

УДК 624.012.6+691.615

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ СКЛА НА ОСНОВІ ЛІНІЙНО-ПРУЖНОЇ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Б.Г. Демчина,

доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів

Т.Ю. Осадчук,

аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів

Національний університет "Львівська політехніка", Львів

Традиційно скло є естетичним матеріалом, не призначеним для несучих цілей. Міцність скла залежить від розподілу напружень, тривалості навантаження, стану поверхні та умов навколишнього середовища. Поверхневі дефекти або тріщини пов'язані з характерною крихкістю скла. Крихке руйнування скла - це катастрофічний режим відмови, при якому поверхневі дефекти або тріщини швидко поширюються під навантаженням на розтяг до критичного значення. Це можна змоделювати за допомогою лінійно-пружної механіки руйнування (ЛПМР). Інтенсивність пружних напружень в околі кінця тріщини описується коефіцієнтом інтенсивності напружень K_I . Аналітичними методами визначення міцнісних властивостей скла є: оцінка в'язкості руйнування K_{IC} або інертної міцності σ_{IC} та прогнозування тривалості експлуатації (часу руйнування) t_f від втоми. Використання таких розрахункових підходів на основі ЛПМР дозволяє отримати несучу здатність конструкцій із скла.

Ключові слова: міцність скла, дефекти (недоліки), подряпини, стрес-корозія (корозія під напруженнями), докритичне зростання тріщини (ДЗТ), лінійно-пружна механіка руйнування (ЛПМР), коефіцієнт інтенсивності напружень, статична втома, силовий закон, надійність, прогнозування довговічності, час руйнування

Постановка проблеми. В останній час скло все частіше розглядають як матеріал для несучих будівельних конструкцій. Основні його переваги – велика міцність, легкість, оптичні властивості (прозорість), екологічність [1], [2, с.79], [3, с.1-2], [4, с.46]. В свою чергу, конструкційне використання скла у безкаркасних скляних фасадах, скляних дахах і перекриттях дозволяє будівлям бути більш енергоефективними, максимально використовуючи денний та сонячний режими роботи [2, с.79], [5, с.157]. Водночас, при проектуванні несучих конструкцій із скла важливим залишається питання його крихкого руйнування [2, с.79], [4, с.46], що потребує детальніших досліджень.

Основні чинники, які визначають міцність скляних констукцій це: поверхневі дефекти (мікротріщини, подряпини, сколи), що залежать від виду та якості вихідного скла; характеру і умов прикладання навантаження; температури і зовнішнього середовища під час експлуатації [6].

Поверхневі дефекти в склі, такі як подряпини, недоліки або тріщини, зумовлюють поверхневі напруження, які можна змоделювати за допомогою ЛПМР [7], [8, с.79].

Незважаючи на те, що напруження, які виникають у склі, можуть бути нижчі, ніж міцність скла, наявні у ньому поверхневі тріщини все одно можуть поширюватись у певних умовах, особливо під впливом води. Це

явище називається докритичним зростанням тріщини (ДЗТ), що викликане корозією під напруженням або стрес-корозією, в якій вода або інший чинник хімічно руйнує молекулярний зв'язок Si-O [9].

Загалом, докритичне зростання тріщини може бути наслідком стрес-корозії або циклічної втоми. Докритичне зростання тріщини ініціює зростання існуючого дефекту до критичної довжини, що призводить до його катастрофічного росту. Механізм руйнування від докритичного зростання тріщини є явищем, викликаним дією навантаження з плином часу. Руйнування також може бути викликане впливом хімічної реакції, навколишнім середовищем, уламків, що затискаються біля кінця тріщини, тощо [10, с.1-2].

Згідно з технічною інформацією по прогнозуванню надійності та довговічності конструкцій за допомогою програмного забезпечення CARES/LIFE [10, с.13-14], розробленого в дослідницькому центрі NASA Glenn Research Center, феномен ДЗТ моделюється силовим законом, законом П. Періса і законом К. Уолкера. Силовий закон Е. Еванса і Ш. Вейдерхорна [11], [12], [13], [14] описує ріст тріщини як функцію від коефіцієнта інтенсивності напружень. Для циклічної втоми при моделюванні докритичного зростання тріщини використовується або закон П. Періса [15], або його модифіковане формулювання - закон К. Уолкера [16], [17]. Для характеристики варіації міцності елементів використовується двопараметрична функція розподілу Вейбулла [10, с.4-5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експериментальні дослідження міцності та деформативності скляних багатошарових плит, що працюють на згин представлено у попередніх статтях Демчини Б.Г., Осадчука Т.Ю. [18], [19], [20].

Основні положення силового закону докритичного зростання тріщини внаслідок втоми викладені у ряді робіт [10, с.126-128], [21, с.10-12], [22, с.3-4], [23, с.4-5]. Для режиму тріщиноутворення I (розтяг) співвідношення для коефіцієнта інтенсивності еквівалентних напружень K_{Ieq} наступне:

$$K_{Ieq}(\Psi, t) = \sigma_{Ieq}(\Psi, t) Y \sqrt{a(\Psi, t)}, \quad (1)$$

де Y - функція геометрії тріщини, яка може варіюватись з докритичним зростанням тріщини (згідно з CARES/LIFE величина Y - фіксована геометрична константа); $\sigma_{Ieq}(\Psi, t)$ - еквівалентні напруження для режиму I; $a(\Psi, t)$ - довжина тріщини; Ψ - розташування (x, y, z) та орієнтація (α, β) тріщини в тілі. У деяких моделях, таких як Вейбулла та PIA (сприйняття, інтерпретація та дія), відображається лише розташування. В рівняннях, що базуються на теорії Баддорфа, для об'ємного дефектного аналізу використовується $\Psi = (x, y, z, \alpha, \beta)$, а для поверхневого дефектного аналізу - $\Psi = (x, y, \alpha)$. Для моделі PIA: $\Psi = (x, y, z)$ - для об'ємного дефектного аналізу та $\Psi = (x, y)$ - для поверхневого дефектного аналізу [10, с.127].

Зростання тріщини як функція від коефіцієнта інтенсивності еквівалентних напружень для режиму I описується залежністю силового закону (СЗ):

$$\frac{da(\Psi, t)}{dt} = A K_{Ieq}^N(\Psi, t), \quad (2)$$

де A, N – показники зростання тріщини, константи, що залежать від матеріалу та середовища.

Підставивши рівняння (1) в рівняння (2), отримуємо:

$$\frac{da(\Psi, t)}{dt} = A \sigma_{Ieq}^N(\Psi, t) Y^N a(\Psi, t)^{\frac{N}{2}}. \quad (3)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (2) і (3), отримаємо вираз для $a(\Psi, t)$ при критичних ефективних напруженнях $\sigma_{Ieq, t}$:

$$a(\Psi, t) = \left(\frac{K_{IC}}{Y} \right)^2 \sigma_{Ieq, t}^{-2}(\Psi, t). \quad (4)$$

Продиференціювавши отриманий вираз (4) за часом та підставивши цей диференціал у рівняння (3), отримаємо:

$$\int_{\sigma_{Ieq, 0}}^{\sigma_{Ieq, t=t_f}} \sigma_{Ieq, t}^{N-3} d\sigma_{Ieq, t} = -A Y^2 \frac{K_{IC}^{N-2}}{2} \int_{t=0}^{t=t_f} \sigma_{Ieq, t}^N(\Psi, t) dt, \quad (5)$$

де $\sigma_{Ieq, 0}(\Psi)$ - критичні ефективні напруження при $t = 0$; $\sigma_{Ieq}(\Psi, t = t_f)$ - еквівалентні напруження у момент руйнування ($t = t_f$).

Перетворення еквівалентних напружень для режиму I $\sigma_{Ieq}(\Psi, t = t_f)$ у момент відмови ($t = t_f$) на критичні ефективні напруження $\sigma_{Ieq, 0}(\Psi)$ при ($t = 0$) відповідає співвідношенню (6):

$$\sigma_{Ieq, 0}(\Psi, t) = \left[\int_{t=0}^{t=t_f} \frac{\sigma_{Ieq, t}^N(\Psi, t) dt}{B} + \sigma_{Ieq, t}^{N-2}(\Psi, t_f) \right]^{\frac{1}{N-2}}, \quad (6)$$

де

$$B = \frac{2}{A Y^2 K_{IC}^{N-2} (N-2)}, \quad (7)$$

N (безрозмірний коефіцієнт) та B (напруження² × час) є параметрами втоми для системи «матеріал–середовище».

Перетворення залежності (6) для статичної, динамічної та циклічної втоми представлено в дослідженнях Н. Немета [10, с.135-141], [22, с.5], Ш. Вейдерхорна [21, с.8], М. Віенса [24, с.4-5] та ін. [23, с.5].

Постановка задачі. Для аналітичного визначення несучої здатності вільно опертих по чотирьох кутах багатошарових скляних плит, які працюють на згин від локального навантаження посередині, міцність та деформативність яких досліджують у Національному університеті «Львівська політехніка» [18], [19], [20], необхідно розглянути можливість використання методики розрахунку згідно з ЛПМР.

Вклад основного матеріалу. Практична міцність скла набагато менша, ніж теоретична через наявність дефектів (рис. 1), таких як: подряпини, недоліки, зовнішні або внутрішні тріщини. Наявність дефектів

пояснює, чому крихкі матеріали є менш міцніші при розтягу в порівнянні з їх міцністю на стиск [8, с. 79].

