Студенческий научный электронный журнал
StudArctic Forum

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://saf.petrsu.ru **http://petrsu.ru**

Издатель
ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Студенческий научный электронный журнал

StudArctic Forum

http://saf.petrsu.ru

№ 4(8), 2017

Главный редактор
И. В. Савицкий

Редакционный совет
С. Б. Васильев
Г. Н. Колесников
А. Н. Петров

Редакционная коллегия
М. И. Зайцева
А. Ю. Борисов
Т. А. Гаврилов
А. Ф. Кривоноженко
Е. И. Соколова
Л. А. Девятникова
Ю. В. Никонова
Е. О. Графова
А. А. Кузьменков
Р. В. Воронов
М. И. Раковская

Службы поддержки
А. Г. Марахтанов
А. А. Чалкин
Э. М. Осипов
Е. П. Копалева

ISSN 2500-140X

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: saf@petrsu.ru
http://saf.petrsu.ru

© ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет», 2012

Студенческий научный электронный журнал
StudArctic Forum

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://saf.petrsu.ru **http://petrsu.ru**

Архитектура

ЭТФЭ (этилен-тетрафторэтилен) – полимер нового поколения

ОКОРОКОВА Мария Алексеевна — *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, okorokova.mashulya@mail.ru*

СТЕШЕНКО Дарья Юрьевна — *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, steshenkodashka@mail.ru*

Ключевые слова:
полимер; фторорганические полимеры; фторполимеры; фторопласты; ETFE; 3D-модель;

Аннотация:
В статье рассмотрены свойства инновационного полимера, которые позволили ему завоевать нынешние позиции в строительстве. За последние десятилетия ряд стран синтезировал новые виды полимеров, но работ, посвященных изучению их свойств, на данный момент не так много, хотя фторорганические полимеры активно используются в разных областях промышленности. В статье также представлены примеры проектов, в которых был использован ЭТФЭ (этилен тетрафторэтилен), придающий строениям футуристический облик. Это известные в мире сооружения, выбор материалов для которых является обоснованным и выигрышным. Сделан обзор рынка России, выявляющий характерные черты использования фторполимеров. Также построена 3D-модель здания, в конструкции крыши которого использован ЭТФЭ, что дает визуальное представление подобных конструкций.

Основной текст

Введение

Строительство – один из таких видов деятельности человека, который требует основательных практических и теоретических знаний во многих областях, предполагает интеграцию ряда наук. Развитие строительной отрасли возможно благодаря внедрению научных достижений, инноваций в отраслях промышленности. ЭТФЭ – инновационный материал, способный повысить качество и эффективность проектируемых зданий и сооружений [1-4].

В 1938 году американская химическая компания DuPont (Дюпон) впервые синтезировала политетрафторэтилен (тефлон), который обладал очень низким поверхностным натяжением и адгезией (липучестью), а также превосходной химической стойкостью [5]. Появление PTFE (polytetrafluoroethylene) открыло путь для развития других фторполимеров, в том числе и сополимера этилена и тетрафторэтилена ETFE. В начале 1970-х годов компании Dupont и Hoechst (немецкая химическая компания) представили первую коммерчески экструдированную ETFE фольгу под торговыми марками TEFZEL© и Hostaflon© соответственно. Высокая прочность при растяжении, сопротивление разрыву, великолепная прозрачность и огнестойкость, стабильность в широком интервале температур, изолирующие свойства означали, что новый полимерный материал идеально подходит не только для нужд таких отраслей, как авиация и космонавтика, но и для воплощения в жизнь архитектурных идей [6]. В 1981 году немецкому инженеру-архитектору Стефану Ленерту, основателю Vector Foiltec, удалось изобрести такую технику сварки листов ETFE, которая сделала возможным дальнейшее развитие применения сополимера в строительстве и системе ограждающих конструкций [7,8].

Полимер нового поколения обладал огромным потенциалом, и более того, к началу XXI века ETFE стал невероятно популярен [9, 10] в качестве материала для облицовки зданий [11-13].

Обзор литературы

В течение 1970-2000-х гг. в различных странах был синтезирован ряд фторорганических полимеров, сополимеров, поликонденсатов [14]. Более того, были изготовлены и некоторые привитые фторсодержащие сополимеры. Тем не менее, процесс развития производства и использования фторорганических пластмасс (фторопластов в России) еще нельзя считать законченным.

Чтобы разобраться в полученных результатах, систематизировать имеющиеся знания и выявить пути дальнейшего развития, необходимо собрать информацию о свойствах фторорганических веществ. В настоящее время существует не так много работ, посвященных изучению свойств фторорганических соединений, а также причин, их обусловливающих. Кроме того, представления, высказанные в этих работах, часто являются диаметрально противоположными друг другу или поверхностными.

Обычно специфические свойства исследуемых соединений являются, в общем, одинаковыми, что объясняется особым положением фтора в периодической таблице элементов Менделеева. Среди элементов второго периода фтор имеет наиболее высокий заряд. Из элементов седьмой группы фтор имеет наименьший атомный объем, так как электронами занят только слой L. В результате этого фтор обнаруживает стремление дополнить валентный электрон и приобрести свойства инертного газа.

Понять свойства фторорганических соединений помогают также исследования вращающихся, колебательных, электронных спектров, которые отражают свойства молекул. Структура соединений может помочь найти объяснение некоторых таких свойств, которые с других точек зрения остаются непонятными. Кроме свойств самих молекул, важное значение имеют также свойства агрегатов молекул, потому что именно силы связи между молекулами оказывают влияние на многие основные свойства материалов, например, на агрегатное состояние материала и зависимость его от температуры, растворимость в различных растворителях, поверхностное натяжение и вязкость материала [15,16].

