

УДК 620.199

В.В. Носов, И.В. Матвилян, А.Р. Ямилова, Н.А. Зеленский
**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ
МАТЕРИАЛА**

Санкт-Петербургский горный университет

Реальный объект всегда неоднороден, однородность является допущением, упрощающим изображение объекта и решение связанных с ним задач. Потребность в рассмотрении неоднородности обусловлена необходимостью уточнения той или иной задачи и является переходом на более сложный уровень исследования. Вследствие этого необходимо сформировать критерий неоднородности, исследовать процесс разрушения и предложить интерпретацию явления невоспроизведения активности акустической эмиссии (АЭ) при повторном нагружении объекта контроля (эффект Кайзера). В данной статье приведён пример моделирования прочностной неоднородности, проведён анализ и дана оценка информативности эффекта Кайзера относительно степени опасности состояния объекта диагностирования с позиций микромеханической модели временных зависимостей параметров АЭ, регистрируемой в процессе нагружения конструкционных материалов и технических объектов.

Ключевые слова: неоднородность прочностного состояния, прочность, разрушение, микромеханическая модель акустической эмиссии, эффект Кайзера.

Под неоднородностью состояния технического объекта подразумевают различие состояний его составных частей. Показателями состояний могут являться форма, размеры, координаты структурных элементов, интенсивности и масштаб процессов их разрушения, деформирования или перестройки структуры, значения действующих или разрушающих напряжений, деформаций, энергий деформирования и т.п., а разброс значений этих показателей характеризует неоднородность структурную, пространственную, кинетическую, масштабную, силовую, деформационную или энергетическую (Рисунок 1). В частности, структурная неоднородность материала может быть охарактеризована параметрами распределений количества дефектов по размерам, масштабная – иерархическим уровнем разрушения (микро-, мезо-, макро- и др.), силовая – разбросом значений расчётных напряжений, кинетическая – изменением интенсивности процессов перестройки структуры материала.

Различные виды и степени неоднородности по-разному влияют на свойства конструкционных материалов и прогнозируемость их поведения. В частности, структурная неоднородность сварных соединений может быть охарактеризована параметрами распределений количества дефектов по размерам в сварных швах, масштабная – иерархическим уровнем разрушения, силовая – разбросом значений расчётных напряжений, деформационная – степенью деформации на том или ином участке конструкции. При этом пространственная неоднородность,

проявляющаяся, в частности, в рассеянности разрушения, является предпосылкой локализации в момент достижения критической концентрации микротрещин, что ограничивает объект от полного распада на микроэлементы. Энергетическая неоднородность процесса разрушения проявляется в снижении энергии разрушения структурных элементов, кинетическая неоднородность трещинообразования проявляется, в частности, в сравнительном упрочнении материала и снижении интенсивности его разрушения, момент завершения которого определяется последним из разрушаемых структурных элементов, что затрудняет прогноз ресурса.

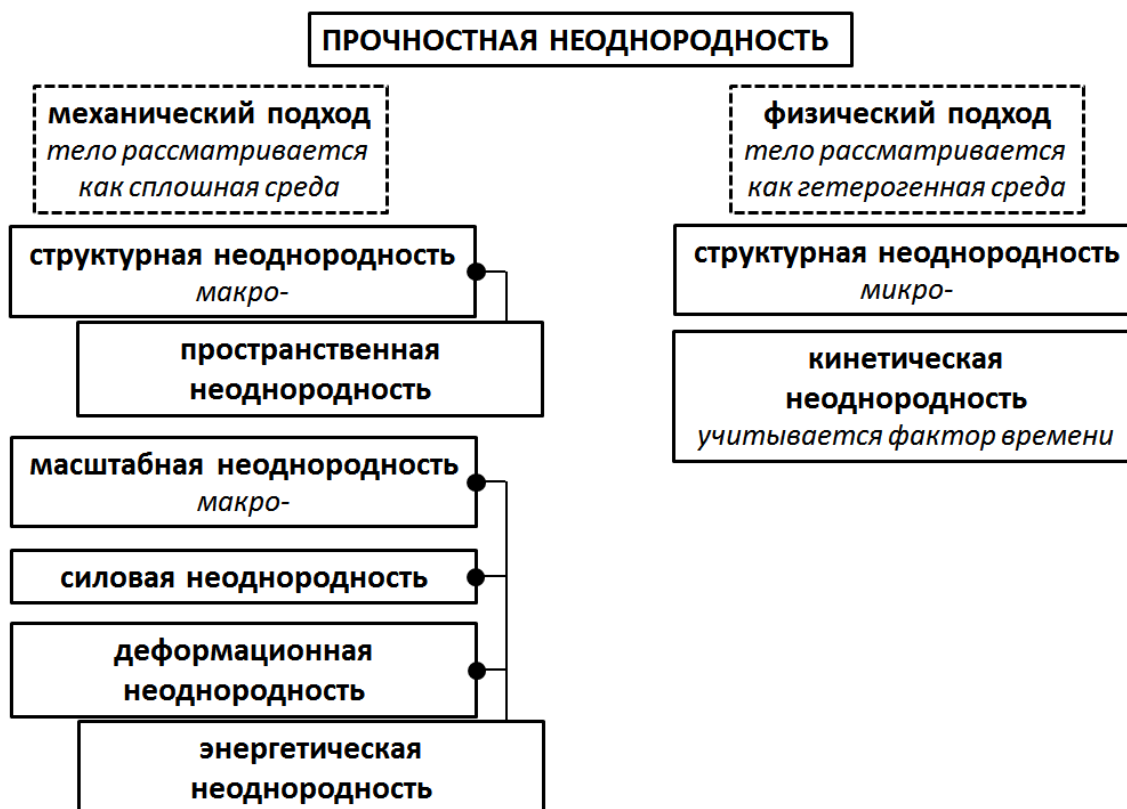


Рисунок 1 – Составляющие прочностной неоднородности материала.

В отношении отражения прочностных свойств конструкционных материалов одним из самых потенциально информативных неразрушающих методов является метод акустической эмиссии. Однако интерпретация результатов регистрации сигналов АЭ остаётся наиболее проблемным звеном в цепи акустико-эмиссионного диагностирования. Особенно сложной является задача связи параметров АЭ с параметрами состояния неоднородных объектов, решение которой представляется возможным с позиции микромеханической модели разрушения и временных зависимостей параметров АЭ [1]. В Таблице 1 рассмотрена связь состояния структуры материала с некоторыми видами прочностной неоднородности, этапами разрушения и их акустико-эмиссионными диагностическими признаками [2-5].

Таблица 1- Связь состояния структуры материала с видами прочностной неоднородности, этапами разрушения и диагностические АЭ признаки данных этапов

Состояние структуры	Этапы разрушения	Виды прочностной неоднородности			Диагностические АЭ-признаки
		Пространственная	Кинетическая	Энергетическая	
Деструктивное (разупрочнённая)	Делокализованное мелкодисперсное неоднородное	++	++	++	Падение активности АЭ и амплитуды АЭ до окончательного разрушения, вариации РВП, эффект Кайзера
Без концентратора	Делокализованное мелкодисперсное неоднородное	+	+	+	Падение активности, амплитуды АЭ, вариации РВП, эффект Кайзера
	Делокализованное мелкодисперсное однородное	+	-	-	Вариации РВП, возможность оценки прочностных показателей
С наличием концентратора	Локализованное мелкодисперсное неоднородное	-	+	+	Падение активности, амплитуды АЭ, инвариант РВП, эффект Кайзера
	Локализованное мелкодисперсное однородное	-	-	-	Инвариант РВП, возможность оценки прочностных показателей
Развитие концентратора	Образование и рост трещины	-	+	+	Увеличение длительности сигналов, уменьшение пауз, повышение коэффициента перекрытия
	Пластическое разрушение	-	-	+	Инвариант РВП, возможность оценки прочностных показателей, вариации амплитуды и длительности пауз, эффект Эльбера

где «++» – повышенная неоднородность;
«+» – существенная неоднородность;
«-» – несущественная неоднородность;
РВП – разница времён прихода сигналов АЭ на каналы регистрации.

При контроле прочности неоднородных материалов мы используем физический подход рассмотрения неоднородности, который требует учета фактора времени. Ввиду данного обстоятельства выбор АЭ метода диагностирования вполне обоснован.

Акустико-эмиссионные испытания в большинстве случаев проводятся в условиях растущей нагрузки. Во многих методических разработках АЭ испытаний большое внимание уделяется наличию эмиссии на повторных нагрузках (меньших, чем ранее достигнутых), а также существованию эмиссии, продолжающейся во время выдержки нагрузки (Рисунок 2). Такое поведение свидетельствует о наличии существенных дефектов в конструкции, в то время как в отсутствие дефектов при выдержке материал "замолкает" (интенсивность сигналов АЭ существенно снижается) до тех пор, пока повторное нагружение не превысит предыдущий максимальный уровень нагрузки [6]. Данное явление носит название эффекта Кайзера и используется при диагностировании.

