особенно важным преимуществом модуля является способность моделировать и визуализировать по слоям поведение материала в условиях сложного термомеханического нагружения. В результате применение модуля АСР в ANSYS становится незаменимым инструментом для комплексных исследований и прогнозирования поведения композитных материалов и конструкций, позволяя более эффективно проектировать материалы и изделия, а также дает возможность более точно и рационально достичь необходимых показателей (характеристик) материала или конструкции.

Таблица 1. – Основные отличия модуля ACP и стандартного модуля Mechanical в ANSYS

Критерий	Модуль Mechanical	Модуль ACP
Основное назначение	Общий МКЭ-анализ конструкций	Специализированный анализ композитных материалов
Поддержка композитов	Ограниченная (вручную задаются ортотропные свойства)	Расширенная: послойное моделирование, ориентация волокон, толщина, последовательность
Интерфейс для послойной выкладки (layup)	Отсутствует специализированный интерфейс	Специализированный интерфейс для задания layup и ориентации волокон
Визуализация layup-схемы	Отсутствует	Есть
Поддержка нестандартной геометрии layup	Ограничена	Есть
Импорт траекторий выкладки волокон	Отсутствует	Есть
Массовый расчет layup-вариантов	Отсутствует	Есть
Draping-анализ (деформация ткани)	Отсутствует	Есть
Редактирование слоев	Отсутствует	Есть, включая шаблоны и многослойные материалы
Задание свойств по толщине	Упрощенное (единообразно)	Послойное задание толщины
Межслойные напряжения	Недоступны напрямую	Доступны и визуализируемы

В настоящей статье в ANSYS (бессрочная лицензия ANSYS Academic Associate Mechanical and CFD и ANSYS Mechanical Pro по договору от 19 сентября 2019 г. № 3286-2019-ГС) с применением специализированного модуля ACP был описан метод моделирования поведения при высокотемпературном воздействии профиля двутаврового, балочного, полимерного, размером $200 \times 100 \times 10$ мм и длиной 3000 мм, изготовленного методом пултрузии с использованием изофталевой смолы, непрерывно армированного стекловолокном, который соответствует требованиям EN13706-2:2002E¹ (далее – профиль). На рисунке 1 показана общая структура проекта ANSYS, моделирующего поведение профиля при высокотемпературном воздействии.

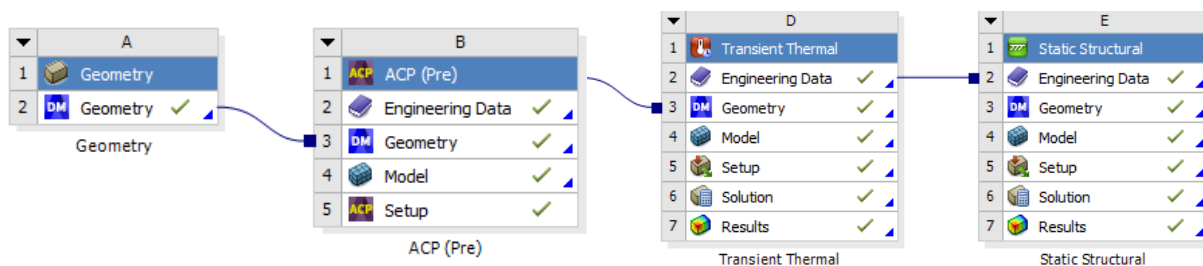
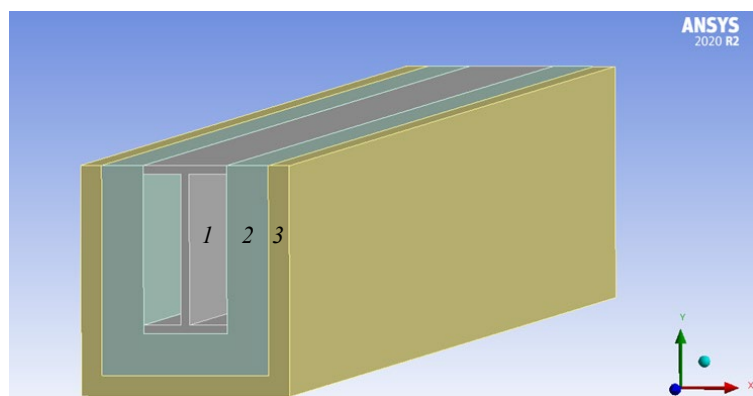


