

УДК 629.58  
К 75

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНІЧНИХ ІЛЮМІНАТОРІВ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ ПРИ ГІДРОСТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

В. Ю. Кочанов, наук. співроб.

*Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв*

**Анотація.** Наведено результати натурних випробувань ілюмінаторів підводних технічних засобів при навантаженні гідростатичним тиском. На базі нетривалих випробувань здійснено прогноз деформативності світлопрозорих елементів ілюмінаторів з органічного скла.

**Ключові слова:** ілюмінатор, гідростатичний тиск, тривалі випробування, деформативність.

**Аннотация.** Приведены результаты натурных испытаний иллюминаторов подводных технических средств при нагружении гидростатическим давлением. На базе непродолжительных испытаний осуществлен прогноз деформативности светопрозрачных элементов иллюминаторов из органического стекла.

**Ключевые слова:** иллюминатор, гидростатическое давление, длительные испытания, деформативность.

**Abstract.** The test results of full-scale submarine hardware's loading by hydrostatical pressure are presented. The prediction of deformability translucent elements of illuminators from organic glass on the short-term tests based is realized.

**Keywords:** illuminator, hydrostatic pressure, long tests, deformability.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Основним фактором при проектуванні ілюмінаторів є забезпечення їх міцності під час тривалих та циклічних навантажень гідростатичним тиском. Органічне скло, яке використовується для виготовлення світлопрозорих елементів ілюмінаторів, має значну повзучість, тому робоче навантаження призначають у 4–12 разів меншим від руйнівного тиску при короткочасному випробуванні. Однак методик, які б визначали величину коефіцієнта запасу, на даний час не існує. Це пов'язано не тільки з різноманітністю конструктивних типів та умов експлуатації ілюмінаторів, а також і з тим, що органічне скло, як і всі полімерні матеріали, значно змінює власні механічні властивості протягом часу під впливом температури, атмосфери, вологи та ультрафіолетового проміння. У першу чергу, зменшується молекулярна маса полімеру, скорочуються молекулярні ланцюжки, що викликає зниження ударної в'язкості та граничної деформації при розтягуванні.

Таким чином, для аналізу працездатності світлопрозорих елементів ілюмінаторів необхідно виконати комплексний прогноз, який буде враховувати як зниження механічних характеристик органічного скла, так і деформативність конструкції під час експлуатації. Тому дослідження деформативності світлопрозорих елементів при тривалому навантаженні гідростатичним тиском є актуальним.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Глибоководні ілюмінатори у вигляді зрізаного конуса, виготовлені з органічного скла, вперше застосовані О. Пікаром у 1948–1953 роках та широко ви-

користовуються з того часу у конструкціях підводних технічних засобів. Найбільш вагомими розробками у галузі проектування таких ілюмінаторів належать Дж. Стечіву (США) [5].

У досліджах Стечива [4] встановлено, що для поверхневих шарів матеріалу, який мав 10-річний термін експлуатації у складі конструкції підводного апарата «Алвін», зниження міцності і деформативності при розтягуванні та згинанні досягає 30...50 %. Для внутрішніх шарів матеріалу, а також при випробуваннях на стискання зниження міцності не виявлено. Слід відзначити, що конструкція під час експлуатації знаходилася під дією тільки стискання, у разі ж появи напружень розтягування зниження міцності та деформативності було б значно більшим унаслідок розвитку мікротріщин на поверхні матеріалу. Таким чином, для 10-річної експлуатації придатні тільки такі ілюмінатори, у поверхневих шарах яких не виникає деформацій розтягування при навантаженні гідростатичним тиском. Така вимога забезпечується належним вибором основних геометричних характеристик світлопрозорого елемента ілюмінатора, до яких належить кут конусності  $\alpha$  та відношення товщини до діаметра сторони низького тиску  $t/D$ . За результатами досліджень [2] при  $\alpha = 90^\circ$  і  $t/D = 0,41$  деформації розтягування відсутні. Це дозволяє усунути шкідливий вплив атмосфери, вологи та ультрафіолетового проміння на поверхневі шари матеріалу. Стосовно теплового старіння, яке поширюється на всю товщу матеріалу, у досліджах [3] показано, що органічне скло марки СТ-1 (СО-120) спроможне зберігати властивості на рівні експлуатаційних протягом 10 років. При цьому гранична деформація  $\epsilon_{\text{гп}} = 5,4\%$  для свіжовиготовленого