Работу по изучению свойств соединений фтора [17], фторорганических полимеров и систематизации полученных знаний проделали М. Лазар [18], Д.Д. Чегодаев, З. К. Наумова [19], А. К. Пугачев [20] в России. Разработкой методов исследования физико-механических свойств полимеров занимались Г.В. Моторин, С.В. Гончаров, А.Т. Тарасенко, В.А. Иванов [21], методов переработки отходов производства фторполимеров и вторичного использования – С.В. Хитрин, С.Л. Фукс, В.Ю. Филатов [22-26]. Исследование теплофизических свойств провели Н.А. Адаменко, Г.В. Агафонова, А.Э. Герасимук, Е.И. Гончарова из Волгоградского государственного технического университета [27]. Также изучением свойств фторполимеров и областей их применения занимались А.В. Чесноков [28-30], В.В. Ермолов, У.У. Бэрд, У. Бубнер, С.Б. Вознесенский [31, 32] За рубежом вопросом рационального использования полимера занимались Дэвид Бэшфорд, который проанализировал рынок термопластов, предложенных для коммерческого использования [33]; Ф. Отто, Р. Тростель, представляя новый материл с описанием типов пневматических конструкций [34].

Ранее изделия из фторполимеров использовались в радиотехнической промышленности в качестве печатных проводов, создания конденсаторов, изоляции электродвигателей, трансформаторов [35-37]; в химической промышленности – для перекачивающей арматуры, насосов, футеровки трубопроводов, реакторов, цистерн для хранения агрессивных сред, для уплотнений для разделения сред [38]; в машиностроении, приборостроении [39-42], в судостроении, авиастроении [43] – в качестве деталей трения с низким коэффициентом трения, работающих без смазки при высоких, криогенных температурах и в вакууме, для создания защитных покрытий на поверхности трения [44], в уплотнительной технике [45]; в медицине [46-48] – как каркасный материал в пластике мышечного дефекта [49], как материал для имплантатов [50], для замещения дефектов мышечной ткани у лиц, страдающих пороками развития мягких тканей или дефектами их вследствие перенесенных заболеваний и травм [51]; в нефтегазовой промышленности – для химической защиты оборудования [52], в бытовой промышленности - при изготовлении бытовых приборов и электротехники [53,54], и, наконец, благодаря совершенствованию технологических процессов, область применения материала распространилась и на строительство, где фторполимеры используют сегодня для наружных покрытий зданий, сооружений, облицовки стен, кровли [55-57], а также для сейсмоизоляции зданий и сооружений [58-61], защиты металлов от коррозии, производства противообрастающих покрытий [62] и т.д.

Цели и задачи

Цель - определить основные достоинства материала для применения его в строительной отрасли в качестве элемента ограждающих конструкций.

Задачи:

1. Проанализировать опыт использования ETFE в реализованных проектах.
2. На основе анализа литературы выявить известные достоинства и недостатки ETFE как материала для ограждающих конструкций.
3. Определить основные области использования фторполимеров в России.
4. Показать возможность построения архитектурной 3D-модели конструкции с использованием ETFE для дальнейшего расчета этой модели.

Основная часть

О проектах с применением ETFE

Кристаллический сополимер этилена с тетрафторэтиленом, за рубежом именуемый ETFE, – это полимерная пленка, легкая и одновременно очень прочная [63]. В связи с тем, что рассматриваемый материал стал обретать популярность только в начале XXI века, о результатах его применения мы можем судить, анализируя последние грандиозные и запоминающиеся проекты, в которых он использовался.

Олимпийский стадион «Фишт» - стадион города-курорта Сочи, который был построен к XXII зимним Олимпийским играм в Сочи в 2014 году. Он расположен в Адлере, в Олимпийском парке. В конструктивном отношении Центральный стадион (стадион Фишт) состоит из 6-ти этажного здания с трибунами и подтрибунными помещениями, запроектированными в монолитном железобетонном каркасе, и металлического большепролетного покрытия над трибунами [64].

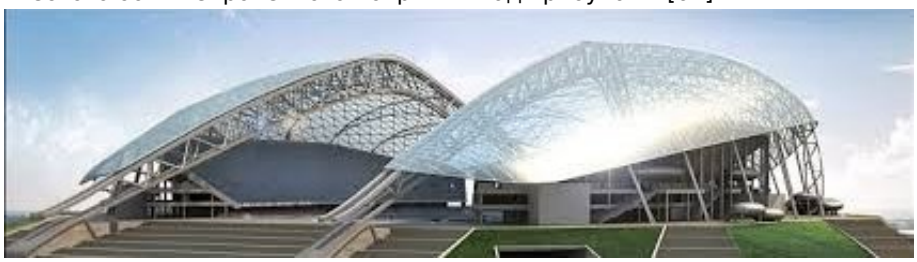

Рисунок 1. Архитектурный облик центрального олимпийского стадиона [64]

В проекте стадиона из материала ETFE (по технологии Texlon) были выполнены пневматические мембраны-подушки, заключенные в алюминиевые профили и поддерживаемые легкой несущей конструкцией. Для обеспечения должного уровня теплоизоляции и сопротивляемости внешним нагрузкам, внутрь пневматических мембран-подушек под низким давлением периодически нагнетается воздух. Регулирование давления поступающего воздуха позволяет управлять светопроницаемостью системы. Высокая скорость монтажа сборной конструкции Texlon® актуальна в условиях сжатых сроков Олимпийского строительства [65]. Большую роль здесь играют и атмосферостойкость и грибостойкость материала; его механические свойства в меньшей степени зависят от температур, чем, например, свойства PTFE (политетрафторэтилен), что немаловажно, учитывая климатические условия.

Следующий проект - пекинский национальный плавательный комплекс, известный также как Водяной куб (Китай, 2008). Был построен к Олимпиаде 2008 года в Пекине. Центр расположен в Олимпийском парке рядом с Пекинским национальным стадионом «Птичье гнездо». В его конструкции также были использованы элементы, внешне напоминающие кристаллическую решетку из водных пузырьков, которые, однако, обладают высокой прочностью и небольшой удельной массой [66].