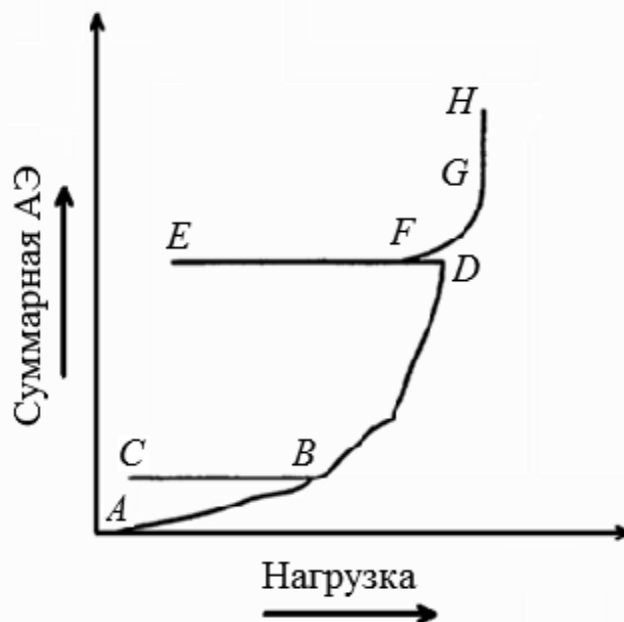


Рисунок 2– Графическое изображение эффекта Кайзера на реальном объекте

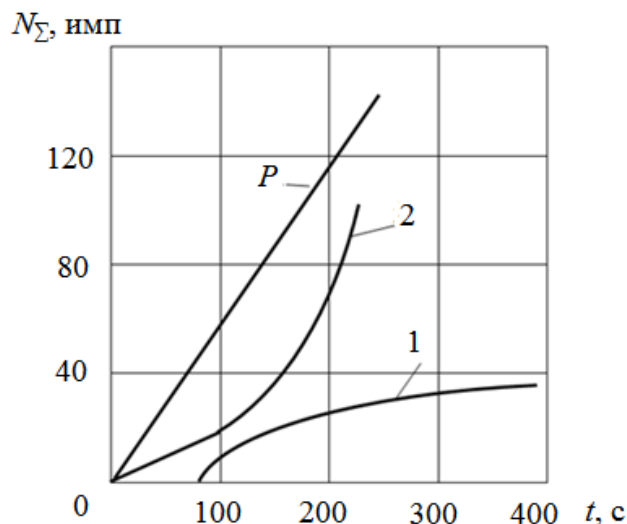


Рисунок 3 – Типичные временные зависимости числа импульсов N_{Σ} АЭ и нагрузки P при испытании сварных соединений различной дефектности ([7]):
 1 - для бездефектного сварного образца; 2 - для сварного образца с непроваром

Затухающий или стабильный характер акустической активности (участок AB Рисунке 2, 1 на Рисунке 3) интерпретируется как неопасное состояние. Случаи, когда сигналы АЭ появляются задолго до достижения значения первоначальной нагрузки образцов, или накапливаются кинетически однородно интерпретируются, как признаки наличия опасных дефектов. (участок FD Рисунке 2, 2 - на Рисунке 3).

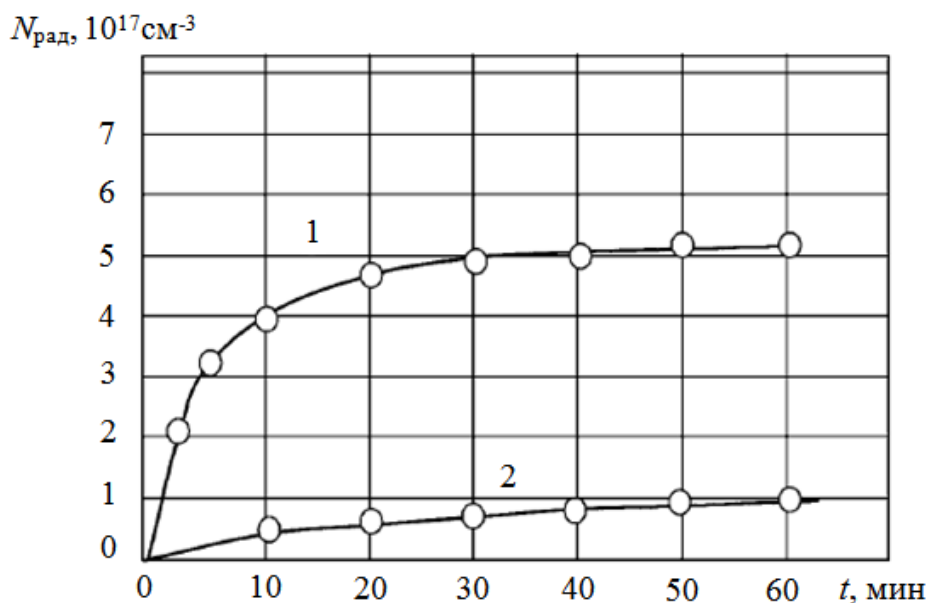
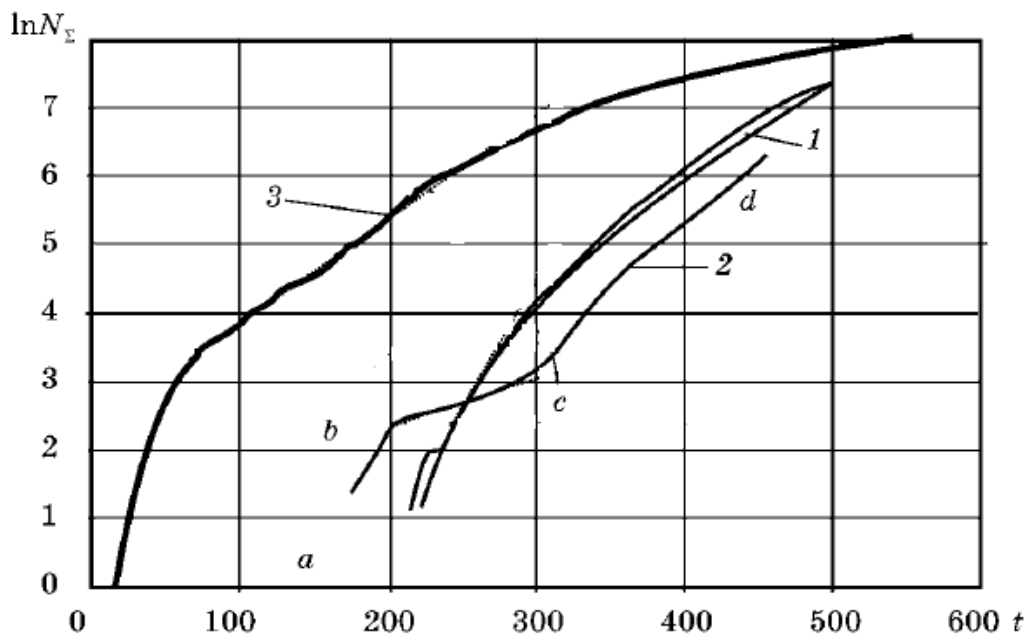
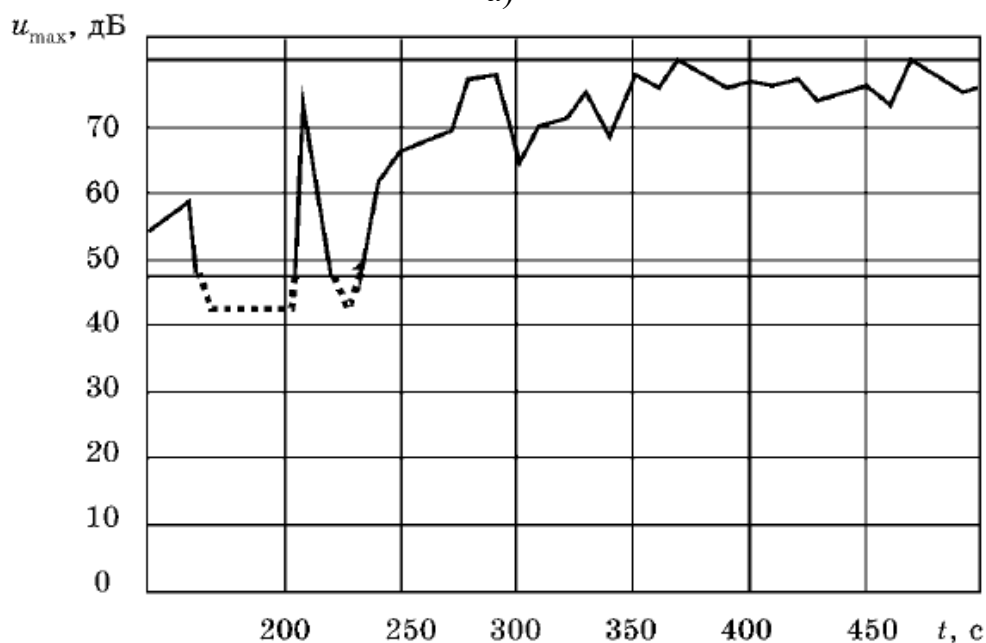


