

DOI 10.37882/2223-2966.2023.02-2.06

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РИСКА СНИЖЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ВСЛЕДСТВИЕ ОШИБОК ОЦЕНКИ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

## INVESTIGATION OF THE RISKS OF REDUCING THE SAFETY OF TECHNICAL FACILITIES DUE TO ERRORS IN ASSESSING THEIR DURABILITY AT THE DEVELOPMENT STAGE

**V. Basurov**  
**A. Nizhegorodtsev**  
**M. Sidorenko**  
**V. Yunina**

*Summary.* The article is devoted to the consideration of environmental aspects of the risk of reducing the safety of technical objects due to errors in assessing their durability. Special attention is paid to the risks when creating models of equipment, which are associated with the loss of relevance of regulatory documents regulating climatic zoning for technical purposes due to global climate change. The features of accelerated climatic tests are also described, which provide forced aging of materials due to the action of elevated temperature and humidity, cyclic zero crossings, etc. Perspective options for solving the problem with the obsolescence of versions of zoning of territories, depending on climatic conditions, are indicated.

*Keywords:* changing of the climate, climatic zoning, climatic tests, security, technics, risk.

**Басуров Владимир Адольфович**

Кандидат биологических наук, Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского  
basurov@mail.ru

**Нижегородцев Александр Александрович**

Кандидат биологических наук, Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского  
ecotox@mail.ru

**Сидоренко Михаил Владимирович**

Кандидат биологических наук, Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского  
Eco\_smv@mail.ru

**Юнина Валентина Петровна**

Старший преподаватель, Национальный  
исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского  
Ecocenter\_nngu@mail.ru

*Аннотация.* Статья посвящена рассмотрению экологических аспектов риска снижения безопасности технических объектов вследствие ошибок оценки их долговечности. Отдельное внимание уделено рискам при создании образцов техники, которые связаны с утратой актуальности нормативных документов, которые регламентируют для технических целей климатическое районирование. Также описаны особенности ускоренных климатических испытаний, которые обеспечивают форсированное старение материалов за счёт действия повышенной температуры и влажности, циклических переходов через ноль и т.д. Обозначены перспективные варианты решения проблемы с устареванием версий районирования территорий, в зависимости от климатических условий.

*Ключевые слова:* климатическое районирование; изменение климата; климатические испытания; техника; риск; безопасность.

Глобальные климатические изменения на нашей планете являются прямым следствием человеческой деятельности. Актуальность исследования данных процессов и прогноза возможных последствий на сегодняшний день не вызывает сомнений. Однако в современных условиях объектом прогноза, как правило, является собственно изменение климата, его характер и возможные значения основных параметров, влияющих на качество жизни человека. В области безопасности наибольший интерес при этом вызывают

изменения, связанные с возможностью производства продуктов питания, риски возникновения опасных природных явлений, изменение уровня мирового океана и т.д. Гораздо меньше внимания уделяется обратному влиянию данного процесса на технические устройства и их безопасность. Однако, как показывает анализ, такая обратная связь существует и, в некоторых случаях, может приводить к серьёзным последствиям, поскольку среда обитания человека формируется так же и совокупностью технических устройств, с которыми

он прямо или косвенно взаимодействует. Настоящая статья посвящена исследованию одного из аспектов такого влияния — корректности прогнозирования изменения характеристик образцов техники в процессе длительной эксплуатации, проводимая на этапе их разработки.

Опасная погода представляет опасность для многих видов технических объектов. Например, используемые на объектах горючие производственные материалы могут содержать химическую основу, нефть и газ, соединения на основе углерода для покрытия древесины, взрывчатые вещества, энергетические материалы и многое другое. Таким образом, молния и суровая погода является первоочередной угрозой для способности объекта быть устойчивым и работоспособным. Однако наряду с работоспособностью, объект должен сохранять и безопасность, как свойство отсутствия недопустимого риска при его использовании по назначению. В противном случае потребительские свойства (качество) объекта теряют своё практическое значение.

В наиболее общей постановке можно абстрагироваться от конкретных технических объектов и конкретных характеристик. Однако при этом следует понимать, что в интересах настоящего исследования наибольший интерес представляют объекты повышенной опасности и их характеристики, непосредственно связанные с формированием рисков техногенных аварий и катастроф.

Очевидно, что работоспособность и безопасность должны находиться на минимально допустимом уровне на протяжении всего срока службы объекта, что в технике безопасности характеризуется понятием долговечности, которая является одним из ключевых элементов надёжности [1]. Оценка долговечности проводится на этапе разработки объекта, как теоретическим, так и опытным путём. Наиболее информативным является опытная эксплуатация (опытное хранение) изделий в характерных условиях применения. Подобные виды испытаний достаточно широко применяются для материалов и защитных покрытий, которые используются в составе многих технических объектов различного назначения. Высокая актуальность подобных исследований обуславливает постоянное совершенствование методов их проведения [2]. Однако сами технические объекты далеко не всегда подвергаются подобным испытаниям.

