



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПРИВЕРШИННОЙ ОБЛАСТИ ТРЕЩИНЫ ПРИ НАГРУЖЕНИИ, СОПРОВОЖДАЮЩЕМСЯ ПОЛЗУЧЕСТЬЮ

Л.В. Степанова, О.Н. Белова, Д.В. Чаплий

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, г. Самара, Российская Федерация

Аннотация

Методом конечных элементов исследованы поля напряжений, деформаций и поврежденности в окрестности вершины центральной трещины в растягиваемой пластине в условиях ползучести. Моделирование учитывает процесс накопления повреждений и реализовано с помощью пользовательской процедуры, интегрирующей определяющее соотношение степенного закона Бейли-Нортон и уравнение кинетики повреждений Качанова-Работнова. Результаты демонстрируют существенное влияние поврежденности на асимптотическое поведение полей в зоне ползучести у вершины трещины. Установлено, что параметр сплошности, компоненты тензора напряжений и параметр поврежденности обладают степенными асимптотиками. В итоге получено автомодельное решение для распределения механических величин вблизи вершины трещины.

Объект исследования

Моделировалась стальная пластина с центральной трещиной, где применялась растягивающая нагрузка. Использовались следующие характеристики материала:

Модуль Юнга  $E = 210000 \text{ Н/мм}^2$ ;

Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ ;

Коэффициент  $B = 1 \cdot 10^{-13} (\text{Н/мм}^2)^{-n} (\text{ч})^{-1}$ ;

Показатель закона Нортон для установившейся ползучести  $n = 3$ ;

Константа материала  $m = 2$ ;

Нагрузка  $P = 10 \text{ Н/мм}^2$ ;

Размеры пластины  $100 \times 100 \text{ мм}$ ;

трешины  $L = 10 \text{ мм}$ ,  $H = 0.002 \text{ мм}$ ,  $R_{\text{закр}} = 0.001 \text{ мм}$ .