Рисунок 4 – Накопление числа свободных радикалов $N_{рад}$ со временем в нагруженном ориентированном капроне:
 1 – нагрузка приложена в 1 раз; 2 – нагрузка приложена вторично после разгрузки и длительного «отдыха» образца [8]



а)



б)

Рисунок 5 – Временные зависимости числа импульсов АЭ образцов нахлесточных сварных соединений (а) и амплитуда сигналов АЭ повторно нагруженного образца ($A_{пол}=183 \text{ мм}^2$) [9]:

- 1 – повторно нагружаемый образец с площадью поперечного сечения $A_{пол}=183 \text{ мм}^2$; 2 – повторно нагружаемый образец с $A_{пол}=525 \text{ мм}^2$; 3 – впервые нагружаемый образец с $A_{пол}=301 \text{ мм}^2$

На Рисунке 4, приведены результаты регистрации концентрации повреждений методом инфракрасной спектроскопии, а на Рисунке 5 - АЭ повторно нагружаемых образцов сварных соединений, в том числе предварительно выдержанных 2...12 суток под нагрузкой 60 кН.

Из Рисунка 5 видно, что сигналы появляются до достижения первоначальной нагрузки образцов на 300 с и при этом их количество весьма велико, хотя и меньше, чем при первом нагружении.

Очевидно, что затухание активности АЭ и невоспроизводимость параметров АЭ при повторном нагружении материала являются свидетельством необратимости разрушения структурных элементов и объясняются неоднородностью их прочностного состояния, уменьшением в процессе первого нагружения образца доли наиболее перегруженных структурных элементов в нем с низкой долговечностью. Это служит признаком кинетической неоднородности локализованного процесса трещинообразования. Момент его завершения, связанный с накоплением критической концентрации микротрещин, определяется наиболее долговечным из разрушаемых структурных элементов.

Следует отметить, что к качественно подобным выводам приводит анализ результатов регистрации числа свободных радикалов со временем при нагружении полимеров. На временной зависимости $\ln N(t)$ повторно нагружаемых образцов выделяются три участка (Рисунок 5 а):

- кинетически неоднородного разрушения *a-b*;
- кинетически однородного разрушения *b-c*;
- разрушения после превышения предыдущей нагрузки *c-d*.

У дефектных образцов участок кинетически неоднородного разрушения короткий или отсутствует. Амплитуды сигналов АЭ (Рисунок 5 б) и их распределения до и после превышения первоначального нагружения отличаются. Это обстоятельство интерпретируется как проявление масштабного эффекта: крупные структурные элементы менее долговечны и разрушаются при первом нагружении, а разрушение оставшихся менее крупных элементов сопровождается выделением меньшего количества энергии. Дальнейшее повышение амплитуды связано также и с повышением напряжений, при которых разрушаются также и менее крупные, но более прочные структурные элементы.

Неоднородность прочностного состояния технических объектов (ТО) состоит в различии времен до разрушения их структурных элементов и характеризуется разбросом значений долговечности θ структурных элементов, описываемых формулой Журкова:

$$\theta = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0}{KT} - \omega(t)\right), \quad (1)$$

где τ_0 – величина порядка периода атомных колебаний; U_0 – энергия активации процесса разрушения; $\omega = \gamma\sigma/KT$ – параметр прочностного состояния; γ – структурно-чувствительный коэффициент; σ – напряжение; t – текущее время; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Вариация параметра γ («технологическая» составляющая разброса) определяет структурную неоднородность материала, а вариация параметра σ («силовая» составляющая разброса) – неоднородность поля механических напряжений.

Неоднородность прочностного состояния микроэлементов материала разбивает первую стадию мелкодисперсного разрушения на кинетически различные этапы – однородное и неоднородное разрушение [10]. На неоднородном этапе разрушению подвергаются наименее долговечные элементы, которые разрушаются после первого нагружения, а на однородном, наоборот – наиболее долговечные (Рисунок 6).

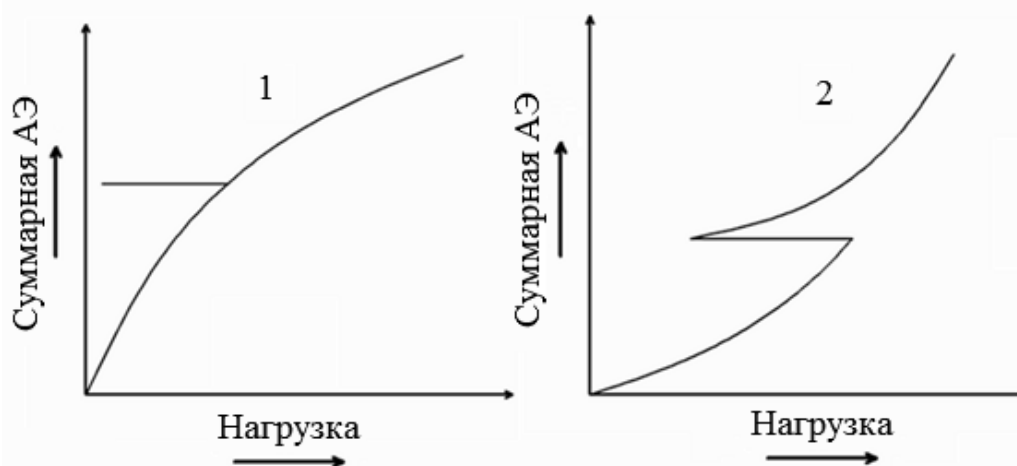


Рисунок 6 – Поведение параметров АЭ при идеализированных вариантах процесса разрушения:

1 – кинетически неоднородный процесс разрушения, 2 – кинетически однородный процесс разрушения

В результате, протекание процесса кинетически неоднородного разрушения свидетельствует о неопасном состоянии объекта, а протекание процесса однородного разрушения, наоборот, говорит о наличии и развитии опасного дефекта.

Для описания процесса микротрещинообразования воспользуемся микромеханической моделью разрушения, основанной на кинетической концепции прочности [10-11]:

$$C(t) = C_0 \int_{\mu}^{\mu+\Delta\omega} \psi(\omega) \left\{ 1 - \exp \left[- \int_0^t \frac{d\bar{t}}{\theta(\omega(\bar{t}))} \right] \right\} d\omega, \quad (2)$$

где t - текущее время; C_0 - начальная концентрация структурных элементов в материале до разрушения; $\psi(\omega)$ – функция плотности распределения значений величины ω ; μ - нижняя граница изменения аргумента ω ; $\Delta\omega$ - доверительный интервал разброса значений ω по структурным элементам.

Введение функции плотности распределения $\psi(\omega)$ позволяет описать разрушение в условиях прочностной неоднородности через разброс значений параметра ω . Данная функция моделируется следующими законами: прямоугольным, двухпрямоугольным с весами соответственно 0,99 – 0,999 и 0,01 – 0,001, логарифмически-нормальным.

Ограничения распределения отражают физическую природу минимально и максимально возможной прочности структурных элементов материала. Максимальным значениям ω функции $\psi(\omega)$ и верхнему ограничению величины её аргумента свойственна изменчивость поведения. Эти значения соответствуют неустойчивым, наименее долговечным структурным элементам, количество которых зависит от технологии изготовления, наличия дефектов в материале, их формы, размеров и может изменяться во времени в связи, в частности, с релаксационными процессами, протекающими в местах концентраций напряжений.

Графически распределение может быть разделено на две части: «колокол», в области которого значения ω невелики (они соответствуют наиболее долговечным структурным элементам) и изменяются незначительно, и «хвост» распределения с большими значениями величины ω (они соответствуют наименее долговечным структурным элементам), где вариация ω (ω_2) существенна (Рисунок 7.).