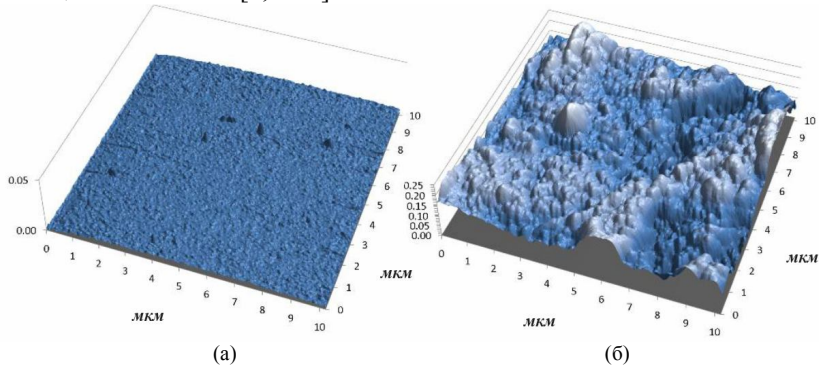


Рис. 1. Зображення дефектів поверхні скла під впливом вітру, отримані за допомогою атомно-силового мікроскопу [7]: (а) підвітряна сторона; (б) навітряна сторона

Інтенсивність напружень в околі вершини тріщини можна визначити коефіцієнтом інтенсивності напружень K_I , що залежить від геометрії тріщини та типу навантаження. Загальну формулу (1) коефіцієнта інтенсивності напружень для режиму тріщиноутворення I K_I можна представити у вигляді (8) [25, с.56-57], [26, с.14], [27, с.25], [28, с.43]:

$$K_I = \sigma Y \sqrt{\pi a}, \quad (8)$$

де K_I – коефіцієнт інтенсивності напружень знаходиться за різними формулами [25, с.57-59], [26, с.16],[27, с.25-28] і залежить від геометрії та розмірів тріщини і зразка та типу прикладення навантаження; σ – напруження розтягу, що діють в напрямку, перпендикулярному до площини тріщини; a – розмір тріщини: половина довжини внутрішньої тріщини або довжина тріщини ззовні [29, с.217]; Y – безрозмірний коефіцієнт геометрії або функція геометрії, яка враховує геометричну форму поверхні та розмір тріщини, геометрію та розміри зразка, а також спосіб прикладення навантаження (закріплення). Даний коефіцієнт може враховувати окремі параметри, якщо інші містяться у зміненому вигляді загальної формули K_I (8) [25, с.57-59], [27, с.25-28]. Так, для розтягу і згину коефіцієнт Y може залежати тільки від форми центральної або крайньої тріщини [30, с.7-27-7-34] або взагалі не фігурувати як окрема величина [31, с.7-8].

Відповідно, можна сформулювати критерій зростання тріщини, за якого коефіцієнт інтенсивності напружень для конкретного випадку порівнюється з критичним значенням. Таким чином, тріщина зростатиме, поки K_I не досягне критичного значення K_{IC} . Значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_I може бути розраховане за формулою (8). Критичне значення K_{IC} приймається за експериментальними даними. Цей критичний коефіцієнт інтенсивності напружень є мірою в'язкості руйнування матеріалу [25, с.59], [28, с.43], [31, с.7-8].

Руйнуючі (критичні) напруження σ_c , пов'язані з довжиною тріщини a та в'язкістю руйнування K_{IC} , визначаються за залежністю (9) [26, с.18-19], [27, с.48-49], [28, с.44], [29, с.219-220], [31, с.8-9]:

$$\sigma_c = \frac{K_{IC}}{Y\sqrt{\pi a}}, \quad (9)$$

де K_{IC} – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень, в'язкість руйнування, тріщиностійкість або опір розвитку тріщини.

З іншого боку, якщо відомі рівень напружень σ та в'язкість руйнування K_{IC} , то *максимально допустимий розмір тріщини* визначається за рівнянням (10) [26, с.18-19], [27, с.48-49], [28, с.44], [29, с.219-220], [31, с.8-9]:

$$a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma Y} \right)^2. \quad (10)$$

У межах ЛПМР інтенсивність напружень K пов'язана із швидкістю вивільнення енергії деформації G наступним чином [25, с.59-61], [27, с.31-33], [32], [33], [34, с.17]:

$$G = \frac{\pi a \sigma^2}{E}; \quad K_I = Y \sigma \sqrt{\pi a} \rightarrow \rightarrow G = \frac{K_I^2}{E}; \quad (11)$$

$$\rightarrow G = \frac{K_I^2 (1 - \nu^2)}{E}, \quad (12)$$

де E - модуль пружності; ν - коефіцієнт Пуассона; Y , σ , a - параметри згідно з (1).

Рівняння (11) відповідає плоскому напруженому стану, (12) – для плоского деформованого стану.

Критична інтенсивність напружень K_{IC} та критична швидкість вивільнення енергії деформації G_c взаємопов'язані між собою через залежності за аналогією із рівняннями (11) та (12) [31, с.8-9]. При цьому G_c рівна повній енергії $2\gamma_f$, що включає пластичне розсіювання на одиницю площі зростання тріщини γ_p та поверхневу енергію γ_s (13) [26, с.11-12], [27, с.51-52]:

$$G_c = 2\gamma_f = 2(\gamma_s + \gamma_p). \quad (13)$$

Швидкість вивільнення енергії G є мірою енергії, необхідної для збільшення тріщини. Термін «швидкість» в даному випадку не відноситься до похідної по відношенню до часу, а є зміною потенціальної енергії по відношенню до площі тріщини. Тому, з похідної потенціальної енергії випливає, що G є також *силою розширення тріщини* або *рушійною силою тріщини R* [33]. Для матеріалів, які є дуже крихкими (наприклад, скло), розсіювання енергії під час зростання тріщини є незначним, тому різниця між R і G_c не дуже велика. Натомість, пластичні матеріали демонструють значне пластичне розсіювання, тому $G_c \gg R$ [25, с.26-27].

Зростання тріщин на поверхні скла (рис. 2), спричинене різними чинниками, призводить до феномена статичної втоми, яка характеризується

затримкою руйнування під постійним навантаженням або під навантаженням при сталій швидкості прикладання. Для дослідження статичної межі втоми в склі може бути використана методика механіки руйнування твердих тіл. Межа втоми визначається величиною коефіцієнта інтенсивності напружень в околі кінця тріщини K_I , при якій рух тріщини не відбувається. Пов'язавши K_I з ростом тріщини v , температурою, середовищем і структурою скла, отримують відповідні залежності $v - K_I$ [21, с.4-7]. Також для практичних цілей можна використовувати наявні експериментальні дані про ріст тріщини на основі залежності міцності σ від постійного навантаження або навантаження при сталій швидкості (інтенсивності) прикладання σ_i / σ_{i-1} [21, с.8-9].

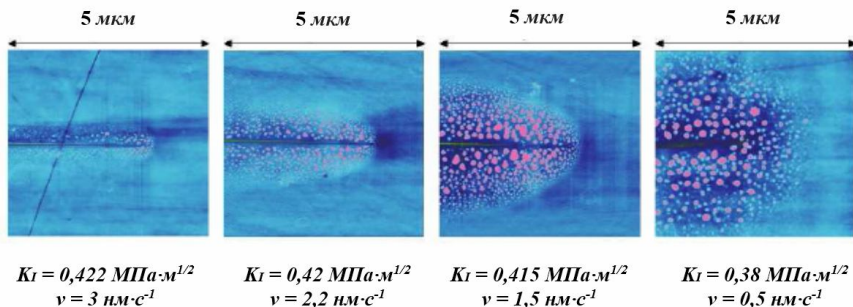


Рис. 2. Зображення росту тріщини в натрієво-кальцієвому склі при змінній вологості, скановані за допомогою атомного силового мікроскопу [35, с.27]

Схема типової кривої $v - K_I$ показана на рис. 3.

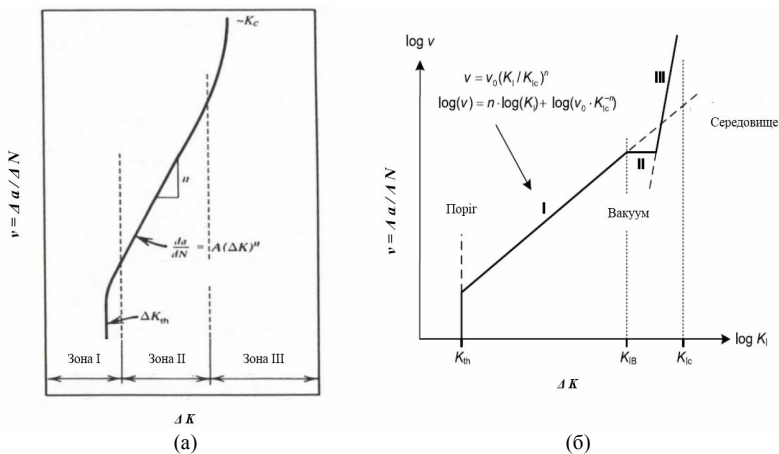


Рис. 3. Схема типової кривої $v - K_I$: (а) - для абстрактного матеріалу [37]; (б) - для скла [36, с.51-52]

На рис. 3 показані різні режими росту тріщини [36, с.51-52], [38, с.16-17], [39, с.2]: розповсюдження тріщини ініціюється, коли інтенсивність

напруження на тріщині збільшується за заданим порогом K_{th} ; як тільки поріг досягнуто, розповсюдження тріщини в зоні I є функцією реакції поверхневого дефекту з чинником (наприклад, вологою); зона II являє собою перехідну область, де є частина реакції тріщини на вологість і частина без реакції; нестабільний/неконтрольований ріст тріщини відбувається в зоні III, тут вологість уже не може взаємодіяти з тріщиною через швидкість розповсюдження. Після того, як інтенсивність напружень досягає в'язкості руйнування матеріалу, K_{IC} , настає руйнування. Зона I має практичне застосування, оскільки це зона стабільного зростання тріщини [38, с.16-17], [40]. Відповідно, найпоширенішим представленням графіка $v-K_I$ є розповсюдження тріщини в зоні I [41]. Область є лінійною на ділянці, вона має просте рівняння (14) (див. рис. 3(б)), яке легко інтегрувати для отримання терміну експлуатації [40]. Нахил цієї лінії n є ще одним параметром в томи [38, с.16-17]. Крутий нахил кривої в зоні I (див. рис. 3(б)), де швидкість тріщини стає дуже чутливою до K , дозволяє визначити порогове значення для зростання тріщини K_{th} , нижче якого зростання практично немає [40]. В літературі використовується також інше позначення для K_{th} , а саме K_{ISCC} [42, с.7-9], [43, с.9-10].