Рисунок 1. – Общая структура проекта ANSYS-модели поведения профиля

Моделирование поведения профиля включает: *Geometry* – создание геометрической модели профиля; *Engineering Data* – задание параметров материалов модели; *ACP* – настройка композитных слоев профиля; *Transient Thermal* – нестационарный тепловой расчет; *Static Structural* – прочностной расчет профиля.

На начальном этапе моделирования была создана геометрическая модель профиля с конструктивной огнезащитой и минеральной ватой, который ранее был исследован в работе [8] (рис. 2).

¹ Reinforced plastics composites – Specifications for pultruded profiles – Part 2: Methods of test and general requirements: EN 13706-2:2002; effect. 01.05.2003. – 40 p.



1 – профиль; 2 – минеральная вата; 3 – конструктивная огнезащита

Рисунок 2. – Геометрическая модель профиля с огнезащитой

Второй этап включал задание параметров материалов модели и послойной структуры профиля. В качестве материала использовался стеклопластик – композиционный материал, включающий волокна из Е-стекла, пропитанные термореактивной изофталевой смолой. Конструктивная огнезащита состояла из гипсовой армированной огнестойкой плиты толщиной 25 мм и минеральной ваты.

Для более точного моделирования поведения профиля в условиях реального нагружения на третьем этапе была реализована послойная структура слоев. Укладка волокон выполнялась с различной ориентацией, позволяющей воспринимать нагрузки по всем основным направлениям. Схемы укладки слоев для различных элементов конструкции заданы следующим образом: полка профиля $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/90^\circ]$ – симметричная укладка с шестью слоями толщиной 0,25 мм каждый, обеспечивающими сопротивление как нормальным, так и касательным напряжениям; стенка профиля: $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ – толщина каждого из шести слоев 0,25 мм, обеспечивающих усиление по вертикальной оси и устойчивость к расслоению. Координатные системы укладки волокон были заданы индивидуально для каждого участка конструкции, что критически важно при наличии сложной формы сечения и различной ориентации армирования. После формирования послойной структуры она была применена к соответствующим телам геометрии: полкам и стенке. Таким образом, каждая часть конструкции получила свою уникальную послойную структуру (рис. 3).

В модуле ANSYS Meshing выполнялась генерация конечной элементной сетки с типом элемента Shell и шагом 5 мм, подходящим для моделирования тонкостенных композитных оболочек.

На четвертом этапе выполнялся нестационарный тепловой расчет профиля, необходимый для определения температурных полей в различные моменты времени. В модели принят трехсторонний прогрев профиля с огнезащитой, температура на обогреваемых сторонах огнезащиты изменялась в соответствии с температурой стандартного пожара:

$$T_f = T_0 + 345 \cdot \lg(8t + 1), \quad (1)$$

где t – время нагрева, мин;

$T_0 = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура;

345°C и 8 мин^{-1} – размерные коэффициенты.

При выполнении четвертого этапа заданы граничные условия, которые идентичны граничным условиям при проведении полномасштабных экспериментальных исследований [8] и показаны на рисунке 4.