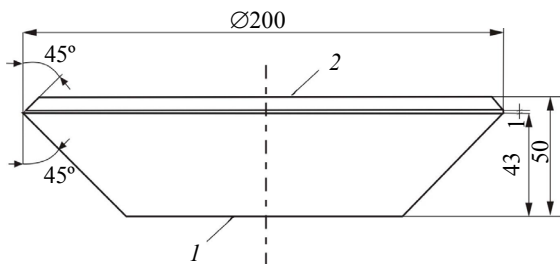
органічного скла знижується до мінімально дозволеного при експлуатації рівня  $\varepsilon_{\text{екс}} = 3\%$ , який відповідає деформаціям умовної границі плинності.

**МЕТОЮ РОБОТИ** є розробка методики прогнозування деформативності ілюмінаторів у вигляді зрізаного конуса з органічного скла та аналіз їх працездатності.

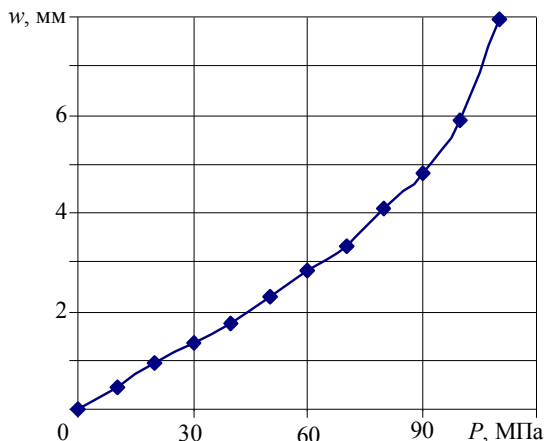
### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження були виконані для ілюмінаторів водозащитного дзвона з робочою глибиною занурення до 500 м.

Для світлопрозорого елемента ілюмінатора (рис. 1) були прийняті наступні геометричні характеристики:  $t/D = 0,41$  та  $\alpha = 90^\circ$ . Короткочасні випробування дозволили визначити руйнівне навантаження ( $P = 110$  МПа), а також тиск, який відповідає появі напружень плинності. Як видно з діаграми навантаження на рис. 2, деформації плинності у світлопрозорому елементі з'являються при тиску 60 МПа та прогині 2,7 мм.



**Рис. 1.** Світлопрозорий елемент ілюмінатора глибоководного апарата: 1 – сторона низького тиску; 2 – сторона високого тиску

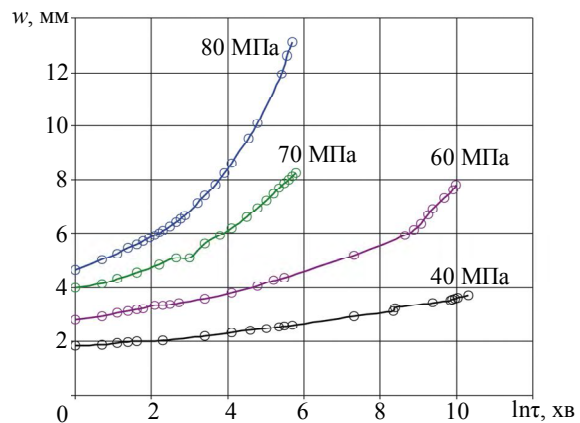


**Рис. 2.** Деформація світлопрозорих елементів при короткочасних навантаженнях гідростатичним тиском

З урахуванням короткочасних випробувань для тривалих досліджень деформативності ілюмінаторів прийняті такі умови: при рівнях гідростатичного тиску  $P = 70$  та  $80$  МПа навантаження здійснюється протягом 5 год і при тиску  $40$  та  $60$  МПа – протягом

одного тижня. Криві повзучості в координатах  $w$ – $\ln t$  на рис. 3 ( $w$  – осьові переміщення центру поверхні низького тиску,  $\tau$  – час витримки під навантаженням) є основою для прогнозування деформативності світлопрозорих елементів за методикою напружено-часової аналогії, яка полягає у наступному.

