

**«Утверждаю»**

Проректор по науке и инновациям,  
проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

09.04.2017

## **Заключение № 075/16-503-1**

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности  
алюминиевых профилей производства АО «ТАТПРОФ»**

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
Заведующий кафедрой металлургии  
стали и защиты металлов,  
проф., д.т.н.

Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель,  
научный сотрудник

Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией МЗМ

Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н.

Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник

Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

Инженер I категории

Шмбаева Татьяна Владимировна

Заявитель	АО «ТАТПРОФ»
Основание для проведения испытаний	Договор № 075/16-503 от 01 декабря 2016
Дата проведения испытаний	начало 01 декабря 2016 г. окончание 01 апреля 2017 г
Задачи испытаний	1. Количественная оценка показателей, характеризующих интенсивность коррозионного разрушения материалов деталей. 2. Оценка срока службы профилей в условиях, имитирующих слабо- и среднеагрессивные среды.
Испытательное оборудование	- камера влажности; - камера сернистого газа; - камера соляного тумана; - климатическая камера; - оптико-эмиссионный анализатор металлов «Bruker Elemental»; - металлографический комплекс; - адгезиметр РН с тремя лезвиями.
Образцы	Алюминиевые профили по ГОСТ 22233-2001: - без защитно-декоративного покрытия; - с полимерно-порошковым покрытием; - с анодно-окисным защитным покрытием; - с анодно-окисным декоративным покрытием.
Документы	1. ГОСТ 22233-2001 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия». 2. ГОСТ 8617-81 «Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов» 3. ГОСТ 9.401-91 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов». 4. Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).
Результаты исследований	Заключение № 075/16-503-1



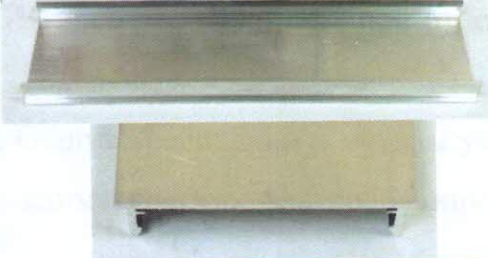
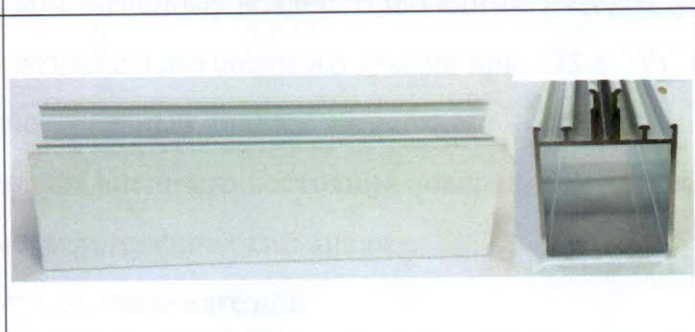
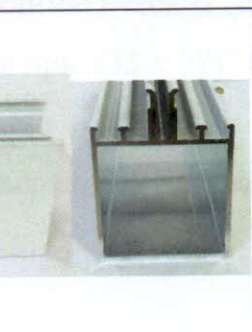
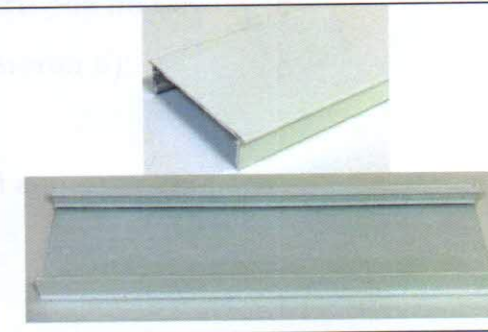
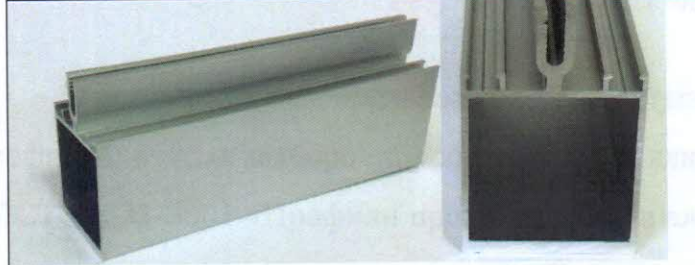


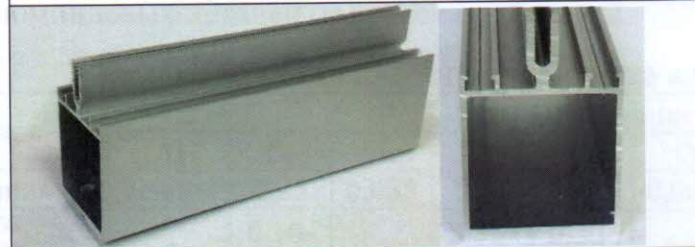

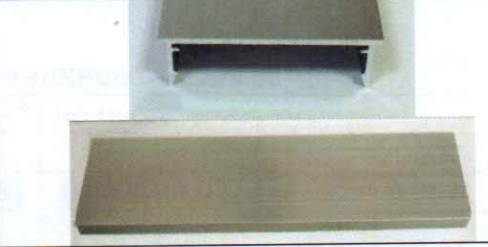


На исследование поступили профили, изготовленные из алюминиевых сплавов (табл.1):

- без дополнительной антикоррозионной защиты;
- с полимерно-порошковым покрытием;
- с анодно-окисным защитным покрытием;
- с анодно-окисным декоративным покрытием.

Отбор и изготовление образцов проводился представителями Заказчика.

**Таблица 1.** Внешний вид профилей, поступивших на исследование

1	Алюминиевый профиль		
			
2	Алюминиевый профиль полимерно-порошковым покрытием		
			
3	Алюминиевый профиль с анодно-окисным защитным покрытием		
			
4	Алюминиевый профиль с анодно-окисным декоративным покрытием		
			



**Цель работы:** проверить качество и дать оценку коррозионной стойкости и долговечности материалов алюминиевых профилей при воздействии сред слабой и средней агрессивности.

**При исследовании были выполнены следующие работы:**

Ускоренные коррозионные испытания:

- 1) по ГОСТ 9.308-85 проводили в течение 30 суток в камерах:
  - влажности (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40 °С);
  - сернистого газа (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40 °С и воздействии SO<sub>2</sub>, концентрация - 0,75 г/м<sup>3</sup>);
  - соляного тумана (периодическое распыление 3%-ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре 40 °С).
- 2) по ГОСТ 9.401-91 «Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» определение стойкости покрытий:
  - к комплексному воздействию климатических факторов по методу 9;
  - к воздействию соляного тумана при (35 ± 2)°С (метод Б);
  - спектральный анализ;
  - анализ внешнего состояния поверхности деталей конструкции;
  - металлографический анализ;
  - определение адгезии.

### **Результаты исследования**

В результате *спектрального анализа* установлено, что материал исследуемых профилей, взятых выборочно, соответствует алюминиевому сплаву марки 6060 по ГОСТ 22233-2001 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия». Химический состав алюминиевых деталей приведен в таблице 2.

**Таблица 2.** Химический состав алюминиевого сплава

Деталь	Содержание в % по массе										
	Al	Fe	Mn	Mg	Si	Cr	Cu	Ti	Zn	Ni	Mo
Профиль	основа	0,25	0,038	0,37	0,32	0,0053	0,032	0,022	0,032	0,0074	0,001
6060 (ГОСТ 22233-2001)	основа	0,10-0,30	0,10	0,35-0,60	0,30-0,60	0,10	0,10	0,10	0,10	<0,05	<0,05

Исследование *внешнего состояния* поверхностей деталей во время и после испытаний проводили визуально. Степень коррозионных повреждений оценивали в соответствии с ГОСТ 9.311-87 ЕСЗКС. «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

На **алюминиевых профилях без дополнительной антикоррозионной защиты** в камере влажности (рис. 1а) после 30 суток испытаний наблюдается помутнение поверхностей и множественные точки, типичные для поверхностной коррозии алюминиевых сплавов на начальной стадии. Внешний вид профилей с анодно-окисными защитным (рис. 1б) и декоративным (рис. 1в) покрытиями практически не изменился за все время испытаний.

