

# КОРРОЗИЯ



Фото Натальи Домриной.

Солнце, воздух и вода, столь необходимые человеку для жизни, в то же самое время — злейшие враги конструкционных материалов. А ещё песок, пыль, автомобильные выхлопы, микроорганизмы... Что нужно сделать, чтобы не рушились мосты и не обваливались крыши зданий, не ржавели корабли и не старели раньше времени самолёты? Чтобы из прохудившихся трубопроводов не сочились нефть, газ, да хоть бы и вода? Как рассчитать конструкцию изделия, чтобы из-за поломки крошечной детали не выходил из строя сложный агрегат? И как уберечь российских потребителей от товаров, не рассчитанных на наш климат? Эти вопросы — предмет серьёзного разговора. Слово — ведущему отечественному материаловеду.

**Академик Евгений КАБЛОВ, генеральный директор Всероссийского института авиационных материалов (ВИАМ).**

Человек приспособился к жизни в разных климатических условиях, но этого мало: жару и мороз, сушь и дожди должна выдерживать техника. Чтобы оценить ресурс и надёжность сложных технических систем, важно понимать, какое воздействие на материалы оказывают климатические факторы.

По оценкам японских специалистов («Es-рес Technology Report», № 1), более 60% случаев отказа оборудования связаны с воздействием температуры и влаги. Например, при высоких температурах изменяются электрические параметры — индуктивность, ёмкость, сопротивление, в результате отказывает электроника. Из-за размягчения и расширения поверхностных слоёв начинается разрушение движущихся частей. Ускоряются окисление и связанное с ним старение материалов. Низкие температуры вызывают другие проблемы: уменьшается эластичность каучука и смол, застывают смазки, замерзают жидкости, происходит термоусадка, образуются трещины. Высокая влажность ускоряет коррозию, а материалы, способные впитывать влагу, набухают и теряют свои свойства.

Разрушение материалов под воздействием климатических факторов приводит к авариям на транспорте, на производстве, в жилищно-коммунальном хозяйстве. Около четверти аварий на газовых и нефтяных трубопроводах — следствие коррозии. И чем дольше эксплуатируется трубопровод, тем чаще аварии. По данным американской компании Согрго, в течение первых восьми лет после запуска трубопровода фиксируются только три аварии, через 17 лет — уже 94! Прогноз на основе этих данных даёт 665 аварий через 25 лет эксплуатации. А любая авария, связанная с трубопроводом, — это не только экономические, но и экологические и социальные последствия.

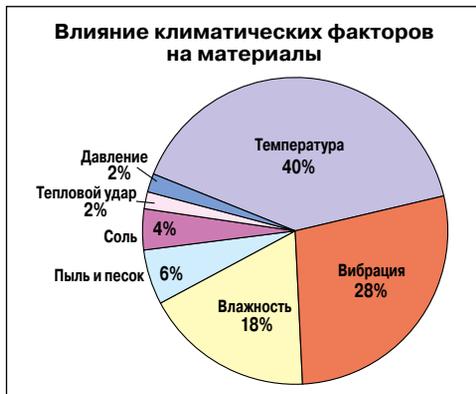
Ежегодные мировые потери от коррозии оцениваются в 2,2 трлн долларов, и в таких странах, как США, Великобритания, Германия, достигают 3% ВВП. В США в 2011 году прямые потери составили 468 млрд долларов. (Последняя достоверная оценка коррозионных потерь в нашей стране относится к 1969 году: 6,7 млрд долларов, или 2% ВВП.) При этом по крайней мере четверти всех потерь можно было бы избежать, если использовать научно обоснованные методы защиты материалов от коррозии и других климатических факторов.

