УДК 625.08
Мухаметшина Р.М. – кандидат химических наук
E-mail: rumya211@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Влияние климатических факторов на свойства материалов и надежность дорожно-строительных машин

Аннотация

Статья посвящена проблеме климатической надежности дорожно-строительных машин. Рассмотрены виды и характеристики отказов машин, определяемых воздействием климатических факторов. Установлена взаимосвязь изменения прочностных свойств под воздействием климатических нагрузок со структурными превращениями, происходящими в материале. На основе изучения закономерностей влияния климатических факторов на свойства материалов и показатели надежности машин сформулированы рекомендации для обеспечения климатической надежности дорожно-строительных машин.

Ключевые слова: климатические факторы, надежность машин, конструкционные и эксплуатационные материалы, техническая жесткость климата, дорожно-строительные машины.

Обеспечение безопасной эксплуатации дорожно-строительной техники предъявляет жесткие требования к надежности материалов, используемых в конструкциях изделий. Современные дорожно-строительные машины характеризуются выполнением сложных технологических процессов в различных климатических условиях. Низкая и высокая температуры, влажность среды, запыленность атмосферы, солнечная радиация, сильный ветер, дождь, снег и другие атмосферные факторы оказывают существенное влияние на физико-механические свойства материалов и за время эксплуатации изделий могут значительно снизить их прочностные свойства. Поэтому одним из важнейших критериев выбора материалов при создании машин является их стойкость к воздействию климатических факторов. Изучение закономерностей влияния климатических факторов на свойства материалов и надежность машин представляет значительный интерес и привлекает к себе все большее внимание исследователей [1-3].

Детали и узлы дорожно-строительных машин подвергаются влиянию различных видов климатических воздействий (рис. 1). Рассмотрим виды и характеристики отказов машин, определяемых воздействием климатических факторов. Отказы машин подразделяют на пусковые, нагрузочные и рабочие. Пусковыми отказами являются такие, вследствие которых детали, узлы, агрегаты машин при их исправном состоянии не могут быть запущены в работу. Климатические пусковые отказы распространены при эксплуатации машин в условиях низких температур. Нагрузочные отказы машин являются следствием нарушения функциональных связей между элементами машины или между машиной и эксплуатационной средой, например, дорогой, под действием перепада температур, гололеда, влаги и др. При возникновении нагрузочных отказов машина не может в полной мере выполнять расчетные нагрузки. Климатические рабочие отказы возникают в процессе работы машины и заключаются в нарушении работоспособного состояния машины из-за воздействия климатических факторов на свойства конструкционных материалов деталей машин, эксплуатационные материалы, топливо. Климатические факторы оказывают негативное воздействие на машину не только в период ее пуска и работы, но и в периоды хранения. При хранении машины под действием климатических факторов развиваются деградационные процессы, которые в процессе работы машины по назначению ускоряют возникновение ее отказов.

Климатическая система Земли является сложной и характеризуется большим разнообразием климата. Характерными особенностями климатических условий России являются низкие температуры и высокая влажность воздуха в зимнее время на большей части

ее территории, высокая интенсивность ветровых потоков, высокие температуры воздуха в летние месяцы, континентальность климата. Континентальность климата характеризуется годовыми размахами температуры воздуха и определяется по формуле (1) [4]:

$$к = \frac{A_г}{\varphi} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где к – континентальность климата;
$A_г$ – годовой размах температуры воздуха;
φ – географическая широта.

Рис. 1. Классификация климатических факторов

Анализ причин отказов машин основан на рассмотрении вида воздействующих климатических нагрузок, длительности воздействия и закономерностей изменения нагрузок во времени. При низких температурах основной причиной увеличения потока отказов машин являются хрупкие разрушения металлических деталей, полимерных материалов вследствие возникновения низкотемпературной хрупкости материалов. Для машин, работающих на открытом воздухе, значения низких температур находятся в пределах от 0 до -40 ^{o}C, а в северных районах охлаждение материалов может достигать -60 ^{o}C. У многих конструкционных сталей и пластмасс порог хладноломкости лежит в диапазоне этих температур. Наиболее характерным при низких температурах является увеличение числа отказов несущих и ходовых систем, деталей бульдозеров, стрел, ковшей, рукоятей экскаваторов, валов и зубчатых колес машин [5]. В результате этого производительность дорожно-строительных машин в зимнее время года значительно снижается. Отсутствие хладноломкости является главным требованием к конструкционным материалам, работающим в условиях низких температур. При проектировании машин для работы в условиях отрицательных температур в конструкциях изделий используют стали без примесей азота и серы, которые снижают ее пластичность и повышают хладноломкость. Холодный климат негативно влияет и на свойства эксплуатационных материалов, вызывая застывание технических жидкостей, масел и смазок. Эксплуатационные материалы должны назначаться в строгом соответствии с требованиями по применению для конкретных климатических условий.

