

УДК 624.072.012

д.т.н., професор Климов Ю.А.,  
Солдатченко А.С.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,

Васильчишина С.А.,

ООО «Технобазальтинвест», г. Хмельницк, Украина

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО РОВИНГА

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований механических свойств неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга на растяжение.*

**Ключевые слова:** *композитная арматура, коррозионная стойкость, ровинг, временное сопротивление, модуль упругости, относительное равномерное удлинение.*

**Постановка проблемы.** В современной мировой строительной практике все более широкое применение находит неметаллическая композитная арматура, одним из основных преимуществ которой является более высокая коррозионная стойкость по сравнению с традиционной стальной арматурой.

Неметаллическая композитная арматура представляет собой стержни периодического профиля изготовленные из непрерывного ровинга и термореактивного связующего. Ровинг – комплексные или элементарные нити диаметром 14...16 мк, изготовленные из таких органических материалов как арамид и кевлар и таких неорганических, как базальт и стекло. Термореактивная смола – связующее на основе синтетических смол, твердение которых приводит к образованию полимера. Объемное соотношение связующее – ровинг ориентировочно 1/3. Плотность неметаллической композитной арматуры 1,9...2,5 т/м<sup>3</sup>.

Оценка показателей механических свойств проводится по АСІ 440.3R-04 [2] и ГОСТ 12004-81 [3]. Особенностью является применение специального анкерного захвата [2].

В Украине освоено промышленное производство неметаллической композитной арматуры на основе базальтового и стеклянного ровингов. Неметаллическая композитная арматура на основе базальтового ровинга по ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 [4] имеет нормированные показатели, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

## Нормированные показатели механических свойств арматуры [4]

Показатель	Норма, не менее
Временное сопротивление, $f_{fk}$ , МПа	800
Начальный модуль упругости, $E_f$ , ГПа	43
Относительное равномерное удлинение, $\varepsilon_{fu}$ , %	2,2

Периодический профиль арматуры сформирован путем спиральной обмоткой несущего стержня жгутом, пропитанным высокопрочной термореактивной смолой. Общий вид стержней принятых для испытания приведен на рис. 1.

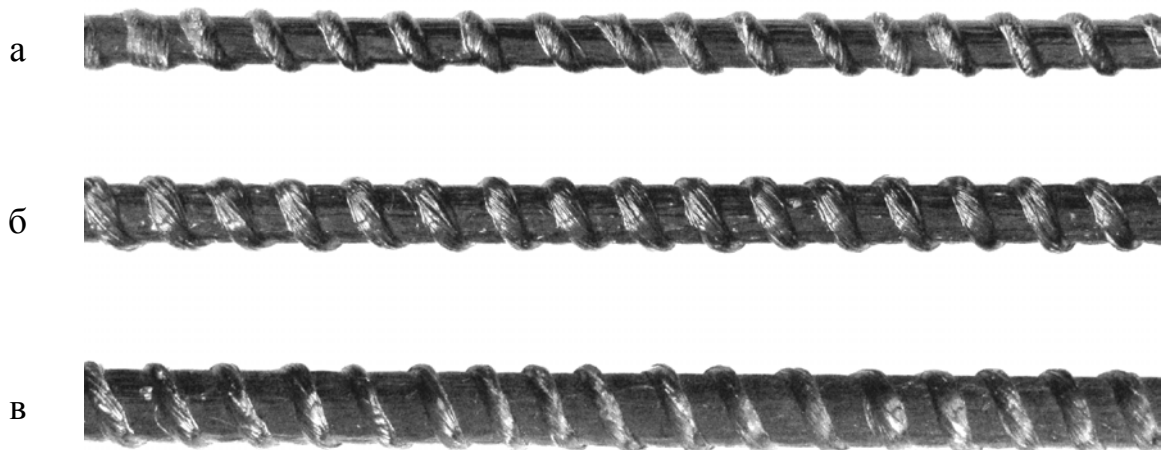


Рис.1. Общий вид стержней диаметром 8 мм (а), 10 мм (б) и 12 мм (в).

Для возможности применения неметаллической композитной арматуры необходимо проведение статистической оценки и нормирование показателей ее механических свойств с последующей разработкой правил проектирования конструкций.