Експериментальні залежності $v-K_I$ для скла представлені у дослідженнях Ш. Вейдерхорна [21, с.4-7], [44, с.544-545], Т. Мічальське [45, с.114-115, 123], [46, с.5-6, 81-89], М. Чікотті [35, с.10-11,16], М. Халдіманна [28, с.41-42], С. Роунтрі [47, с.5-7], матеріалах Р. Брова [41], Дж. Мечольські [48], італійських нормах [49, с.34-35]. Також можна скористатись функціями залежності часу від напружень $v-\sigma_a$, наведеними у статтях М. Оверенда [7], [50], [51, с.21].

Силова функція залежності росту тріщини ($v = da/dt$) від коефіцієнта інтенсивності напружень K_I може бути представлена таким виразом (Ш. Вейдерхорн [21, с.8], Т. Мічальське [45, с.113-114], Х. Шольце [52, с.270], Н. Джеймс [40]):

$$v = \frac{da}{dt} = A K_I^n \text{ або } \log v = \log A + n \log K_I, \quad (14)$$

де v – швидкість росту тріщини розміром a за час t ; A і n – експериментально встановлені параметри (константи) поширення тріщини для конкретного матеріалу в певних умовах. Параметр n описує нахил кривої на графіку $v-K_I$ (див. рис. 3(б)). Аналогічно, константа A визначається з рівняння цієї кривої [52, с.270].

Згідно з М. Віенсом [24, с.4-5], М. Халдіманном [36, с.51-52], М. Сантарсьєро [39, с.2], М. Лінквіст [53, с.22-23] силову функцію v від K_I можна подати у вигляді (15):

$$v = v_o (K_I / K_{IC})^n, \quad (15)$$

де v_o – експериментально отриманий параметр швидкості поширення тріщини – константа, яка залежить, відповідно, від матеріалу та умов

експлуатації (як і параметри A і n), причому v_o (м/с) являє собою докритичне значення поширення тріщини при досягненні значення K_{IC} [24, с.4-5], [49, с.34-35]. Швидкість v_o пов'язана із параметром A залежністю $A = v_o \cdot K_{IC}^{-n}$ [36, с.51].

В результаті отримуємо розширений вираз для силової функції (16), який також наведений у статтях П. Бача [54, с.9-10], [55, с.10-11], М. Оверенда [50] та у нормах Італії з проектування скляних конструкцій CNR-DT 210/2013 [49, с.34-35]:

$$v = \frac{da}{dt} = A K_I^n = v_o \left(\frac{K_I}{K_{IC}} \right)^n = v_o \left(\frac{Y \sigma_a \sqrt{\pi a}}{K_{IC}} \right)^n. \quad (16)$$

Нижче певної порогової інтенсивності напружень близько $K_{th} = K_{ISCC} = 0,3K_{IC}$, незалежно від тривалості навантаження, зростання тріщини в склі не відбувається [56, с.153]. Для натрієво-кальцієвого силікатного скла, в залежності від середовища, це значення становить $K_{th} = K_{ISCC} = 0,20 \div 0,27 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5}$ [28, с.80].

Миттєве руйнування натрієво-кальцієвого силікатного скла відбувається тоді, коли інтенсивність напружень K_I внаслідок напружень на кінці однієї тріщини досягає або перевищує критичну величину K_{IC} , яка, зазвичай, становить $0,75 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5}$ [7]. Діапазон можливих значень K_{IC} в залежності від типу скла представлено у табл. 1. Величину K_{IC} , як і енергію (роботу) руйнування $G_c(\gamma_f)$, необхідно обирати для певного типу скла, враховуючи умови його експлуатації [52, с.264], [57, с.100-102], [58, с.45].

Таблиця 1

Критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (в'язкість руйнування) K_{IC} для різних типів скла [28, с.80], [48, с.74], [52, с.264], [57, с.101],[58, с.45], [59, с.24]

Тип скла	$K_{IC}, \text{ МПа} / \text{м}^{0.5}$
Силікатне (silica)	0.73 - 0.81
Натрієво-кальцієве силікатне (soda-lime-silica)	0.70 - 0.82
Боросилікатне (borosilicate)	0.71 - 0.82
Алюмосилікатне (aluminosilicate)	0.81 - 0.96
Свинцеве силікатне (lead silicate)	0.62 - 0.73

Тривалість процесу корозії у склі з напруженнями визначається параметром тріщини n . Чим більше значення n , тим довговічнішим є скло [9]. Константа n також називається «параметром схильності до корозії» [48].

Оскільки параметри швидкості тріщини v_o і n залежать від матеріалу, температури та навколишнього середовища [50], [28, с.82-85], тому їх

значення приймають наступними: $v_o = 6 \text{ мм/с}$ та $n = 16$ - для оцінки скла, виготовленого за технологією флоат-процесу, що експлуатується у звичайних умовах, натомість для скла в умовах підвищеної вологості ці значення – $v_o = 30 \text{ мм/с}$ та $n = 16$.

Згідно з CNR-DT 210/2013 [49, с.35] в розрахункових цілях можна приймати такі значення «параметра схильності до корозії» n в залежності від умов експлуатації: для натрієво-кальцієвого силікатного скла – $n = 16$ з діапазону $n = 12 \div 16$, для боросилікатного скла – $n = 37,2$ з діапазону $n = 27 \div 40$.

Розмір порогової тріщини $a_0 = a_{th}$ та розмір критичної тріщини a_c отримують, замінюючи у рівнянні (10) коефіцієнт інтенсивності напружень K_I на $K_I = K_{th} = 0,25 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$ та $K_I = K_{IC} = 0,75 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$, відповідно [50].

Час руйнування t_f - час до досягнення критичної інтенсивності напружень K_{IC} . Провівши інтегрування рівняння (16) від початкової довжини тріщини a_i , де $K = K_{th}$, до кінцевої критичної довжини тріщини a_c , де $K_I = K_{IC}$, отримаємо час руйнування в інтегральній формі (17) [54, с.9-10], [55, с.10-11]:

$$t_f = \int_{a_i}^{a_c} \frac{da}{v} = \int_{a_i}^{a_c} \frac{da}{A(Y\sigma_a \sqrt{a})^n}. \quad (17)$$

Час руйнування t_f під діючим постійним навантаженням σ_a , як функція із силового закону, може бути записаний у вигляді (18), запропонованому у роботах М. Вієнса [24, с.4-5] та П. Бача [54, с.9-10], [55, с.10-11], Дж. Гласеманна [60, с.23-28]:

$$t_f = B \sigma_{IC}^{n-2} \sigma_a^{-n}, \quad (18)$$

де $B = \frac{2}{v_o Y^2 (n-2) \sigma_a^2 K_{IC}^{-2}}$ – експериментально визначений параметр зростання тріщини (як A і n), що обчислюється за середнім часом до руйнування та при відповідних прикладених напруженнях σ_a [24, с.4-5]; σ_{IC} – критичні напруження при початковій довжині тріщини або інертна міцність (міцність за відсутності докритичного зростання тріщини) [24, с.4-5], [28, с.44], [38, с.18-19] [54, с.9-10], [55, с.10-11], [61, с.224], [62, с.731].

Вираз для знаходження мінімального часу руйнування (19), представлений в дослідженні Ш. Вейдерхорна [21, с.10-11]:

$$t_{\min} = \frac{2\sigma_a^{-2} (K_{IC} \sigma_a / \sigma_p)^{2-n}}{A Y^2 (n-2)}, \quad (19)$$

де σ_p - напруження, які є більшими, ніж діючі напруження σ_a .

Якщо прийняти $\sigma_p = \sigma_{IC}$, то отримаємо наведену Х. Шольцем [52, с.271] залежність (20):

$$t_f > \frac{2\sigma_{IC}^{n-2}\sigma_a^{-n}}{\pi(n-2)AK_{IC}^{n-2}}. \quad (20)$$

Рівняння, що описує час руйнування, згідно з Т. Мічальське обчислюється за формулою (21) [45, с.114]:

$$t_f = \frac{2[(K_{IC}/K_{li})^{n-2} - 1]}{(n-2)AY^2\sigma_a^2K_{IC}^{n-2}}, \quad (21)$$

де K_{li} і K_{IC} – коефіцієнт початкової інтенсивності напружень та критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (руйнування), відповідно.