Для реологічно простих матеріалів, до класу яких належить органічне скло, криві податливості  $J = w/P$  у напівлогарифмічних координатах відносно часу витримки  $\tau$  під навантаженням подібні та переходять одна в одну при паралельному зміщенні вздовж шкали часу. Це дозволяє паралельним перенесенням кривих податливості, які відповідають різним рівням навантаження, побудувати узагальнену криву для «базового» рівня гідростатичного тиску (як правило, найменшого навантаження при випробуваннях). Більш докладно методика напружено-часової аналогії викладена у працях [1, 6].



**Рис. 3.** Криві повзучості світлопрозорих елементів при тривалому навантаженні гідростатичним тиском

Перебудувавши криві повзучості (див. рис. 3) світлопрозорого елемента в ізохрони повзучості (криві, що відповідають однаковому часу витримки  $\tau$  під різним тиском), можна зробити висновок, що при навантаженні менше  $40$  МПа світлопрозорий елемент має властивості лінійної в'язкопружності (рис. 4). Лінійна залежність деформацій ілюмінатора від рівня тиску означає, що крива податливості при робочому тиску  $5$  МПа (глибина занурення  $500$  м) збігається з контрольною кривою для  $40$  МПа (рис. 5).

Прогноз, який було виконано на базі одного тижня навантаження гідростатичним тиском, добре збігається з контрольною кривою (три місяці при тиску  $40$  МПа), що дозволяє визначити деформативність світлопрозорих елементів за 10-річний період звичайною лінійною інтерполяцією. За цей час податливість світлопрозорих елементів при тиску  $5$  МПа складе  $J = 0,28$  мм/МПа, а прогин досягне  $w = 1,4$  мм, що значно менше деформації плинності ( $w_n = w_{\text{екс}} = 2,7$  мм). Такі ілюмінатори можна використовувати навіть на глибинах до  $900$  м. Однак зробити світлопрозорий елемент більш тонким для глибин до  $500$  м не можна,

оскільки при цьому будуть виникати напруження розтягування на поверхні низького тиску. Таким чином, для глибоководних ілюмінаторів водолазного

дзвона оптимальними геометричними параметрами світлопрозорого елемента слід вважати  $t/D = 0,41$  та  $\alpha = 90^\circ$ .

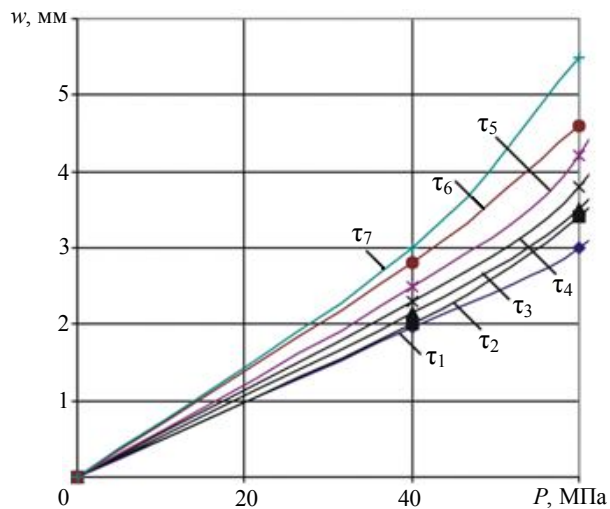


Рис. 4. Ізохрони повзучості світлопрозорого елемента:  $\ln t_1 = 1$ ;  $\ln t_2 = 2$ ;  $\ln t_3 = 3$ ;  $\ln t_4 = 4$ ;  $\ln t_5 = 5$ ;  $\ln t_6 = 6$ ;  $\ln t_7 = 7$