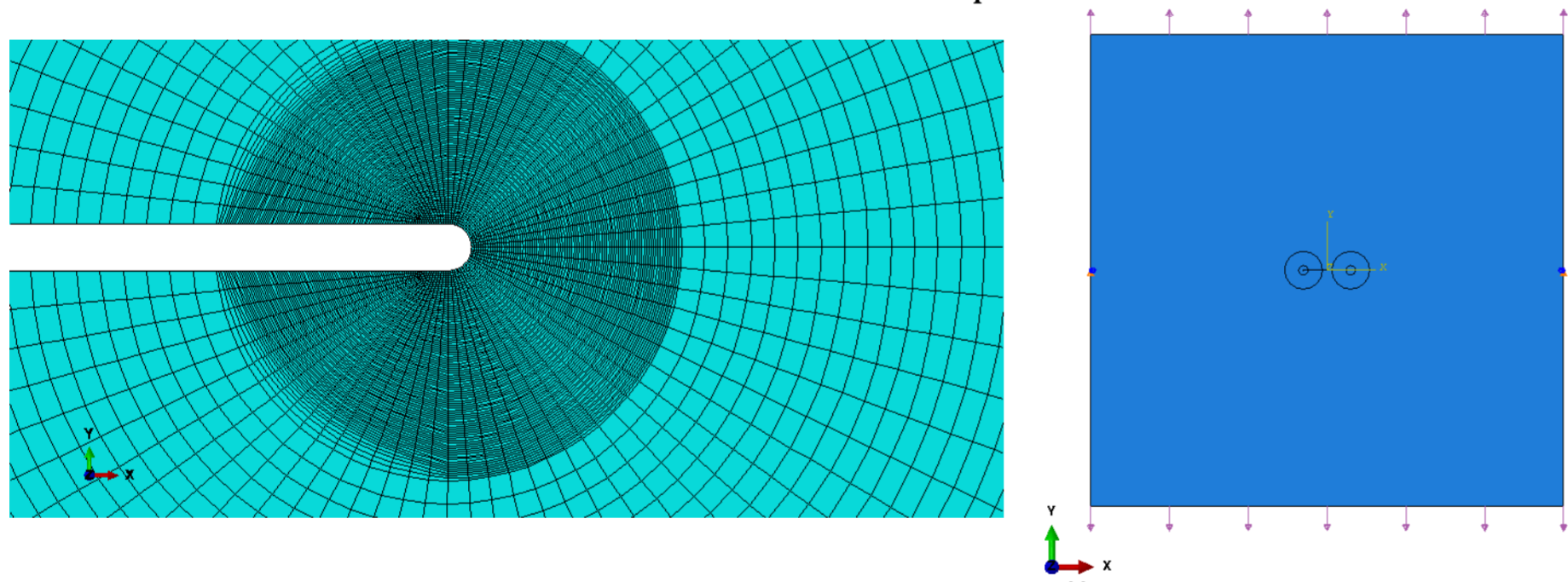


Рисунок 1 – Геометрия вершины центральной трещины в пластине

Асимптотика Хатчинсона-Райса-Розенгрена

$$\sigma_{ij} = \left( \frac{C^*}{BI_n r} \right)^{\frac{1}{1+n}} \bar{\sigma}_{ij}(n, \varphi), \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ij} = B \left( \frac{C^*}{BI_n r} \right)^{\frac{n}{1+n}} \bar{\varepsilon}_{ij}(n, \varphi), \quad (2)$$

$$u_i = B \left( \frac{C^*}{BI_n} \right)^{\frac{n}{n+1}} r^{\frac{1}{n+1}} \bar{u}_i(n, \varphi). \quad (3)$$

$$C^* = \int_C (W^* dx_2 - \sigma_{ij} n_i \frac{\partial u_j}{\partial x_1} ds), \quad (4)$$

$$W^* = \int \sigma_{ij} d\bar{\varepsilon}_{ij}.$$

Материальные константы материала

№ Модели	Модуль Юнга, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент Пуассона	$B, (\text{Н/мм}^2)^{-n} (\text{ч})^{-1}$	n	Нагрузка P, Н/мм <sup>2</sup>
1.1	210000	0.3	$1 \cdot 10^{-10}$	2	20
1.2	210000	0.3	$1 \cdot 10^{-12}$	3	20
1.3	210000	0.3	$1 \cdot 10^{-15}$	4	20