Приоритет в понимании механизмов коррозии принадлежит Георгию Владимировичу Акимову, одному из основателей ВИАМа. Ещё в 1920-е годы он задумался над тем, почему одни сплавы быстро разрушаются под воздействием кислорода и воды, а другие относительно устойчивы. В 1926 году Акимов, находясь на отдыхе в Севастополе, чтобы времени зря не терять, провёл серию опытов. Он подвешивал стальные болтики к алюминиевой проволоке, к медной проволоке, к обычной бечёвке, погружал их в морскую воду и смотрел, что происходит.

Акимов пришёл к выводу, что процесс коррозии описывается механизмами электролитического взаимодействия. А как только стал понятен механизм, появилась возможность разработать способы защиты, например покрытие стали и алюминия слоем цинка.

Полимерные композиционные материалы, которые в последние десятилетия заметно потеснили металлы, не подвержены коррозии. Но их тоже надо защищать. И в

● **Трибуна учёного**  
**Проблемы безопасности**



первую очередь — от влаги. Композиционный материал — многослойный, он состоит из прочного волокна и полимерного связующего, например эпоксидной смолы. Если влага проникает на границу раздела волокно—матрица, происходит расслаивание, разрушение материала. В каком-то смысле полимерный композиционный материал можно сравнить по структуре с железобетоном: стальная арматура обеспечивает прочность, жёсткость, а бетон — монолитность конструкции. И если, например, в бетоне осталась избыточная влага, которая к тому же замёрзла, бетон разрушается. То же и с полимерным композитом: когда в матрице композита образуются трещины, то есть основа материала теряет прочность, волокна просто расползаются и конструкция теряет эксплуатационные свойства. Есть международные стандарты, которые дают оценку воздействия воды на композит. Образец помещают в водяную баню и выдерживают в течение полутора месяцев, до полного влагонасыщения. После этого измеряют механические свойства материала: как правило, они снижаются на 30—40%. Мы в ВИАМе создали связующее, которое позволяет сохранить 85% свойств материала даже при длительном воздействии влаги и температуры.

Другой повреждающий фактор — ультрафиолет. Он вызывает деструкцию связующего, и материал теряет механические свойства. Похоже процессы происходят и под воздействием песка, который «выдувает» связующее из состава материала. Известен случай с компанией «Роллс-Ройс». В начале 1970-х там сконструировали новый двигатель, в котором лопатки вентилятора сделали из углепластика. Получили выигрыш по весу, отличные характеристики по модулю упругости и прочности. Но не учли одну особенность: пыль, которая засасывалась в двигатель на аэродроме, практически полностью удалила полимерную матрицу из

тела лопатки, и та стала похожа на веник, только из волокон углерода. Компания потерпела очень большие убытки и обанкротилась. Тогда королева Великобритании приняла решение о национализации компании с выкупом всех долгов. А через некоторое время компания вновь продала в частные руки. Пример грамотного отношения руководителей государства к бренду, составляющему национальное достояние.

Ещё один фактор — биоповреждения. Они особенно заметны в тропических условиях. Появилось множество разных микроорганизмов, которые питаются за счёт полимеров и других материалов. Самое главное — продукты жизнедеятельности этих микроорганизмов очень агрессивны. Некоторые выделяемые ими вещества прожигают пластинки из нержавеющей стали толщиной 1—1,5 мм. Есть микроорганизмы, которые могут жить в керосине, а им заправляют самолёты. К примеру, заправили самолёт в Юго-Восточной Азии, и в топливный бак попали эти микроорганизмы. Они активно размножаются, а продукты их жизнедеятельности образуют студенистую массу, которая забивает трубопроводы. А если топливо перестанет поступать в двигатель, он отключится. Было несколько авиакатастроф именно из-за того, что в керосин не ввели биоцидные присадки, которые уничтожили бы микроорганизмы.

**Ч**тобы определять стойкость материалов и конструкций к воздействию природных факторов, надо иметь сеть климатических испытательных центров. К сожалению, в нашей стране не все это понимают и даже от специалистов нередко приходится слышать: зачем годами держать материалы на открытых площадках, если есть система ускоренных испытаний? Поставим образцы в камеру, где есть и влажность, и температура, и ультрафиолет, и будем гонять при жёстких режимах.