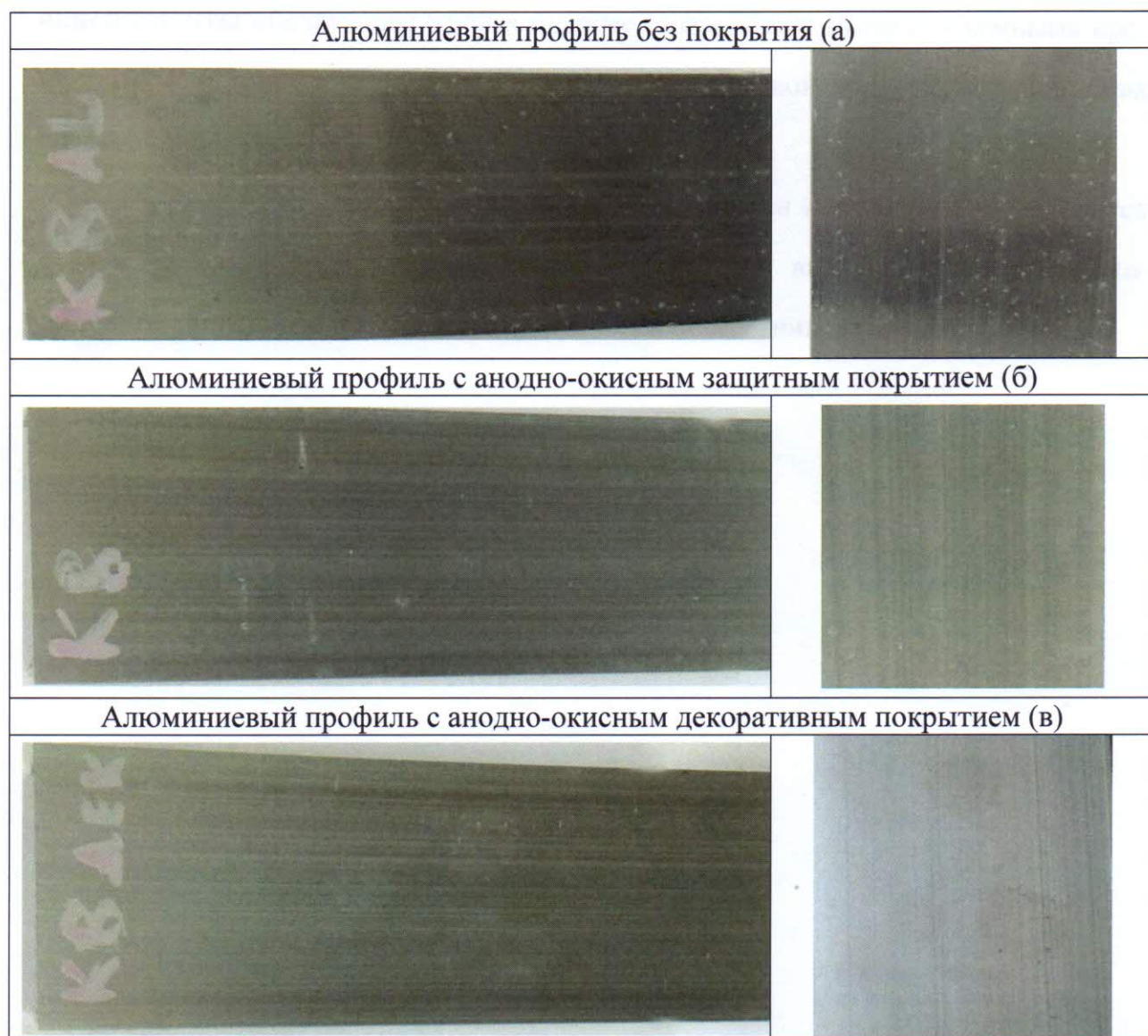


Рис.1. Внешний вид алюминиевых профилей без дополнительной антикоррозионной защиты (а), с анодно-окисными защитным (б) и декоративным (в) покрытиями после испытаний в камере влажности в течение 30 суток.



В ходе испытаний в камере сернистого газа **на профилях без дополнительной антикоррозионной защиты** обнаружены повреждения поверхностей в виде белого налета (шершавого на ощупь) продуктов коррозии алюминия, площадь которых составляет примерно 30 % (рис. 2а).

На деталях с **анодно-окисными декоративным (рис. 2б) и защитным (рис. 2в) покрытиями** наблюдается незначительное помутнение поверхностей.

В камере соляного тумана **на профилях без дополнительной антикоррозионной защиты** обнаружены множественные точки белого цвета с объемными продуктами коррозии алюминия, типичные для питтинговой коррозии алюминиевых сплавов (рис. 3а).

На **профилях с анодно-окисным декоративным покрытием** наблюдаются отдельные пятна белого цвета (рис. 3б). Внешний вид профилей с **анодно-окисным защитным покрытием** практически не изменился (рис. 3в).







Алюминиевый профиль без покрытия	Алюминиевый профиль с анодно-окисным защитным покрытием	Алюминиевый профиль с анодно-окисным декоративным покрытием
		
		
(a)	(б)	(в)

Рис. 2. Внешний вид алюминиевых профилей без покрытия (а), с анодно-окисными защитным (б) и декоративным (в) покрытиями после испытаний в камере сернистого газа в течение 30 суток.



















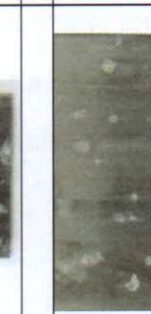







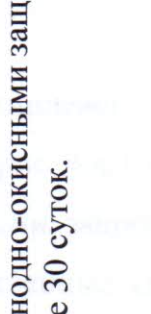
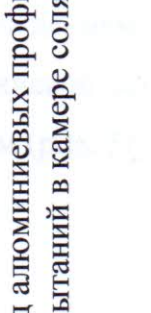



Алюминиевый профиль без покрытия	Алюминиевый профиль с анодно-окисным защитным покрытием	Алюминиевый профиль с анодно-окисным декоративным покрытием
		
		
		
		
		
		
		
		
		
	(а)	(б)

Рис.3. Внешний вид алюминиевых профилей без покрытия (а), с анодно-окисными защитным (б) и декоративным (в) покрытиями после испытаний в камере соляного тумана (в) в течение 30 суток.



С целью оценки состояния материала исследуемых деталей вблизи поверхностей, а также определения глубины и характера коррозионных повреждений проводился *металлографический анализ*.

Проведены исследования алюминиевых профилей после испытаний в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана в течение 30 суток. Шлифы были изготовлены в поперечном сечении деталей.

Толщина анодно-окисных покрытий составляет 10-12 для защитного и 5-7 мкм для декоративного покрытий.

В результате проведенного анализа установлено, что после испытаний в камере влажности в материале алюминиевых профилей как без покрытий, так и с анодно-окисными защитным и декоративным покрытиями коррозионных повреждений не зафиксировано.

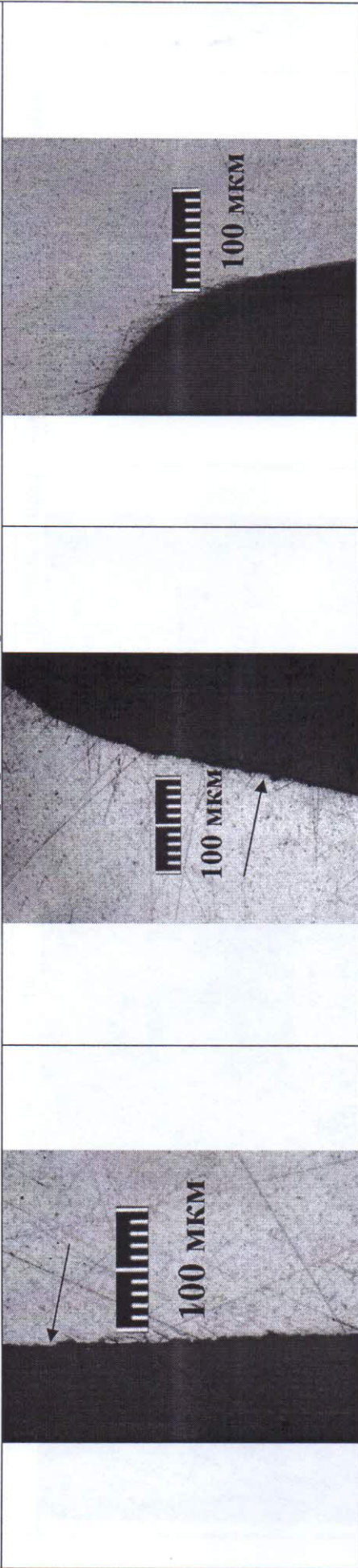
После выдержки в камере сернистого газа в материале алюминиевого профиля обнаружена равномерная коррозия, глубиной не более 10 мкм (рис. 4 а, б).

На шлифах, приготовленных из профилей с анодно-окисными защитным (рис. 4в) и декоративным (рис. 4г) покрытиями, выявлены множественные язвенные повреждения анодных покрытий, глубина которых соизмерима с толщиной покрытия, а также язвы в алюминиевой основе глубиной 7-10 мкм.