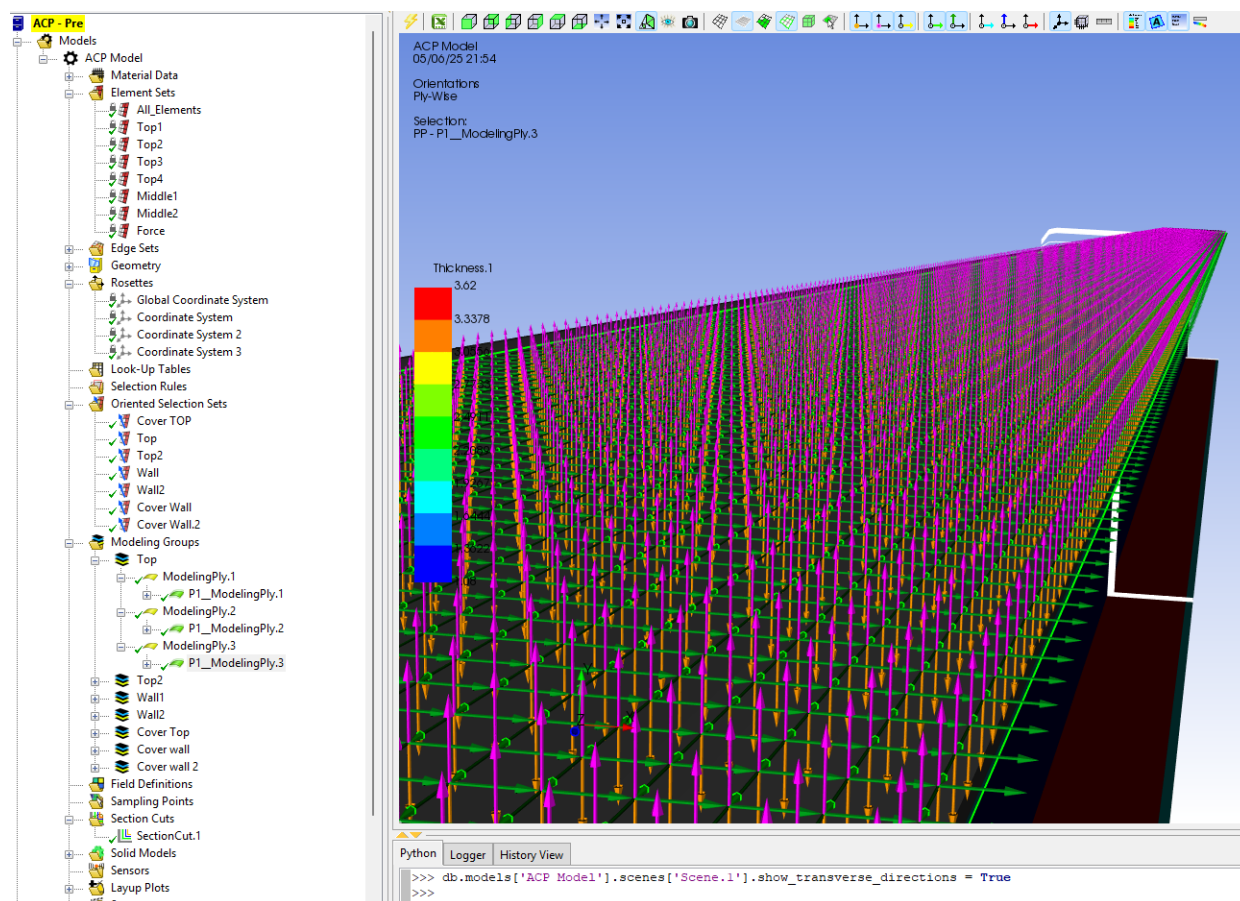


Рисунок 3. – Схема проекта в модуле ACP, а также визуализация направления слоев на полке профиля