Конечно, используя ускоренные испытания, можно в первом приближении понять, насколько материал склонен к разрушению, способен ли он выдержать, например, воздействие соляного тумана. Но ни в одной климатической камере мы не сможем оценить совокупное влияние реальных климатических факторов — так смоделировать природу просто нельзя! Без натуральных испытаний невозможно установить коэффициент корреляции ускоренных испытаний с теми процессами, которые происходят в реальных климатических условиях. И даже если для отдельных материалов коэффициент корреляции установлен, очень трудно определить, какой ресурс работы можно

назначить изделию, состоящему из разных материалов, с разными системами защиты. Только сопоставляя натурные испытания с ускоренными, мы можем сказать, сколько лет прослужит это изделие при эксплуатации в тропическом климате или в умеренно холодном. Чтобы иметь полную картину того, как себя ведут и материал, и конструкция, ускоренные и натурные испытания надо проводить параллельно.

По техническим стандартам, которые действуют в США, Китае, европейских странах, определяющими являются результаты натурных испытаний. В США и странах НАТО существует целая сеть специальных центров: они обеспечивают испытания материалов и техники (как военной, так и гражданской) в климатических зонах 14 типов — от экстремально жаркого сухого климата пустыни Аризона до холодного на Аляске. Испытания — как натурные, так и ускоренные — проводятся по единой системе.

Испытывают не только образцы, но и узлы, агрегаты, электронные конструкции. Любая сложная техника должна пройти натурные испытания. Причём для автомобилей и вездеходов есть специальные вращающиеся площадки. Они совершают поворот вслед за солнцем, так что один бок автомобиля всегда подставлен солнечным лучам, а другой остаётся в тени.

Крупнейший климатический испытательный центр расположен на мысе Канаверал во Флориде, откуда происходят запуски космических аппаратов. Отличная испытательная площадка у американцев на Гавайях — там и морской климат, и высокогорный, и есть возможность установить испытательный стенд на действующем вулкане.

У нас в стране всего два испытательных центра, соответствующие международным стандартам. Один — в Москве, с площадкой на крыше одного из корпусов ВИАМа, где идут испытания в условиях города с развитой промышленностью и большим количеством автомобилей. Другой — в Геленджике, на берегу моря. Это Центр климатических испытаний ВИАМа им. Г. В. Акимова.

**Что такое натурные испытания?**

Это только так кажется, что можно просто выставить кусок металла или пластика на солнышко, и пусть он там лежит, греется, пока не разрушится. Для каждого материала есть несколько схем испытаний: в тени и на солнце, с дополнительными механическими нагрузками, с погружением в воду или с поливом морской водой. Через определённые промежутки времени, например через три месяца, из карточки ис-

пытуемого материала вырезают фрагмент, делают образцы, испытывают разными методами. Мы контролируем 16 параметров и через два года получаем достаточно полную картину деградации свойств. Есть образцы, которые экспонируются дольше — пять, десять лет и более.

Недавно в Швейцарии по нашему заказу изготовили уникальный автоматизированный комплекс для испытаний крупногабаритных элементов конструкций на силовом полу под открытым небом — он позволяет создавать нагрузки до 25 тонн.

Мы планируем разработать систему глубоководных испытаний, чтобы можно было оценить, как ведут себя трубопроводы, которые всё чаще прокладывают по дну моря. Конечно, их делают с большим коэффициентом запаса по прочности, но, чтобы быть уверенным, что труба прослужит расчётный срок, необходимо знать степень агрессивности придонного слоя воды. Например, в Чёрном море, где проходит «Голубой поток», есть области с очень высоким содержанием сернистых соединений.

