



II МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ДИНАМІКА, МІЦНІСТЬ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ» (ДММ-2020)

05-08 жовтня 2020 р.

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ МЕЖАМИ МІЦНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ СТАТИЧНОМУ ВИГІНІ, РОЗТЯГУВАННІ ТА СТИСНЕННІ

Кондратьєв А.В.¹, Харченко М.Є.², Набокiна Т.П.³

¹ Харківський національний університет міського господарства
ім О.М. Бекетова, м. Харків, Україна

² ООО «АВ-ТЕК», м. Дніпро, Україна

³ Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«ХАІ», м. Харків, Україна

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ



випробування
на розтягнення



межа міцності
при розтягуванні

F_T

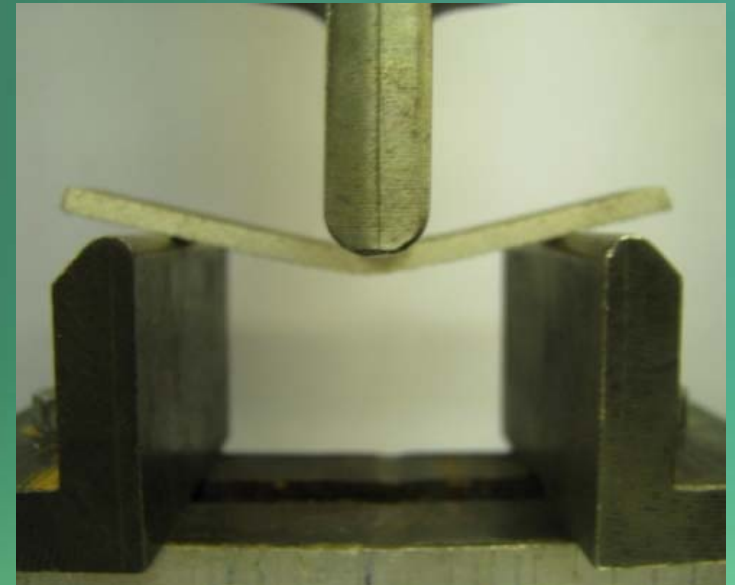


випробування
на стиснення



межа міцності
при стисненні

F_C



випробування
на вигин



межа міцності
при вигині

F_B

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

**МЕТА
ДОСЛІДЖЕННЯ**

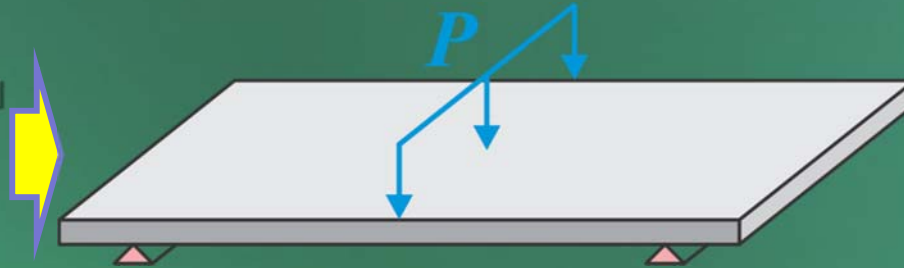
**отримати наближений взаємозв'язок умовної
границі міцності полімерних композиційних
матеріалів при статичному вигині з його
реальними межами міцності при розтягуванні
і стисненні**

**Загальні
припущення**

- лінійно пружна поведінка композиційного матеріалу зразка аж до руйнування;
- напруження «миттєво» стають постійними по всьому стисненому або розтягнутому перерізу, тобто відбувається миттєвий перехід лінійно пружного деформування до ідеально пластичного;
- композиційний матеріал є фізично однорідним за макроструктурою;
- припущення про досягнення межі міцності матеріалу в крайньому волокні розтягнутої, стиснутої зони зразка або одночасному в волокнах цих зон в залежності від реалізованої моделі;
- розглядається лише підклас односпрямованих шаруватих полімерних композиційних матеріалів.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