Рисунок 2. Пекинский национальный плавательный комплекс [68]

На пленку ETFE, выполненную в виде воздушных подушек площадью 70-80 кв. м, были нанесены металлизированные точки различного диаметра, призванные уменьшить световой поток. В подушки постоянно подается воздух для поддержания давления. В трех метрах от подушек установлен подвесной потолок – еще один слой фторполимера. В пространстве между внешней конструкцией и потолком происходит терморегулирование: летом излишки тепла выпускаются наружу, а зимой разогретый воздух подается для отопления помещений Водного Куба. Китайский проект разрабатывался как демонстрация возможностей, где не ставилось целей конкретного массового использования. Анализ различных конструкций показал, что наилучшим решением для перекрытия водных объектов будет такая светопрозрачная конструкция [67]. При выборе материала ETFE учитывалась также его возможность изменять цвет и интенсивность проникающего в помещение света, что обеспечивало специфические нужды мероприятий.

Легкость, прочность и безопасность пластика – особенно важные свойства, которые сыграли решающую роль в выборе ETFE для реализации проекта «Эдем» (называемого также «Райский сад») [68]. Это ботанический сад, расположенный в графстве Корнуолл в Великобритании, который включает в себя оранжерею из нескольких геодезических куполов-биомов.

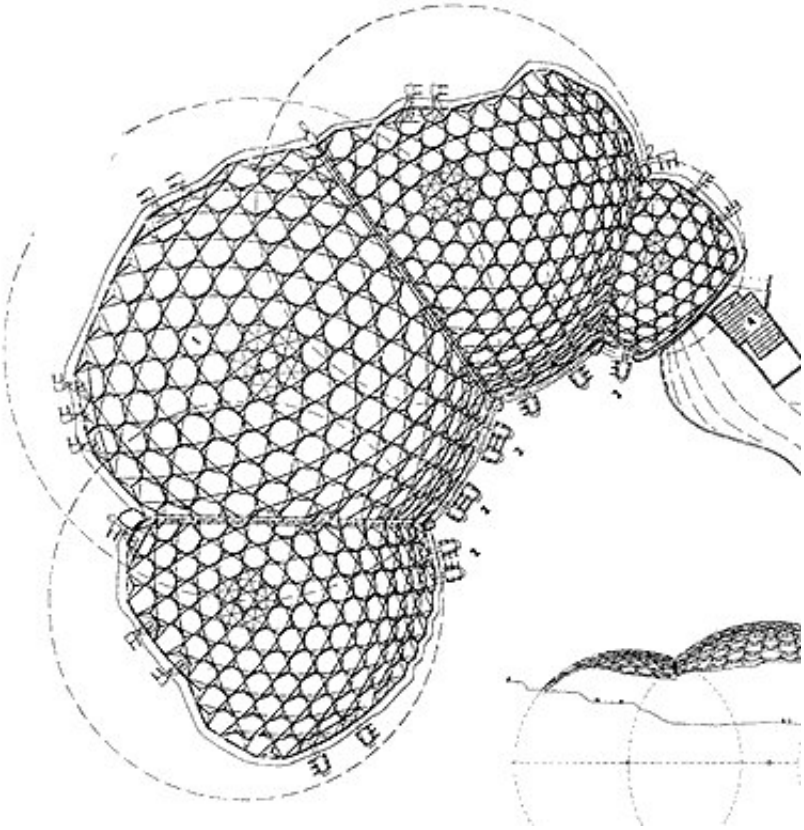

Рисунок 3. Проект «Эдем» [68]

Геодезические купола имеют каркас из стальных труб, образующих шестиугольные рамы с наружными панелями из термопластика ETFE (этилентетрафторэтиленовых «подушек»). Диаметр стальных трубок, из которых состоит каркас, всего 193 мм — филигранная структура похожа на паучью сеть. От использования стекла было решено отказаться из-за его веса (конструкция из фторполимера весит 1% от веса стекла) и потенциальной опасности. Наружные панели изготовлены из многослойной пленки (прозрачной фольги) ETFE, пропускающей ультрафиолетовые лучи. По сравнению со стеклом ETFE стоит вдвое меньше, имеет лучшие качества температурной изоляции и пропускает больше ультрафиолета, что для растений чрезвычайно важно. Таким образом, ETFE является ценным материалом для строительства оранжерей, зимних садов, спортивных комплексов. Еще одно достоинство материала – устойчивость к загрязнениям, которые просто смываются дождем [69].

Дальнейшее развитие технологий в Европе идет в направлении создания многослойных форм мембранных конструкций, обладающих свойствами полноценной тепло- и звукоизоляции, а также конструкций, использующих солнечную энергию. Материал ETFE - это эффективное и экономичное решение для ограждающих конструкций в сегодняшней архитектуре [70,71], которая развивается в направлении футуризма и рационализма. Тем не менее, ETFE не стоит применять в тех местах, где существует опасность его повреждения острыми предметами, срок его эксплуатации – 25 лет, а также он нуждается в непрерывном высококачественном инженерном обеспечении, что включает автоматизированную систему по управлению заполнения панелей воздухом, вентиляцию, освещение.

Сополимеры в России.

Работы по получению фторсодержащих полимеров в России начались еще во времена СССР сразу после окончания Великой Отечественной Войны. В Научно-исследовательском институте полимеризованных пластиков (НИИПП) уже в 1947 году начали создавать опытные образцы полимеров (руководил деятельностью профессор С.Н. Ушаков) [72]. Было налажено производство политетрафторэтилена, который назывался фторопластом-4 (Ф4), политрифторхлорэтилена (фторопласт-3, Ф3) и других опытных образцов, включая различные сополимеры [73-77].

Сегодня фторопласты выпускаются многими производителями, но их использование в России отличается от использования фторполимеров в Европе [78,79]. В таблице ниже приведены данные о компаниях-производителях, выпускаемом ими продукте и областях его применения на сегодняшний день.

Таблица № 1. Области применения фторопластов в России.