Территория России огромна, она расположена в семи климатических зонах. Надо строить и оснащать испытательные центры в Якутии, на Урале, на Дальнем Вос-



*При механических нагрузках коррозионные процессы проходят более интенсивно. Для испытаний крупногабаритных элементов конструкций под открытым небом в Геленджикском центре климатических испытаний в 2012 году введён в эксплуатацию уникальный автоматизированный комплекс.*

токе. Испытательную площадку Российской академии наук на острове Русский снесли, а новую так и не построили. В идеале для каждой климатической зоны нужен хотя бы один испытательный центр. А учитывая, что в каждой зоне есть районы с разной агрессивностью среды, при каждом центре



*Обрастание водорослями, моллюсками, кораллами усиливает процессы коррозии.*



*Коррозия трубопровода ТНК-ВР в Тюменской области.*



*Коррозия магистрального газопровода Газпрома в районе Перми под отслоившимся изоляционным покрытием.*

должны быть ещё как минимум три климатические станции. И эти станции желательно располагать в тех местах, где агрессивность среды выше, чем в среднем по климатической зоне. Могу привести реальный пример: на одном из аэродромов разрушение материалов на фюзеляже самолётов почему-то шло гораздо быстрее, чем можно было ожидать. Оказалось, аэродром попадает в розу ветров металлургического комбината, выбросы которого разъедают металл. То есть в каждой зоне надо выявлять районы с более высокой агрессивностью и именно там создавать климатические станции.

Необходимы испытания и в тропических условиях, ведь мы продаём технику, и военную и гражданскую, в страны с тропическим климатом. Был такой случай: поставили вертолёты в Латинскую Америку. Лопастей у этих вертолётов сделаны из стеклопластика, и в нашей средней полосе 25 лет они служат без каких-либо проблем. А в тропических условиях они через два года так провисли, что при запуске лопасть стучала по хвостовой балке. Стали разбираться: оказалось, что связующее, которое использовали в стеклопластике, не может противостоять проникновению влаги. Мы дали изготовителям рекомендации по замене связующего, и теперь даже при насыщении влагой сохраняется 85% свойств. Лопастей заменили, и вертолёты работают уже 15 лет. А если бы мы не смогли найти такое решение, был бы большой скандал и деньги пришлось бы возвращать.

До распада СССР испытания материалов в тропических условиях проводили в Батуми. Сейчас мы пытаемся организовать подобные испытания в Тропическом центре Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН во Вьетнаме. В Геленджике тоже планируем создать испытательный комплекс с условиями, близкими к тропическим, чтобы изучать устойчивость к биоповреждениям.

Хочу подчеркнуть: нельзя подходить с одной меркой к технике, работающей на Кольском полуострове и в средней полосе, в Сибири и на Кавказе. Это касается и транспорта, и инфраструктуры, и строительных материалов. Например, мы уже убедились, что в северных районах России в качестве арматуры надо использовать не металлы, а базальтопластики — у них нет холодного охрупчивания. Сейчас идёт активное строительство дорог, мостов во влажном климате: на Дальнем Востоке — на острове Русский, на побережье Чёрного моря — в Сочи. Но никто не оценивал, как и какие материалы надо применять в таких условиях, и коррозия уже идёт, хотя строи-

тельство ещё не завершено. В сфере ЖКХ по всей стране — свои проблемы. Конечно, необходимо менять металлические трубы на пластиковые, но надо понимать, как защищать эти трубы от влаги и перепадов температуры.

В последние десятилетия в нашей стране обращали так мало внимания на состояние технических систем, что мы можем столкнуться с массовыми авариями. Уже сталкиваемся — из-за халатности и технической безграмотности. Почему, например, в 2006 году в Москве рухнул Бауманский рынок? Как установила комиссия, основная причина — нарушения правил технической эксплуатации. Не обеспечили нормальную работу вентиляции, утеплитель кровли пропитался влагой, в результате пошла коррозия. Некоторые элементы несущих конструкций оболочки, в том числе тросы-ванты, на которых держалась крыша, имели коррозионный износ до 50%! И никто за этим не следил.