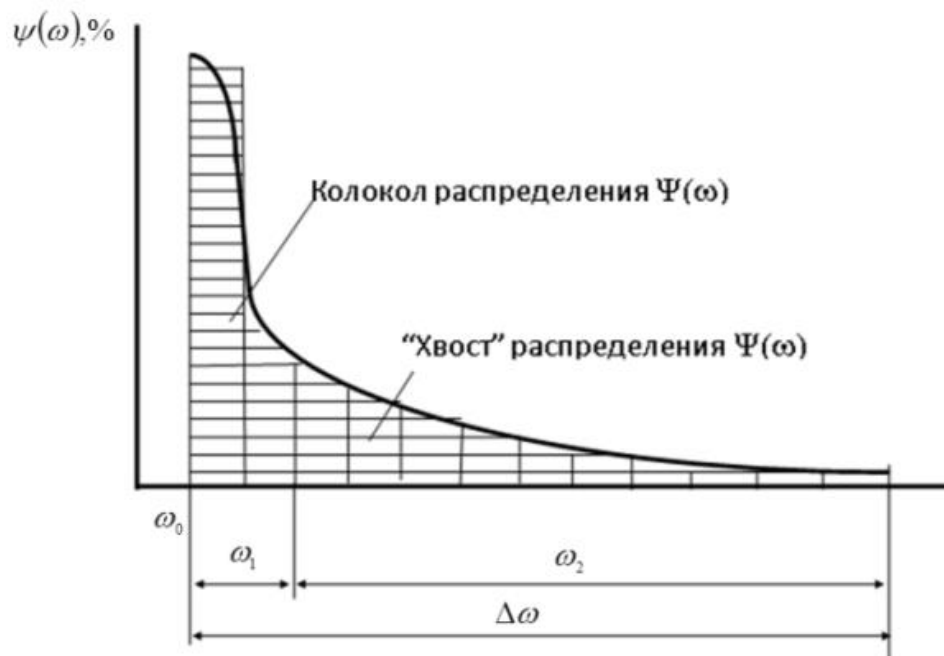


Рисунок 7 – Моделирование прочностной неоднородности материала посредством функции $\psi(\omega)$ распределения по структурным элементам материала параметра ω прочностного состояния

Определяя на основе имитационного моделирования величину соотношения $\Delta\omega/\omega_0$ (Рисунок 7), можно оценить степень прочностной

неоднородности и идентифицировать этап процесса разрушения исходя из одного нагружения контролируемого объекта. Так, при $\Delta\omega/\omega_0 < 1$ процесс разрушения имеет однородный характер, т.к. длина «хвоста» будет небольшой, а значит, количество наименее долговечных структурных элементов крайне невелико, в противном случае речь пойдет о неоднородном разрушении. На Рисунках 8-9 показаны результаты такого моделирования кинетически неоднородного и однородного разрушения, а на Рисунках 10-14 также и соответствующие результаты регистрации числа импульсов АЭ [12].

Моделирование и анализ результатов регистрации сигналов АЭ проводятся с помощью микромеханической модели АЭ, имеющей вид:

$$\xi(t) = V \int_{\Delta t} \int_f \int_U \Phi(\Delta t, f, U) dU df d\Delta t C_0 \int_{\mu}^{\mu+\Delta\omega} \psi(\omega) \left\{ 1 - \exp \left[- \int_0^t \frac{d\bar{t}}{\theta_{cp}(\omega(\bar{t}))} \right] \right\} d\omega, \quad (3)$$

ИЛИ

$$\xi(t) = k_{AE} C(t), \quad (4)$$

где ξ – первичный информационный параметр АЭ (число импульсов, суммарная АЭ, суммарная амплитуда АЭ); k_{AE} – акустико-эмиссионный коэффициент («звучащий объем»); $\Phi(\Delta t, f, U)$ – плотность вероятности распределения сигналов АЭ по интервалам Δt (паузам) между ними, амплитуде U и частоте f ; V – контролируемый объем.

У образцов с неоднородной структурой (с округленными дефектами) величина $\Delta\omega/\omega_0 > 1$ (Рисунок 10), а в случае использования логарифмически нормального распределения – $\sigma_3 > \mu$; у образцов, выполненных без искажений структурно-напряженного состояния (однородное разрушение) соотношения имеют следующий вид: $\Delta\omega/\omega_0 < 1$, $\sigma_3 < \mu$ (Рисунки 11, 12). Образцы с повышенной неоднородностью и несформировавшейся структурой характеризуются соотношениями $\omega_2/\omega_1 > 10$, $\omega_2/\omega_0 > 10$, $\sigma_3 > 10\mu$ (Рисунки 13, 14).

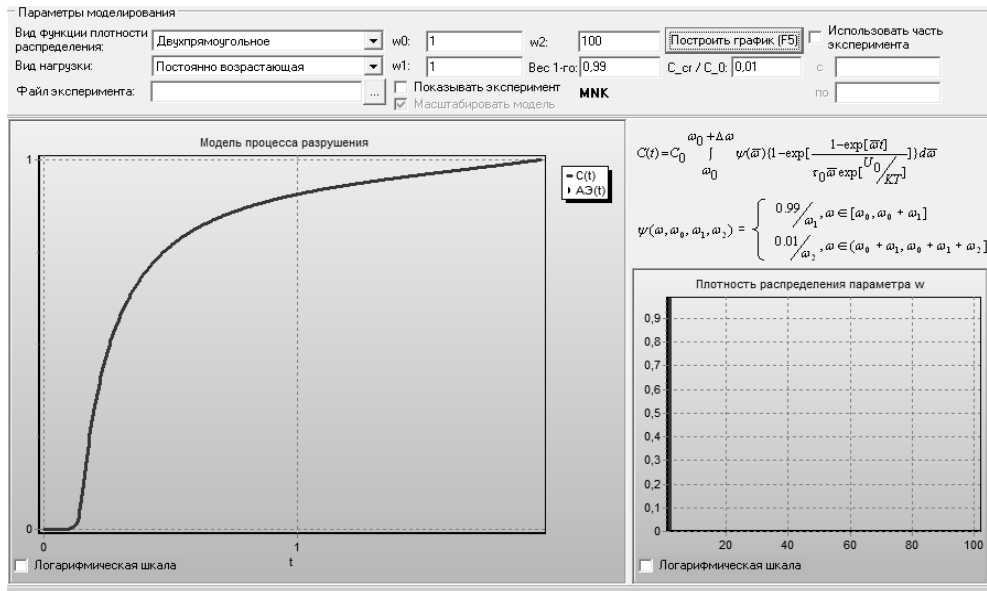


Рисунок 8– Моделирование неоднородного разрушения (большой «хвост» $\psi(\omega)$, $w2/w1=100$)

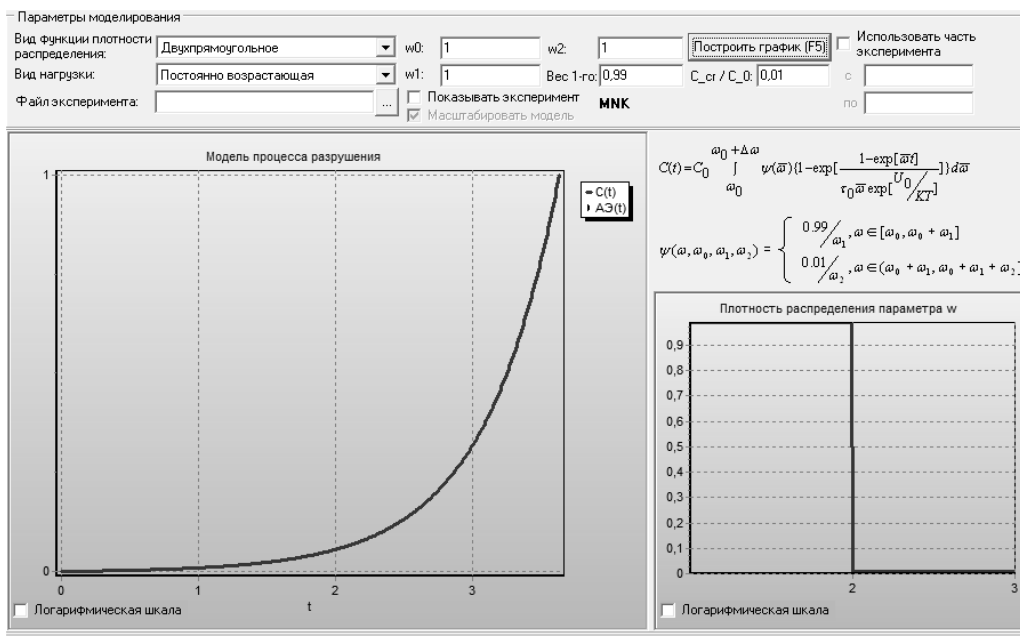


Рисунок 9 – Моделирование Моделирование однородного разрушения (маленький «хвост» $\psi(\omega)$, $w2/w1=1$)