Настоящая работа посвящена статистической оценке нормированных показателей механических свойств неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга [4].

**Анализ последних исследований.** Обобщенные данные о физико-механических свойствах неметаллической композитной арматуры, производимой в настоящее время, приведены в таблице 2 [1, 5].

Таблица 2

## Механические характеристики композитной арматуры

Показатель	Материал ровинга			
	Арамид	Базальт	Стекло	Кевлар
Временное сопротивление, $f_{fk}$ , МПа	1000...2500	600...2000	450...1600	600...3500
Начальный модуль упругости, $E_f$ , ГПа	40...125	35...80	35...60	100...580
Относительное равномерное удлинение, $\varepsilon_{fu}$ , %	1,9...4,4	1,8...3,2	1,2...3,7	0,5...1,7

График зависимости напряжение деформации для неметаллической композитной арматуры – прямая, разрыв стержней сопровождается хрупким разрушением.

**Цель и задачи исследований.** Целью настоящей работы являлось проведение статистической оценки нормированных показателей механических свойств неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга [4].

Статистическая оценка проводилась для показателей:

- временного сопротивления ( $f_{fk}$ );
- начального модуля упругости ( $E_f$ );
- относительного временного удлинения ( $\varepsilon_{fu}$ ).

Для проведения статистической оценки были приняты результаты испытаний механических свойств неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга диаметром 4, 6, 8, 10 и 12 мм [4].

Всего было испытано пять серий образцов. Первая серия включала в себя стержни неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга диаметром 4 мм, вторая – 6 мм, третья – 8 мм, четвертая – 10 мм и пятая – 12 мм.

Испытания проводились по традиционной методике [3]. Особенностью испытаний являлось применение специальных анкерных захватов [2].

Вид образцов с анкерными захватами приведен на рис.2. Захваты представляют собой два цилиндра размещенные и центрованные на краях испытуемого стержня. Пространство между стержнем (1) и цилиндром (2) заполняется анкерной смесью (3), обеспечивающей передачу нагрузки от захватов испытательной машины на стержень.

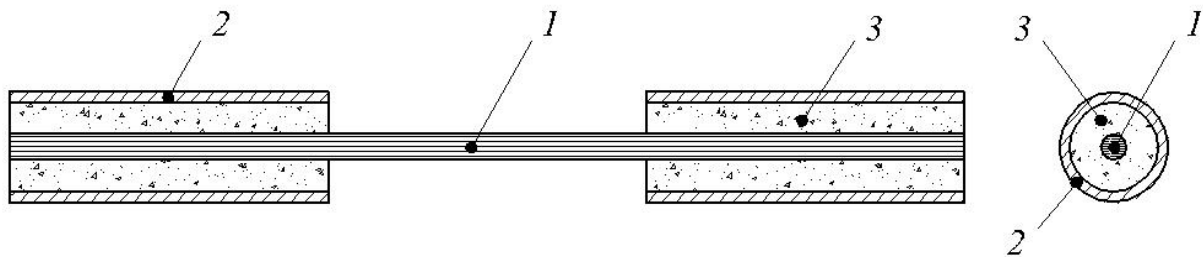


Рис.2. Общий вид образцов с анкерным захватом [2]:  
1 – стержень композитной арматуры; 2 – цилиндр анкерного захвата;  
3 – анкерная смесь.

В результате проведенных испытаний образцов композитной арматуры диаметром 4, 6, 8, 10 и 12 мм, были получены значения временного сопротивления разрыву ( $f_{fk}$ ), начального модуля упругости ( $E_f$ ) и относительного равномерного удлинения ( $\varepsilon_{fu}$ ).

Нормирование показателей механических свойств проводилось по аналогии с традиционной стальной арматурой [5]. Для временного сопротивления разрыву ( $f_{fk}$ ) была принята обеспеченность 0,95, для начального модуля упругости ( $E_f$ ) – 0,50, а для относительного временного удлинения ( $\varepsilon_{fu}$ ) – 0,90.

**Результаты исследований.** В процессе проведенных испытаний установлено, что зависимость касательные напряжения – деформации ( $f - \varepsilon$ ) имеет линейный характер, а разрушение (разрыв) происходит хрупко рис.3.