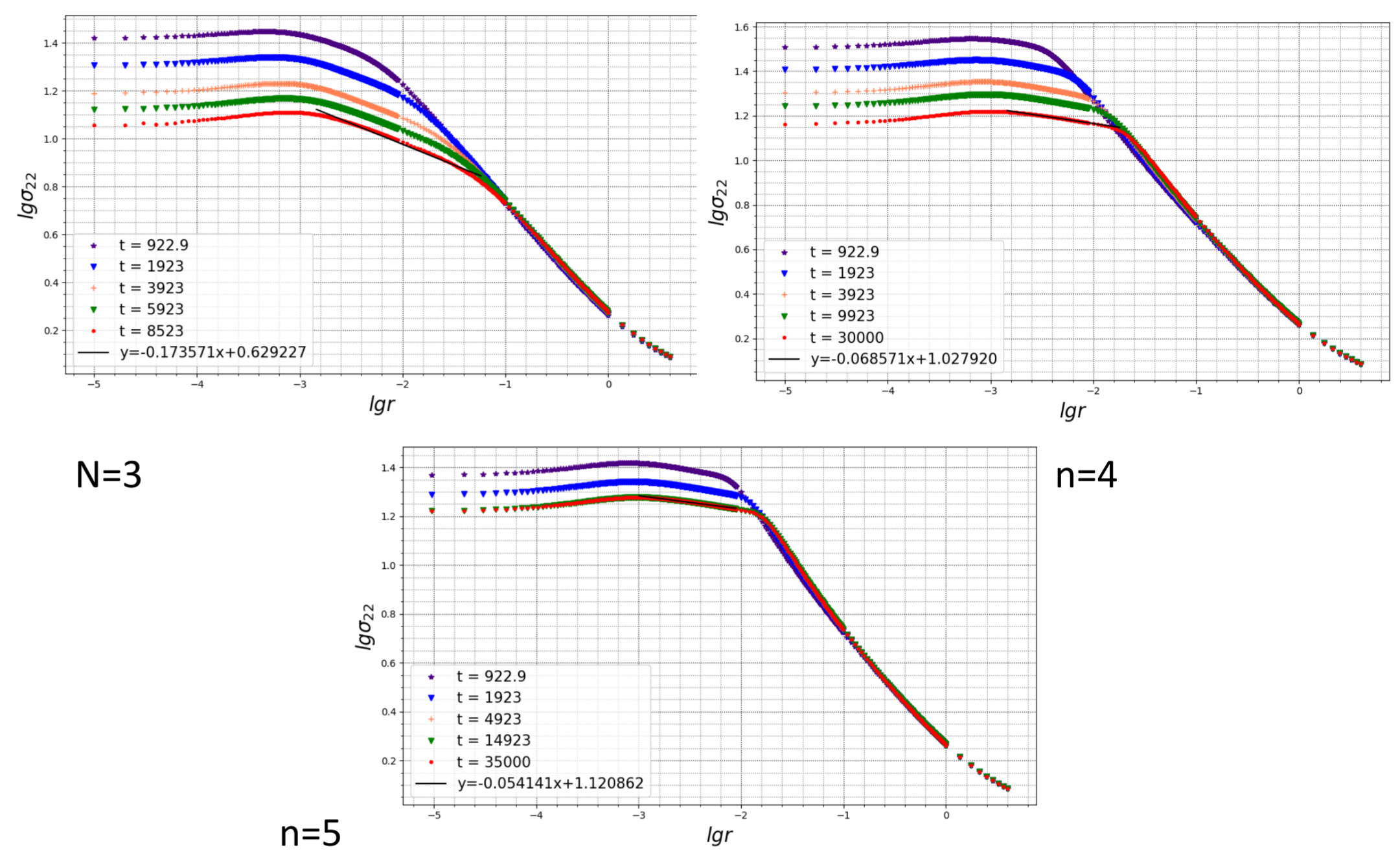


Рисунок 2 – Промежуточная асимптотика в окрестности вершины закругленной трещины в условиях ползучести с учетом накопления поврежденности для разных материальных констант

Автомодельное представление решения

$$\sigma_{ij}(r, \varphi, t) = (At)^{-1/m} \bar{\sigma}_{ij}(R, \varphi), \quad \psi(r, \varphi, t) = \psi(R, \varphi) \quad (5)$$

В рамках настоящей задачи подобрана автомодельная переменная S таким образом, чтобы в указанной области все кривые совпали. Таким образом решение обладает свойством Автомодельности.

Найдены значения параметра S для различных констант. Константа  $n = 3, S = -0.75$ ;  $n = 4, S = -0.5$ ;  $n = 5, S = -0.4$ ;  $n = 6, S = -0.35$ ;  $n = 7, S = -0.3$ .