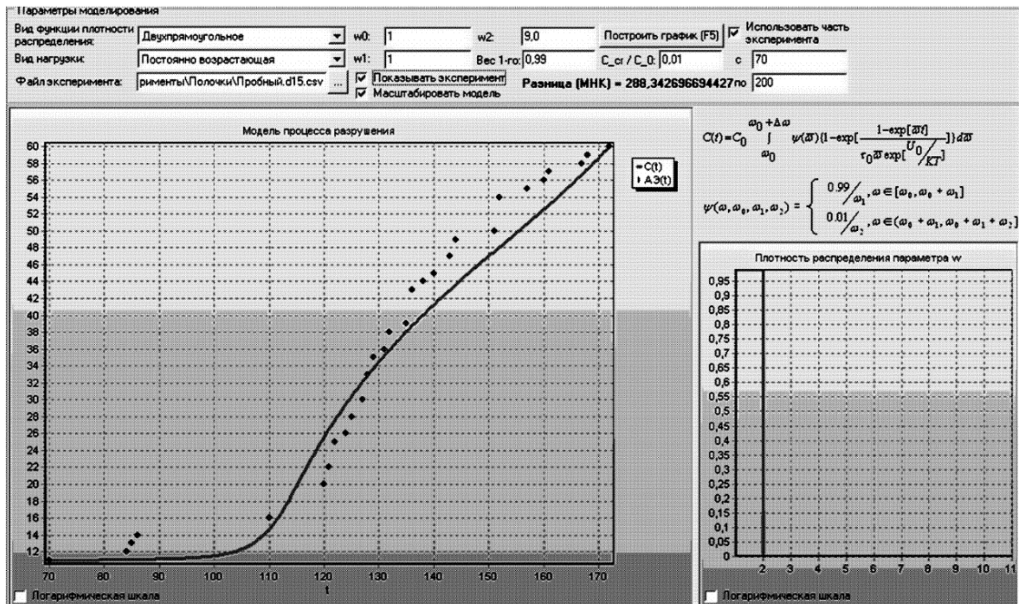
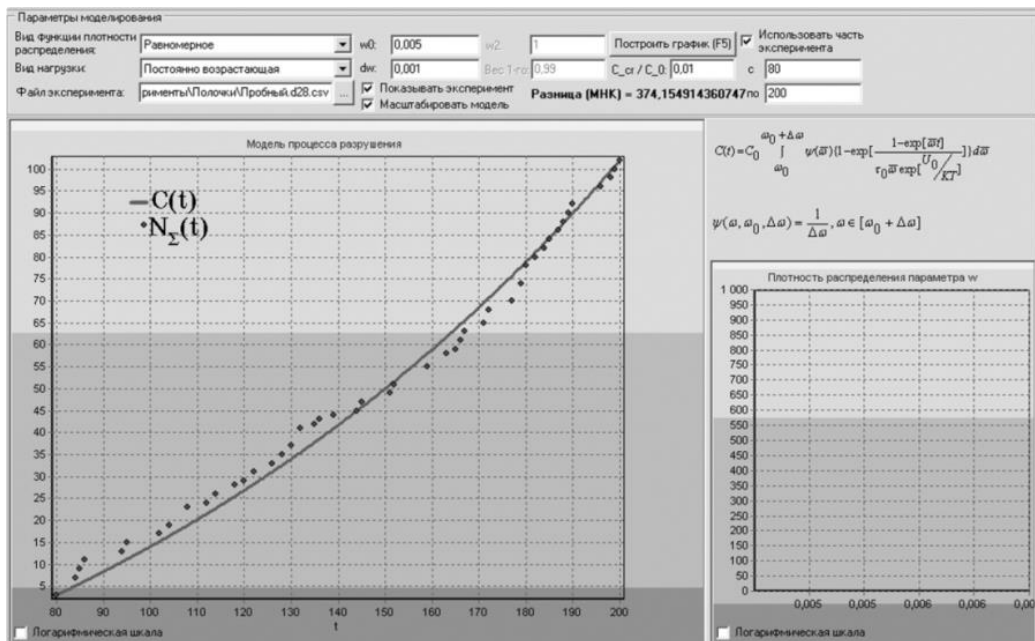
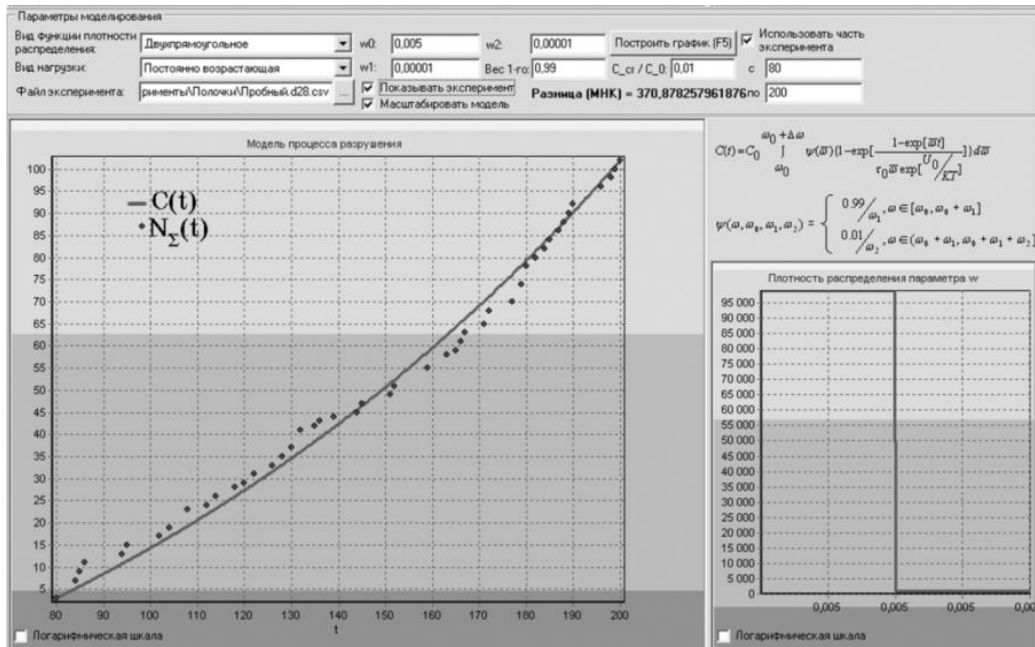


Рисунок 10 – Моделирование Результаты моделирования микротрещинообразования и регистрации АЭ образца стыкового сварного соединения с двумя округленными боковыми пропилами на этапе упругого деформирования: двух-прямоугольное распределение $\psi(\omega)$; $\omega_2/\omega_1 > 1$; $\omega_2/\omega_0 > 1$; $\omega_1/\omega_0 = 1$, неоднородное разрушение



а)



б)

Рисунок 11 – Моделирование Результаты моделирования разрушения и регистрации АЭ бездефектного образца стыкового сварного соединения на этапе упругого деформирования:

- а) равномерное распределение $\psi(\omega)$, $\Delta\omega/\omega_0 < 1$; б) двухпрямоугольное распределение $\psi(\omega)$, $\omega_1/\omega_0 < 1$, $\omega_2/\omega_0 < 1$, $\omega_2/\omega_1 = 1$, однородное разрушение