В случае, если изделие имеет достаточно продолжительный срок службы (несколько десятков лет), тогда возможность непосредственной прямой оценки в какой степени объекты смогут сохранять свою долговечность еще на стадии их разработки является за-

труднительно задачей. Особенно это касается объектов с относительно коротким сроком разработки. В данном случае, эксперты в большинстве своем используют ускоренные испытания, благодаря которым можно за достаточно короткий промежуток времени проследить старение объекта, эквивалентное его состоянию на протяжении всего срока службы. Однако, в ходе использования таких методов значительно повышаются риски, связанные с ошибками, неточностями установления параметров ускоренных испытаний [3].

Одним из таких видов испытаний являются ускоренные климатические испытания (УКИ). Благодаря им можно осуществить форсированное, контролируемое старение материалов вследствие действия повышенной влажности или температуры, циклических переходов через ноль и т.д. Одним из основных элементов УКИ является ускоренное температурно-влажностное старение.

Продолжительность ускоренного температурно-влажностного старения можно представить следующей зависимостью:

$$t_y = \frac{a_0}{a_y} \exp\left(-\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_y}\right)\right) t_c,$$

где  $E$  — коэффициент, который характеризует способность материала изменять свой ключевой показатель под воздействием температуры в ходе старения, Дж/моль;

$T_y$  — температура в период ускоренных испытаний, К;

$R$  — универсальная газовая постоянная (8,319 Дж/моль К);

$T_0$  — эквивалентная температура, К;

$a_0$  — эквивалентная относительная влажность, %;

$a_y$  — относительная влажность в период ускоренных испытаний, %;

$t_y$  — время ускоренного старения, час;

$t_c$  — срок службы, который имитируется час.

В случае, если годовой цикл разделяется на несколько периодов, характеризующихся некоторыми собственными значениями эквивалентной температуры и влажности, то для определения продолжительности ускоренного температурно-влажностного старения проводится суммирование по всем рассматриваемым периодам цикла. Однако это принципиально не изменяет общего подхода в рассматриваемом исследовании.

При наличии нескольких составных частей изделия и (или) ряда индикаторов, эквивалентная темпе-

ратура рассчитывается для максимального значения *E*. Это приводит к некоторой избыточности нагружения остальных частей, однако позволяет создать наиболее неблагоприятные условия для оценки и обеспечить некоторый «запас прочности».

Таким образом, чтобы время ускоренного старения было определено правильно необходимо найти энергию активации (которая представляет собой свойство испытываемого объекта), относительную влажность и эквивалентную температуру (являются свойствами климатической зоны эксплуатации). Определение энергии активации является задачей каждого конкретного исследования при разработке нового изделия. А определение эквивалентной температуры и относительной влажности носят более общий характер, так как должны определяться нормативными документами для каждого конкретного климатического района эксплуатации в соответствии с принятыми на сегодняшний день подходами к климатическому районированию для технических целей. Следовательно, ошибки, связанные с их определением, будут систематическими для всех технических объектов, создаваемых в период действия соответствующих нормативных документов.

Основополагающие принципы климатического районирования в нашей стране были заложены в 60-х годах прошлого века [4]. Однако до настоящего времени идёт совершенствование этих принципов с целью повышения эффективности практического использования результатов такого районирования для конкретных целей [5]. Это говорит о динамичности процессе формирования нормативных документов в данной предметной области и возможности наличия методических ошибок, связанных с этим.

Нормативным документом, который регламентирует климатическое районирование в технической области, является разработанный более 40 лет назад ГОСТ 16350–80 [6]. В нем содержится детальная информация о климатических условиях в разных частях мира, зафиксированная в ГОСТ 15150–69 [7], имеющем «возраст» более 50 лет. Обозначенный акты разработаны на основе информации, полученной в ходе многолетних наблюдений. Однако к настоящему времени можно констатировать высокую вероятность их устаревания, повышающуюся с интенсификацией процессов глобальных климатических изменений.

Для каждого из выделенных климатических районов определена влажность воздуха, эквивалентные температуры, которые необходимо использовать для установления периода ускоренного старения. Самым распространённым общеклиматическим использованием техники является ее эксплуатация в разных кли-

матических условиях. В данном случае выбирается самый неблагоприятный район из всего возможного диапазона допустимых районов эксплуатации.

Хотя потепление климата не является равномерным по всей планете, тенденция к росту среднемировой температуры показывает, что в большем количестве районов земли происходит потепление, а не похолодание. Согласно Ежегодному климатическому отчету NOAA за 2021 год, с 1880 года совокупная температура суши и океана повышалась в среднем на 0,08 градуса по Цельсию за десятилетие; однако с 1981 года средняя скорость повышения увеличилась более чем в два раза и достигла отметки 0,18 °C за десятилетие.