У статті К. Дойла [38, с.19-20] подано наступний вираз (22):

$$t_f = \frac{2(K_{li}^{2-n} - K_{IC}^{2-n})}{(n-2)AY^2\sigma_a^2}. \quad (22)$$

Аналогічне по формі рівняння також запропоноване Н. Джеймсом [40]:

$$t_f = \frac{2}{Y^2\sigma_a^2\pi A} \int_{K_i}^{K_c} K^{1-n} = \frac{2}{Y^2\sigma_a^2\pi A} \left[\frac{K_{IC}^{2-n} - K_{li}^{2-n}}{2-n} \right]. \quad (23)$$

Альтернативні формули для t_f наведені також у роботах Дж. Мечольські [48], М. Оверенда [50], Г. Додда [63, с.123], В. Унгуряну [64].

Розрахунок фактичного часу руйнування вимагає наявності інформації про навколишнє середовище, прикладене навантаження (напруження) та початковий розмір дефекту. У багатьох випадках ця інформація невідома і може бути виведена з маркування поверхні тріщини, отриманої після руйнування [45, с.114]. Дослідження відповідних характеристик руйнування скла представлено у статті Дж. Мечольські [58]. Також початковий розмір тріщин за умови відсутності їх візуального спостереження та фіксування можна прийняти з наявних статистичних даних у вигляді діаграм залежності інертної міцності скла від розмірів дефектів, що представлені у дослідженнях В. Унгуряну [64], М. Оверенда [65, с.19], Р. Молда [66, с.128], С. Персоника [67, с.28] для різних станів поверхонь скла.

Висновки. Згідно з лінійно-пружною механікою руйнування для аналітичного методу розрахунку скляних конструкцій, зокрема вільно опертих по чотирьох кутах багатошарових скляних плит, які працюють на згин від локального навантаження посередині, можна використати наступні параметри міцності:

- критичні напруження в склі σ_{IC} за відсутності докритичного зростання тріщини розміром a_i , або короткочасну міцність скла σ_{IC} при наявності докритичного зростання тріщини з початковим розміром a_i (так звана «інертна міцність скла»), які розраховуються відповідно до рівняння (9);

- довговічність конструкцій із скла згідно з рівняннями (18)-(23) як час руйнування t_f при наявності умов для докритичного зростання тріщини з початковим розміром тріщини a_i під навантаженням при коефіцієнті інтенсивності напружень $K_i > K_{th} = 0,3K_{IC}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. New Developments in Load-Bearing Glass [Electronic resource]. – Retrieved from: <https://www.bdcuniversity.com/new-developments-load-bearing-glass>.
2. *Achintha M.* Sustainability of glass in construction [Electronic resource] / *M.Achintha // Sustainability of Construction Materials* / Ed. J. Khatib; Woodhead Publishing. – 2016. – P. 79-104. – Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00005-6>
3. *Kalamar R.* Load Bearing Innovative Construction from Glass [Electronic resource] / *R. Kalamar, M. Eliášová // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 96. – 012066 (7 p.). – Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/96/1/012066>
4. *Šāble L.* Evaluation of Glass in Design of Load Bearing Structures [Electronic resource] / *L. Šāble, K. Kalnins // Proceedings of Civil Engineering '13: 4th International Scientific Conference, Latvia, Jelgava, 16-17 May, 2013.* – P.46-52. – Retrieved from: http://lluflb.llu.lv/conference/Civil_engineering/2013/part1/Latvia_CivilEngineering2013Vol4Part1_46-52.pdf
5. *Pankhardt K.* Load-bearing glass structures [Electronic resource] / *K.Pankhardt // Periodica Polytechnica Civil Engineering*. – 2004. – Vol. 48, No. 1–2. – P. 157–172. – Retrieved from: https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/192250/file_up_590-4643-1-PB.pdf?sequence=1
6. *Родичев Ю.М.* Питання якості, міцності і безпеки вітчизняних виробів з зміцненого скла при проектуванні будівельних конструкцій [Електронний ресурс] / *Ю.М. Родичев // Семінар «Стан та шляхи вдосконалення застосування світлопрозорих конструкцій», 28 травня 2009 р., м.Київ.* – Режим доступу: <https://fasadinfo.ua/articles/glass/1346>
7. *Zammit K.* Increasing the design strength of glass – fractography and stress testing [Electronic resource] / *K. Zammit, M. Overend // Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures Symposium, Valencia, Spain, 28 September – 2 October 2009.* – 12 p. – Retrieved from: <https://www.gft.eng.cam.ac.uk/media/kz/iass-2009-paper-zammit-overend.pdf>
8. Mechanical Behavior, Testing, and Manufacturing Properties of Materials [Electronic resource]. – Retrieved from: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56bf443b6307d911188b4588&assetKey=AS%3A328682485895168%401455375419485>.
9. *Toshihiko O.* Fracture Analysis, a Basic Tool to Solve Breakage Issues [Electronic resource] / *O. Toshihiko // Technical Information Paper (TIP), Corning Inc.* – 2004. – Vol. 201. – Retrieved from: http://www.corning.com/media/worldwide/cdt/documents/2_TIP_201.pdf
10. *Nemeth N.N.* CARES/LIFE Ceramics Analysis and Reliability Evaluation of Structures Life Prediction Program (NASA/TM-2003-106316) [Electronic resource] / *N.N. Nemeth, L.M. Powers, L.A. Janosik, J.P. Gyekemesi.* – NASA Glenn Research Center; Cleveland, OH United States, 2003. – 342 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030014949.pdf>
11. *Evans A.G.* Crack Propagation and Failure Prediction in Silicon Nitride at Elevated Temperature / *A.G. Evans, S.M. Wiederhorn // J. of Mat. Sci.* – 1974. – Vol. 9. – P. 270-278.
12. *Evans A.G.* Proof Testing of Ceramic Materials-An Analytical Basis for Failure Prediction / *A.G. Evans, S.M. Wiederhorn // Int. J. of Fracture.* – 1974. – Vol. 10, No. 3. – P. 379-392
13. *Wiederhorn S.M.* Subcritical Crack Growth in Ceramics / *S.M. Wiederhorn // Fracture Mechanics of Ceramics* / Bradt, R.C., Hasselurau, D.P., Lang, F.F. (Eds.); Plenum, New York. – 1974. – P. 613-646.
14. *Wiederhorn S.M.* Reliability, Life Prediction, and Proof Testing of Ceramics / *S.M. Wiederhorn // Ceramics for High-Performance Applications* / Burke J.J., Gorum A.E., Katz, R.N. (Eds.); Brook Hill Publishing Co., MA. – 1974. – P.633- 663.
15. *Paris P.C.* A Critical Analysis of Crack Propagation Laws / *P.C. Paris, F.Erdogan // J. Basic Eng., Trans. ASME.* – 1963. – Vol. 85, No. 4. – P.528-534.
16. *Walker K.* Effects of Environmental and Complex Load History on Fatigue Life / *K.Walker // ASTM STP 462, American Society for Testing and Materials.* – 1970. – P. 1-14.
17. *Dauskardt R.H.* Cyclic Fatigue Crack Propagation in MgPSZ Ceramics / *R.H. Dauskardt, D.B. Marshall, R.O. Ritchie // J. Am. Cer. Soc.* – 1990. – Vol. 73, No. 4. – P. 893-903.
18. *Осадчук Т.Ю.* Дослідження міцності багатошарових скляних плит, які працюють на згин від зосередженого навантаження штампом / *Т.Ю. Осадчук, Б.Г. Демчина // Будівельне виробництво: міжвідомчий науково-технічний збірник.* – К.: НДІБВ, 2016. – № 60/2016. – С.58-63.
19. *Осадчук Т.Ю.* Дослідження деформацій багатошарових скляних плит за допомогою кореляції цифрових зображень / *Т.Ю. Осадчук, Б.Г. Демчина // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура.* – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017 – № 134. – С.153-163.