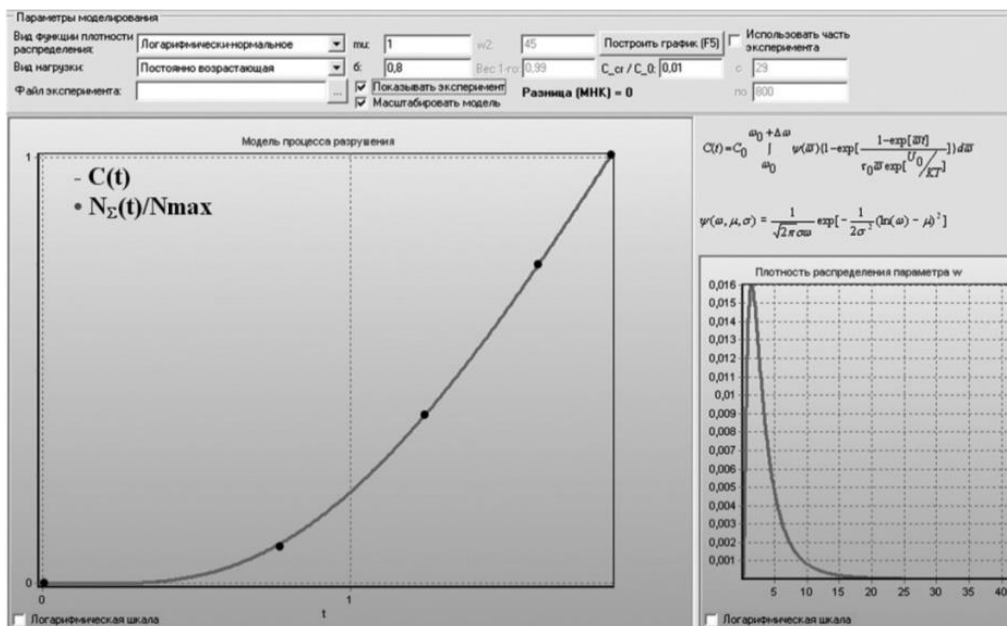
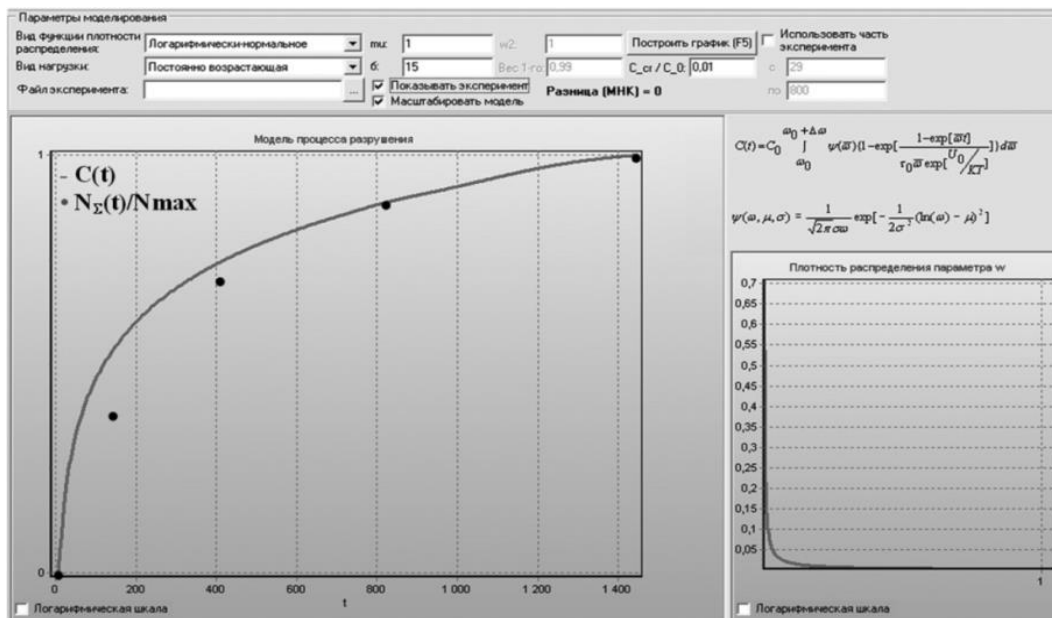
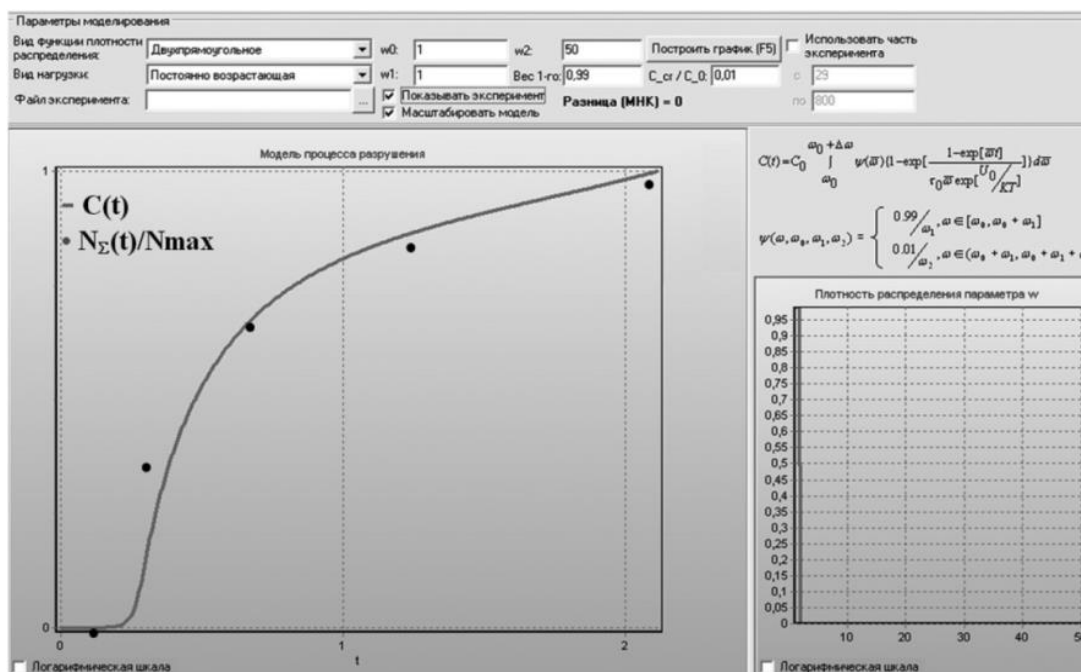


Рисунок 12 – Моделирование Сопоставление результатов регистрации АЭ структурированного образца цементного камня (возраст образца — 132 сут.) и моделирования разрушения с использованием логарифмически нормального распределения $\psi(\omega)$, $\sigma^2 < \mu$, однородное разрушение



а)



б)

Рисунок 13 – Анализ результатов регистрации АЭ образцов цементного камня с несформировавшейся высоконеоднородной структурой (суточным возрастом):
 а) логарифмически-нормальное распределение $\psi(\omega)$, $\sigma_3=15$, $\mu=1$, $\sigma_3>10\mu$; б) двухпрямоугольное распределение $\psi(\omega)$, $\omega_2/\omega_1>10$, $\omega_2/\omega_0>10$, $\omega_1/\omega_0=1$, высоконеоднородное разрушение

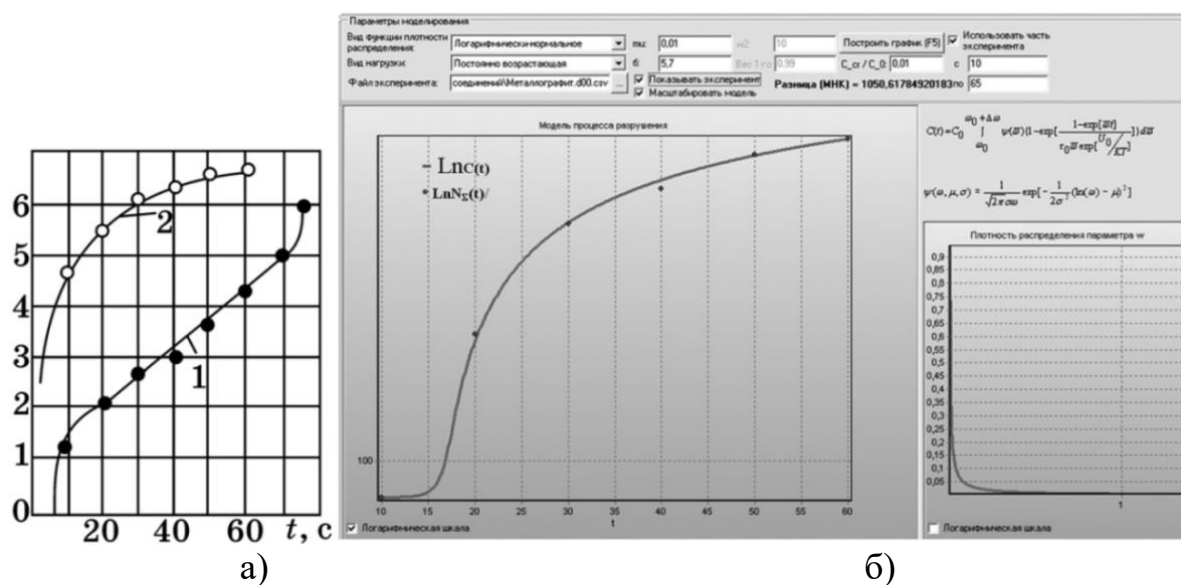
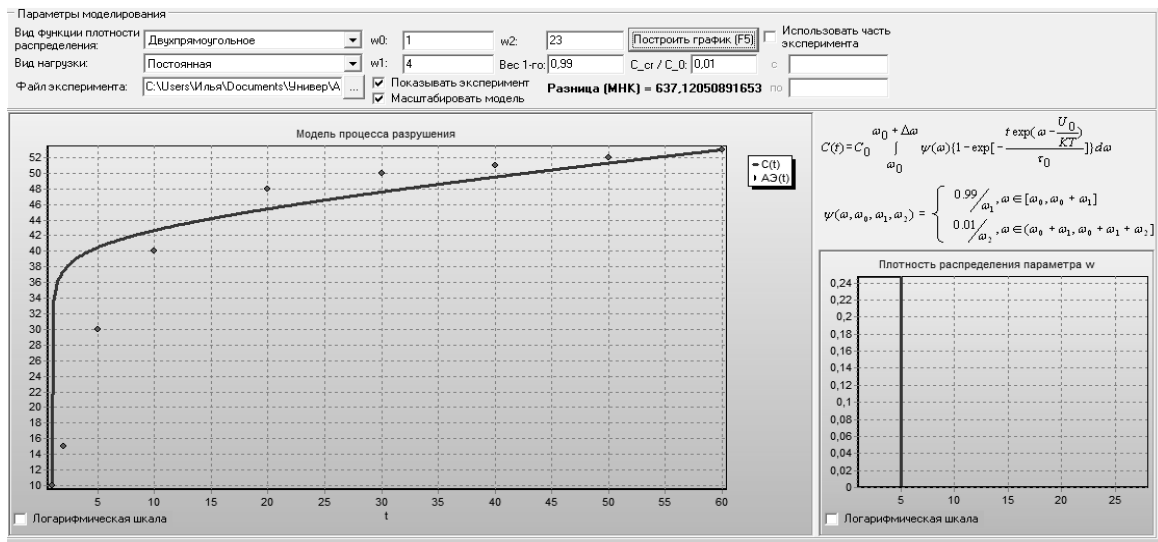