Аномалии средней температуры поверхности суши и океана за 2011–2020 годы позволяют сделать вывод о том, что это десятилетие стало самым теплым в истории земного шара, когда температура поверхности Земли на +0,82 °C превысила среднее значение 20-го века. Это превзошло предыдущий рекорд десятилетия (2001–2010 гг.), составивший +0,62 °C. Температура поверхности суши и океана в Северном полушарии в 2020 году была самой высокой за 141 год наблюдений на +1,28 °C.

2020 год характеризовался более теплыми, чем в среднем, температурами на большей части земного шара. Рекордно высокие годовые температуры на поверхности суши и океана были зафиксированы в Европе, Азии, южной части Северной Америки, Южной Америке, а также в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах. Однако ни в одном из районов суши или океана не было зафиксировано рекордно низких температур за год.

В Европе самый теплый год за всю историю наблюдений был на 2,16 °C выше среднего, превысив предыдущий рекорд, установленный в 2018 году, на 0,28 °C. Это также был первый год, когда годовое отклонение температуры в Европе превысило +2,0 °C. Все годы с 2014 по 2020 год входят в число семи самых теплых лет в Европе за всю историю наблюдений, а 10 самых теплых лет произошли с 2000 года.

Согласно информации Росгидромета [8] скорость повышения осредненной по территории РФ средней температуры за период 1976–2020 гг. составила 0,51 °C/10.

Результатом этого, в наиболее общих случаях, могут быть:

- ◆ потеря защитных свойств покрытий, преград и т.д.;
- ◆ потеря механической прочности (несущей способности) элементов конструкции;
- ◆ потеря химической стойкости материалов и т.д.

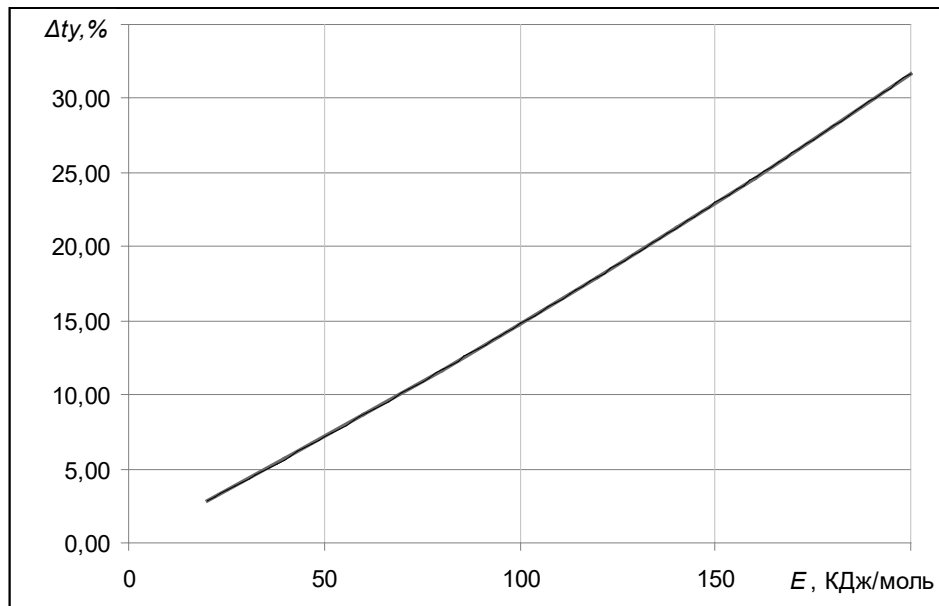


Рис. 1. Зависимость относительного изменения длительности УКИ  $t_y, \%$  от энергией активации  $E, \text{кДж/моль}$  при увеличении эквивалентной температуры на один градус

Очевидно, что связанные с этими процессами риски увеличиваются с увеличением ошибки. Величина потенциальной ошибки зависит от меры чувствительности объекта к факторам ускоренного старения. В качестве примера используем объект срок службы которого составляет 15 лет. Температура ускоренных испытаний принята равной  $+60\text{ }^\circ\text{C}$  ( $333\text{K}$ ), а эквивалентная температура  $295\text{K}$ . Для оценки влияния ошибки определения эквивалентной температуры на длительность ускоренных испытаний (без учёта относительной влажности) была построена зависимость относительного изменения длительности УКИ  $\Delta t_y, \%$  от энергией активации  $E, \text{кДж/моль}$  при увеличении эквивалентной температуры на один градус, представленная на рисунке 1.