Высокие температуры воздуха также в значительной степени влияют на структуру и свойства материалов. Длительное время воздействия высокой температуры приводит к значительным структурным изменениям в материалах, ухудшению их физических и механических свойств. При высокой температуре ускоряются диффузионные процессы, которые влияют на дефектную структуру изделия. Во всех используемых деталях машин из кристаллических твердых материалов имеются элементарные дефекты кристаллической решетки, которые при определенных условиях эксплуатации могут

быть причиной отказов. Образование дефектов и их перемещение в твердом теле под воздействием температуры может привести к деформации элементов машин и их разрушению. Дефекты приводят также к изменению электрофизических свойств материалов. Для изделий машиностроения наиболее распространенным видом дефектов являются вакансии, которые оказывают решающее влияние на процессы ползучести, обезуглероживания, графитизации и другие физико-химические процессы разрушения материалов. Работоспособность машин при высоких температурах обеспечивают применением специальных жаростойких материалов и изделий. Конструктивными мероприятиями по обеспечению надежности при эксплуатации в условиях жаркого сухого климата является использование высоконадежных фильтров для всех рабочих систем машин, применение эффективных систем охлаждения и вентиляции.

Современная теория физики твердого тела определяет процесс разрушения материала как постепенный кинетический термоактивационный процесс, развивающийся в материале с момента приложения нагрузки. В настоящее время экспериментально получена зависимость между ресурсом материала и температурой [6]:

$$t_p = \tau_0 \exp[-(W_0 - \gamma\sigma) / RT], \qquad (2)$$

где t_p – наработка до отказа; R – универсальная газовая постоянная; T – температура; τ_0 – параметр, совпадающий по значению с периодом собственных тепловых колебаний атомов в кристаллической решетке твердого тела; σ – действующее напряжение; γ – характеристика чувствительности материала к напряжению; W_0 – начальная энергия активации процесса разрушения при $\sigma = 0$, постоянная для данного материала в широкой области температур; $(W_0 - \gamma\sigma)$ – энергия активации разрушения. Эта формула справедлива для чистых металлов, сплавов, полимерных материалов, полупроводников. Из формулы (2) видно, что с увеличением температуры интенсивность отказов экспоненциально возрастает. При уменьшении температуры до нуля время разрушения увеличивается до бесконечности. Это означает, что разрушение при нагрузках ниже критической температуры не может происходить в отсутствие теплового движения атомов. У металлов разрушение определяется в основном двумя процессами: разрывом межатомных связей в кристаллической решетке за счет тепловых колебаний и направленной диффузией вакансий к трещинам, что приводит к росту трещин за счет притока вакансий. Разрушение полимерных материалов при температурных воздействиях обусловлено процессами разрыва внутримолекулярных химических связей в результате тепловых колебаний.

Температурное воздействие на свойства материалов и надежность машин определяется влиянием солнечной радиации на тепловой режим воздуха. Скорость нагрева тел зависит от интенсивности солнечной радиации, температуры окружающей среды и отражательной способности поверхности. Количество энергии E, излучаемое поверхностью машины, определяется согласно закону Стефана-Больцмана по формуле (3):

$$E = \sigma \cdot F \cdot T^4, \qquad (3)$$

где σ – коэффициент пропорциональности;
F – поверхность машины;
T – абсолютная температура излучающей поверхности.

Отражательная способность зависит от цвета и шероховатости поверхности. Чем более гладкую поверхность имеет машина, тем больше лучей она отражает. Эксплуатация дорожно-строительных машин на открытом воздухе обуславливает неблагоприятное воздействие ветровых нагрузок на показатели надежности машин и безопасное их функционирование. Ветер ухудшает условия работы машин, особенно при выполнении подъемно-транспортных работ. Скорость ветра во времени изменяется непрерывно в широком интервале значений. В соответствии с этим изменяется и динамическое давление ветра. Ветровые нагрузки на детали машин могут достигать значительной величины. Наиболее опасным является динамическое воздействие ветра в тех случаях, когда частота пульсации ветра совпадает с частотой собственных колебаний элементов машин. В нормативной документации допустимые ветровые нагрузки регламентируются в зависимости от конструкции дорожно-строительной техники. Используется система автоматической сигнализации при достижении нагрузки равной предельно расчетной. В

зарубежной практике широко применяют снижение нагрузок на машины путем неполной загрузки рабочих органов, например, путем уменьшения объема ковшей экскаваторов.