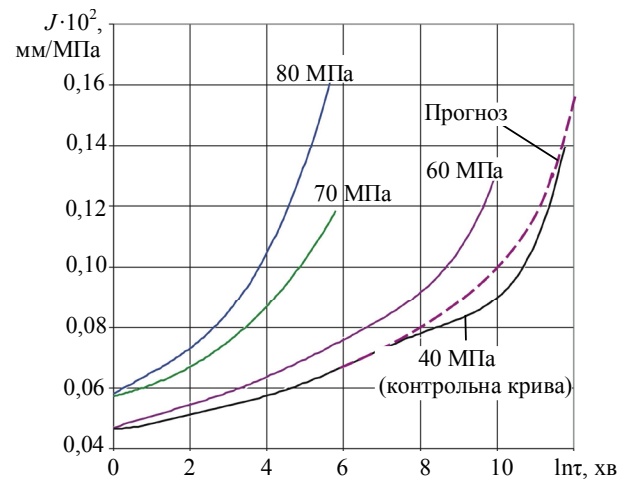


Рис. 5. Криві податливості світлопрозорих елементів та прогнозування їх деформативності

### ВИСНОВКИ

1. Підтверджена можливість прогнозування деформативності світлопрозорих елементів глибоководних ілюмінаторів на основі короткочасних випробувань на повзучість при підвищених (по відношенню до експлуатаційних) рівнях навантаження.

2. Установлено рівень деформацій світлопрозорих елементів, який є допустимим при експлуатації ( $\epsilon_{\text{екс}} = 3\%$ ).

3. Сьогодні методика випробувань за напружено-часовою аналогією поширюється на натурні об'єкти – підводні ілюмінатори (раніше використовувалася тільки для стандартних зразків при простих видах навантаження).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Гольдман, А. Я. Прогнозирование деформационно-прочностных свойств полимерных композиционных материалов [Текст] / А. Я. Гольдман. – Л. : Химия, 1988. – 272 с.
- [2] Кочанов, В. Ю. Застосування методу скінченних різниць для розрахунку напружено-деформованого стану конічних ілюмінаторів [Текст] / В. Ю. Кочанов // Кораблебудування: освіта, наука, виробництво : матеріали Міжнар. конф. : у 2 т. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – Т. 1. – С. 202.
- [3] Кочанов, В. Ю. Применение метода ускоренного теплового старения для прогнозирования длительности эксплуатации илюминаторов из органического стекла [Электронный ресурс] / В. Ю. Кочанов // Електронне видання «Вісник Національного університету кораблебудування». – Миколаїв : НУК, 2011. – № 1. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [4] Стечив, Дж. Влияние атмосферных условий длительности эксплуатации и циклического нагружения гидростатическим давлением на работоспособность сферических корпусов из акриловой пластмассы при нагружении внешним давлением [Текст] / Дж. Стечив, Р. Долан // Конструирование и технология машиностроения. – 1982. – Т. 104, № 2. – С. 227–244.
- [5] Стечив, Дж. Проектирование безопасных илюминаторов для камер повышенного давления [Текст] / Дж. Стечив // Конструирование и технология машиностроения. – 1971. – Т. 93, № 4. – С. 61–72.
- [6] Уржумцев, Ю. С. Прогностика деформативности полимерных материалов [Текст] / Ю. С. Уржумцев, Р. Д. Максимов. – Рига : Зинатне, 1975. – 415 с.

© В. Ю. Кочанов

Надійшла до редколегії 05.04.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК

д-р техн. наук, проф. Л. І. Коростильов

Статтю розміщено у Віснику НУК № 2, 2013