20. Демчина Б.Г. Міцність та деформативність багатошарових скляних плит з різних типів скла, які працюють на згин / Б.Г. Демчина, Т.Ю. Осадчук, Х. Б. Демчина // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2017. – № 69. – С. 30 - 37.
21. *Wiederhorn S.* Strength of Glass - A Fracture Mechanics Approach (NBSIR 74-485) [Electronic resource] / *S. Wiederhorn* // Proceedings of Tenth International Congress on Glass, Kyoto, Japan, July 8-13, 1974. – 18 p. – Retrieved from: [https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GOVPUB-C13-584f4bac8792295896df0d41d93ac4ae.pdf](https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GOVPUB-C13-584f4bac8792295896df0d41d93ac4ae/pdf/GOVPUB-C13-584f4bac8792295896df0d41d93ac4ae.pdf)
22. *Nemeth N.N.* Durability evaluation of ceramic components using CARES/LIFE (NASA-TM-106475) [Electronic resource] / *N.N. Nemeth, L.M. Powers, L.A. Janosik, J.P. Gyekenyesi* // 39th International Gas Turbine and Aeroengine Congress, Hague, Netherlands, June 13-16, 1994. – 15 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940020209.pdf>
23. WeibPar: Time Dependent Theory Guide - Dynamic Fatigue Parameter Estimation, Connecticut Reserve Technologies, Inc. [Electronic resource]. – Retrieved from: http://www.weibpar.com/support/docs/WeibPar_Time_Theory.PDF
24. *Viens M.J.* Fracture toughness and crack growth of Zerodur (NASA-TM-4185) [Electronic resource] / *M.J. Viens*. – NASA Technical Memorandum, 1990, Vol. 4185. – 30 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900011871.pdf>
25. *Schreurs P.J.G.* Fracture Mechanics - Lecture notes: course 4A780, Concept version [Electronic resource] / *P.J.G. Schreurs*. – Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Materials Technology, 2012. – Retrieved from: <http://www.mate.tue.nl/~piet/edu/frm/pdf/frmsyl1213.pdf>
26. *Falvo M.R.* Introduction to Materials Science (Appl 50) [Electronic resource] / *M.R. Falvo*. – Additional Topics, 2006. – Retrieved from: <https://users.physics.unc.edu/~falvo/Appl50/AdditionalCoverageofSelectedTopics.pdf>
27. *Wang C.H.* Introduction to Fracture Mechanics (DSTO-GD-0103) [Electronic resource] / *C.H. Wang*. – Airframes and Engines Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 1996. – 82 p. – Retrieved from: <http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/1947/3746/1/DSTO-GD-0103%20PR.pdf> (retrieved: 25.02.2018).
28. *Haldimann M.* Fracture strength of structural glass elements – analytical and numerical modelling, testing and design [Electronic resource]: Phd Thesis (Thèse N° 3671) / *M. Haldimann*; EPFL, Lausanne, Switzerland, 2006. – 202 p. – Retrieved from: https://infoscience.epfl.ch/record/89658/files/EPFL_TH3671.pdf
29. *Callister W.D.* Materials Science And Engineering: An Introduction (7th ed.) [Electronic resource] / *W.D. Callister*. – John Wiley & Sons, 2007. – 975 p. – Retrieved from: [http://user.ceng.metu.edu.tr/~el630912/Callister%20-%20Materials%20Science%20and%20Engineering%20-%20An%20Introduction%207e%20\(Wiley,%202007\).pdf](http://user.ceng.metu.edu.tr/~el630912/Callister%20-%20Materials%20Science%20and%20Engineering%20-%20An%20Introduction%207e%20(Wiley,%202007).pdf)
30. *Quinn G.D.* Fractography of ceramics and glasses [Electronic resource] / *G.D. Quinn*. – NIST Recommended Practice Guide, Special Publication (NIST SP) - 960-16e2, 2016. – Retrieved from: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/NIST.SP.960-16e2.pdf>
31. *Roylance D.* Introduction to Fracture Mechanics [Electronic resource] / *D. Roylance*. – Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, 2001. – Retrieved from: <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/frac.pdf>
32. *McGinty B.* Stress Intensity Factor [Electronic resource] / *B. McGinty*. – Retrieved from: <http://www.fracturemechanics.org/sif.html>
33. *Sejnoha M.* Fracture mechanics [Electronic resource] / *M. Sejnoha*. – Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, 2004. – Retrieved from: http://ksm.fsv.cvut.cz/~sejnom/download/pm10_tisk.pdf
34. *Sørensen N.B.* Introduction to Fatigue and Fracture Mechanics [Electronic resource] / *N.B. Sørensen, L. Gansted-Mortensen*. – Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University. – Retrieved from: <http://vbn.aau.dk/files/37807757/Introduction%20to%20Fatigue%20and%20Fracture%20Mechanics.pdf>
35. *Ciccotti M.* Stress-Corrosion Mechanisms in Silicate Glasses [Electronic resource] / *M. Ciccotti* // Journal of Physics D Applied Physics. – 2009. – Vol. 42. – P. 1-34. – Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/23795997_Stress-Corrosion_Mechanisms_in_Silicate_Glasses
36. *Haldimann M.* Structural Use of Glass / *M. Haldimann, A. Luible, M. Overend*. – Structural Engineering Document SED, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Zürich, Forthcoming, 2008. – 215 p.
37. Fundamentals of LEFM And Applications To Fatigue Crack Growth – eFatigue [Electronic resource]. – Retrieved from: https://www.efatigue.com/training/Chapter_6.pdf

38. *Doyle K.B.* Design strength of optical glass [Electronic resource] / *K.B. Doyle, M.A. Kahan* // Proceedings of SPIE 5176 Optomechanics, San Diego, California, 2003 / Ed. Hatheway A. E.; International Society for Optics and Photonics. – 2003. – P. 14-25. – Retrieved from: <https://wp.optics.arizona.edu/optomech/wp-content/uploads/sites/53/2016/10/doyle-2003.pdf>
39. *Santarsiero M.* Equivalent-Design Crack Model for Structural Glass Elements / *M. Santarsiero, M. Froli, C. Louter* // Journal of Structural Engineering. – 2014. – Vol. 140, No. 6. – 04014016 (10 p.).
40. *James N.* SCC and v-K Curve Theory [Electronic resource] / *N. James*. – Retrieved from: <https://www.fose1.plymouth.ac.uk/fatiguefracture/tutorials/FractureMechanics/SCC/SCCTheory1.htm>
41. *Brow R.K.* Lecture 10. Glass Science & Engineering Mechanical Properties [Electronic resource] / *R.K. Brow*. – Lehigh University. – Retrieved from: https://www.lehigh.edu/imi/teched/ChinaWS/Lecture_10_Brow_Glass-Fracture.pdf
42. *Brown B.F.* Stress Corrosion Cracking Control Measures [Electronic resource] / *B.F. Brown*. – National Bureau of Standards Monograph, Washington, D.C., 1977. – 156 p. – Retrieved from: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/MONO/nbsmonograph156.pdf>
43. *Cottis R.A.* Guides to Good Practice in Corrosion Control – Stress Corrosion Cracking / *R.A. Cottis*. – The National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2000. – 16 p.
44. *Wiederhorn S.M.* Stress Corrosion and Static Fatigue of Glass / *S.M. Wiederhorn, L.H. Bolz* // J. Am. Ceram. Soc. – 1970. – Vol. 53, No. 10. – P. 543–548.
45. *Michalske T.A.* Fractography of Stress Corrosion Cracking in Glass / *T.A. Michalske* // Fractography of Glass / R.C. Bradt and R.E. Tresseler (Eds.); Plenum Press, New York. – 1994. – P. 111-142.
46. *Freiman S.W.* Stress corrosion of ceramic materials. Annual Report [Electronic resource] / *S.W. Freiman, B.R. Lawn, G.S. White, A.C. Gonzalez, Cook R.F., P. Chantikul, H. Richter, E.R. Fuller Jr., S.M. Wiederhorn, T.A. Michalske*. – National Bureau of Standards, Inorganic Materials Division, Washington, 1983. – 159 p. – Retrieved from: <http://www.dtic.mil/dtic/tf/fulltext/u2/a136729.pdf>
47. *Rountree C.* Recent progress to understand stress corrosion cracking in sodium borosilicate glasses: Linking the chemical composition to structural, physical and fracture properties / *C. Rountree* // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2017. – Vol. 50. – 343002 (34 p.).
48. *Mecholsky J.* Virtual Course on Glass - The Properties of Glass: Mechanical Properties of Glass - Lecture 12 [Electronic resource] / *J. Mecholsky*. – Retrieved from: https://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProp/Slides/GlassProp_Lecture12_Mecholsky.pdf
49. CNR-DT 210/2013. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Costruzioni con Elementi Strutturali di Vetro (Guidelines for the Design and Construction of building with Structural Elements of Glass). Italian National Research Council (CNR), Rome, Italy, 2013. – 360 p.
50. *Overend M.* A computer algorithm for determining the tensile strength of float glass [Electronic resource] / *M. Overend, K. Zammit* // Engineering structures. – 2012. – Vol. 45. – P. 68-77. – Retrieved from: http://www-g.eng.cam.ac.uk/gft/media/PG%20projects/Mauro%27s%20publication/Overend%20&%20Zammit_2012_final%20draft.pdf
51. *Overend M.* Recent developments in design methods for glass structures [Electronic resource] / *M. Overend* // The Structural Engineer. – 2010. – Vol. 88, No. 14. – P. 18-26. – Retrieved from: <https://www.gft.eng.cam.ac.uk/media/mo/se14-paper-dev-of-design-methods-of-glass.pdf>
52. *Scholze H.* Glass: Nature, Structure, and Properties / *H. Scholze*. – Springer Science & Business Media, 2012. – 454 p.
53. *Lindqvist M.* Structural glass strength prediction based on edge flaw characterization [Electronic resource]: PhD Thesis (Thèse N° 5627) / *M. Lindqvist*; EPFL, Lausanne, Switzerland, 2013. – 199 p. – Retrieved from: https://infoscience.epfl.ch/record/183860/files/EPFL_TH5627.pdf
54. *Bach P.W.* Subcritical Crack Growth of Wesgo A1-995 Alumina at Room Temperature [Electronic resource] / *P.W. Bach, B.J. De Smet*. – Netherlands Energy Research Foundation ECN, 1992. – 30 p. – Retrieved from: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1996/c96026.pdf>
55. *Bach P.W.* Subcritical crack growth of wesgo a1-995 alumina at 1000°C [Electronic resource] / *P.W. Bach*. – Netherlands Energy Research Foundation ECN, 1993. – 33 p. – Retrieved from: <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-I--93-011>
56. *Overend M.* Diagnostic Interpretation of Glass Failure [Electronic resource] / *M. Overend, S. De Gaetano, M. Haldimann* // Structural Engineering International. – 2007. – Vol. 17. – P. 151-158. – Retrieved from: http://www-g.eng.cam.ac.uk/gft/media/PG%20projects/Mauro%27s%20publication/Diagnostic_Interpretation_of_Glass_Failure_DRAFT.pdf
57. *Wiederhorn S.M.* Fracture surface energy of glass / *S.M. Wiederhorn* // J. Am. Ceram. Soc. – 1969. – Vol. 52. – P. 99-105.