После воздействия соляного тумана в материале алюминиевого профиля выявлены питтинговые (язвенные) повреждения, глубиной не более 10 мкм (рис. 5 а) а также локальные участки с межкристаллитной коррозией до 300 мкм (рис. 5б). В материале деталей с анодно-окисном защитном покрытием обнаружены как зоны с полностью сохранившемся слоем, так и участки с частичным повреждением слоя (рис. 5в). Разрушение защитного слоя и язвенное поражение алюминиевой основы наблюдается на образцах с анодно-окисным декоративным покрытием (рис. 5г).

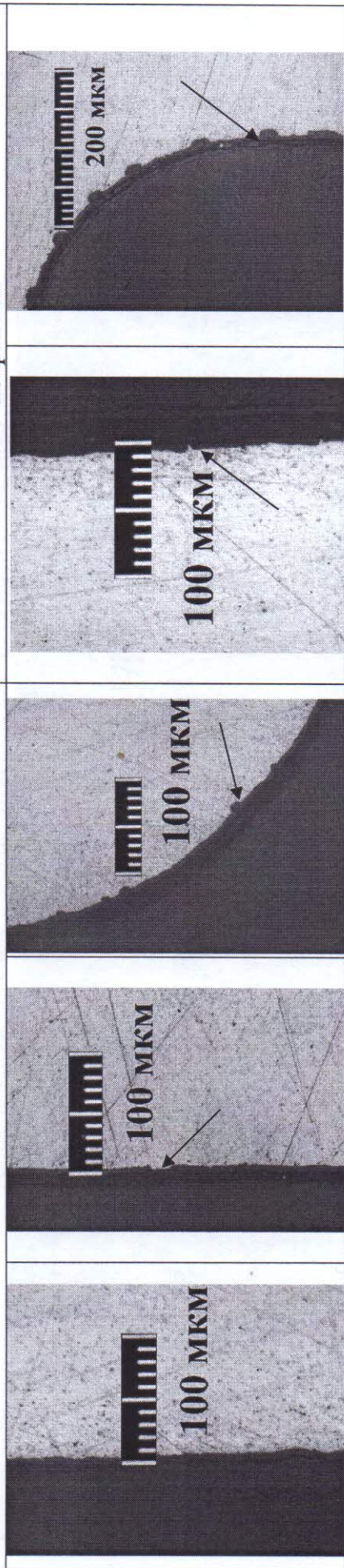
Камера сернистого газа

Алюминиевый профиль без покрытия



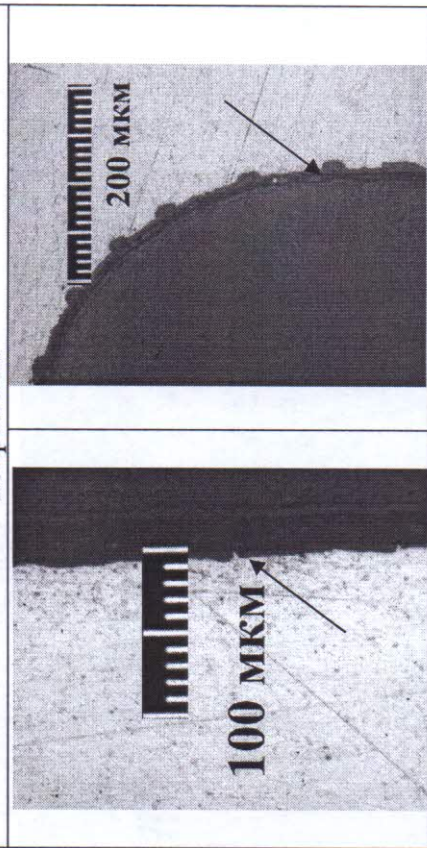
(а)

Алюминиевый профиль с анодно-окисным защитным покрытием



(б)

Алюминиевый профиль с анодно-окисным декоративным покрытием



(в)

(г)

Рис. 4. Состояние материала алюминиевых профилей (а, б), с анодно-окисными защитным (в) и декоративным (г) покрытиями после испытаний в камере сернистого газа (стрелками указаны коррозионные повреждения).

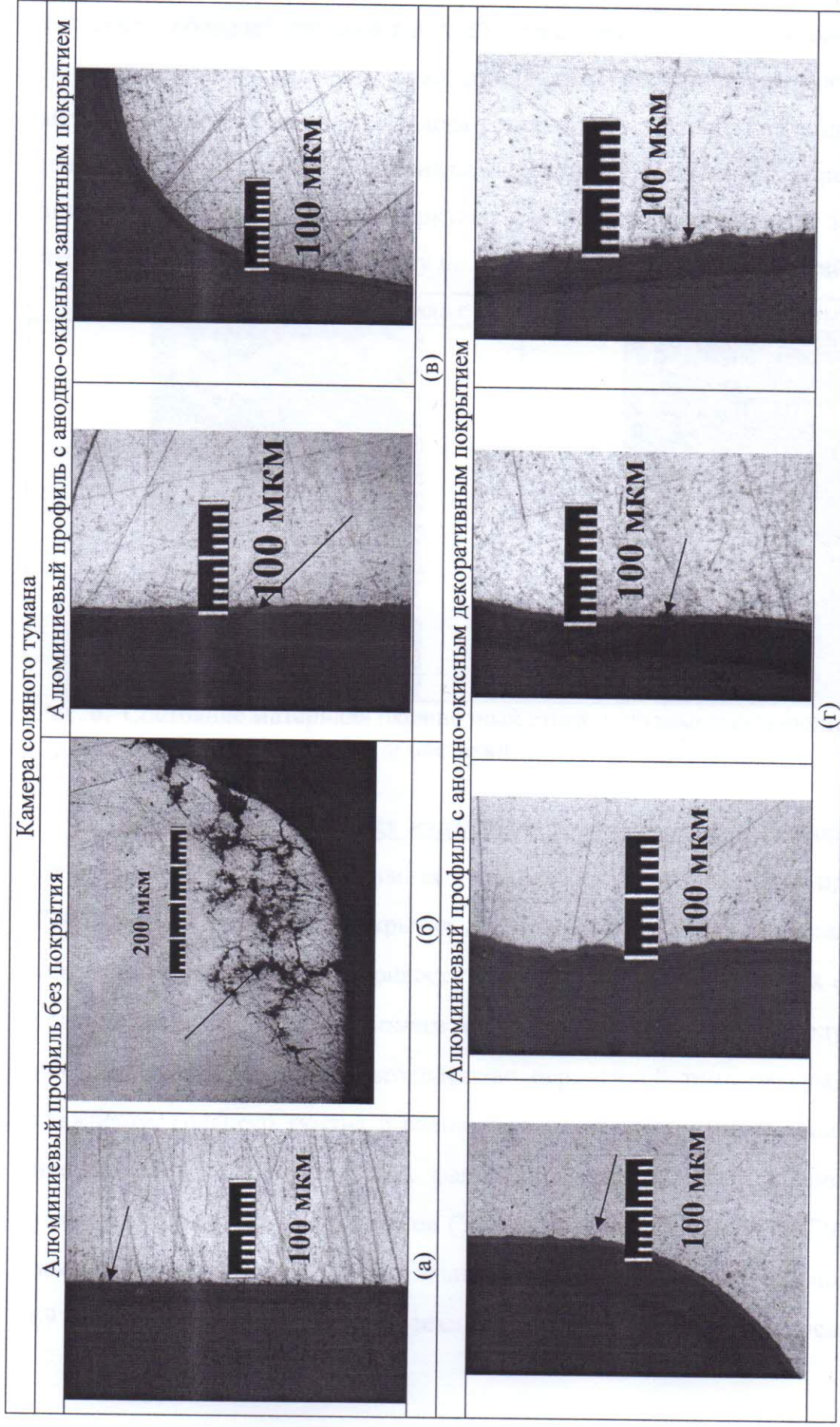


Рис. 5. Состояние материала алюминиевых профилей (а, б), с анодно-окисными защитным (в) и декоративным (г) покрытиями после испытаний в камере соляного тумана (стрелками указаны коррозионные повреждения).



На исследуемых окрашенных алюминиевых профилях имеется полимерное порошковое покрытие толщиной 70-100 мкм (рис. 6). Покрытие равномерно по толщине и обладает хорошей адгезией, под слоем краски коррозионных повреждений алюминиевого сплава не выявлено. Высокая адгезия полимерного покрытия к металлической основе подтверждена результатами тестов по «методу решетчатого надреза» (ГОСТ 15140 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии»). В результате испытаний признаков отслаивания покрытия не зафиксировано, что соответствует высшему баллу по шкале классификации покрытий.