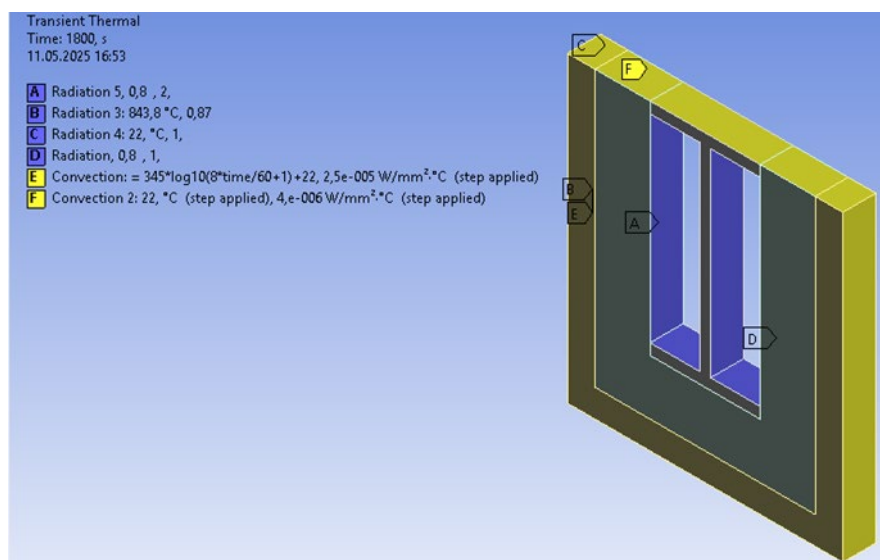


Рисунок 4. – Представление граничных условий задачи теплообмена в ANSYS

Перенос теплоты от обогреваемой поверхности огнезащиты к профилю осуществлялся теплопроводностью через короб огнезащиты и излучением с необогреваемой поверхности на поверхность двутавра. Тепловые свойства материалов огнезащиты и профиля принимались согласно ранее полученным экспериментальными и теоретическими данным [7–8; 13–14]. Далее рассчитанные температурные поля (рис. 5) импортированы в прочностной модуль, где на их основе рассчитывалось напряженно-деформированное состояние профиля на протяжении временного интервала высокотемпературного воздействия.

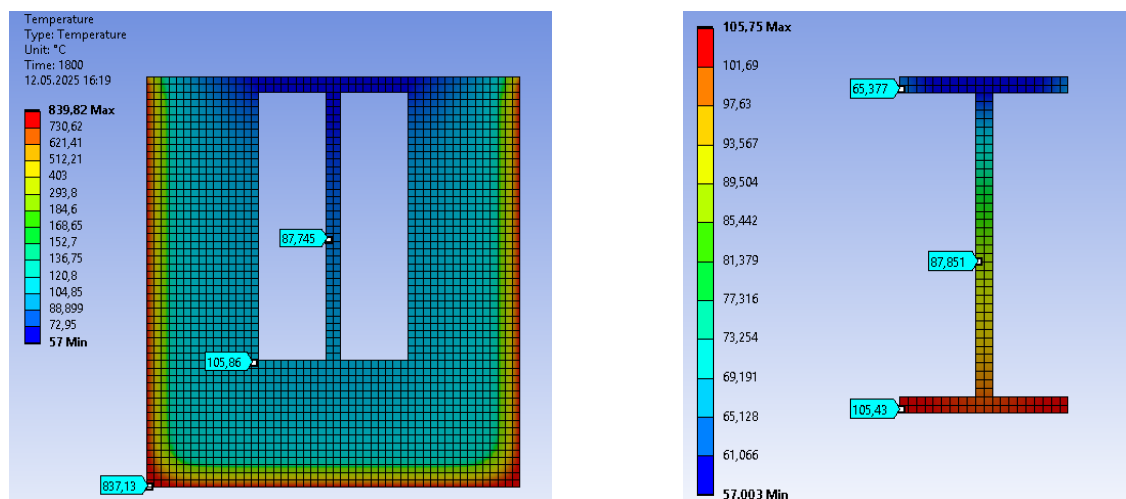


Рисунок 5. – Температурное поле профиля с конструктивной огнезащитой и минеральной ватой на 30-й мин моделирования

В экспериментальных исследованиях [8] конструктивная огнезащита не получила видимых повреждений, поэтому при расчете напряженно-деформированного состояния профиля она не учитывалась, а только была добавлена ее собственная масса к нагрузке, приложенной к профилю. Согласно схеме нагружения (рис. 6), использованной ранее при проведении экспериментальных исследований [8] и граничных условий для теплообмена (рис. 4) проведен расчет напряженно-деформированного состояния за весь временной интервал нагрева профиля.