Компания-производитель	**Продукт**	**Область применения**
ОАО «ГалоПолимер» (г. Кирово-Чепецк, г.Пермь)	Фторопласт-4 Фторопласт-4А Фторопласт-4Д Фторопласт-4М Фторопласт-4ТГ	Практически во всех отраслях промышленности в качестве изоляции для проводов, материала для трубопроводов, форм для отливки, защитных покрытий и т.д.
	Суспензии (водные) Ф-4Д, Ф-4ДВ, Ф-4ДПУ, Ф-4ДП, Ф-4ДУ, Ф-40Д	Изготовление антипригарных тефлоновых покрытий методам распыления и роликовой накатки (в производстве посуды); дл антикоррозионной, антиадгезионной и антифрикционной защиты металлов, кроме меди и сплавов на ее основе; при изготовлении лакоткани; для набивочных шнуров (суспензия качестве сухой смазки); для изготовления металлофторопластовых подшипников.
	Готовые изделия из фторопластов	Электротехническая отрасль – диэлектрики, лакоткани, изоляционные трубки из фторопласта. химическая промышленность – трубы, емкости, насосн оборудование, посуда; пищевое производство – формы, транспортерные ленты т.п.; машиностроение – втулки, кольца, прокладки, стержн листы из фторопласта и др.
ЗАО "Фторопластовые технологии" (г. Санкт-Петербург, г. Москва)	Фторопластовые пластины, стержни из фторопласта, кольца и втулки из фторопласта -4	Использование в качестве прокладочного и футеровочного материала; уплотнений и электроизоляционных, антифрикционных и химически стойких элементов в конструкциях для различных отраслей промышленности; для изготовления различных заготовок.
	Фторопластовый уплотнительный материал (ФУМ)	Служит в качестве прокладок для неподвижных уплотнений и сальниковых набивок в насосах и арматуре, работающих при повышенных температурах и агрессивных средах.
	Фторопластовые ленты и пленки	Электротехническая, радиоэлектронная отрасли промышленности, приборостроение, использующие пленочны материалы для производства кабелей, конденсаторов, а такж для изготовления прокладочных, уплотнительных и облицовочных материалов.
	Профили из Ф4 и фторопластовых композиционных материалов	Применяются под направляющие станков, столов для сборки, пластиковых окон и дверей, для уплотнения корпусов роторо машин, изготовление наполнителей в химических реакторах, десорберах (создание фильтров) и т.п.
	Фторопластовые кубики	Используются для сушки гомогенных масс (крови, химически реактивов, модификаторов)
	Фторопластовые трубки и трубы	Используются для изготовления теплообменников, рукавов и шлангов; для изготовления шлангов, армированных металлической оплеткой и предназначенных для транспортировки высокоагрессивных жидкостей, газов топли под высоким давлением и при температуре до 250 °С; для изоляции электропроводов и мест их спайки
	Готовые изделия	Производятся по чертежам заказчика для различных отрасле промышленности
ООО «ГлавТехПром» (г. Новосибирск)	Фум-лента	Используется для уплотнения систем со средами общепромышленного типа, а также систем с сильнодействующими агрессивными средами; для уплотнени систем, работающих на кислороде и других сильнодействующих окислителях
	Стержни из фторопласта Ф-4	Предназначены для изготовления уплотнительных, электроизоляционных, антифрикционных, химически стойких конструкций, в качестве деталей технологического оборудования (прокладки, манжеты, вкладыши, подшипники, фильтры, мембраны и др.)
	Листовой фторопласт, пластины из фторопласта	Предназначены для использования в качестве защитного и прокладочного материалов, для обеспечения защиты поверхностей от возможных механических или физических повреждений; для изготовления уплотнительных, электроизоляционных, антифрикционных, химически стойких элементов конструкций, в качестве деталей технологическог оборудования (прокладки, манжеты, вкладыши, подшипники, фильеры, мембраны и др.).
	Заготовки из фторопласта Ф-4 и композиции на его основе (втулки и стержни)	Предназначены для изготовления уплотнительных, электроизоляционных, антифрикционных, химически стойких элементов конструкций, для использования в качестве трубопроводов и фасонных частей трубопроводов для

		транспортирования под давлением агрессивных сред (за исключением расплавов щелочных металлов, трехфтористого хлора и фтора).
	Фторопластовая пленка Ф-4ЭН (на основе Ф-4)	Для изготовления конденсаторов, работающих при температуре от – 269°С до +260°С; для изолирования проводо и кабелей; электроизоляционный материал в технике высоких сверхвысоких частот; для междуслойной электроизоляции в аппаратах, сборочных единицах, деталях; для применения в качестве электроизоляционного материала для проводов, кабелей и других электротехнических изделий в виде спеченной в монолит оболочки.
	Трубочки фторопластовые (Ф4Д)	Предназначены для изоляции различных электротехнических устройств, для работы в агрессивных средах.
Transcool Специальные полимеры (г. Москва)	ФЭП (фторэтиленпропилен)	Может экструдироваться в расплаве и применяется для покрытия проводов в качестве первичной изоляции и, в некоторых случаях, для изготовления оболочек кабелей. Он также может использоваться для литья под давлением детал с поперечным сечением не менее 1,0 мм.
	Этилен-тетрафторэтилен (ЭТФЭ)	Применяется для изоляции электрических проводов в автомобиле-, самолетостроении и робототехнике, а также в качестве покрытия для емкостей, в которых перевозят агрессивные жидкости. В строительстве – в качестве многослойных или однослойных систем для кровель и фасадо зданий.
	Этилен-хлортрифторэтилен (ЭХТФЭ)	Изоляция электропроводов.
	Поливинилденфторид (ПВДФ)	Изоляция проводов и кабелей. Детали, изготовленные литьем под давлением.
	Перфторалкоксидные полимеры (ПФА)	Экструдированная изоляция для высокочастотных и высокотемпературных проводов и кабелей; оболочки для коаксиальных кабелей и сердечников; трубки для применени химии, медицине и электротехнике; облицовка задвижек и труб; формованные электротехнические компоненты; лотки д панелек; подшипники, уплотнения и прокладки.
	Политетрафторэтилен (ПТФЭ)	Применяют в химической, электротехнической и пищевой промышленности, в медицине,в военных целях, в основном, в качестве покрытий.
	Компаунды на основе полимеров	Используется в качестве электроизоляционного материала и как средство взрывозащиты.
	Мастербатчи	Применяется в производстве пленок для окрашивания полимерных изделий при литье и экструзии.
ГК "Лометта" (г. Новосибирск)	Тентовые конструкции по индивидуальному проекту	Предлагается разработка проектов конструкторами организации, изготовление конструкций по чертежам заказчика и из материалов заказчика, в т.ч. с использованием ETFE.
ООО "Баутрейд" (г. Москва)	Индивидуальные проекты	Комплексная реализация проектов заказчика: — проектирование, — консультации на стадии разработки проектов, — подбор материалов и комплектующих, — проведение испытаний и согласование в экспертных организациях, — поставка заказанных материалов, — шеф-монтаж, — технический надзор, — эксплуатационное обслуживание.