При этом следует отметить, что представление зависимости  $\Delta t_y$  от энергии активации  $E$  в безразмерном виде (в %) делает её величину независимой от рассматриваемого срока службы. Таким образом, график на рисунке 1 может быть использован для технического объекта с любым сроком службы.

Анализ данной зависимости показывает, что чувствительность величины  $t_y$  к ошибке определения эквивалентной температуры нелинейно возрастает с увеличением энергии активации. Например, длительность ускоренных испытаний объекта с энергией активации  $120 \text{ кДж/моль}$  при изменении эквивалентной температуры на один градус возрастает с  $20,7$  до  $24,4$  суток, что составляет около  $18\%$  и является существен-

ной ошибкой. Если энергия активации будет в два раза ниже, то ошибка не будет превышать  $8\%$ . Это очевидно, поскольку энергия активации характеризует интенсивность изменений, происходящих в материале (объекте) при изменении температуры и влажности.

Зависимость, представленная на рисунке 1, хорошо аппроксимируется полиномом третьей степени вида

$$\Delta t_y = 4,98 \cdot 10^{-8} E^3 + 9,39 \cdot 10^{-5} E^2 + 0,1377 E$$

При этом свободный член полинома считается равным нулю из соображений сохранения физического смысла зависимости. С достаточной для инженерных расчётов точностью зависимость можно считать линейной ввиду малости коэффициентов, стоящих при второй и третьей степенях аргумента. Таким образом, задаваясь допустимой ошибкой определения  $\Delta t_y$  можно определять энергию активации, при которой обеспечивается не превышение данной ошибки.

Аналогичная зависимость может быть построена для относительной влажности и совокупного действия факторов.

Для тех объектов, которые эксплуатируются на открытом воздухе, к дополнительным факторам старения относится солнечная радиация. В тоже время изучение данных, представленных в [8], позволяет сделать вывод, что перемены в уровне солнечной радиации не имеют общих черт для всей территории России, а это

значит, что они должны рассматриваться с учетом особенностей каждого региона отдельно.

Одним из возможных решений обозначенной проблемы является обновление нормативных актов. В тоже время нельзя исключать риск того, что обновленный вариант также может очень скоро устареть в результате глобального изменения климата. В данном случае, считаем, что перспективным вариантом является введение поправочных коэффициентов, которые будут отражать наиболее стойкие тенденции изменения температуры. Тем более, что данные мероприятия относятся к конкретному изделию, эксплуатация которого должна проходить в ограниченные и вполне конкретные сроки в будущем.

Следует отметить, что предлагаемые мероприятия имеют и экономическую составляющую, так как повышение времени ускоренного старения может потребовать принятия мер (конструктивных, технологических, эксплуатационных) для повышения долговечности объекта, что неизбежно связано с дополнительными затратами. Это затрагивает проблему обоснованности сроков службы, закладываемых в технические задания на разработку техники. При этом снижение характе-

ристических объектов, связанные с безопасностью, должны выделяться в отдельную группу, так как безопасность объекта является приоритетным требованием, предполагающим безусловное выполнение.

## ВЫВОДЫ

1. Риски снижения безопасности технических объектов связаны с корректностью оценки их долговечности, которая на стадии разработки осуществляется преимущественно методами ускоренных климатических испытаний.
2. Устаревание действующих нормативных документов в области климатического районирования для технических целей приводит к увеличению ошибок определения времени ускоренных климатических испытаний объектов техники и требует при их планировании учёта влияния глобальных климатических изменений.
3. Ошибка определения времени ускоренных климатических испытаний объектов техники из-за ошибки определения эквивалентной температуры нелинейно возрастает с увеличением энергии активации и может быть описана полиномом третьей степени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. Лаптев А.Б., Павлов М.Р., Новиков А.А., Славин А.В. Современные тенденции развития испытаний материалов на стойкость к климатическим факторам (обзор) Часть 1. Испытания новых материалов, Труды ВИАМ № 1 (95) 2021 с. 114–122
3. Басуров В.А. Оценка рисков, связанных с ошибками климатического районирования для технических целей. Актуальные научные исследования. Сборник статей III Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Пенза. Изд-во Наука и просвещение. 2021. с. 43–45
4. Алисов Б.П. Принципы климатического районирования СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1957. № 6.
5. Русин И.Н., Мосолова Г.И. Принципы климатического районирования и климатический прогноз. Вестник СПбГУ. Сер. 7, 2010, вып. 2 с. 99–108
6. ГОСТ 16350–80 Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей
7. ГОСТ 15150–69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. — Москва, 2021. — 104 с.

© Басуров Владимир Адольфович ( basurov@mail.ru ), Нижегородцев Александр Александрович ( ecotox@mail.ru ),

Сидоренко Михаил Владимирович ( eco\_smv@mail.ru ), Юнина Валентина Петровна ( ecocenter\_nngu@mail.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»