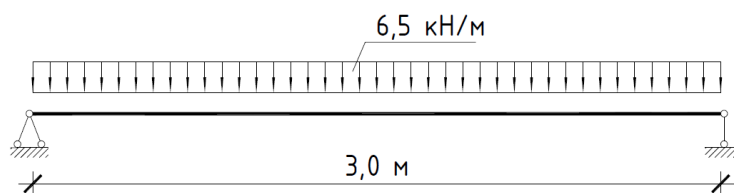


Рисунок 6. – Схема приложения нагрузки на профиль

Для построения модели поведения профиля под нагрузкой с учетом температуры нагрева профиля была использована диаграмма деформирования материала, включающая модуль упругости и предел прочности при нормальных условиях и коэффициенты из таблицы 2, полученные ранее в исследованиях [9; 14]:

$$\sigma_c(T) = \gamma_{ct} \sigma_{c_0}; \quad E_c(T) = \beta_{ct} E_{c_0}, \quad (1)$$

где $\sigma_c(T)$ – предел прочности при нагреве, МПа;

γ_{ct} – коэффициент снижения предела прочности материала;

σ_{c_0} – предел прочности при нормальных условиях (20 °C), МПа;

$E_c(T)$ – модуль упругости при нагреве, ГПа;

β_{ct} – коэффициент снижения начального модуля упругости материала;

E_{c_0} – модуль упругости при нормальных условиях (20 °C), ГПа.

Уравнение (2) используется для моделирования упруго-пластического поведения материала в среде ANSYS. Коэффициенты в уравнении (2) зависят от температуры и определяются экспериментально. Для рассматриваемого полимерного материала (наполнитель – стекловолокно) предел прочности и модуль упругости с ростом температуры будет уменьшаться в связи с расплавлением связующего и уменьшением прочности стекловолокна. Для этого необходимо задать прочностные и упругие характеристики материала и температуру нагрева профиля. Построение требуемых диаграмм в ANSYS осуществляется в автоматическом режиме.

Таблица 2. – Результаты экспериментальных прочностных испытаний [14]

Температура, °С	Прочность материала профиля при растяжении вдоль волокон, МПа	Коэффициент γ_{ct}	Модуль упругости материала профиля при растяжении вдоль волокон, ГПа	Коэффициент β_{ct}
20	380,0	1	9,0	1
60	350,0	0,92	8,4	0,93
80	320,0	0,84	7,8	0,87
100	290,0	0,76	6,7	0,74
150	240,0	0,63	6,3	0,70

В результате проведения прочностного расчета в ANSYS было установлено (рис. 7), что напряженно-деформированное состояние профиля с конструктивной огнезащитой при заданных температурных воздействиях соответствует результатам, полученным ранее при проведении полномасштабных экспериментальных исследований. Эти результаты подтверждают достоверность предложенной модели, а также ее применимость для прогнозирования огнестойкости аналогичных конструкций без проведения натурных огневых испытаний.