Существенное влияние на показатели надежности машин оказывает влажность окружающей среды. Воздействие относительной влажности воздуха на дорожно-строительные машины обуславливается процентным содержанием влаги в воздухе. При повышенной влажности молекулы воды проникают внутрь материала. Механизм проникновения влаги в материалы может быть капиллярным и диффузионным. Капиллярное проникновение происходит при наличии в материале микроскопических пор, трещин и других дефектов. При диффузионном проникновении молекулы воды заполняют промежутки между структурными частицами материала. Скорость проникновения влаги в материал увеличивается при повышении температуры окружающего воздуха. Длительное воздействие высокой влажности вызывает изменение свойств изоляционных материалов. Поглощение влаги диэлектриком ведет к уменьшению его сопротивления, ухудшению диэлектрических свойств, набуханию, механическим повреждениям. Повышенная влажность способствует также интенсивному разрушению деталей машин вследствие электрохимической коррозии [7]. При малом содержании влаги в воздухе (меньше 50 %) в сухой теплой атмосфере перемещение молекул воды происходит из материала в воздух, что также изменяет свойства материалов. При низкой влажности материалы становятся хрупкими, ломкими, в них интенсивнее развиваются трещины и микроразрушения. Нормальной влажностью считается относительная влажность 60…75 % при температуре 20…25 ^{o}C. Для защиты поверхности изделий от неблагоприятной внешней среды применяют различные металлические и неметаллические покрытия. Выбор вида покрытия в каждом конкретном случае зависит от материала детали, ее функционального назначения и условий эксплуатации. Используют также различные способы герметизации с помощью изоляционных материалов и непроницаемых для влаги оболочек.

В реальных условиях климатическая надежность дорожно-строительных машин характеризуется комплексным воздействием климатических факторов (рис.2).

Интенсивность воздействия комплекса климатических факторов на свойства материалов и надежность технических систем определяется как техническая жесткость климата [4]. Техническую жесткость климата для дорожно-строительных машин можно представить в виде функционального выражения:

$$S = f(Q,t,\ \varphi,\sigma,\upsilon), \qquad (4)$$

где S – техническая жесткость климата;
Q – суммарная солнечная радиация;
t – температура воздуха;
φ – относительная влажность воздуха;
σ – средняя амплитуда суточных колебаний температуры воздуха;
υ – средняя скорость ветра.

В выражении (4) отражены наиболее значимые климатические факторы, существенно влияющие на изменение свойств материалов и надежность машин. Изменения свойств материалов зависят от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов. Необходимо отметить, что во многих случаях определяющее влияние на свойства и состояние материалов оказывают не отдельные климатические факторы, а их неблагоприятные сочетания. Наиболее неблагоприятными являются сочетания таких факторов как низкие температуры воздуха и ветер, высокие температуры воздуха и низкая влажность и др. Комплексное воздействие солнечной радиации, тепла и влаги воздуха ускоряет процессы старения полимерных материалов: пластмасс, резины, изоляционных материалов и др. При старении технических полимеров изменяются структура, химический состав, взаимодействие макромолекул, определяющие физико-механические свойства этих материалов: твердость, прочность, эластичность, пластичность, растворимость, диэлектрические свойства.

Рис. 2. Схема комплексного влияния основных климатических факторов на свойства материалов и отказы машин

Таким образом, длительная работа материалов в конструкциях дорожно-строительной техники связана с накоплением необратимых повреждений в материалах. Под воздействием климатических факторов происходят процессы разупрочнения, снижения твердости и износостойкости материалов, которые приводят к микроповреждениям рабочих поверхностей деталей. Эти изменения, постепенно накапливаясь, способствуют нарушению нормальных режимов работы деталей, сборочных единиц и машины в целом, что в конечном итоге приводит к уменьшению их надежности и увеличению количества и стоимости работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Климатическая надежность машин определяет степень их приспособленности к обеспечению показателей надежности в условиях влияния климатических факторов. В современных условиях глобального изменения климата проблема обеспечения высокого уровня климатической надежности является одной из первоочередных при создании и эксплуатации дорожно-строительных машин. Решение этой проблемы связано с проведением комплекса мероприятий, направленных на повышение стойкости изделий к климатическим воздействиям. Развитие дорожно-строительной техники предъявляет повышенные требования к конструкционным и эксплуатационным материалам. В последние годы наметились новые направления улучшения свойств используемых материалов за счет формирования микро- и нанокристаллической структуры [8]. Наноструктурные материалы на основе ультрадисперсных порошков используются в качестве различных видов наполнителей каучука и резины, присадок к смазочным маслам. Нанопорошки из керамики применяются в качестве исходного материала для получения наноструктурных покрытий на различных деталях. Система эксплуатации и технического обслуживания дорожно-строительных машин должна учитывать особенности климатических условий, адаптировать их к климатическим изменениям и тем самым повысить экономическую эффективность использования машин. При современном развитии климатических изменений наиболее перспективным направлением представляется создание машин с наличием информационных систем о ее состоянии и рациональных условиях функционирования.