Это не единственные производители, работающие с фторполимерами, но уже на основании приведенных выше данных можно сделать вывод о том, что, хотя области применения материала достаточно разнообразны, внедрение ETFE в качестве материала для ограждающих конструкций в строительной отрасли происходит медленно. В стране пока что мало таких компаний, которые занимаются проектированием, производством и монтажом, например, облицовочных ETFE-систем. Связано это только с тем, что такой способ использования материала пока что недостаточно развит.

Создание архитектурной 3D-модели конструкции в Revit

Современные программные комплексы позволяют создавать архитектурные модели любой сложности. В программе Autodesk Revit был создан пример такой модели - купол из ETFE-подушек на алюминиевом каркасе. Программа позволяет моделировать подушки (на основе семейств адаптивных моделей) и конструкции в целом (на основе семейств формообразующих элементов) разных форм.

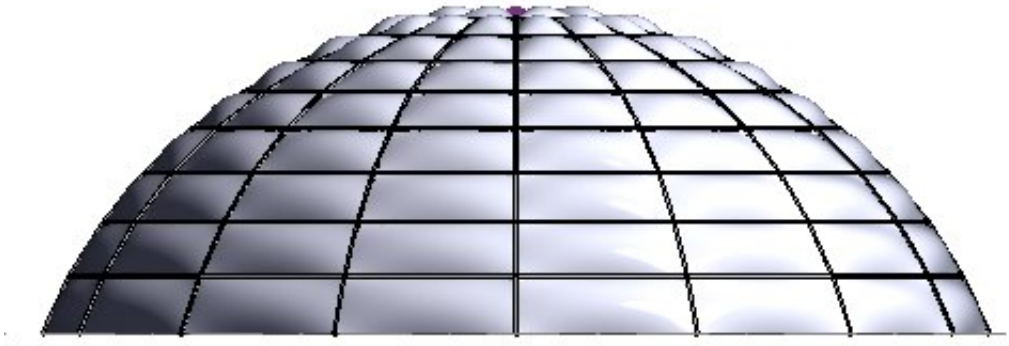

Рис.4 Архитектурная модель

Заключение

На основе справочных сведений [80] и имеющейся литературы по этой тематике [81-84] получены данные о следующих свойствах:

- Вес пленки ETFE составляет 0.15-0.35 кг\м^2 , что облегчает вес всей конструкции и позволяет перекрывать большие пролеты.
- Механические свойства ETFE не зависят от температуры. При определении предела прочности образец не разрушается при нагрузке 9.8 кН, при нагрузке 19.6 МПа деформация составляет не более 5% [85].
- Полимер теплостоек и эластичен [86]. Он выдерживает длительный нагрев (более 1000 ч) при 200°С без изменения свойств. Кратковременно, в особых случаях, допускается температура эксплуатации 250°С. Имеет низкий показатель теплопередачи [87].
- Самоочищающийся материал [67], обладает химической стойкостью [88]. Из всех известных пластических масс является наиболее химически стойким материалом, его устойчивость к химическому воздействию превышает даже стойкость благородных металлов (золота и платины), стекла, фарфора, эмали, специальных сталей и сплавов [67]. Не растворяется в органических растворителях, стоек к концентрированным кислотам, щелочам, окислителям. Так, при кипячении в 98% азотной кислоте или 40% растворе едкого натра не наблюдается изменение предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве, а набухаемость в 98% азотной кислоте не превышает 1.0 - 1.5%.
- Высокое пропускание света в видимом (прозрачность 95%) и ультрафиолетовом диапазоне (прозрачность до 90%), что очень важно в строительстве теплиц, зимних садов, оранжерей.
- Самая высокая из всех фторполимеров радиационная стойкость.
- Низкая смачиваемость и набухаемость в воде, трение, адгезия, не горюч.
- Превосходная ударная вязкость, износостойкость.
- Многофункциональность. Однослойные пленочные конструкции, кроме кровель и фасадов, позволяют организовывать любые нестандартные объекты, навесы, козырьки, зонтики, вкупе с многослойными пневмолинзами, диапазон использования которых зависит только лишь от фантазии архитектора.

Стоит также подчеркнуть, что механические, тепловые свойства материала были исследованы многими зарубежными компаниями, и результаты разняться в зависимости от применяемой методики испытаний. Актуальными остаются вопросы рациональности использования ETFE как материала для ограждающих конструкций в разных регионах страны; выбора подходящего программного комплекса для моделирования и расчета подобных конструкций; экономического обоснования использования материала.

Список литературы

Список литературы [1] Новикова Л.Ю. Анализ энергосберегающих технологий при строительстве спортивных сооружениях // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: студент и наука. 2014. №7. с.21-23 [2] Семенова Э.Е., Котова К.С. Исследование мероприятий по повышению энергоэффективности зданий // Материал 15-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии Воронежа». 2014. с.4 [3] Работкин С.В. Соловьев А.А. Сочугов К.С. Захаров А.Н. Оскомов К.В. Ковшаров Н.Ф.