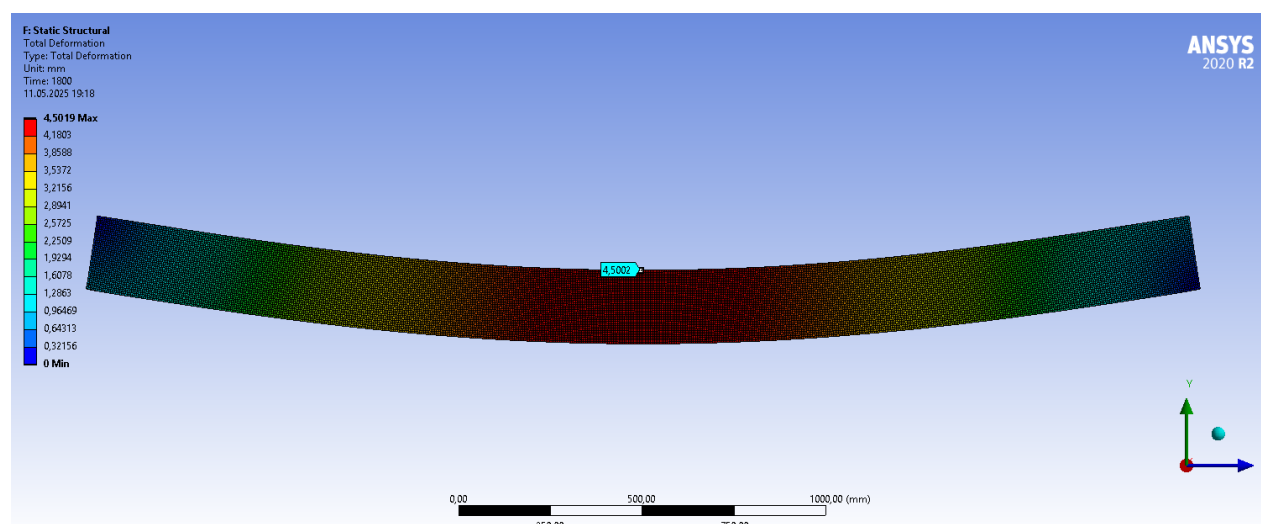


Рисунок 7. – Результат моделирования прогиба профиля

Как видно из рисунка 5, в результате моделирования среднее значение температуры профиля через 30 мин нагрева составило 87 °С, что говорит о хорошей сходимости с имеющимися экспериментальными данными по результатам двух испытаний, где среднее значение температуры профиля не превысило 85 и 83 °С. Максимальный прогиб по результатам моделирования составил 4,5 мм (рис. 7) и оказался близким к ранее полученным экспериментальным значениям максимального прогиба профиля – 4,0 и 4,3 мм [8]. Разница между расчетными и экспериментально полученными данными не превысила 12,5 %.

Заключение

Разработан научно обоснованный и экспериментально валидированный метод моделирования поведения стеклопластикового профиля при высокотемпературном воздействии в программном комплексе ANSYS с использованием модуля ACP. Учтены температурно-зависимые характеристики прочности и модуля упругости, а также реализована послойная структура композита с ориентацией армирующих волокон. Результаты моделирования сопоставлены с экспериментальными данными, и разница между расчетными и экспериментально полученными данными не превысила 12,5 %, что подтверждает достоверность и применимость созданной модели. Разработанный метод может использоваться для оценки огнестойкости и проектирования конструкций из полимерных материалов без проведения натурных испытаний. Полученные данные представляют практическую ценность и могут быть использованы для прогнозирования поведения полимерных конструкций и/или аналогичных

конструкций при пожаре работниками как Министерства по чрезвычайным ситуациям, так и Министерства архитектуры и строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкода, И.В. Физическое и численное моделирование стальных и сталежелезобетонных конструкций из труб: монография / И.В. Шкода, П.А. Хазов, А.П. Помазов [и др.]. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – 135 с. – EDN: UYZEOS.
2. Полевода, И.И. Прочностной и теплотехнический расчеты инженерных конструкций методом конечно-элементного моделирования в программном комплексе ANSYS: учебно-методическое пособие / И.И. Полевода А.Н. Камлюк, В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич. – Минск: Изд-во Колоград, 2024. – 275 с.
3. Полевода, И.И. Моделирование поведения железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном в программном комплексе ANSYS / И.И. Полевода, Н.В. Зайнудинова // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 385–391. – DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385. – EDN: ZRKOZD.
4. Полевода, И.И. Определение пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона с применением компьютерного моделирования в ANSYS / И.И. Полевода // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 42–57. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.42. – EDN: EJENKP.
5. Агафонова, В.В. Численное моделирование при оценках огнестойкости стальных конструкций с применением огнезащиты из вермикулитовых плит / В.В. Агафонова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 8 (145). – С. 173–177. – EDN: RAJJDL.
6. Бардин, А.В. Огнестойкость металлоконструкций на примере метода численного моделирования / А.В. Бардин, О.Ю. Сударь // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 8 (35). – С. 36–47. – EDN: UZMYVN.
7. Басакович, И.А. Огнезащитная эффективность гипсовых плит Knauf Fireboard для вертикальных стальных профилей различного сортамента / И.А. Басакович, С.С. Ботян, С.М. Жамойдик [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 268–282. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268. – EDN: JCWJCS.
8. Кудряшов, В.А., Экспериментальные исследования огнестойкости полимерных композитных конструкций с огнезащитой / В.А. Кудряшов, И.И. Полевода, А.С. Дробыш, А.М. Соловьянчик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 1 (21). – С. 25–29. – EDN: TKPYGZ.
9. Ширко, А.В. Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия / А.В. Ширко, А.Н. Камлюк, А.В. Спиглазов, А.С. Дробыш // Механика машин, механизмов и материалов – 2015. – № 2 (31). – С. 59–65. – EDN: TWAIHN.
10. Ширко, А.В. Прочностной расчет методом конечных элементов бетонной плиты перекрытия, армированной композитной арматурой, при пожаре / А.В. Ширко, А.Н. Камлюк, А.С. Дробыш, А.В. Спиглазов // Инженерно-физический журнал – 2017. – Т. 90, № 3. – С. 742–751. – EDN: ZBQOIZ.
11. Ширко, А.В. Анализ теплотехнических характеристик бетонных плит, армированных стальными и композитными стержнями, в программной среде ANSYS / А.В. Ширко, А.Н. Камлюк, И.И. Полевода, А.С. Дробыш // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – № 2 (10). – С. 110–118.
12. Камлюк, А.Н. Влияние теплового воздействия пожара на механические свойства композитной арматуры / А.Н. Камлюк, А.В. Ширко А.В. Спиглазов, А.С. Дробыш // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 4–11. – EDN: UHNCAD.
13. Schleifer, V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall: dissertation ETH Nr. 18156 / Vanessa Schleifer. – Zürich, 2009. – 147 s. – DOI: 10.3929/ethz-a-005771863.
14. Кудряшов, В.А. Результаты экспериментальных исследований огнестойкости полимерных композитных материалов, армированных стекловолокном / В.А. Кудряшов, А.С. Дробыш, А.М. Соловьянчик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 1 (21). – С. 17–24. – EDN: TKPYGP.