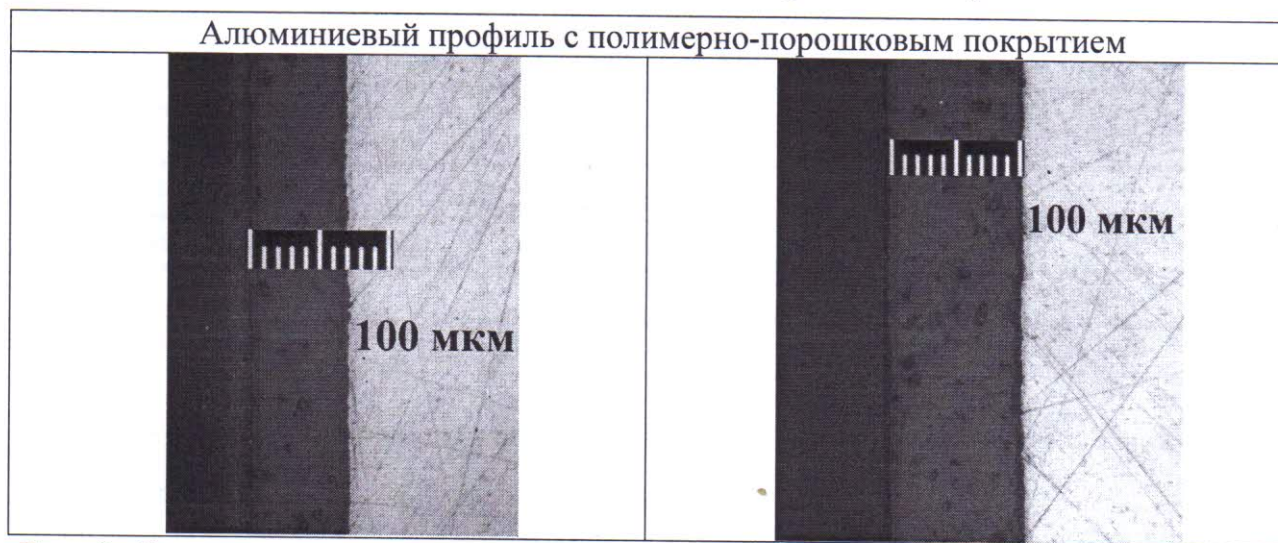


Рис. 6. Состояние материала окрашенных стоек с полимерно-порошковым покрытием в состоянии поставки.

**Проведение ускоренных климатических испытаний.** Ускоренные климатические испытания декоративных и защитных свойств покрытия проводились по ГОСТ 9.401-91 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» для условий эксплуатации в *умеренном и холодном климатах* по методу 9 (Определение стойкости покрытий к воздействию переменной температуры, повышенной влажности, соляного тумана и солнечного излучения), имитирующему комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы умеренного и холодного климатов (УХЛ1, по ГОСТ 9.104-79 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации», II тип атмосферы по ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуа-

тации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»).

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	55±2	97±3	5
Камера соляного тумана (концентрация 5±1 г/л)	40±2	97±3	3
Камера влаги	55±2	97±3	5
Аппарат искусственной погоды	60±3	Не нормир.	10
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	1
Итого			24

Результаты ускоренных испытаний защитных и декоративных свойств покрытий после 120 циклов испытаний приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Результаты ускоренных испытаний защитных свойств покрытия

Система покрытия	Результаты испытаний, циклы			
	50	80	100	120
Порошковое покрытие	Без изменений	Незначительное изменение цвета в виде посветления		

Оценку состояния покрытия в процессе и после испытаний проводили по ГОСТ 9.407-84 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида». Атмосферостойкость лакокрасочных покрытий определялась по декоративному виду и защитным свойствам.

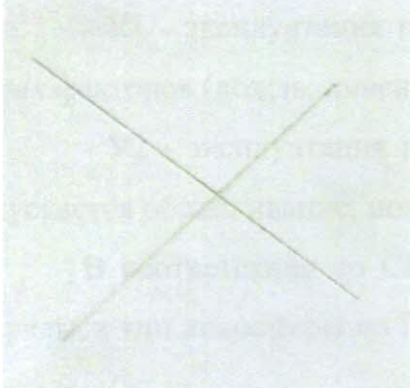
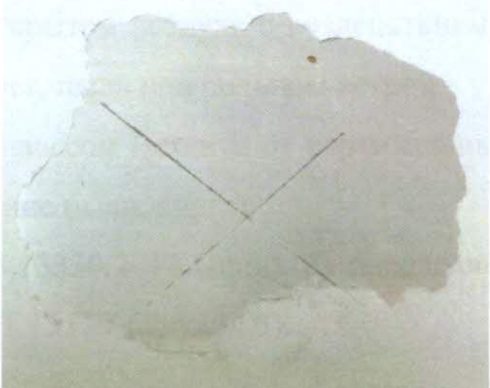
В результате проведенных исследований после пятидесяти циклов выявлено изменение цвета покрытия в виде посветления, что соответствует баллу АД2 по шкале оценки декоративных свойств покрытий; коррозионных повреждений не зафиксировано, что соответствует АЗ1.

Таким образом, покрытие выдержало 120 циклов испытаний, что гарантирует с учетом коэффициента ускорения 47 (по ГОСТ 9.401-91 прил. 10) срок службы защитного слоя порядка 15 лет.

Исследования по определению стойкости покрытия под воздействием климатических внешних факторов проводилось по ГОСТ 9.401-91 **по методу Б - распространение коррозии от надреза**. Коррозионные испытания образцов с надрезами проводились в климатической камере соляного тумана при постоянном распылении 3%-ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40 °С в течение 500 часов.

После воздействия коррозионно-агрессивной атмосферы в зонах царапин после снятия краски коррозионных повреждений не зафиксировано (табл. 5), что соответствует требованиям ГОСТ 9.401-91, согласно которым распространение коррозии от надреза не должно превышать 2 мм.

**Таблица 5.** Распространение коррозии от надреза по ГОСТ 9.401-91.

		<p>0 мм</p> <p>Распространение коррозии от надреза, мм (норма не более 2 мм)</p>
<p>Внешний вид образцов после 500 часов испытаний</p>	<p>Распространение коррозии от надреза</p>	

Таким образом, в ходе коррозионных испытаний при контроле качества защитного полимерного порошкового покрытия отклонений от норм не выявлено.

#### *Анализ результатов исследования*

Исследования проведены с целью оценки коррозионной стойкости профилей, изготовленных из алюминиевых сплавов типа АД31 (AISI 6060, AISI 6063) без дополнительной антикоррозионной защиты и с анодно-оксидными защитным и декоративным покрытиями в средах слабой и средней агрессивности. При анализе



проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85 в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана с целью оценки склонности алюминиевых сплавов без покрытий и с анодно-оксидными покрытиями к атмосферной коррозии и по ГОСТ 9.401-91 (метод 9), имитирующие комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы умеренного и холодного климатов

Экспертиза технических решений по антикоррозионной защите металлических элементов фасадной системы проведена в соответствии со сводом правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).

Коррозионная агрессивность определяется продолжительностью увлажнения поверхности металла и концентрацией коррозионно-активных агентов, основными из которых являются двуокись серы и хлориды в соответствии с ГОСТ 9.039-74.

Для анализа коррозионной стойкости алюминиевых профилей принято исполнение деталей:

- У1 - эксплуатация на открытом воздухе с воздействием любых атмосферных факторов (дождь, ливень, снег, пыль при сильном ветре);
- У2 - эксплуатация под навесом (защита от вертикальных струй воды, допускается обрызгивание, попадание пыли, снега).

В соответствии со СП 28.13330.2012 (прил. 6) определяется агрессивность среды, а тип атмосферы по ГОСТ 15150-69 (табл.3).

**Таблица 5.** Содержание в атмосфере на открытом воздухе коррозионно-активных агентов

Тип атмосферы		Содержание коррозионно-активных компонентов
Обозначение	Наименование	
I	Условно-чистая	Диоксид серы не более 0,025 мг/м <sup>3</sup> Хлориды менее 0,3 мг/м <sup>2</sup> сут
II	Промышленная	Диоксид серы от 0,025 до 0,31 мг/м <sup>3</sup> Хлориды менее 0,3 мг/м <sup>2</sup> сут
III	Морская	Диоксид серы не более 0,025 мг/м <sup>3</sup> Хлориды от 30 до 300 мг/м <sup>2</sup> сут
IV	Приморско-промышленная	Диоксид серы от 0,025 до 0,31 мг/м <sup>3</sup> Хлориды от 0,3 до 30 мг/м <sup>2</sup> сут



Профили изготовлены из алюминиевых сплавов EN 6060 (6063) (ГОСТ 22233-2001) закаленных и состаренных, что соответствует рекомендациям СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции», а также их аналога сплава АД31 (ГОСТ 4784-97 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые марки»). Несмотря на то, что алюминий является сильно электроотрицательным металлом ( $E_{\text{равн}} = -1,67\text{В}$  по н.в.э.), при этом он весьма стоек в атмосферных условиях вследствие высокой склонности к пассивированию. Как показали длительные испытания алюминиевых сплавов, проведенные в различных атмосферах, независимо от характера распространения коррозии, ее скорость уменьшается во времени, что обусловлено образованием продуктов коррозии, которые препятствуют взаимодействию участков металла, подвергнутого коррозии, с агрессивной средой.