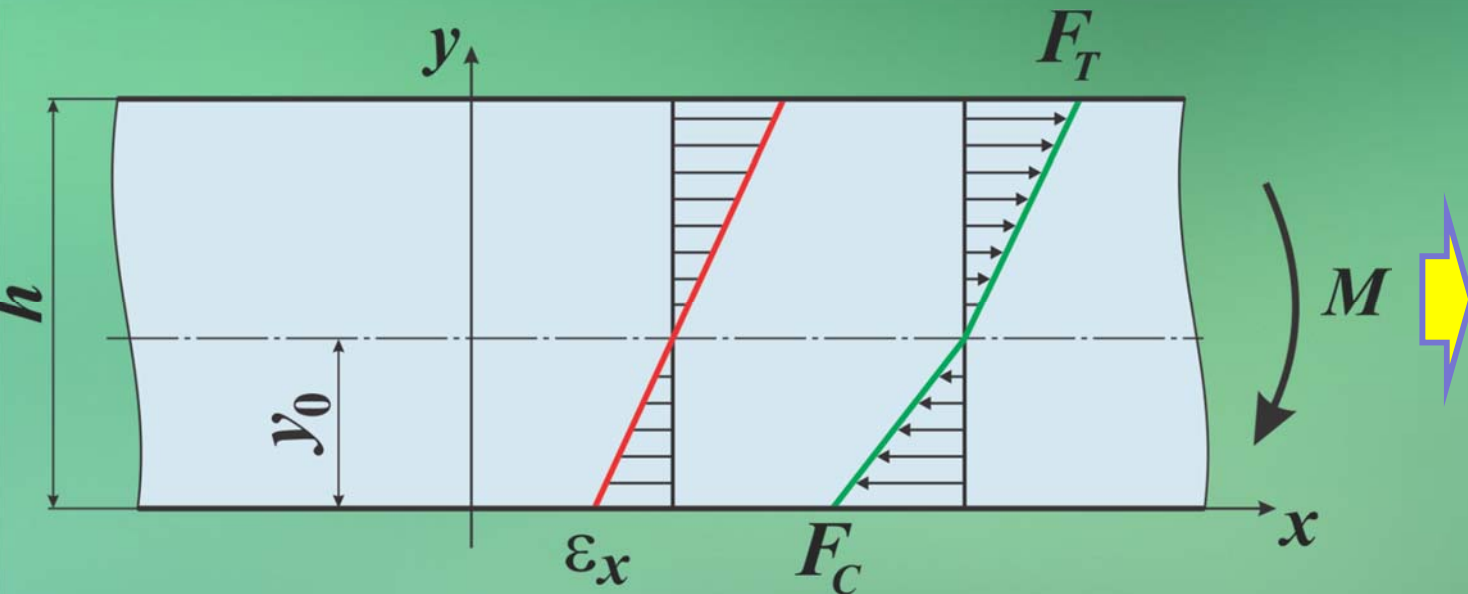
Схема випробування зразка на триточковий згин



$$F_B = F_C \frac{3F_T - F_C^*}{F_T + F_C} \quad (1)$$

Гіпотези причин руйнування та математичні моделі, що їх реалізують

1. Межі міцності при стисненні F_c і розтягуванні F_T досягаються одночасно в крайніх волокнах зразка, що згинається.



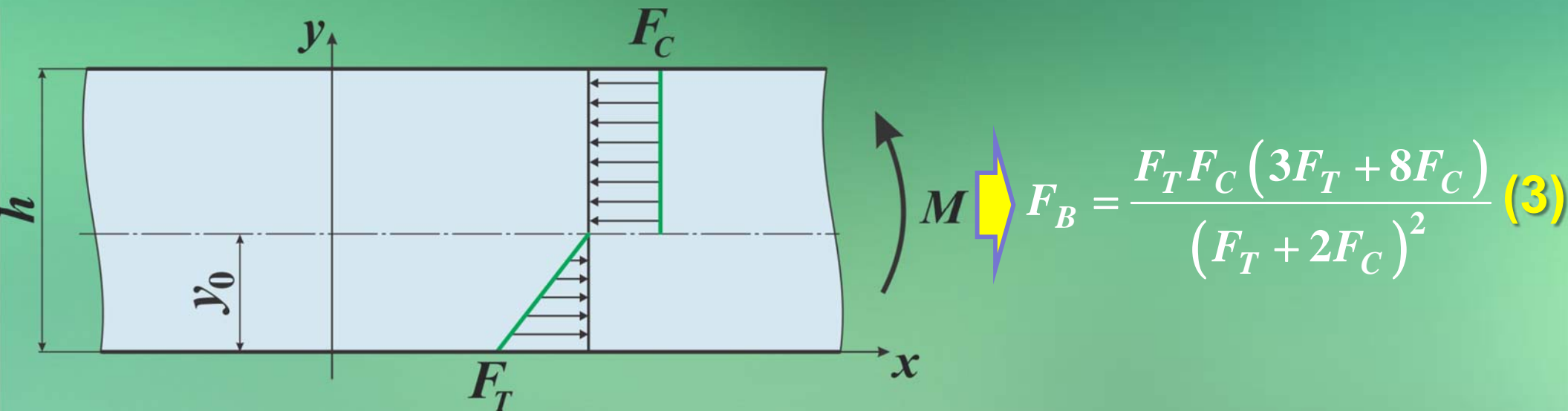
$$F_B = \frac{2F_C F_T}{F_C + F_T} \quad (2)$$