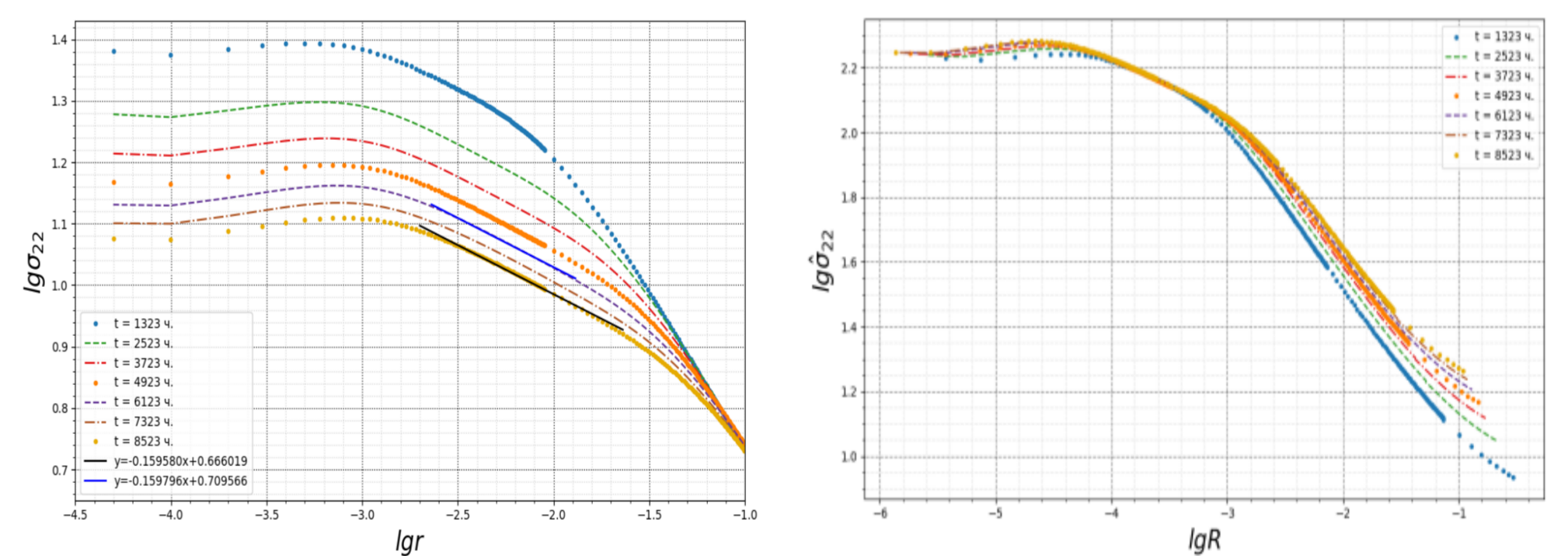


Рисунок 3 - Радиальные зависимости компоненты тензора напряжений в условиях ползучести с учетом накопления поврежденности для показателя ползучести n = 3

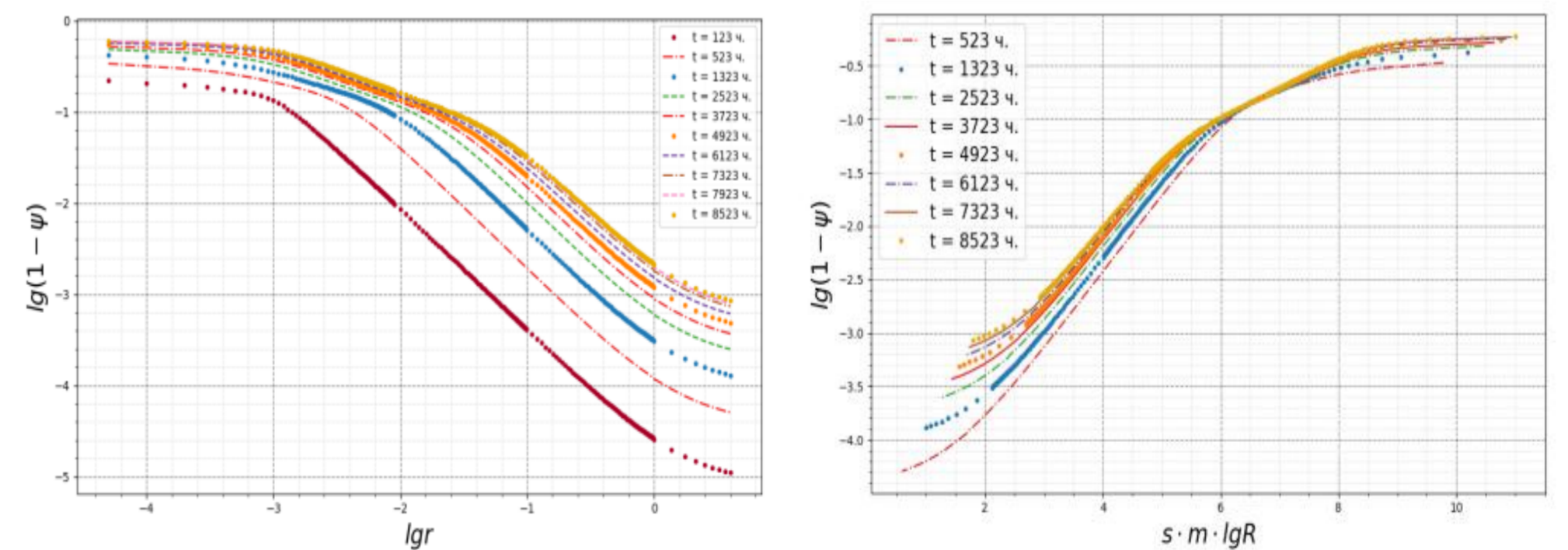


Рисунок 4 - Радиальные зависимости параметра поврежденности 1-psi для показателя ползучести n=3 в двойных логарифмических координатах

Выводы:

С помощью вычислительного эксперимента выявлен автомодельный характер процесса накопления повреждений у вершины трещины в условиях ползучести. Процесс накопления повреждений может быть описан с помощью автомодельного представления решения задачи определения напряженно-деформированного состояния с введением автомодельной переменной второго рода, параметры которой определяются на основании конечно-элементного моделирования.