Анализ результатов испытаний показал, что профили без дополнительных антикоррозионных покрытий устойчивы в средах слабой агрессивности, так как в материале деталей коррозионных повреждений не зафиксировано.

В камере сернистого газа, имитирующей среднеагрессивную среду (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа), в материале алюминиевых деталей выявлена равномерно-язвенная коррозия глубиной не более 10 мкм. Причем язвенные повреждения имеют округлую форму (репассивированы) и, как следствие, не провоцируют развитие межкристаллитной коррозии. Точечные повреждения невелики по размерам, а скорость их развития может тормозиться со временем настолько, что становится близкой к нулю. Вышеуказанный тип коррозии является характерным для начальной стадии процесса, когда значительная часть поверхности находится в пассивном состоянии. Анализ повреждений свидетельствует о том, что средняя скорость коррозии материала алюминиевых деталей составляет не более 0,2 мкм/год.

Так как коррозия исследуемых сплавов протекает относительно равномерно, то это позволяет использовать приведенные данные для оценки долговечности профилей.

В среднеагрессивных приморских средах алюминиевые сплавы склонны к локальным видам коррозии (питтинговой и межкристаллитной). В материале профилей обнаружены как питтинговые повреждения, так и трещины глубиной до 200 мкм, типичные для межкристаллитной коррозии. На основании проведенных ис-

следований механизм межкристаллитной коррозии можно представить в виде развития питтинга, сосредоточенного вследствие структурной неоднородности по границам зерен.

В камерах сернистого газа и соляного тумана, имитирующих среднеагрессивные среды, выявлено повреждение анодно-окисных покрытий, глубина которых соизмерима с толщиной защитных слоев, и язвы в основном материале деталей.

При анализе были проведены ускоренные коррозионные испытания окрашенных профилей с целью исследования физико-химических и защитно-декоративных свойств полимерных покрытий. Анализ результатов испытаний показал, что покрытие, толщина которого составляет 70-100 мкм, обладает высокими физико-механическими свойствами, так как до и после климатических испытаний адгезия покрытия по методу решетчатых надрезов по ГОСТ 15140-78 составляет 0 балл. Оценку атмосферостойкости покрытия проводили по методу воздействия нейтрального соляного тумана (метод Б). В результате исследования установлено, что покрытие обеспечивает защиту от воздействия коррозионно-агрессивной среды без признаков коррозии основного материала в течение более 500 часов. Покрытие выдержало 100 циклов испытаний и оценивается баллами А31 (сохранило защитные свойства) и АД2 (незначительное посветление). В результате проведенных исследований установлено, что **порошковое покрытие** рекомендуется для применения в слабо- и среднеагрессивных средах без изменения эксплуатационных и эстетических качеств материала в течение 15 лет и 12 лет соответственно.

Таким образом, с учетом проведенных исследований и требований СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85) рекомендуется применять алюминиевые сплавы 6060Т6 (Т66) и 6063Т6 (Т66) (АД31) без дополнительных мер противокоррозионной защиты в средах слабой и средней (при повышенной влажности и(или) содержании сернистого газа) агрессивности. Алюминиевые сплавы 6060Т6 (Т66) и 6063Т6 (Т66) с дополнительными анодно-окисными защитным и декоративным покрытиями рекомендуется применять для эксплуатации в слабо- и среднеагрессивных средах (в том числе приморских). Для обеспечения максимально длительной безаварийной эксплуатации в сильноагрессивных приморских средах (при уда-

ленности от моря менее 100 м и (или) концентрации агрессивных газов группы D) рекомендуется использование окрашенных профилей.

### **Выводы**

1. В результате проведенных без учета механических нагрузок испытаний, оценки качества и скорости коррозии установлено, что исследуемые материалы устойчивы к атмосферной коррозии и могут эксплуатироваться:

а) для алюминиевых профилей без дополнительной противокоррозионной защиты в условиях:

- слабоагрессивной и среднеагрессивной (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа) сред сроком до 50 лет;
- среднеагрессивной (при повышенной влажности и (или) содержании соляного тумана) среды до 30 лет;

б) для профилей, изготовленных из алюминиевых сплавов с анодно-оксидными декоративным и защитным покрытиями:

- слабоагрессивной и среднеагрессивной (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа) сред сроком более 50 лет;
- среднеагрессивной (при повышенной влажности и (или) содержании соляного тумана) среды порядка 40 лет;

в) для профилей, изготовленных из окрашенного алюминиевого сплава, в условиях слабоагрессивной и среднеагрессивной (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа, соляного тумана) сред сроком до 50 лет. В сильноагрессивных приморских средах срок службы составит порядка 35 лет.

2. Выводы относятся только к исследуемым образцам, представленным Заказчиком для испытаний.

Отв. исп. Волкова О.В., научный сотрудник  
каф. МЗМ  
Тел.: 8(495) 951-22-34  
e-mail: mail@expertcorr.misis.ru



## Протокол осмотра образцов

- 1 – алюминиевый профиль (квадратного сечения)
- 1.1 – алюминиевый профиль (П-образный)
- 2 – профиль с анодно-оксидированным покрытием
- 2.1 – П-образный профиль с анодно-оксидированным покрытием
- 3 – профиль с анодно-оксидированным декоративным покрытием
- 3.1 – П-образный профиль с анодно-оксидированным декоративным покрытием

### Приложение 1

Зоны (№)		Коррозионное состояние профилей		
		Время испытаний в камере влажности, сутки		
	4	10	18	25
1.1	Помутнение 30 % площади поверхности образца	Помутнение 50 % площади поверхности образца	Точки с объемными продуктами белого цвета 1-2 мм	
2.1	Без изменений			Единичные белые пятна
3.1	Без изменений			

Коррозионное состояние образцов			
Время испытаний в камере сернистого газа, сутки			
30-ны (№)	4	10	18
1	Помутнение поверхности (80%)	Помутнение поверхности образца, объемные продукты коррозии в виде пятен 1-2 мм	Объемные белые продукты коррозии (50%)
1.1	Помутнение поверхности на 85% площади образца	Помутнение поверхности на 95% площади образца, белый порошкообразный налет продуктов коррозии	Плотные объемные белые продукты коррозии в виде пятен на (50%)
2	Помутнение поверхности образца в виде пятен (45%)	Пятна белого цвета (50%)	Увеличение площади и размеров пятен
2.1	Помутнение поверхности (40%)	Тонкий белый налет продуктов коррозии по торцам детали	Пятна с тонким слоем продуктов коррозии алюминия по торцам
3	Помутнение поверхности на (40%)	Помутнение поверхности в виде пятен	Единичные белые пятна по всей поверхности
3.1	Помутнение поверхности (30%)	Помутнение поверхности пятнами (60%)	Тонкий белый налет

Коррозионное состояние образцов					
Время испытаний в камере соляного тумана, сутки					
Зоны (№)	1	10	18	25	30
1	Помутнение (50 %)	Помутнение на 80 % поверхности образца, объемные продукты коррозии в виде пятен 1 - 2 мм	Темные пятна на одной из торцевых поверхностей	Тонкий белый налет, единичные пятна белого цвета	Множественные белые точки
1.1	Помутнение в виде пятен вдоль линии проката (30 %)	Пятна с плотными белыми продуктами коррозии, тонкий порошкообразный белый налет (20 %)	Увеличение числа пятен с объемными продуктами коррозии и потемнение поверхности (50 %)	Множественные белые пятна с объемными продуктами коррозии алюминия, потемнение 70% поверхности	Увеличение количества пятен с белыми объемными продуктами коррозии
2	Без изменений	Без изменений	Локальные матовые пятна в виде потеков	Единичные потеки белого цвета, белый налет	
2.1	Без изменений	Легкое помутнение	Легкое помутнение поверхностей	Единичные белые пятна	
3	Без изменений	Без изменений		Помутнение поверхности	
3.1	Без изменений	Без изменений		Помутнение поверхностей	

Сброшюровано и пронумеровано  
92 стр.





Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

**«Утверждаю»**

Проректор по науке и инновациям,  
проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

09.04.2017

## **Заключение № 075/16-503-2**

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности  
конструкций фасадных светопрозрачных производства**

**АО «ТАТПРОФ»**



**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

Научный руководитель,  
Заведующий кафедрой металлургии  
стали и защиты металлов,  
проф., д.т.н.

Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель,  
научный сотрудник

Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией МЗМ

Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н.

Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник

Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

инженер I категории

Шibaева Татьяна Владимировна

Заявитель	АО «ТАТПРОФ»
Основание для проведения испытаний	Договор № 075/16-503 от 01 декабря 2016
Дата проведения испытаний	начало 01 декабря 2016 г. окончание 01 апреля 2017 г
Задачи испытаний	Проверить качество и дать оценку коррозионного состояния материалов алюминиевых профилей при воздействии экспериментальных атмосфер
Испытательное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- камера влажности;</li> <li>- камера сернистого газа;</li> <li>- камера соляного тумана;</li> <li>- климатическая камера;</li> <li>- оптико-эмиссионный анализатор металлов «Bruker Elemental»;</li> <li>- металлографический комплекс</li> <li>- адгезиметр РН с тремя лезвиями.</li> </ul>
Образцы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стойки из алюминиевых сплавов с полимерно-порошковым покрытием.</li> <li>2. Оцинкованные кронштейны</li> </ol>
Документы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).</li> <li>2. ГОСТ 22233-2001 Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия</li> <li>3. ГОСТ 9.308-85 «ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний»</li> <li>4. ГОСТ 9.401-91 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов»</li> <li>5. ГОСТ 9.407-2015 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида».</li> <li>6. ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии»</li> </ol>
Результаты исследований	Заключение № 075/16-503-2

На исследование поступили детали светопрозрачных конструкций (прил.1):

- стойки из окрашенных алюминиевых сплавов (рис.1а);
- кронштейны, изготовленные из оцинкованной стали с дополнительной хроматной пассивацией (рис.1б).

Отбор и изготовление образцов проводились представителями Заказчика.

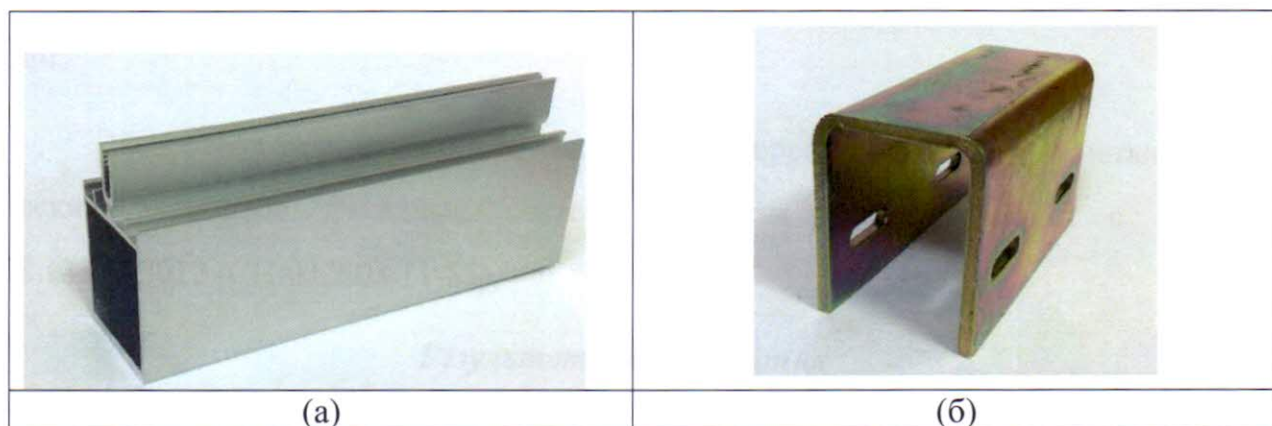


Рис.1 Внешний вид стоек (а) и кронштейнов (б), поступивших на исследование, применяемых в светопрозрачных конструкциях.

**Цель работы:** оценка коррозионной стойкости и долговечности деталей светопрозрачных конструкций производства АО «ГАТПРОФ» в условиях неагрессивных, слабо и среднеагрессивных сред.

**При исследовании были выполнены следующие работы:**

Ускоренные коррозионные испытания:

1) по ГОСТ 9.308-85 «ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний» проводили в течение 30 суток в камерах:

- влажности (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40<sup>0</sup> С);
- сернистого газа (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40<sup>0</sup> С и воздействии SO<sub>2</sub> концентрация - 0,75 г/м<sup>3</sup>);
- соляного тумана (периодическое распыление 3% -ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре 40<sup>0</sup> С).

2) по ГОСТ 9.401-91 «Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» определение стойкости покрытий:

- к комплексному воздействию климатических факторов по методу 9;

- к воздействию соляного тумана при  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$  (метод Б).

Спектральный анализ.

Анализ внешнего состояния поверхностей.

Металлографический анализ.

Определение адгезии покрытий.

Оценка коррозионной стойкости и долговечности светопрозрачных конструкций.

Экспертиза технических решений по антикоррозионной защите металлических элементов фасадных систем проведена в соответствии с СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85).

### *Результаты исследования*

В результате *спектрального анализа* установлено, что материал исследуемых стоек, взятых выборочно, соответствует алюминиевому сплаву марки 6060 по ГОСТ 22233-2001 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия».

Химический состав алюминиевых деталей по результатам *спектрального анализа* приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Химический состав алюминиевого сплава

Деталь	Содержание в % по массе										
	Al	Fe	Mn	Mg	Si	Cr	Cu	Ti	Zn	Ni	Mo
Стойка	основа	0,25	0,038	0,37	0,32	0,0053	0,032	0,022	0,032	0,0074	0,001
6060 (ГОСТ 22233-2001)	основа	0,10-0,30	0,10	0,35-0,60	0,30-0,60	0,10	0,10	0,10	0,10	<0,05	<0,05

Исследование *внешнего состояния* поверхностей деталей во время и после испытаний проводили визуально. Оценка состояния покрытий проводили в соответствии с ГОСТ 9.407-84 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида». Степень коррозионных повреждений оценивали в соответствии с ГОСТ 9.311-87 ЕСЗКС. «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

В результате анализа *внешнего состояния поверхностей* установлено, что после выдержки в испытательных камерах внешний вид **алюминиевых окрашенных**

стоек не претерпел видимых изменений: покрытие сохранилось практически полностью, без признаков вспучивания и отслаивания (рис.2 а, б).

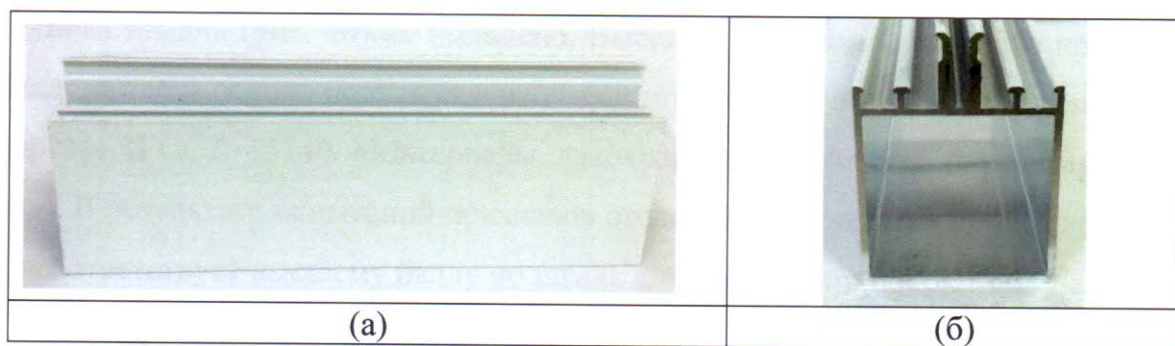


Рис.2 Внешний вид окрашенных алюминиевых профилей после испытаний в камерах сернистого газа (а) и соляного тумана (б) в течение 30 суток.

После выдержки в камере влажности внешний вид **оцинкованных кронштейнов** практически не изменился (рис.3а); на поверхностях **деталей** после испытаний в камере сернистого газа наблюдается белый налет, типичный для коррозии цинкового покрытия (рис.3б); после камеры соляного тумана выявлено потемнение поверхностей в виде множественных пятен, размер которых составляет 3-5 мм (рис.3в). Признаков коррозии основного материала кронштейнов не зафиксировано.

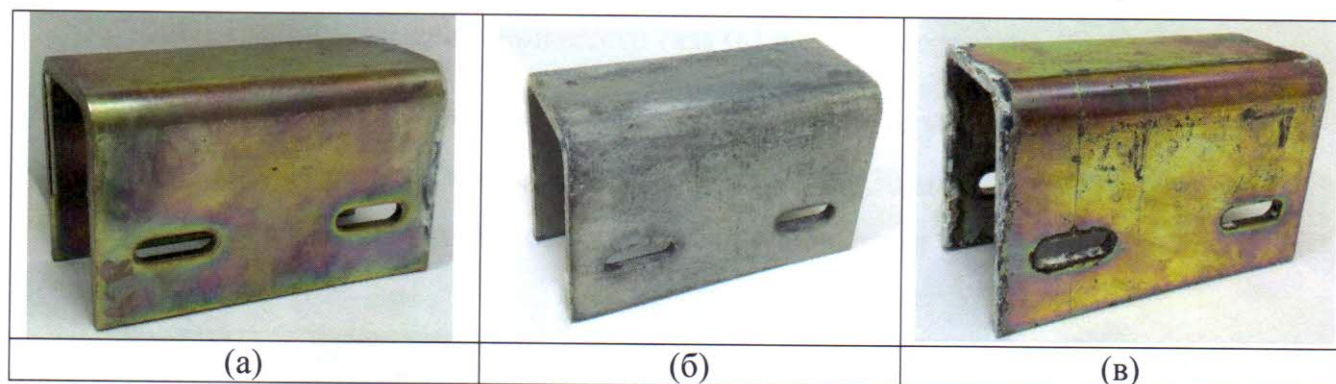


Рис.3. Внешний вид оцинкованных кронштейнов после испытаний в камере влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.