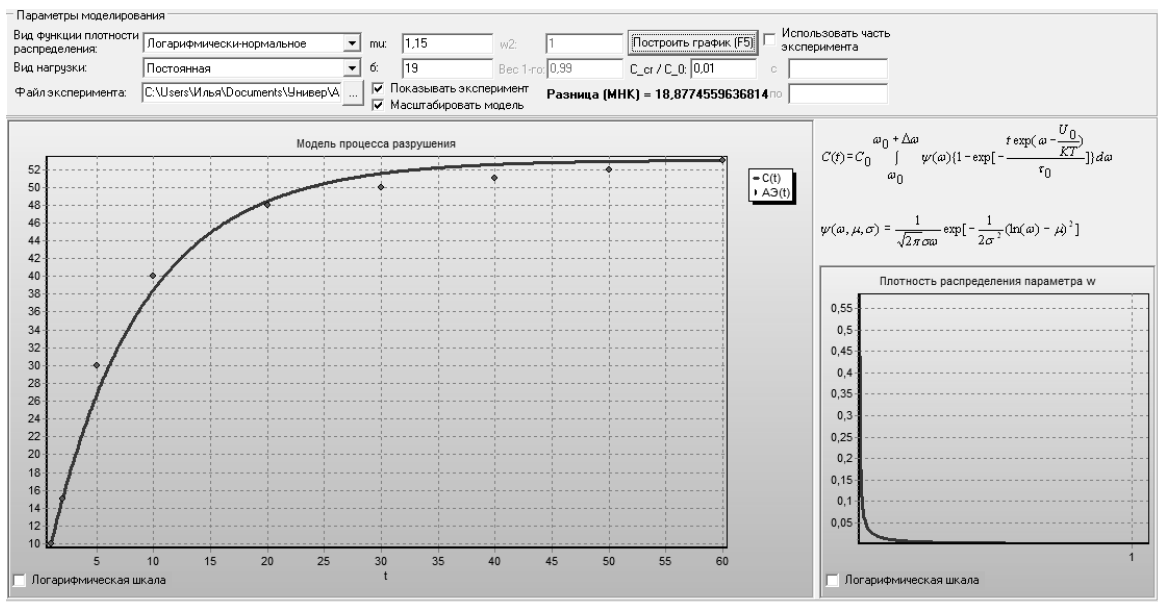
Рисунок 14 – АЭ металлополимерных адгезионных соединений:

а) результаты регистрации АЭ: 1 – образцов без наполнителей ($\sigma_3 < \mu$), разрушение однородное; 2 – образцов с крупнодисперсным наполнителем (серый графит, $\sigma_3 > 10\mu$), высоконеоднородное разрушение; б) определение параметров модели АЭ наполненного серым графитом композита

Моделирование процесса микротрещинообразования позволяет также судить о состоянии исследуемого объекта в тех случаях, когда эффект Кайзера не выполняется, как было показано на Рисунке 4:



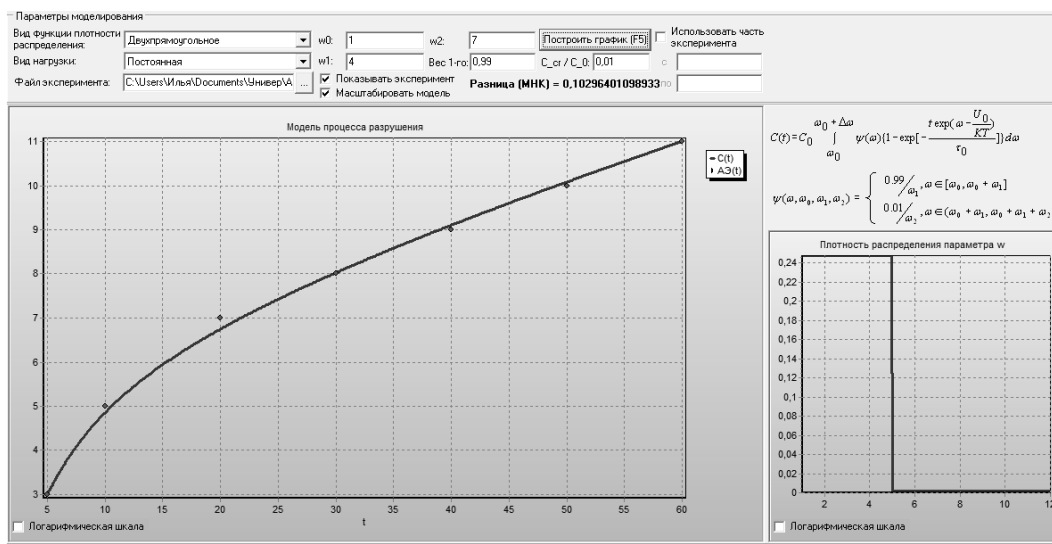
а)



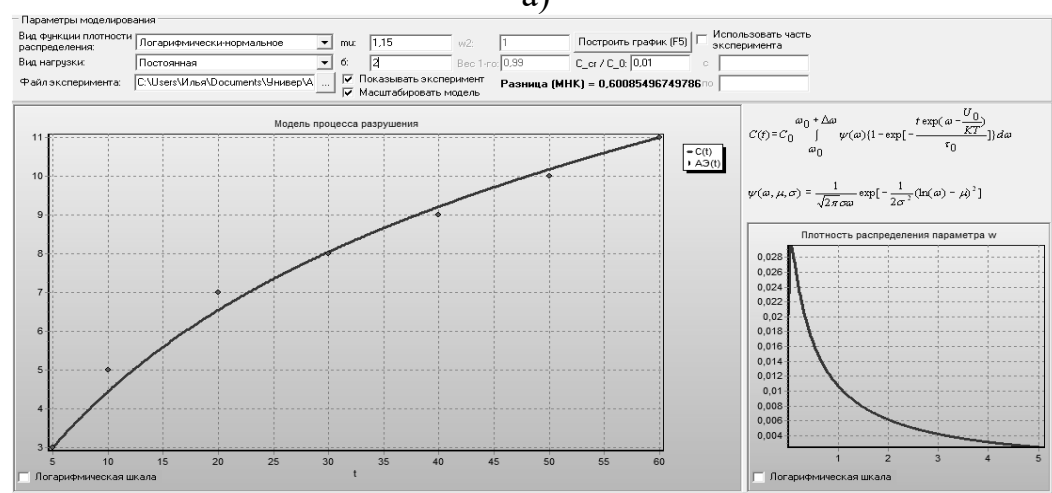
б)

Рисунок 15 – Моделирование разрушения ориентированного капрона (первичное нагружение):

а) двух-прямоугольное распределение $\psi(\omega)$, $\omega_2/\omega_1 > 1$, $\omega_2/\omega_0 > 10$; б) логарифмически нормальное распределение $\psi(\omega)$, $\sigma_3 > 10\mu$, высоконеоднородное разрушение



а)



б)

Рисунок 16 – Моделирование разрушения ориентированного капрона (вторичное нагружение):

а) двух-прямоугольное распределение $\psi(\omega)$, $\omega_2/\omega_1 > 1$, $\omega_2/\omega_0 > 1$; б) логарифмически нормальное распределение $\psi(\omega)$, $\sigma^2 > \mu$, неоднородное разрушение

Таким образом, сам факт регистрации неоднородного разрушения информативен и свидетельствует о неопасном состоянии объекта. Для более точной оценки прочностного состояния необходима регистрация сигналов АЭ на этапе однородного разрушения (следующем за неоднородным), соответствующем разрушению структурных элементов со значениями ω из области «колокола» функции $\psi(\omega)$.

Используя модель (3), (4) для оценки прочностного состояния объектов контроля, можно выделить различные этапы разрушения объекта (Таблица 2), а также диагностические параметры, которые связаны с этими этапами и, соответственно, со степенью опасности дефектов, временем до разрушения τ^* , пределом прочности σ^* , разрушающей нагрузкой F_p и далее с их помощью произвести оценку остаточного ресурса N_c [9].