58. *Mecholsky J.* Quantitative Fractographic Analysis of Fracture Origins in Glass / *J. Mecholsky* // Fractography of Glass / R.C. Bradt and R.E. Tresseler (Eds.); Plenum Press, New York. – 1994. – P. 37-73.
59. *Van der Velde O.* Finding the strength of glass: A mechanical and fractographic research of glass biaxial strength for structural purposes [Electronic resource]: master thesis / *O. Van der Velde*; Delft University of Technology, 2015. – 134 p. – Retrieved from: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:386244db-87e6-433c-9072-038d77443c4c/datastream/OBJ/download>
60. *Glaesemann G.S.* Optical Fiber Mechanical Reliability [Electronic resource] / *G.S. Glaesemann*. – Corning Inc., 2017. – Retrieved from: https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/RC-%20White%20Papers/WP-General/WP8002_7.17.pdf
61. *Schula S.* Fracture strength of glass, engineering testing methods and estimation of characteristic values / *S. Schula, J. Schneider, M. Vandebroek, J. Belis* // COST Action TU0905, Mid-term Conference on Structural Glass, Proceedings. – 2013. – P.223-234
62. *Veer F. A.* The relation between pre-stress and failure stress in tempered glass / *F.A. Veer, Y.M. Rodichev* // Challenging Glass 4: Structural Glass-Novel design methods and next generation products / C. Louter, F. Bos, J. Belis, J.P. Lebet (Eds.); Abingdon: Taylor & Francis Group. – 2014. – P. 731-738.
63. *Dodd G.* Glass Engineering without the Concept of Stress [Electronic resource] / *G. Dodd* // Glass Processing Days, 18–21 June, 2001. – P. 120-15. – Retrieved from: https://www.nikolas.net/sites/default/files/press_files/pariser_platz_3_arup_research_and_development_report_june2001_100727_110425.pdf
64. *Ungureanu V.* Advanced design of glass structures – Lecture L2: Glass strengthening methods [Electronic resource] / *V. Ungureanu*. – Retrieved from: http://www.ct.upt.ro/suscos/files/2013-2015/1E05/2E5_Glass_structures_L2_2014_VU.pdf
65. *Overend M.* The appraisal of structural glass assemblies [Electronic resource]: PhD Thesis / *M. Overend*; University of Surrey, 2002. – 214 p. – Retrieved from: <http://eprints.surrey.ac.uk/804385/1/Overend2002.pdf>
66. *Mould R.E.* The Strength of Inorganic Glasses / *R.E. Mould* // Fundamental Phenomena in the Material Sciences, Vol. 4: Fracture of Metals, Polymers, and Glasses / Bonis L. J., Duga J. J., Gilman, J. J. (Eds); Proceedings of the Fourth Symposium on Fundamental Phenomena in the Materials Sciences, Plenum Press, New York. – 1967. – P. 119-149.
67. *Personick S.D.* Fiber Optics: Technology and Applications / *S.D. Personick*. – Springer Science & Business Media, 2013. – 258 p.

REFERENCES

1. New Developments in Load-Bearing Glass [Electronic resource]. – Retrieved from: <https://www.bdcuniversity.com/new-developments-load-bearing-glass>.
2. *Achintha M.* Sustainability of glass in construction [Electronic resource] / *M.Achintha* // Sustainability of Construction Materials / Ed. J. Khatib; Woodhead Publishing. – 2016. – P. 79-104. – Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100370-1.00005-6>
3. *Kalamar R.* Load Bearing Innovative Construction from Glass [Electronic resource] / *R. Kalamar, M. Eliášová* // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 96. – 012066 (7 p.). – Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/96/1/012066>
4. *Šāble L.* Evaluation of Glass in Design of Load Bearing Structures [Electronic resource] / *L. Šāble, K. Kalnins* // Proceedings of Civil Engineering '13: 4th International Scientific Conference, Latvia, Jelgava, 16-17 May, 2013. – P.46-52. – Retrieved from: http://lufb.llu.lv/conference/Civil_engineering/2013/partI/Latvia_CivilEngineering2013Vol4PartI_46-52.pdf
5. *Pankhardt K.* Load-bearing glass structures [Electronic resource] / *K.Pankhardt* // Periodica Polytechnica Civil Engineering. – 2004. – Vol. 48, No. 1–2. – P. 157–172. – Retrieved from: https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/192250/file_up_590-4643-1-PB.pdf?sequence=1
6. *Rodichev Y.M.* Pytannia yakosti, mitsnosti i bezpeky vitchyznyanykh vyrobiv z zmitsnenoho skla pry proektuvanni budivelnnykh konstruksii (Issues of quality, strength and safety of domestic products from strengthened glass in the design of building structures) [Electronic resource] / *Y.M. Rodichev* // Seminar «Stan ta shliakhy vdoskonalennia zastosuvannia svitloprozorykh konstruksii», 28 travnia 2009 r., m.Kyiv. – Retrieved from: <https://fasadinfo.ua/articles/glass/1346>
7. *Zammit K.* Increasing the design strength of glass – fractography and stress testing [Electronic resource] / *K. Zammit, M. Overend* // Proceedings of the International Association for Shell and

- Spatial Structures Symposium, Valencia, Spain, 28 September – 2 October 2009. – 12 p. – Retrieved from: <https://www.gft.eng.cam.ac.uk/media/kz/iass-2009-paper-zammit-overend.pdf>
8. Mechanical Behavior, Testing, and Manufacturing Properties of Materials [Electronic resource]. – Retrieved from: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56bf443b6307d911188b4588&assetKey=AS%3A328682485895168%401455375419485>
 9. *Toshihiko O.* Fracture Analysis, a Basic Tool to Solve Breakage Issues [Electronic resource] / *O.Toshihiko* // Technical Information Paper (TIP), Corning Inc. – 2004. – Vol. 201. – Retrieved from: http://www.corning.com/media/worldwide/cdt/documents/2_TIP_201.pdf
 10. *Nemeth N.N.* CARES/LIFE Ceramics Analysis and Reliability Evaluation of Structures Life Prediction Program (NASA/TM-2003-106316) [Electronic resource] / *N.N. Nemeth, L.M. Powers, L.A. Janosik, J.P. Gyekenyesi.* – NASA Glenn Research Center; Cleveland, OH United States, 2003. – 342 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030014949.pdf>
 11. *Evans A.G.* Crack Propagation and Failure Prediction in Silicon Nitride at Elevated Temperature / *A.G. Evans, S.M. Wiederhorn* // *J. of Mat. Sci.* – 1974. – Vol. 9. – P. 270-278.
 12. *Evans A.G.* Proof Testing of Ceramic Materials-An Analytical Basis for Failure Prediction / *A.G. Evans, S.M. Wiederhorn* // *Int. J. of Fracture.* – 1974. – Vol. 10, No. 3. – P. 379-392
 13. *Wiederhorn S.M.* Subcritical Crack Growth in Ceramics / *S.M. Wiederhorn* // *Fracture Mechanics of Ceramics* / Bradt, R.C., Hasselurau, D.P., Lang, F.F. (Eds.); Plenum, New York. – 1974. – P. 613-646.
 14. *Wiederhorn S.M.* Reliability, Life Prediction, and Proof Testing of Ceramics / *S.M. Wiederhorn* // *Ceramics for High-Performance Applications* / Burke J.J., Gorum A.E., Katz, R.N. (Eds.); Brook Hill Publishing Co., MA. – 1974. – P.633- 663.
 15. *Paris P.C.* A Critical Analysis of Crack Propagation Laws / *P.C. Paris, F.Erdogan* // *J. Basic Eng.*, Trans. ASME. – 1963. – Vol. 85, No. 4. – P.528-534.
 16. *Walker K.* Effects of Environmental and Complex Load History on Fatigue Life / *K.Walker* // ASTM STP 462, American Society for Testing and Materials. – 1970. – P. 1-14.
 17. *Dauskardt R.H.* Cyclic Fatigue Crack Propagation in MgPSZ Ceramics / *R.H. Dauskardt, D.B. Marshall, R.O. Ritchie* // *J. Am. Cer. Soc.* – 1990. – Vol. 73, No. 4. – P. 893-903.
 18. *Osadchuk T.* Doslidzhennia mitsnosti bahatosharovykh sklianykh plyt, yaki pratsiuut na zghyn vid zoseredzhenoho navantazhennia shtampom (Experimental researches of multilayered glass plates which working on bending under stamp loading on the local area) [Electronic resource] / *T. Osadchuk, B.Demchyna* // *Budivelne vyrobnytstvo: mizhvidomchyi naukovo–tekhnichnyi zbirnyk.* – K.: NDIBV, 2016. – № 60/2016. – P.58-63. – Retrieved from: <https://ndibv.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/06/Osadchuk.pdf>
 19. *Osadchuk T.* Doslidzhennia deformatsii bahato sharovykh sklianykh plyt za dopomohoiu koreliatsii tsyfrovyykh zobrazhen (Strain measurement of laminated glass plates using digital image correlation) [Electronic resource] / *T. Osadchuk, B. Demchyna* // *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Komunalne hospodarstvo mist».* Serii: Tekhnichni nauky ta arkhitektura. – Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova, 2017. – № 134. – P.153-163. – Retrieved from: <http://eprints.kname.edu.ua/46097/1/5013-9958-1-SM.pdf>
 20. *Demchyna B.* Mitsnist ta deformatyvnist bahatosharovykh sklianykh plyt z riznykh typiv skla, yaki pratsiuut na zghyn [Electronic resource] / *B. Demchyna, T. Osadchuk, Kh. Demchyna* // *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury.* – Odesa: ODABA, 2017. – № 69. – P. 30 - 37. – Retrieved from: <http://www.ogasa.org.ua/visnik-archive.html>
 21. *Wiederhorn S.* Strength of Glass - A Fracture Mechanics Approach (NBSIR 74-485) [Electronic resource] / *S. Wiederhorn* // *Proceedings of Tenth International Congress on Glass, Kyoto, Japan, July 8-13, 1974.* – 18 p. – Retrieved from: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GOVPUB-C13-584f4bac8792295896df0d41d93ac4ae/pdf/GOVPUB-C13-584f4bac8792295896df0d41d93ac4ae.pdf>
 22. *Nemeth N.N.* Durability evaluation of ceramic components using CARES/LIFE (NASA-TM-106475) [Electronic resource] / *N.N. Nemeth, L.M. Powers, L.A. Janosik, J.P. Gyekenyesi* // *39th International Gas Turbine and Aeroengine Congress, Hague, Netherlands, June 13-16, 1994.* – 15 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19940020209.pdf>
 23. *WeibPar: Time Dependent Theory Guide - Dynamic Fatigue Parameter Estimation, Connecticut Reserve Technologies, Inc.* [Electronic resource]. – Retrieved from: http://www.weibpar.com/support/docs/WeibPar_Time_Theory.PDF
 24. *Viens M.J.* Fracture toughness and crack growth of Zerodur (NASA-TM-4185) [Electronic resource] / *M.J. Viens.* – NASA Technical Memorandum, 1990, Vol. 4185. – 30 p. – Retrieved from: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19900011871.pdf>
 25. *Schreurs P.J.G.* Fracture Mechanics - Lecture notes: course 4A780, Concept version [Electronic resource] / *P.J.G. Schreurs.* – Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Materials Technology, 2012. – Retrieved from: <http://www.mate.tue.nl/~piet/edu/frm/pdf/frmsyl1213.pdf>