Полимерная пленка с низкоэмиссионным покрытием для снижения тепловых потерь через светопрозрачные конструкции // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. №11 (2). с. 169 – 175 [4] Реутов Б.Ф. Слепцов В.В. Пыжов И.Н. Арбузов В.В. Энергосберегающие покрытия на стекле и полимерной пленке // Российские энергоэффективные технологии. М.: ЗАО «Фабрика офсетной печати». 2002. Вып. 1 (4). с. 48 [5] Грек А. Скользкий тип: Тефлон // Популярная механика. 2005 г. №6 (32) [6] Vector Foiltec History of ETFE [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://unistroy.spbstu.ru/autors.html (дата обращения: 12.03.2016) [7] Ленерт С. Стефан Ленерт, глава компании VECTOR FOILTEC: «Возможности применения ЭТФЭ безграничны» // Кровли, 2009, № 1 (20) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.krovlirussia.ru/rubriki/materialy-i-texnologii/vozstefan-lenert-glava-kompanii-vector-foiltecmozhnosti-primeneniya-etfe-bezgranichny (дата обращения: 16.02.2016) [8] LeCuyer, A. ETFE. Technology and design // Basel-Boston-Berlin: Birkhauser verlag AG. 2008. -160 p. [9] Бирченко И.Л. Термопластик ETFE - новое слово в применении светопропускающих материалов // Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. 2015. №1 (2). с. 16 - 18 [10] Владер Н.Б. Афонина И.И. Логинова Н.Н. Пленки из термопластичных фторполимеров [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: plastpolymer.org (дата обращения: 22.02.16) [11] Каратеев Л.П. Совершенствование светопрозрачных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2011. №2. с.45-50. [12] Крючкова Н.А. Новые конструктивные решения на базе современных технологий (система Texlon®) // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2014. №2. с.14-19 [13] Кривошапко С.Н. Пневматические конструкции и сооружения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. №3. с.45-53 [14]Болдырев А.Е. Что такое ЭТФЭ? [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.makonstroy.ru/etfe/ (дата обращения: 22.02.16) [15] Охлопкова А. А. и др., Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2008. Т. LII, № 3 [16] Селицкая Н.В. О теплопроводности органических композиционных материалов как составляющей части искусственных сооружений // Успехи современной науки. 2015 №1. с. 9 -11. [17] Кнунянц И.Л., Фокин А.В. Покорение неприступного элемента. М.: Изд. АН СССР. 1963. с. 64 [18] Лазар М. Фторопласты, перевод со словацкого. М.-Л.: Изд-во «Энергия», 1965. 304 с. с черт. [19] Чегодаев Д.Д. Фторопласты. М: Изд-во «ГОСХИМИЗДАТ», 1960. 191 с. [20] Пугачев А. К. Переработка фторопластов в изделия: Технология и оборудование. Л: Изд-во «Химия», 1987. 168 с. [21] Моторин Г. В., Гончаров С. В., Тарасенко А. Т., Иванов В. А. Исследование виброакустических характеристик фторопласта Ф4 при триботехнических испытаниях // Вестник ТОГУ. 2009. №2 (13) с. 73-82. [22] Хитрин С.В. Фукс С.Л. Суханова Е.Н. Филатов В.Ю. Методы переработки отходов производства фторопластов // Общество, наука, инновации. 2013. с. 1861-1863 [23] Краснов А.А. Особенности роторно-вихревого измельчения фторопласта Ф 4. // Новые технологии. Инжиниринг. [24] Филатов В.Ю. Мурин А.В. Казиенков С.А. Хитрин С.В. Фукс С.Л. Исследование деполимеризации политетрафторэтилена в присутствии водяного пара или переносчика фтора // ЖПХ. 2011. № 1. С. 147 -150 [25] Фукс С.Л. Хитрин С.В. Казиенков С. А. Филатов В.Ю. Исследование возможностей рекуперации отходов фторопластов // Бутлеровские сообщения. 2007. Т.22. № 11. с. 61 -67 [26] Хитрин С.В. Фукс С.Л. Казиенков С.А. Филатов В.Ю. Суханова Е.Н. Способ переработки фторопластов и материалов, их содержащих, с получением ультрадисперсного фторопласта и перфторпарафинов // Заявка на патент РФ № 2011149496. 2011 [27] Адаменко Н. А., Агафонова Г. В., Герасимук А. Э., Гончарова Е. И. Исследование теплофизических свойств вторичного Ф4* // ИЗВЕСТИЯ ВолгГТУ. 2013. №15 (8). [28] Чесноков А.В. Работа пневматических оболочек в покрытиях зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, серия: строительство и архитектура. 2013. №27 (46). с.91-97 [29] Чесноков А.В. Исследование формы поверхности фрагментов пневматических оболочек // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, серия: строительство и архитектура. 2013. №32 (51). с.76-83 [30] Чесноков А.В. Особенности работы фрагментов пневматических оболочек, подверженных действию внешних нагрузок // Вестник липецкого государственного технического университета. 2015. №1(23). с.36-43 [31] Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер У. и др. Пневматические строительные конструкции. Под ред. В.В. Ермолова. М.: Стройиздат, 1983. 439 с., ил. [32] Вознесенский С. Б., Ермолов В. В. Проектирование пневматических конструкций в СССР и за рубежом. М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1975. [33] Bashford D. P. Thermoplastics. Directory and Databook. Chapman & Hall. 1997. 492 p. [34] Отто Ф., Тростель Р. Пневматические строительные конструкции. Конструирование и расчет сооружений из тросов, сеток и мембран. М.: Изд-во литературы по строительству, 1967. 320 с. [35] Иванова Л. Н., Кохнюк Д. Д., Хатипов С. А. Применение структурно-модифицированного фторопласта в авиации // Россия молодая: передовые технологии - в промышленность! Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. с. 118-122. [36] Данилов Ю. Б., Коломиец В. Н., Качанов В. А. Изготовление и поставка оборудования из фторопласта // Химическая техника. 2010. № 3 с. 29-31. [37] Fischer A, Klehn R. Contribution of ethylenetetrafluoroethylene (ETFE) insulation to the electrical performance of Riata® silicone leads having externalized conductors. Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology. 2013. No 37(2). pp. 141-145. [38] Зерщиков К. Ю. Исследование рабочих характеристик мембран из армированных фторопластов // Конструкции из композиционных материалов. 2013. № 1 с. 57-61. [39] Баскин З.Л. Применение фторполимеров в аналитическом приборостроении. Экспресс-информация «Автоматизация химических производств». Вып. 3, 1987, с. 30-36. [40] Бабаев Д.Р. Литвинов В.Д. Применение фторопластов класса тефлонов в производстве химического оборудования // Химическая промышленность. 2005. №12 (82). с.583 - 590 [41] Волков И.А. Теоретико-методологические основы изготовления деталей, содержащих фторопласт // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: Электронный сборник статей по материалам XV студенческой международной

научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК». -2013. № 9 (12) с. 143-152. [Электронный ресурс]] Систем. требования: AdobeAcrobatReader URL:http://www.sibac.info/archive/Technic/9 (дата обращения 23.02.16) [42] Гацков В.С. Гацков С.В. Прогрессивные технологии изготовления деталей из материалов, содержащих фторопласт: монография // Екатеринбург: Новоуральский государственный технологический институт. 2009. [43] Максимов Б.Н., Барабанов В.Г., Серушкин И.Л. и др. Промышленные фторорганические продукты. Справочник. Изд. 2-е. Л.: Химия, 1996, 544 с. [44] Могнонов Д. М., Аюрова О. Ж., Буянтуев С. Л., Корнопольцев В. Н. Строительные композиционные полимерные материалы для использования в холодном климате // Вестник Бурятского Государственного Университета. 2012. № 3. с. 108-111. [45] Старов В. Н., Зенин Ю. Н., Калач А. В. Влияние структуры полимеров на эксплуатационные свойства материалов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. №1 (14). с. 12-18. [46] Косяков, С. Я. Отдаленные результаты поршневой стапедопластики с применением тефлоновых и титановых протезов // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2008. № 1. с. 19 - 21. [47] Адамян А. А. Основные направления и перспективы в создании и клиническом применении полимерных имплантатов. // Международная конференция «Современные подходы к разработке эффективных перевязочных средств, шовных материалов и полимерных имплантатов», Материалы II Междунар. конф. М. 1995. с.177 - 179 [48] Протезы кровеносных сосудов из политетрафторэтилена // НПК «Экофлон». СПб. 2002. 14 с. [49] Гракович П. Н., Кудло В. В., Жук И. Г., Цыдик И. С. Особенности применения фторопласта «Грифтекс» в экспериментальной хирургии // ПОЛИКОМТРИБ-2015: СЕКЦИЯ 5. Устные доклады. 2015. с. 238. [50] Ситников В. П., Эль-Рефай Хусам, Шилько С. В., Джайнакбаев Н. Т. Новые технологии использования протезов из фторопласта с алмазоподобным нанопокрытием в хирургии уха (экспериментальное исследование) // Омский научный вестник. 2014. № 2 (134) с. 75-76. [51] Цыдик И. С., Жук И. Г., Стемпень Т. П., Гракович П. Н. Биохимические показатели крови при имплантации животным фторопласта-4 // Журнал ГрГМУ. Оригинальные исследования. 2006. № 1 с. 44-45. [52] Фторполимеры – лучшие материалы для химической защиты оборудования нефтегазовой промышленности // Территория Нефтегаз. 2007. № 11 (ноябрь) с. 26. [53] Хафизова Н. Ф., Торжкова Н. Н., Гиззатуллина А. Ф., Зорина Е. К., Мичкова А. С., Платова А. С. Анализ использования фторопласта-4 в изделиях бытовой электроники // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 2 (24) с. 207-210. [54] Фторопласты: свойства, гигиенические аспекты и возможность использования в контакте с пищевыми продуктами [полимерные антиадгезионные покрытия в оборудовании пищевых производств и бытовой посуде] // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2001. №3. с. 851 [55] Малыхина В.С. Фролов Н.В. Сооружения из пневматических строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. с.22 - 24 [56] Ермолов В.В. Берд У.У. Бубнер Э. Прошлое, настоящее и будущее пневматических строительных конструкций // Пневматические строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 439 с [57] Селицкая Н.В. Веприков С.В. Рутенко А.Ю. Применение композиционных материалов на основе фторполимеров в строительстве // Успехи современной науки и образования. 2015. №3. с. 92 - 94 [58] Кузнецов В. Д., Лядский В. А. Сейсмоизоляция общественных зданий на основе фторопласта // Инженерно-строительный журнал. 2010. №3 с. 61-64. [59] Кузнецов В. Д., Чэнь Сятин Скользящий пояс с фторопластом сейсмостойкого здания // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 3 с. 53-58. [60] Айзенберг Я.М. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. 246 с. [61] Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим кинематическим фундаментом. Алма-Ата: Рауан, 1986. 29 с. [62] Каблов В. Ф., Костин В. Е., Кондруцкий Д. А., Соколова Н. А. Оценка эффективности противообрастающих покрытий на основе фторопласта // Современные наукоемкие технологии. 2010. №5. с. 39-43. [63] Формула для чемпионов: как полимерная пленка помогает создавать архитектурные шедевры. ARUP, AGC [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader, URL: http://archspeech.com/article/formula-dlya-chempionov (дата обращения: 29.04.2015) [64] Гарифуллин М. Р., Семенов С. А., Беляева С. В., Порываев И. А., Сафиуллин М. Н., Семенов А. А. Поиск рациональной геометрической схемы пространственной металлической конструкции покрытия большепролетного спортивного сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №2 (17). с.107-124. [65] ETFE: прозрачный, гибкий, прочный. Здания высоких технологий [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://zvt.abok.ru/articles/111/ETFE_prozrachnii_gibkii_prochnii (дата обращения: 28.04.2015) [66] Маэстро мыльных пузырей: Центр водных видов спорта в Пекине // Популярная механика [Электронный ресурс]] Систем. требования: AdobeAcrobatReader URL: http://www.popmech.ru/technologies/7879-maestro-mylnykh-puzyrey-tsentr-vodnykh-vidov-sporta-v-pekine/ (дата обращения: 22.02.16) [67] Федоров В.И. Светопрозрачная конструкция [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.primorgrajdanproekt.ru/index.php? Itemid= 52&id=17& option=com _content&view=article (дата обращения: 29.04.2015) [68] Кьюинн. Д.; Долгова Е. Возвращение в эдем (рус.). Архив журнала «Наука И Жизнь», 2008, №6 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReade URL: http://www.nkj.ru/archive/articles/14164/ (дата обращения: 25.04.2015) [69] Изабелла Аллен. Николас Гримшоу. Проект Эдем (рус.). Проект «Классика» (27 июля 2002) Рубрика «Вызов — ответ» [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.projectclassica.ru/v_o/04_2002/04_v_01.htm (дата обращения: 28.04.2015) [70] Liddell I. Sustaining New Technologies. ETFE. Technology and Design. 2008. pp. 6-9. [71] Жизнь в раковине: Ковчег: проект // Популярная механика [Электронный ресурс]] Систем. требования: AdobeAcrobatReader URL: http://www.popmech.ru/design/11665-zhizn-v-rakovine-kovcheg-proekt/ (дата обращения 23.02.16) [72] Баскин З.Л. Шабалин Д.А. Выражейкин Е.С. Дедов С.А. Ассортимент, свойства и применение