**Метод моделирования поведения стеклопластикового профиля
при высокотемпературном воздействии в программно-
вычислительном комплексе ANSYS**

**Method of simulation of fibreglass profile behaviour under high-temperature impact
in ANSYS software-computing complex**

Дробыш Антон Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел научной
и инновационной деятельности,
начальник отдела

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: aantox@mail.ru

SPIN-код: 3169-0097

Anton S. Drobysh

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Scientific and Innovation Activity,
Head of Department

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: aantox@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9528-3108

METHOD OF SIMULATION OF FIBREGLASS PROFILE BEHAVIOUR UNDER HIGH-TEMPERATURE IMPACT IN ANSYS SOFTWARE-COMPUTING COMPLEX

Drobysh A.S.

Purpose. To develop a scientifically substantiated and experimentally validated method for modelling the behaviour of a fibreglass I-beam profile with structural fire protection under the high-temperature effect of fire, taking into account changes in its stress-strain state, in the ANSYS software-computing complex.

Methods. Analysis, modelling, comparison of existing results of experimental and theoretical research on the subject under study.

Findings. Application of ANSYS Composite PrepPost (ACP) module for numerical modelling of building structures made of composite materials under high-temperature conditions is considered. The stages of construction of geometrical model of fibreglass I-beam profile, determination of properties of multilayer composites and heat and mechanical calculation are described. The results of the simulation were compared with experimental data, confirming the high accuracy of the method for simulating the behavior of fiberglass I-beams.

Application field of research. Design and construction of buildings and structures using polymer composite (fibreglass) materials and structures.

Keywords: composite materials, fibreglass, simulation, finite element method, fire resistance, fire protection, experimental studies.

(The date of submitting: April 10, 2025)