Таблица 2- Определение этапа разрушения и оценка ресурса

Стадия	Наименование этапа разрушения	Диагностический признак этапа разрушения	Формула оценки ресурса (Т-момент диагностирования)
I	Делокализованное мелкодисперсное неоднородное	$d^2\xi/dt^2 < 0$ при $\sigma=0$; $d^2\ln\xi/dt^2 < 0$ при $\dot{\sigma}=0$; $dk_{ae}/dt < 0$ ($dP_U/dt < 0$); $\omega_2/\omega_1 > 1, \omega_2/\omega_0 > 1$; $\sigma_3 > \mu$ РВП = var	$\tau^* = (1 \div 10)T$
I	Делокализованное мелкодисперсное однородное	$d^2\xi/dt^2 = 0$ при $\sigma = \text{const}$; $d^2\ln\xi/dt^2 = 0$ при $\dot{\sigma} = \text{const}$; $dk_{ae}/dt = 0$; $\omega_2/\omega_1 < 1, \omega_2/\omega_0 < 1$; $\sigma_3 < \mu$ РВП = var	Время до локализации $\tau^* = f(Y_{AE})$ или $\tau^* = f(W_{AE})$
I	Локализованное мелкодисперсное неоднородное	$d^2\xi/dt^2 < 0$ при $\sigma=0$; $d^2\ln\xi/dt^2 < 0$ при $\dot{\sigma}=0$; $dk_{ae}/dt < 0$ ($dP_U/dt < 0$); $\omega_2/\omega_1 > 1, \omega_2/\omega_0 > 1$; $\sigma_3 > \mu$ РВП = const	$\tau^* = (0,1 \div 0,5)T$
I	Локализованное мелкодисперсное однородное	$d^2\xi/dt^2 = 0$ при $\sigma = \text{const}$; $d^2\ln\xi/dt^2 = 0$ при $\dot{\sigma} = \text{const}$; $dk_{ae}/dt = 0$; $\omega_1/\omega_0 < 1, \omega_2/\omega_0 < 1$; $\sigma_3 < \mu$ РВП = const	Время до начала роста концентратора $\tau^* = f(Y_{AE})$ или $\tau^* = f(W_{AE})$
II	Образование и рост трещины	$d^2\xi/dt^2 > 0$ при $\sigma = \text{const}$; $d^2\ln\xi/dt^2 > 0$ при $\dot{\sigma} = \text{const}$; $dk_{ae}/dt > 0$ ($dP_U/dt < 0$); $\omega_1/\omega_0 > 1, \omega_2/\omega_0 > 1$; $\sigma_3 > \mu$ РВП = const	$\tau^* = (0,01 \div 0,1)T$
II	Пластическое разрушение	$d^2\xi/dt^2 < 0$ при $\sigma = \text{const}$; $d^2\ln\xi/dt^2 < 0$ при $\dot{\sigma} = \text{const}$; $dk_{ae}/dt < 0$ ($dP_{\Delta t}/dt < 0$); $\omega_1/\omega_0 < 1, \omega_2/\omega_0 < 1$; $\sigma_3 < \mu$ РВП = const	$\tau^* = (0,01 \div 0,1)T$

Таким образом, применение данного подхода к учёту прочностной неоднородности в решении задачи оценки ресурса позволяет предложить

физически обоснованную математическую модель прочностной неоднородности, её количественные критерии и способ их оценки, раскрыть информативность признаков неоднородного разрушения, сделав их прогностическими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности [Текст] // Записки Горного института – 2015. – Т. 216. – С. 62-75.
2. Носов В.В., Куксенко В.С., Петров В.А. Способ определения адгезии полимера к металлу / Авт. свид. СССР № 1467458. – Бюлл. изобретений. 1989. № 11.
3. Носов В.В., Михайлов Ю.К., Базаров Д.А., Бураков И.Н. Способ неразрушающего контроля прочности изделий / Патент RU № 2270444. – Бюлл. изобретений. 2006. № 5.; Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2006. № 3. с. 20-27.
4. Носов В.В., Масолов В.Г., Носов С.В. Способ определения напряженного состояния участка массива горных пород / Патент RU № 2042813. – Бюлл. изобретений. 1995. № 24.
5. Носов В.В., Ельчанинов Г.С., Тевосянц Д.С. Способ неразрушающего контроля прочности металлоконструкций. Патент RU № 2445616. – Бюлл. изобретений. 2012. № 8.
6. Поллок А. Акустико-эмиссионный контроль // Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International (1989): С. 278-294
7. Пархоменко И.В. Применение метода АЭ при испытании легированной стали в условиях низких температур/ И.В. Пархоменко, М.А. Ярёмченко, Ю.В.Жбанов и др. //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1990. – № 1. – С. 68-71.
8. Регель В.Р., Слуцкер А.К., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твёрдых тел. – М.: Наука, 1974, 560 с.
9. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: учеб. пособие. – 3-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 376 с.: ил.
10. Носов В.В. Особенность состояния нахлесточных сварных соединений и неразрушающий контроль их прочности [Текст] / В.В. Носов, Г.С. Ельчанинов // Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2010. – №2. – С. 136-145.

11. Носов В.В. Оценка прочности и ресурса технических объектов с помощью метода акустической эмиссии [Текст] / В.В. Носов, А.И. Потапов, И.Н. Бураков // Дефектоскопия – 2009 . – №2. – С. 47-57.
12. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 240 с.: ил.

V.V. Nosov, I.V. Matviiian, A.R. Yamilova, N.A. Zelenskiy
**ASSESSMENT OF TECHNICAL OBJECTS STATE ON THE
BASIS OF MODELING OF MATERIAL STRENGTH
INHOMOGENEITY**

Saint-Petersburg mining university

Real object is always inhomogeneous, homogeneity – it is assumption which simplifies object presentation and solution of different tasks tied in with it. It is necessary to consider inhomogeneity if you need to specify some task because it is move to the next more complex level of examination. At this rate it is need to formulate inhomogeneity criterion, investigate destruction process and bring forth interpretation of the phenomenon of reproduction impossibility of acoustic emission (AE) activity by repeated loading of testing object (Kaiser Effect). The article includes modelling example of strength inhomogeneity and analyzes information value of Kaiser Effect with regard to danger state degree of object state from the standpoint of micromechanical model of time curves of acoustic emission characteristics logging by loading of constructional materials and technical objects.

Keywords: inhomogeneity of strength state, strength, destruction, micromechanical model of acoustic emission, Kaiser Effect.

REFERENCES

1. Nosov V.V. Otsenka udaroopasnosti uchastka massiva gornyx porod po rezul'tatam registratsii ego sejsmoakusticheskoy aktivnosti [Tekst] // Zapiski Gornogo instituta – 2015. – Vol. 216. – pp. 62-75.
2. Nosov V.V., Kuksenko V.S., Petrov V.A. Sposob opredeleniya adgezii polimera k metallu / Avt. svid. SSSR No. 1467458. – Byull. izobretenij. 1989. No.11.
3. Nosov V.V., Mikhajlov Yu.K., Bazarov D.A., Burakov I.N. Sposob nerazrushayushhego kontrolya prochnosti izdelij / Patent RU No. 2270444. – Byull. izobretenij. 2006. No. 5.; Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2006. No. 3. pp. 20-27.
4. Nosov V.V., Masolov V.G., Nosov S.V. Sposob opredeleniya napryazhennogo sostoyaniya uchastka massiva gornyx porod / Patent RU No. 2042813. – Byull. izobretenij. 1995. No. 24.

5. Nosov V.V., El'chaninov G.S., Tevosyants D.S. Sposob nerazrushayushhego kontrolya prochnosti metallokonstruktsij. Patent RU No. 2445616. – Byull. izobretenij. 2012. No. 8.
6. Pollok A. Akustiko-ehmissionnyj kontrol' // Avtorskaya perepechatka iz knigi Metally (METALS HANDBOOK), 9-oe izdanie, Vol. 17, ASM International (1989): pp. 278-294.
7. Parkhomenko I.V. Primenenie metoda AEH pri ispytanii legirovannoj stali v usloviyakh nizkikh temperatur/ I.V. Parkhomenko, M.A. Yaryomenko, YU.V.Zhbanov i dr. //Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushhij kontrol'. – 1990. – No. 1. – pp. 68-71.
8. Regel' V.R., Slutsker A.K., Tomashevskij EH.E. Kineticheskaya priroda prochnosti tvorydykh tel. – M.: Nauka, 1974, 560 p.
9. Nosov V.V. Diagnostika mashin i oborudovaniya: ucheb. posobie. – 3-e izd., ster. – SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2016. 376 p. : il.
10. Nosov V.V. Osobennost' sostoyaniya nakhlestochnykh svarnykh soedinenij i nerazrushayushhij kontrol' ikh prochnosti [Tekst] / V.V. Nosov, G.S. El'chaninov // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU – 2010. – No. 2. – pp. 136-145.
11. Nosov V.V. Otsenka prochnosti i resursa tekhnicheskikh ob'ektov s pomoshh'yu metoda akusticheskoy ehmissii [Tekst] / V.V. Nosov, A.I. Potapov, I.N. Burakov // Defektoskopiya – 2009 . – No. 2. – pp. 47-57.
12. Nosov V.V. Mekhanika kompozitsionnykh materialov. Laboratornye raboty i prakticheskie zanyatiya: ucheb. posobie. – 2-e izd., pererab. i dop. – SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2013. – 240 p.: il.