Список библиографических ссылок

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. // Авиационные материалы и технологии, 2012, № 5. – С. 7-17.
2. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Создание дорожно-строительных машин с интеллектуальным управлением. // Строительные и дорожные машины, 2014, № 2. – С. 57-59.
3. Кравченко И.Н., Гайдар С.М., Жуков Л.В., Ларин П.Г. Обоснование факторов, оказывающих влияние на надежность специальной техники в особых условиях эксплуатации. // Фундаментальные исследования, 2014, № 3. – С. 262-266.
4. Щурин К.В. Надежность мобильных машин. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 585 с.
5. Карнаухов Н.Н., Круг А.Р. Особенности эксплуатации гидравлических экскаваторов в холодных климатических условиях. // Строительные и дорожные машины, 2013, № 9. – С. 37-43.
6. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
7. Мухаметшина Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии. // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С. 403-408.
8. Суходоля А.В., Одинокова И.В. Современные подходы к прогнозированию долговечности лакокрасочных покрытий строительных и дорожных машин. // Строительные и дорожные машины, 2014, № 5. – С. 26-29.

Mukhametshina R.M. – candidate of chemical sciences
E-mail: rumya211@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya, st. 1

The impact of climatic factors on materials properties and road building machines reliability

Resume

The problem of climatic reliability assurance is one of the primary ones in machines producing and exploitation. Modern road building machines operating conditions set up claims of materials reliability and strength in a wide range of climatic factors. On the quality of applied materials, their correspondence to the particular exploitation conditions depend reliability, productivity and durability of the machines. The main properties of structural and engineering maintenance materials do not remain constant and change in course of time in consequence of physical chemical impact of the environment where materials operate. Estimating relationship of strengthening properties changings under the influence of climatic factors with structural transformations happening in the material allows to estimate the working capacity area of the material as a part of actual product. Under the influence of climatic factors take place such processes, as loss of strength, softening and durability of the materials, which lead to microdamages of the details working surfaces. These changes gradually amassing course abnormal operation of the details, assembly units and machine as a whole, and this finally leads to decreasing the level of their reliability and increasing work quantity and cost of technical servicing and repair. Guaranteeing a high level of climatic reliability is concerned with carrying out a complex of activities aimed at increasing the mechanical article resistance to climatic impacts.

Keywords: climatic factors, machines reliability, structural and engineering maintenance materials, technical climate rigidity, road building machines.

Reference list

1. Kablov E.N. Strategic directions of materials development and technologies of their processing for the period up to 2030 // Aviation materials and technologies, 2012, № 5. – P. 7-17.
2. Balovnev V.I. Intellectualization of Road Construction Machinery // Construction and Road Building Machinery, 2014, № 2. – P. 57-59.
3. Kravchenko I.N., Gaydar S.M., Zhukov L.V., Larin P.G. Justification of the factors affecting the reliability of special equipment in special conditions exploitation // Fundamental Research, 2014, № 3. – P. 262-266.
4. Schurin K.V. Mobile Machines Reliability. – Orenburg: OGU, 2010. – 585 p.
5. Karnaukhov N.N., Krug A.R. Features of exploitation of hydraulic excavators in cold climates // Construction and Road Building Machinery, 2013, № 9. – P. 37-43.
6. Kubarev A.I. Reliability Engineering. – M.: Publishing House of Standards, 1989. – 224 p.
7. Mukhametshina R.M. Road Building Machines Glitches on Corrosion Parameters // Izvestiya KGASU, 2013, № 4 (26). – P. 403-408.
8. Sukhodolia A.V., Odinokova I.V. Modern approaches to the prediction of paint-and-lacquer coatings durability in production and repair construction and road building machinery // Construction and Road Building Machinery, 2014, № 5. – P. 26-29.