Сейчас принято считать, что бытовая техника не должна служить долго, поскольку морально устаревает быстрее, чем начинают разрушаться материалы. Возможно, и так, но в любом случае должна быть обеспечена безопасность эксплуатации изделий, которые поступают на наш рынок. Когда подрядчики оснащали оборудованием филиал института в Геленджике, закупили кондиционеры двух разных фирм. Через два года в одном из кондиционеров, выпущенных малоизвестной китайской фирмой, образовалась дыра, кронштейны сгнили, и он упал — хорошо, что не на голову сотруднику. А кондиционеры фирмы «Панасоник» (кстати, тоже выпущенные в Китае) уже шесть лет работают без проблем.

В связи с вступлением России в ВТО вопрос качества импортной продукции будет стоять очень остро. К нам придёт большое количество товаров, которые никто не оценивал с точки зрения пригодности для нашего климата, нашей инфраструктуры. Уже сейчас рынок завален лаками и красками с поддельными сертификатами, выданными непонятно кем. В ВИАМе, к примеру, испытали серию лакокрасочных покрытий для металла, в том числе от известных производителей, которые якобы можно наносить прямо по ржавчине. Оказалось, что лучше всего защищает поверхность та система, которую мы использовали при восстановлении скульптуры «Рабочий и колхозница» (см. Наука и жизнь» № 11, 2009 г. — **Прим. ред.**). Причём сначала обязательно надо очистить поверхность, затем нанести грунт и лишь потом — защитное покрытие.

**Ч**тобы обеспечить безопасную эксплуатацию, надо не только знать, в каких климатических условиях работает техника, выдерживает ли она, скажем, сорокаградусные морозы, но и учитывать особенности инфраструктуры. Например, качество водопроводной воды. Если в системе охлаждения заливать воду с высоким содержанием солей или других примесей, забиваются каналы. Если вода имеет щелочную реакцию, пусть даже очень слабую, разрушаются стеклопластики.

Любая сложная техническая конструкция — это сочетание различных материалов и различных систем их защиты. Сейчас растёт использование углепластиков, других полимерных композиционных материалов. И это хорошо, но только надо обязательно учитывать, что углепластики не должны напрямую контактировать с алюминийевыми сплавами, а применение полимерных композитов требует продуманной системы вентиляции, предотвращающей образование конденсата.

Необходимо, чтобы заключения, разрешающие безопасную эксплуатацию техники и сооружений, выдавали не расплодившиеся ООО «Рога и копыта», а государственные научные центры, которые имеют соответствующую школу, традиции, опыт, знания.

Нынешнее время называют веком умных материалов. Но для того чтобы разрабатывать и эксплуатировать такие материалы, нужны умные люди, технически грамотные специалисты. Иначе мы не будем конкурентоспособны. Например, в США уже идёт оснащение самолётов сенсорами коррозии, а также оптоволоконными датчиками с брэгговскими решётками для оценки деформации элементов конструкции самолётов в полёте. Мировой рынок таких датчиков оценивается в миллиард долларов. Поговаривают, что с 2017 года ни один самолёт не будет летать в небе над Америкой, если в крыле нет подобных датчиков. Сделайте — будете летать. Не можете сделать — покупайте у нас. Такими же датчиками оснащают мосты и высотные здания.

Все развитые страны уже давно поняли, что деньги надо вкладывать в науку, в получение новых знаний. Науке отдан приоритет и в США, и в Китае. Фактически это схема нового миропорядка. Мировую элиту уже составляют те, кто создаёт новые знания, разрабатывает на их основе новые технологии и в дозированном виде передаёт часть своих знаний и технологий другим. Возможно, звучит жёстко, но об этом надо говорить.

**Материал подготовила  
Елена ЛОЗОВСКАЯ.**