26. *Falvo M.R.* Introduction to Materials Science (Appl 50) [Electronic resource] / *M.R. Falvo.* – Additional Topics, 2006. – Retrieved from: <https://users.physics.unc.edu/~falvo/Appl50/AdditionalCoverageofSelectedTopics.pdf>
27. *Wang C.H.* Introduction to Fracture Mechanics (DSTO-GD-0103) [Electronic resource] / *C.H. Wang.* – Airframes and Engines Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 1996. – 82 p. – Retrieved from: <http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/bitstream/1947/3746/1/DSTO-GD-0103%20PR.pdf> (retrieved: 25.02.2018).
28. *Haldimann M.* Fracture strength of structural glass elements – analytical and numerical modelling, testing and design [Electronic resource]: PhD Thesis (Thèse N° 3671) / *M. Haldimann*; EPFL, Lausanne, Switzerland, 2006. – 202 p. – Retrieved from: https://infoscience.epfl.ch/record/89658/files/EPFL_TH3671.pdf
29. *Callister W.D.* Materials Science And Engineering: An Introduction (7th ed.) [Electronic resource] / *W.D. Callister.* – John Wiley & Sons, 2007. – 975 p. – Retrieved from: [http://user.ceng.metu.edu.tr/~e1630912/Callister%20-%20Materials%20Science%20and%20Engineering%20-%20An%20Introduction%207e%20\(Wiley,%202007\).pdf](http://user.ceng.metu.edu.tr/~e1630912/Callister%20-%20Materials%20Science%20and%20Engineering%20-%20An%20Introduction%207e%20(Wiley,%202007).pdf)
30. *Quinn G.D.* Fractography of ceramics and glasses [Electronic resource] / *G.D. Quinn.* – NIST Recommended Practice Guide, Special Publication (NIST SP) - 960-16e2, 2016. – Retrieved from: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/NIST.SP.960-16e2.pdf>
31. *Roylance D.* Introduction to Fracture Mechanics [Electronic resource] / *D. Roylance.* – Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, 2001. – Retrieved from: <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/frac.pdf>
32. *McGinty B.* Stress Intensity Factor [Electronic resource] / *B. McGinty.* – Retrieved from: <http://www.fracturemechanics.org/sif.html>
33. *Sejnoha M.* Fracture mechanics [Electronic resource] / *M. Sejnoha.* – Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, 2004. – Retrieved from: http://ksm.fsv.cvut.cz/~sejnom/download/pm10_tisk.pdf
34. *Sørensen N.B.* Introduction to Fatigue and Fracture Mechanics [Electronic resource] / *N.B. Sørensen, L. Gansted-Mortensen.* – Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University. – Retrieved from: <http://vbn.aau.dk/files/37807757/Introduction%20to%20Fatigue%20and%20Fracture%20Mechanics.pdf>
35. *Ciccotti M.* Stress-Corrosion Mechanisms in Silicate Glasses [Electronic resource] / *M. Ciccotti* // Journal of Physics D Applied Physics. – 2009. – Vol. 42. – P. 1-34. – Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/23795997> Stress-Corrosion Mechanisms in Silicate Glasses
36. *Haldimann M.* Structural Use of Glass / *M. Haldimann, A. Luble, M. Overend.* – Structural Engineering Document SED, International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Zürich, Forthcoming, 2008. – 215 p.
37. Fundamentals of LEFM And Applications To Fatigue Crack Growth – eFatigue [Electronic resource]. – Retrieved from: https://www.efatigue.com/training/Chapter_6.pdf
38. *Doyle K.B.* Design strength of optical glass [Electronic resource] / *K.B. Doyle, M.A. Kahan* // Proceedings of SPIE 5176 Optomechanics, San Diego, California, 2003 / Ed. Hatheway A. E.; International Society for Optics and Photonics. – 2003. – P. 14-25. – Retrieved from: <https://wp.optics.arizona.edu/optomech/wp-content/uploads/sites/53/2016/10/doyle-2003.pdf>
39. *Santarsiero M.* Equivalent-Design Crack Model for Structural Glass Elements / *M. Santarsiero, M. Froli, C. Louter* // Journal of Structural Engineering. – 2014. – Vol. 140, No. 6. – 04014016 (10 p.).
40. *James N.* SCC and v-K Curve Theory [Electronic resource] / *N. James.* – Retrieved from: <https://www.fose1.plymouth.ac.uk/fatiguefracture/tutorials/FractureMechanics/SCC/SCCTheory1.htm>
41. *Brow R.K.* Lecture 10. Glass Science & Engineering Mechanical Properties [Electronic resource] / *R.K. Brow.* – Lehigh University. – Retrieved from: https://www.lehigh.edu/imi/teched/ChinaWS/Lecture_10_Brow_Glass-Fracture.pdf
42. *Brown B.F.* Stress Corrosion Cracking Control Measures [Electronic resource] / *B.F. Brown.* – National Bureau of Standards Monograph, Washington, D.C., 1977. – 156 p. – Retrieved from: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/MONO/nbsmonograph156.pdf>
43. *Cottis R.A.* Guides to Good Practice in Corrosion Control – Stress Corrosion Cracking / *R.A. Cottis.* – The National Physical Laboratory, Teddington, UK, 2000. – 16 p.
44. *Wiederhorn S.M.* Stress Corrosion and Static Fatigue of Glass / *S.M. Wiederhorn, L.H. Bolz* // J. Am. Ceram. Soc. – 1970. – Vol. 53, No. 10. – P. 543–548.
45. *Michalske T.A.* Fractography of Stress Corrosion Cracking in Glass / *T.A. Michalske* // Fractography of Glass / R.C. Bradt and R.E. Tresseler (Eds.); Plenum Press, New York. – 1994. – P. 111-142.
46. *Freiman S.W.* Stress corrosion of ceramic materials. Annual Report [Electronic resource] / *S.W. Freiman, B.R. Lawn, G.S. White, A.C. Gonzalez, Cook R.F., P. Chantikul, H. Richter, E.R. Fuller Jr., S.M. Wiederhorn, T.A. Michalske.* – National Bureau of Standards, Inorganic Materials