С целью оценки состояния материала исследуемых деталей вблизи поверхностей, а также определения глубины и характера коррозионных повреждений проводился *металлографический анализ*.

Исследовали оцинкованные кронштейны после испытаний в камере влажности и окрашенные алюминиевые стойки после камер сернистого газа и соляного тумана в течение 30 суток.

На исследуемых окрашенных алюминиевых профилях имеется полимерное порошковое покрытие толщиной 70-100 мкм (рис. 4). Покрытие равномерно по

толщине и обладает хорошей адгезией, под слоем краски коррозионных повреждений алюминиевого сплава после испытаний в камерах сернистого газа (рис. 4а) и соляного тумана (рис. 4б) не выявлено. Высокая адгезия полимерного покрытия к металлической основе подтверждена результатами тестов по «методу решетчатого надреза» (ГОСТ 15140 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии»). В результате испытаний признаков отслаивания покрытия не зафиксировано, что соответствует высшему баллу по шкале классификации покрытий.

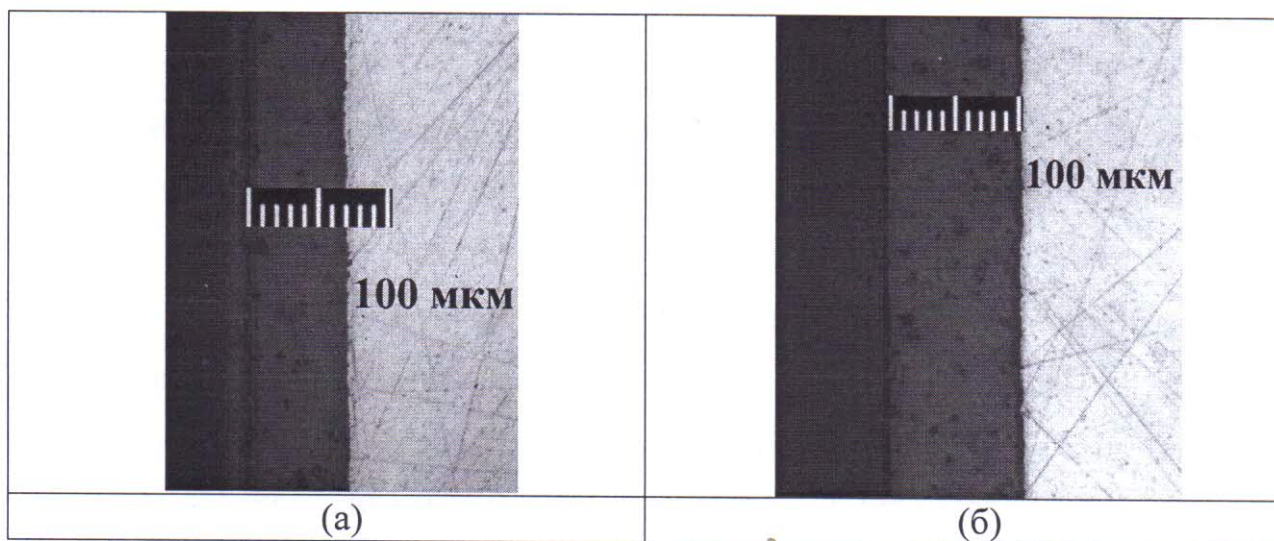


Рис. 4. Состояние материала профилей с полимерно-порошковым покрытием после испытаний в камерах сернистого газа (а) и соляного тумана (б).

В результате анализа установлено, что толщина гальванического цинкового покрытия на исследуемых кронштейнах составляет 25-30 мкм. После испытаний в камере влажности коррозионных повреждений в защитном слое не зафиксировано (рис.5).

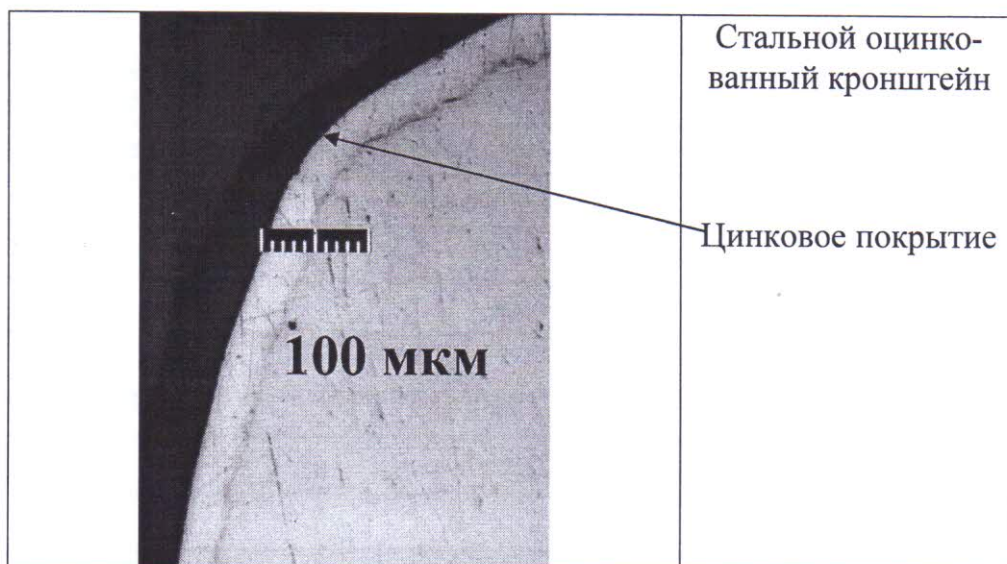


Рис. 6. Состояние материала оцинкованных кронштейнов после испытаний в камере влажности в течение 30 суток.

**Проведение ускоренных климатических испытаний.** Ускоренные климатические испытания декоративных и защитных свойств полимерного порошкового покрытия проводились по ГОСТ 9.401-91 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» для условий эксплуатации в **умеренном и холодном климатах** по методу 9 (Определение стойкости покрытий к воздействию переменной температуры, повышенной влажности, соляного тумана и солнечного излучения), имитирующему комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы умеренного и холодного климатов (УХЛ1, по ГОСТ 9.104-79 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации», II тип атмосферы по ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»).

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	55±2	97±3	5
Камера соляного тумана (концентрация 5±1 г/л)	40±2	97±3	3
Камера влаги	55±2	97±3	5
Аппарат искусственной погоды	60±3	Не нормир.	10
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	1
Итого			24

Результаты ускоренных испытаний защитных и декоративных свойств покрытий после 120 циклов испытаний приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Результаты ускоренных испытаний защитных свойств покрытия

Система покрытий	Результаты испытаний, циклы			
	50	80	100	120
Порошковое покрытие	Без изменений	Незначительное изменение цвета в виде посветления		

Оценку состояния покрытия в процессе и после испытаний проводили по ГОСТ 9.407-84 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида». Атмосферостойкость лакокрасочных покрытий определялась по декоративному виду и защитным свойствам.

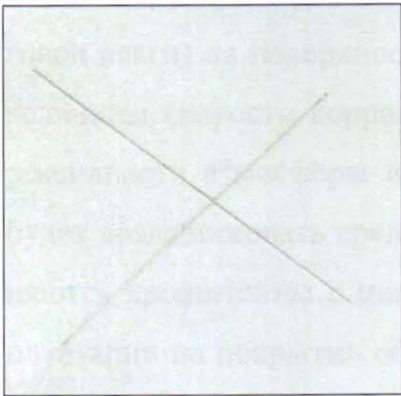

В результате проведенных исследований после пятидесяти циклов выявлено изменение цвета покрытия в виде посветления, что соответствует баллу АД2 по шкале оценки декоративных свойств покрытий; коррозионных повреждений не зафиксировано, что соответствует АЗ1.

Таким образом, покрытие выдержало 120 циклов испытаний, что гарантирует с учетом коэффициента ускорения 47 (по ГОСТ 9.401-91 прил. 10) срок службы защитного слоя порядка 15 лет.