фторполимеров Кирово-Чепецкого химического комбината // [73] Паншин Ю.А. Малкевич С.Г. Дунаевская Ц.С. Фторопласты, Л.: Изд-во «Химия», 1978. 232 с. [74] Уткин В.В. Завод у Двуречья. Кирово-Чепецкий химический комбинат: строительство, развитие, люди. Кн. 1. Киров: ОАО «Дом печати-Вятка», 2004, 64 с. [75] Уткин В.В. Завод у Двуречья. Кн. 2. Киров: ОАО «Дом печати-Вятка», 2005, 160 с. [76] Уткин В.В. Завод у Двуречья. Кн. 3. Киров: ОАО «Дом печати-Вятка», 2006, 240 с. [77] Каталог-справочник «Фторполимеры». Черкассы: НИИТЭХИМ, 1989, 115 с. [78] Шабалин Д.А., Пурецкая Е.Р., Бельтюков В.Л. Фторполимеры. Свойства и применение. Обзор. ОАО «Кирово-Чепецкий химический комбинат». Кирово-Чепецк, 2005, 20 с. [79] Пурецкая Е.Р., Кочеткова Г.В., Бельтюков В.Л. Фторполимеры. Каталог-справочник «Девятый элемент». Москва. Пермь. Кирово-Чепецк, 2006, 61 с. [80] Зефиров Н.С. Химическая энциклопедия. В 5 томах, том 5. Под ред. Кнунянц И.Л. М.: Изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1995. 783 с. [81] Русс И.Г. Химия фтора и его неорганических соединений. М: Изд-во «ГОСХИМИЗДАТ», 1956, с. 25-32. [82] DuPont. Tefzel fluoropolymer resin. Properties [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:http://www.dupont.com/Teflon_Industrial/en_US/assets/downloads/h96518.pdf. (дата обращения 22.02.16) [83] New roof will help save jungle exhibit at Sedgwick County Zoo // Wichita Eagle. [84] Волков И.А. Примак Д.Д. Основные свойства фторсодержащих материалов и их применение // Вестник магистратуры. 2014. №6-1 (33). с. 39 - 41 [85] Синяев, О. В. Длительные испытания фрагментов из полиэтилентерафталатной пленки // Изв. вузов., Строительство. 1997. № 6. с. 136-138. [86] STUDIO V Bets on a Curving Lattice Porte-Cochere in Yonkers // Archpaper.com. Architect’s Newspaper. [87] Vector Foiltek GmbH, buro Sud Marktplois 31. 94577 Tussling Germany. 2009. [88] Золотых С.Н., Селицкая Н.В. Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств композиционного органоминерального вяжущего // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации. Белгород. 2014. с. 104 -107 [89] Смелов А.В. Механические свойства и трибологические возможности модифицированного политетрафторэтилена // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6 [90] Булгач Р.В. Курбатова Н.В. Бронникова И.В. Петрова И.А. Архитектурная геометрия. От макета к виртуальному пространству // Технические науки – от теории к практике. 2014. №31. с. 91 - 95

ETFE (ethylene-tetrafluoroethylene) - a new generation polymer

OKOROKOVA Maria — *Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, okorokova.mashulya@mail.ru*

STESHENKO Darya — *Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, steshenkodashka@mail.ru*

Keywords:
polymer; fluorine-organic polymers; fluoropolymers; fluoroplastics; ETFE; 3D-model;

Annotation:
The article considers the properties of the innovative polymer, which allowed him to conquer current positions in construction. In recent decades, a number of countries have synthesized new types of polymers, but there are not so many works devoted to the study of their properties, although organofluorine polymers are actively used in various industries. The article also presents examples of projects in which ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) was used, giving the buildings a futuristic look. These are known in the world structures, the choice of materials for which is justified and winning. A review of the Russian market has been made, revealing the characteristic features of the use of fluoropolymers. A 3D model of the building is also constructed, the roof structure of which uses ETFE, which gives a visual representation of such structures.