*Соболев Ю.С. Соотношение между пределами прочности древесины при статическом изгибе, растяжении и сжатии / Ю.С. Соболев // Сб. науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та. – М., 1982. – Вып.140. – С. 85 – 89.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Гіпотези причин руйнування та математичні моделі, що їх реалізують

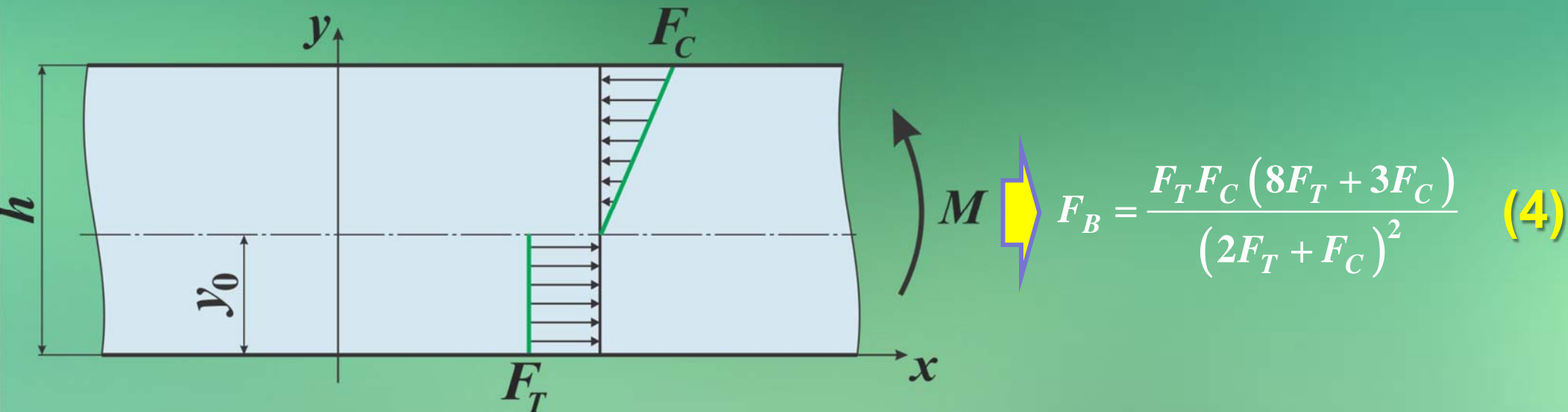
2. Межа міцності при стисненні F_c при вигині спочатку досягається в крайньому волокні стиснутої зони, а потім миттєво поширюється на всю її глибину. При цьому в крайньому волокні розтягнутої зони напруження досягають межі міцності при розтягуванні F_T і відбувається руйнування зразка.



ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Гіпотези причин руйнування та математичні моделі, що їх реалізують

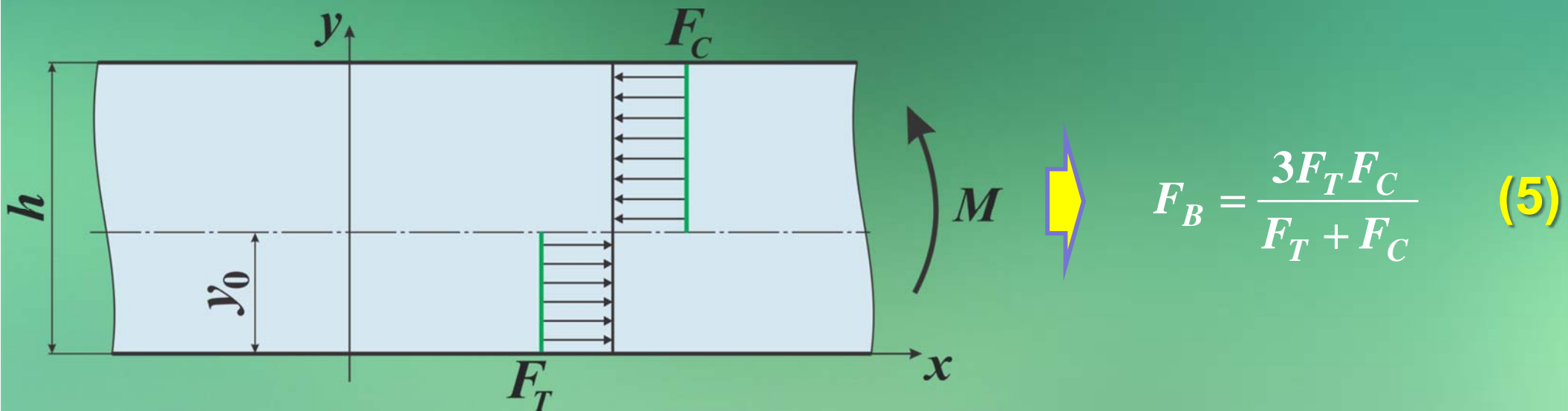
3. Межа міцності при розтягуванні F_T при вигині спочатку досягається в крайньому волокні розтягнутої зони і одночасно на всій її глибині. При цьому в крайньому волокні стиснутої зони напруження досягають межі міцності при стисненні F_C і відбувається руйнування зразка.



ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Гіпотези причин руйнування та математичні моделі, що їх реалізують

4. Межі міцності при стисненні F_C і розтягуванні F_T при вигині зразка спочатку досягаються в крайніх волокнах відповідних зон і одночасно на всій їх глибині.



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порівняння експериментальних значень F_c^{ex} з теоретичними, отриманими за різними моделями

№	Матеріал	Джерело	Експериментальні дані, МПа			Обчислені F_c^{th} , МПа					Мінімальна відносна похибка
			F_T^{ex}	F_C^{ex}	F_B^{ex}	формула					
						(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
вуглепластики											
1	КМУ-1У	[1]	1020	400	1150	-	1317	840	896	614	53,5%
2	КМУ-1Л	[1]	550	350	800	-	1466	927	747	518	48,0%
3	П-5-13 (основа)	[1]	102	164	181	-	803	504	211	148	-9,8%
4	П-5-13 (уток)	[1]	110	164	144	-	208	132	124	85	-19,5%
5	УП-ЛУП/80-ВА	[2]	770	630	800	-	832	533	597	408	-5,2%
6	УП-ЭЛУР/88-П (0°)	[2]	800	800	1000	-	1333	847	830	571	3,8%
7	УП-ЭЛУР/88-П (0°,90°)	[2]	430	420	720	-	2211	1392	778	543	29,3%
8	ЭЛУР-0,08	[3]	990	860	1650	-	4950	3116	1773	1237	43,8%
9	ЛУП-0,2 (0°)	[3]	900	810	1100	-	1414	900	900	619	11,1%
10	ЛУП-0,2 (0°,90°)	[3]	600	500	850	-	1457	922	776	536	7,2%
11	ЛУП-0,2 (0°,±45°,90°)	[3]	280	310	420	-	840	530	404	280	-9,7%
12	КМУ-1Л	[3]	650	350	800	-	1040	662	657	452	29,1%
13	КМУ-2Л	[3]	380	320	600	-	1425	898	606	422	31,9%
14	КМУ-3Л	[3]	1100	450	1300	-	1589	1012	1041	715	58,9%
15	КМУ-4Л	[3]	850	600	900	-	956	611	677	463	1,8%
16	КМУ-11	[3]	1050	1100	1350	-	1890	1201	1143	787	3,9%
17	КМУ-12	[3]	1500	900	1600	-	1714	1096	1209	828	-8,0%
18	Celion 6000	[3]	1785	1221	1975	-	2210	1411	1522	1043	-14,6%
19	Hexcel F 3T-282	[3]	590	585	825	-	1371	868	745	515	-12,0%
20	Hercules A-370-8H	[3]	620	690	895	-	1608	1018	830	575	-16,7%