- Division, Washington, 1983. – 159 p. – Retrieved from: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a136729.pdf>
47. *Rountree C.* Recent progress to understand stress corrosion cracking in sodium borosilicate glasses: Linking the chemical composition to structural, physical and fracture properties / *C. Rountree* // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2017. – Vol. 50. – 343002 (34 p.).
 48. *Mecholsky J.* Virtual Course on Glass - The Properties of Glass: Mechanical Properties of Glass - Lecture 12 [Electronic resource] / *J. Mecholsky*. – Retrieved from: https://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProp/Slides/GlassProp_Lecture12_Mecholsky.pdf
 49. CNR-DT 210/2013. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Costruzioni con Elementi Strutturali di Vetro (Guidelines for the Design and Construction of building with Structural Elements of Glass). Italian National Research Council (CNR), Rome, Italy, 2013. – 360 p.
 50. *Overend M.* A computer algorithm for determining the tensile strength of float glass [Electronic resource] / *M. Overend, K. Zammit* // Engineering structures. – 2012. – Vol. 45. – P. 68-77. – Retrieved from: http://www-g.eng.cam.ac.uk/gft/media/Pg%20projects/Mauro%27s%20publication/Overend%20&%20Zammit_2012_final%20draft.pdf
 51. *Overend M.* Recent developments in design methods for glass structures [Electronic resource] / *M. Overend* // The Structural Engineer. – 2010. – Vol. 88, No. 14. – P. 18-26. – Retrieved from: <https://www.gft.eng.cam.ac.uk/media/mo/se14-paper-dev-of-design-methods-of-glass.pdf>
 52. *Scholze H.* Glass: Nature, Structure, and Properties / *H. Scholze*. – Springer Science & Business Media, 2012. – 454 p.
 53. *Lindqvist M.* Structural glass strength prediction based on edge flaw characterization [Electronic resource]: PhD Thesis (Thèse N° 5627) / *M. Lindqvist*; EPFL, Lausanne, Switzerland, 2013. – 199 p. – Retrieved from: https://infoscience.epfl.ch/record/183860/files/EPFL_TH5627.pdf
 54. *Bach P.W.* Subcritical Crack Growth of Wesgo A1-995 Alumina at Room Temperature [Electronic resource] / *P.W. Bach, B.J. De Smet*. – Netherlands Energy Research Foundation ECN, 1992. – 30 p. – Retrieved from: <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/1996/c96026.pdf>
 55. *Bach P.W.* Subcritical crack growth of wesgo a1-995 alumina at 1000°C [Electronic resource] / *P.W. Bach*. – Netherlands Energy Research Foundation ECN, 1993. – 33 p. – Retrieved from: <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-I--93-011>
 56. *Overend M.* Diagnostic Interpretation of Glass Failure [Electronic resource] / *M. Overend, S. De Gaetano, M. Haldimann* // Structural Engineering International. – 2007. – Vol. 17. – P. 151-158. – Retrieved from: http://www-g.eng.cam.ac.uk/gft/media/Pg%20projects/Mauro%27s%20publication/Diagnostic_Interpretation_of_Glass_Failure_DRAFT.pdf
 57. *Wiederhorn S.M.* Fracture surface energy of glass / *S.M. Wiederhorn* // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1969. – Vol. 52. – P. 99-105.
 58. *Mecholsky J.* Quantitative Fractographic Analysis of Fracture Origins in Glass / *J. Mecholsky* // Fractography of Glass / *R.C. Bradt and R.E. Tresseler* (Eds.); Plenum Press, New York. – 1994. – P. 37-73.
 59. *Van der Velde O.* Finding the strength of glass: A mechanical and fractographic research of glass biaxial strength for structural purposes [Electronic resource]: master thesis / *O. Van der Velde*; Delft University of Technology, 2015. – 134 p. – Retrieved from: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:386244db-87e6-433c-9072-038d77443c4c/datastream/OBJ/download>
 60. *Glaesemann G.S.* Optical Fiber Mechanical Reliability [Electronic resource] / *G.S. Glaesemann*. – Corning Inc., 2017. – Retrieved from: https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/RC-%20White%20Papers/WP-General/WP8002_7.17.pdf
 61. *Schula S.* Fracture strength of glass, engineering testing methods and estimation of characteristic values / *S. Schula, J. Schneider, M. Vandebroek, J. Belis* // COST Action TU0905, Mid-term Conference on Structural Glass, Proceedings. – 2013. – P.223-234
 62. *Veer F. A.* The relation between pre-stress and failure stress in tempered glass / *F.A. Veer, Y.M. Rodichev* // Challenging Glass 4: Structural Glass-Novel design methods and next generation products / *C. Louter, F. Bos, J. Belis, J.P. Lebet* (Eds.); Abingdon: Taylor & Francis Group. – 2014. – P. 731-738.
 63. *Dodd G.* Glass Engineering without the Concept of Stress [Electronic resource] / *G. Dodd* // Glass Processing Days, 18–21 June, 2001. – P. 120-15. – Retrieved from: https://www.nikolas.net/sites/default/files/press_files/pariser_platz_3_arup_research_and_development_report_june2001_100727_110425.pdf
 64. *Ungureanu V.* Advanced design of glass structures – Lecture L2: Glass strengthening methods [Electronic resource] / *V. Ungureanu*. – Retrieved from: http://www.ct.upt.ro/suscos/files/2013-2015/1E05/2E5_Glass_structures_L2_2014_VU.pdf
 65. *Overend M.* The appraisal of structural glass assemblies [Electronic resource]: PhD Thesis / *M. Overend*; University of Surrey, 2002. – 214 p. – Retrieved from: <http://epubs.surrey.ac.uk/804385/1/Overend2002.pdf>

66. *Mould R.E.* The Strength of Inorganic Glasses / *R.E. Mould* // Fundamental Phenomena in the Material Sciences, Vol. 4: Fracture of Metals, Polymers, and Glasses / Bonis L. J., Duga J. J., Gilman, J. J. (Eds); Proceedings of the Fourth Symposium on Fundamental Phenomena in the Materials Sciences, Plenum Press, New York. – 1967. – P. 119-149.
67. *Personick S.D.* Fiber Optics: Technology and Applications / *S.D. Personick*. – Springer Science & Business Media, 2013. – 258 p.

Стаття надійшла 11.05.2018

Demchyna B., Osadchuk T.

DETERMINATION OF GLASS STRENGTH AND TIME-TO-FAILURE USING LINEAR ELASTIC FRACTURE MECHANICS

Traditionally glass is an aesthetic material not for load bearing purposes. The strength of glass is dependent on stress distribution, load duration, surface condition, and environmental conditions. Surface defects (flaws) or cracks are coupled with the inherent brittleness of glass. Brittle failure of glass is catastrophic failure mode when surface defects or cracks rapidly propagate under tensile loads to a critical value. This can be modelled using linear elastic fracture mechanics (LEFM). Elastic stress intensity near the crack tip is described by a stress intensity factor K_I . Analytical methods for characterizing the strength properties of glass are: estimating fracture toughness K_{IC} or inert strength σ_{IC} and lifetime t_f prediction for fatigue loading. Using these design approaches based on LEFM can give obtain the load bearing capacity of glass constructions.

Keywords: glass strength, flaws, scratches, cracks, stress corrosion, subcritical crack growth (SCG), linear elastic fracture mechanics (LEFM), stress intensity factor, static fatigue, power law, reliability, lifetime prediction, failure time (time-to-failure).

Демчина Б.Г., Осадчук Т.Ю.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТЕКЛА НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Традиционно стекло является эстетическим материалом, не предназначенным для несущих целей. Прочность стекла зависит от распределения напряжений, продолжительности нагрузки, состояния поверхности и условий окружающей среды. Поверхностные дефекты или трещины связаны с характерной хрупкостью стекла. Хрупкое разрушение стекла - это катастрофический режим отказа, при котором поверхностные дефекты или трещины быстро распространяются под нагрузкой на растяжение до критического значения. Это можно смоделировать с помощью линейно-упругой механики разрушения (ЛПМР). Интенсивность упругих напряжений вблизи конца трещины описывается коэффициентом интенсивности напряжений K_I . Аналитическими методами определения прочностных свойств стекла являются: оценка вязкости разрушения K_{IC} или инертной прочности σ_{IC} и прогнозирования продолжительности эксплуатации (времени разрушения) t_f от усталости. Использование таких расчетных подходов на основе ЛПМР позволяет получить несущую способность конструкций из стекла.

Ключевые слова: прочность стекла, дефекты (недостатки), царапины, стресс-коррозия (коррозия под напряжениями), докритический рост трещины (ДЗТ), линейно-упругая механика разрушения (ЛПМР), коэффициент интенсивности напряжений, статическая усталость, силовой закон, надежность, прогнозирования долговечности, время разрушения
УДК 624.012.6+691.615

Демчина Б.Г., Осадчук Т.Ю. **Визначення міцності та довговічності скла на основі лінійно-пружної механіки руйнування** / Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2018. – Вип. 100. – С. 40-58.

Розглянуто визначення міцності та часу руйнування скла з використанням підходів лінійно-пружної механіки руйнування.

Табл. 1. Іл. 3. Бібліогр. 67 назв.

Demchyna B., Osadchuk T. **Determination of glass strength and time-to-failure using linear elastic fracture mechanics** / Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 100. – P. 40-58. – Ukr.

The determination of glass strength and time-to-failure using the approaches of linear-elastic fracture mechanics is considered.

Tabl. 1. Fig. 3. Ref. 67

Демчина Б.Г., Осадчук Т.Ю. **Определение прочности и долговечности стекла на основе линейно-упругой механики разрушения** / Соппротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2018. – Вип. 100. – С. 40-58. – Укр.

Рассмотрено определение прочности и времени разрушения стекла с использованием подходов линейно-упругой механики разрушения.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 67 назв.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Будівельні конструкції і мости» Національного університету «Львівська політехніка» ДЕМЧИНА Богдан Григорович

Адреса робоча: 79000 Україна, м. Львів, вул. Карпінського 6, Національний університет «Львівська політехніка», Кафедра будівельних конструкцій та мостів (2-й н.к., кім. 208), ДЕМЧИНІ Богдану Григоровичу

Робочий тел.: +38(032) 258-25-24

Мобільний тел.: +38(067)371-01-59

E-mail: bogdan195809@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4914-6348>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): аспірант, аспірант кафедри «Будівельні конструкції і мости» Національного університету «Львівська політехніка» ОСАДЧУК Тарас Юрійович

Адреса робоча: 79000 Україна, м. Львів, вул. Карпінського 6, Національний університет «Львівська політехніка», Кафедра будівельних конструкцій та мостів (2-й н.к., кім. 208), ОСАДЧУКУ Тарасу Юрійовичу

Робочий тел.: +38(032) 258-25-24

Мобільний тел.: +38(096)463-29-02

E-mail: osadchuktaras92@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>