REFERENCES

1. Shkoda I.V., Khazov P.A., Pomazov A.P., Sitnikova A.K., Kozhanov D.A. *Fizicheskoe i chislennoe modelirovanie stal'nykh i stalezhelezobetonnykh konstruksiy iz trub* [Physical and numerical simulation of steel and reinforced concrete structures made of pipes]: monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2023. 135 p. (rus). EDN: UYZEOS.
2. Palevoda, I.I. Prochnostnoy i teplotekhnicheskoy raschety inzhenernykh konstruksiy metodom konechno-elementnogo modelirovaniya v programmnom komplekse ANSYS [Strength and thermal engineering calculations of engineering structures using finite element simulation in the ANSYS software package]: study guide. Minsk: Kolograd, 2024. 275 p. (rus)
3. Polevoda I.I., Zaynudinova N.V. Modelirovanie povedeniya zhelezobetonnykh predvaritel'no napryazhennykh plit bez stsepleniya armatury s betonom v programmnom komplekse ANSYS [Modelling of the behavior of concrete slabs with unbonded reinforcement in the ANSYS program complex]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 4. Pp. 385–391. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385. EDN: ZRKOZD.
4. Polevoda I.I. Opredelenie predelov ognestoykosti sovremennykh stroitel'nykh konstruksiy iz zhelezobetona s primeneniem komp'yuternogo modelirovaniya v ANSYS [Determination of fire resistance limits for modern reinforced concrete building structures using computer simulation in ANSYS]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 1. Pp. 42–57. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.42. EDN: EJENKP.
5. Agafonova V.V. Chislennoe modelirovanie pri otsenkakh ognestoykosti stal'nykh konstruksiy s primeneniem ognezashchity iz vermikulitovykh plit [Computational modeling during assessment of fire resistance of steel constructions with the use vermiculite fire protection]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013. No. 8. Pp.173–177. (rus). EDN: RAJJDL.
6. Bardin A.V., Sudar' O.Yu. Ognestoykost' metallokonstruksiy na primere metoda chislennogo modelirovaniya [Fire resistance numerical modeling on the example of metal structures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 8 (35). Pp. 36–47. (rus). EDN: UZMYVH.
7. Basakovich I.A., Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyayev V.A., Palevoda I.I. Ogneshchitnaya effektivnost' gipsovykh plit Knauf Fireboard dlya vertikal'nykh stal'nykh profiley razlichnogo sortamenta [Knauf Fireboard fire protection efficiency for vertical steel profiles of various cross section shapes]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 268–282. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268. EDN: JCWJCS.

8. Kudryashov V.A., Palevoda I.I., Drobysh A.S., Solov'yanchik A.M. Eksperimental'nye issledovaniya ognestoykosti polimernykh kompozitnykh konstruktсий s ognezashchitoy [Experimental researches fire resistance of polymer composite structures with fire protection]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (21). Pp. 25–29. (rus). EDN: TKPYGZ.
9. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Spiglazov A.V., Drobysh A.S. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv kompozitnoy armatury s uchetom temperaturnogo vozdeystviya [Composite reinforcement strength and stiffness analysis in temperature view]. *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2015. No. 2 (31). Pp. 59–65. (rus). EDN: TWAIDH.
10. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Drobysh A.S., Spiglazov A.V. Strength and stiffness analysis by the finite-difference method of a concrete floor slab reinforced with composite rods during a fire. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2017. Vol. 90, No. 3. Pp. 705–714. DOI: 10.1007/s10891-017-1618-6. EDN: YDLCFP.
11. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Palevoda I.I., Drobysh A.S., Analiz teplotekhnicheskikh kharakteristik betonnykh plit, armirovannykh stal'nymi i kompozitnymi sterzhnyami, v programmnoy srede ansys [Analysis of thermal engineering characteristics of concrete slabs, reinforced with steel and composite rods, in the ANSYS software environment]. *Emergency Situations: Education and Science*. – 2015. No. 2 (10). Pp. 110–118. (rus)
12. Kamlyuk A.N., Shirko A.V., Spiglazov A.V., Drobysh A.S. Vliyanie teplovogo vozdeystviya pozhara na mekhanicheskie svoystva kompozitnoy armatury [Influence of thermal effects of fire on mechanical properties composite reinforcement]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2015. No.2 (22). Pp. 4–11. (rus). EDN: UHHCAD.
13. Schleifer V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall [For the behaviour of room-closing multi-layer wood components in case of fire]: Dissertation ETH Nr. 18156. Zürich, 2009. 147 s. (deu). DOI: 10.3929/ethz-a-005771863.
14. Kudryashov V.A., Drobysh A.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy ognestoykosti polimernykh kompozitnykh materialov, armirovannykh steklovoloknom [Results of experimental researches fire resistance of polymer composite materials reinforced with fiberglass]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2015. No. 1 (21). Pp. 17–24. (rus). EDN: TKPYGP.

Copyright © 2025 Drobysh A.S.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.