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Порівняння експериментальних значень F_c^{ex} з теоретичними, отриманими за різними моделями

№	Матеріал	Джерело	Експериментальні дані, МПа			Обчислені F_c^{th} , МПа					Мінімальна відносна похибка
			F_T^{ex}	F_C^{ex}	F_B^{ex}	формула					
						(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
склопластики											
21	АГ-4С	[1]	645	395	607	441	573	368	432	295	-6,8%
22	П-2-1С	[1]	1010	517	750	403	596	385	490	332	-5,2%
23	М-5-7ДДП	[1]	192	110	182	134	173	111	130	89	0,9%
24	Т-11	[4]	425	310	470	-	525	335	362	248	8,1%
25	НПУ-76	[4]	462	445	655	-	1125	712	598	414	-7,0%
26	ТС-8/3К-ТО	[4]	440	370	540	-	698	444	443	305	-17,6%
27	Т-10	[4]	300	145	250	150	214	138	169	115	3,4%
28	КТ-11-С-8/3ТО	[4]	110	65	140	-	193	122	117	81	24,6%
29	Т-41-76	[4]	460	410	580	-	784	498	484	333	18,0%
30	Т-10	[4]	330	150	285	178	250	161	196	133	7,3%
органопластики											
31	СВМ	[5]	700	220	460	228	342	221	290	196	0,5%
32	СВМ: ВМП-2:1	[5]	1120	400	830	446	659	425	541	367	6,3%
кераміковолокнисті композити											
33	БТ	[5]	340	360	580	-	1972	1240	641	448	24,4%
34	ДБВ	[4]	320	290	310	245	300	193	224	153	3,4%

[1] Конструкционные материалы для летательных аппаратов / П.Ф. Вербенец, В.Е. Гайдачук, Я.С. Карпов и др. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1984. – 109 с.

[2] Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее / под ред. С.В. Резника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – Т. 2. – 296 с.

[3] Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин – СПб.: НОТ, 2008. — 822 с.

[4] Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков / И.Г.Гуртовник, В.И. Соколов, Н.Н. Трофимов, С.Г. Шалгунов. – М.: Мир, 2002. – 368 с.

[5] Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: пер. с англ. / М.Л. Кербер. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

ВИСНОВКИ

1. Як показують експериментальні дані щодо **34** різних композиційних матеріалів, **26** матеріалів (**76,4%**) реалізують математичну модель **(5)**, відповідно до якої межа міцності при стисненні F_C і розтягуванні F_T при вигині зразка спочатку досягаються в крайніх волокнах відповідних зон і одночасно на всій їх глибині. Це дозволяє визнати цю модель такою, що наближено відповідає реальній картині руйнування зразків розглянутих матеріалів. Відхилення, які визначаються моделлю **(5)** від експериментальних їх значень в діапазоні до **5%** мають місце **7** раз (ймовірність **20,6%**), понад **5%** до **10%** **11** разів (ймовірність **32,3%**), понад **10** до **20%** – **7** разів (ймовірність **20,6%**), понад **20%** до **30%** – **4** рази (ймовірність **11,8%**) і понад **30%** – **5** разів (ймовірність **14,7%**).

2. У найближчій моделі до моделі **(5)** значення межі міцності при стисненні F_C в **21** випадках дає модель **(4)**, відповідно до якої межа міцності при розтягуванні F_T при вигині спочатку досягається в крайньому волокні розтягнутої зони і одночасно на всій її глибині.

3. В **13** випадках працює модель **(3)**, при якій межа міцності при стисненні F_C при вигині спочатку досягається в крайньому волокні стиснутої зони а потім миттєво поширюється на всю її глибину. При цьому рівні значення меж міцності, що визначаються моделями **(4)** і **(3)** зустрічаються **4** рази.

Значення межі міцності при стисненні F_C , що визначаються іншими припущеннями, які є найближчими до моделі **(3)**, жодного разу не мали місця.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