Исследования по определению стойкости покрытия под воздействием климатических внешних факторов проводилось по ГОСТ 9.401-91 по методу Б - распространение коррозии от надреза. Коррозионные испытания образцов с надрезами проводились в климатической камере соляного тумана при постоянном распылении 3%-ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40 °С в течение 500 часов.

После воздействия коррозионно-агрессивной атмосферы в зонах царапин после снятия краски коррозионных повреждений не зафиксировано (табл. 4), что соответствует требованиям ГОСТ 9.401-91, согласно которым распространение коррозии от надреза не должно превышать 2 мм.

**Таблица 4.** Распространение коррозии от надреза по ГОСТ 9.401-91.

		<p style="text-align: center;">0 мм</p> <p>Распространение коррозии от надреза, мм (норма не более 2 мм)</p>
<p>Внешний вид образцов после 500 часов испытаний</p>	<p>Распространение коррозии от надреза</p>	

Таким образом, в ходе коррозионных испытаний при контроле качества защитного полимерного порошкового покрытия отклонений от норм не выявлено.



### *Анализ результатов исследования*

Целью работы является исследование коррозионной стойкости и долговечности несущих конструкций светопрозрачной конструкции производства АО «ТАТ-ПРОФ». Экспертиза технических решений по антикоррозионной защите металлических элементов фасадных систем проведена в соответствии со сводом правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).

Условия эксплуатации **окрашенных алюминиевых стоек** согласно ГОСТ 15150 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» соответствуют У1 (в условиях умеренного климата, на открытом воздухе) при воздействии воздушной слабо- и среднеагрессивных сред по СП 28.13330.2012. В исследуемых конструкциях используются алюминиевые стойки, изготовленные из сплавов EN 6063, 6060 (АД31) по ГОСТ 22233-2001 с защитным полимерным порошковым покрытием толщиной 70-100 мкм, что обеспечивает длительную эксплуатацию конструкции в средах слабой и средней агрессивности.

**Оцинкованные стальные кронштейны** эксплуатируются в условиях У3: эксплуатация в крытых помещениях без регулирования температурных условий с естественной вентиляцией (температура практически не отличается от уличной, нет брызг и струй воды, незначительное количество пыли). Конструктивные особенности конструкции исключают попадание атмосферных осадков (дождевой или снеговой влаги) на поверхности деталей, что позволяет прогнозировать неизменность величины скорости коррозии при условии сохранения существующей степени агрессивности атмосферы и позволяют предположить, что на исследуемые детали будет воздействовать среда слабой степени агрессивности. В конструкциях применяются кронштейны с цинковым покрытием толщиной 25-30 мкм. Во время эксплуатации на покрытии образуются продукты коррозии цинка, создающие барьерный эффект, тормозящие развитие коррозионного процесса и препятствующие разрушению слоя защитного покрытия. Пленка, образующаяся на поверхности цинка, определяет конечную скорость течения процесса коррозии, идущего с торможением во времени. Для повышения защитных свойств цинкового покрытия применена

финишная обработка кронштейнов хромированием, которая предотвращает образование «белой ржавчины» на поверхности цинкового слоя в течение 3-5 лет. Скорость коррозии цинкового покрытия в указанных условиях составляет не более 0,3-0,5 мкм/год, что означает сохранение несущей способности кронштейна, в течение не менее 50 лет.

Элементы крепления. В соответствии с проектной документацией для изготовления крепежных элементов используются углеродистые стали с дополнительными антикоррозионными покрытиями. Необходимо применять детали крепежа, рекомендованные ФЦС при эксплуатации в средах слабой и средней степеней агрессивности.

Применение алюминиевых сплавов в контакте с оцинкованной сталью (болтовое соединение) не требует специальных мер, исключая контактную коррозию. Контакт алюминиевый сплав-оцинкованная сталь вполне допустим, несмотря на значительную разность стандартных потенциалов алюминия ( $E^0 = -1,66$  В по н.в.э.) и цинка ( $E^0 = -0,76$  В по н.в.э.), так как цинк в данной комбинации чаще всего является анодом.

Таким образом, предлагаемые технические решения обеспечивают защиту от коррозии элементов светопрозрачной конструкций производства АО «ТАТПРОФ» в условиях слабо- и среднеагрессивных сред в течение порядка 50 лет.

### **Выводы**

1. В результате проведенных исследований, оценки качества и коррозионной стойкости светопрозрачной конструкции производства АО «ТАТПРОФ» установлено, что металлические элементы устойчивы к атмосферной коррозии и могут эксплуатироваться в течение порядка 50 лет в условиях сред слабой и средней агрессивности.

2. Выводы относятся к исследуемым фрагментам светопрозрачных конструкций, состоящих из стальных оцинкованных кронштейнов и алюминиевых окрашенных стоек.

Отв. исп. Волкова О.В., научный сотрудник  
каф. МЗМ  
Тел.: 8(495) 951-22-34  
e-mail: mail@expertcorr.misis.ru



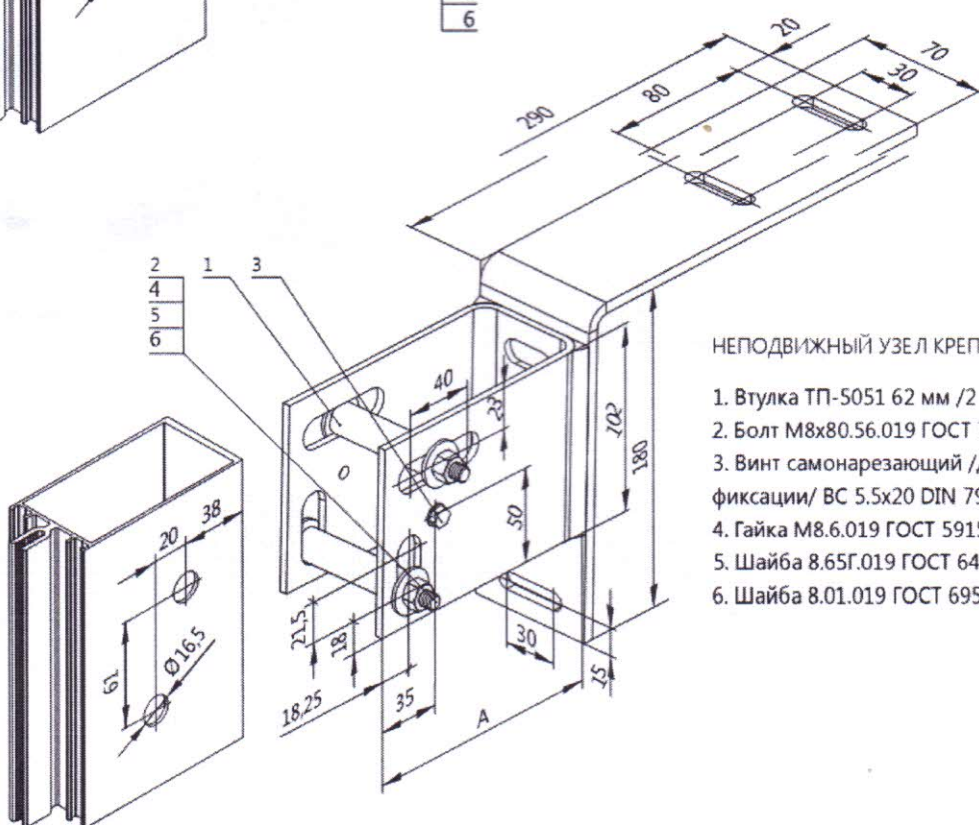
## НАВЕСНЫЕ УЗЛЫ КРЕПЛЕНИЯ

НАПОЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ УЗЛЫ КРЕПЛЕНИЯ ДЛЯ СТОЕК



### ПОДВИЖНЫЙ УЗЕЛ КРЕПЛЕНИЯ

1. Втулка ТП-5051 62 мм /1 шт./
2. Болт М8х80.56.019 ГОСТ 7805-89 /1 шт./
3. Винт самонарезающий /для временной фиксации/ ВС 5.5х20 DIN 7976 /1 шт./
4. Гайка М8.6.019 ГОСТ 5915-89 /1 шт./
5. Шайба 8.65Г.019 ГОСТ 6402-80 /1 шт./
6. Шайба 8.01.019 ГОСТ 6958-78 /2 шт./



### НЕПОДВИЖНЫЙ УЗЕЛ КРЕПЛЕНИЯ

1. Втулка ТП-5051 62 мм /2 шт./
2. Болт М8х80.56.019 ГОСТ 7805-89 /2 шт./
3. Винт самонарезающий /для временной фиксации/ ВС 5.5х20 DIN 7976 /1 шт./
4. Гайка М8.6.019 ГОСТ 5915-89 /2 шт./
5. Шайба 8.65Г.019 ГОСТ 6402-80 /2 шт./
6. Шайба 8.01.019 ГОСТ 6958-78 /4 шт./

НИТУ «МИСиС»

Сброшюровано и пронумеровано

12 стр.