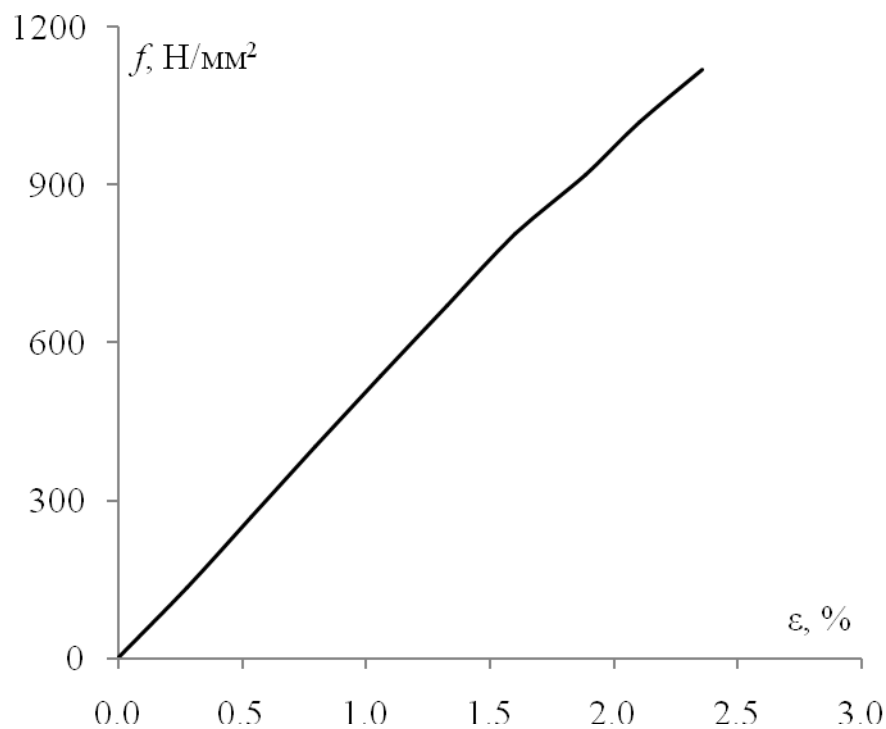


Рис.3. Принципиальный график зависимости напряжение – деформации

Основные результаты проведенных экспериментальных исследований и статистической оценки показателей механических свойств неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга приведены в табл. 3-5 и на рис.4-9:

Таблица 3

## Значения временного сопротивления

№ п/п	d, мм	Колл-во образцов	$f_{fk}$ , Н/мм <sup>2</sup>			Обеспеченность	
			Min	Max	Ср	факт.	норм.
1	4	20	917	1062	986	0.9999711	0.95
2	6	20	908	1030	970	0.9999991	
3	8	20	1036	1186	1109	1.0000000	
4	10	20	955	1028	982	1.0000000	
5	12	20	902	1023	948	0.9994411	
Все		100	908	1023	996	0.9982039	

Таблица 4

## Значения начального модуля упругости

№ п/п	d, мм	Колл-во образцов	$E_f$ , Н/мм <sup>2</sup>			Обеспеченность	
			Min	Max	Ср.	факт.	норм.
1	4	20	64.7	72.1	68.1	1.0000000	0.50
2	6	20	54.2	63.1	57.3	1.0000000	
3	8	20	54.2	64.9	59.4	0.9999997	
4	10	20	43.7	49.4	46.1	0.9829600	
5	12	20	47.7	60.1	53.0	0.9970011	
Все		100	43.7	72.1	59.9	0.9607158	

Таблица 5

## Значения равномерного относительного удлинения

№ п/п	d, мм	Колл-во образцов	$\varepsilon_{fu}$ , %			Обеспеченность	
			Min	Max	Ср	факт.	норм.
1	4	20	2.20	2.60	2.43	0.9822651	0.90
2	6	20	2.50	2.90	2.69	0.9999998	
3	8	20	2.20	3.20	2.82	0.9871157	
4	10	20	2.60	3.20	2.92	0.9999914	
5	12	20	2.80	3.10	2.92	1.0000000	
Все		100	2.20	3.2	2.76	0.9873946	

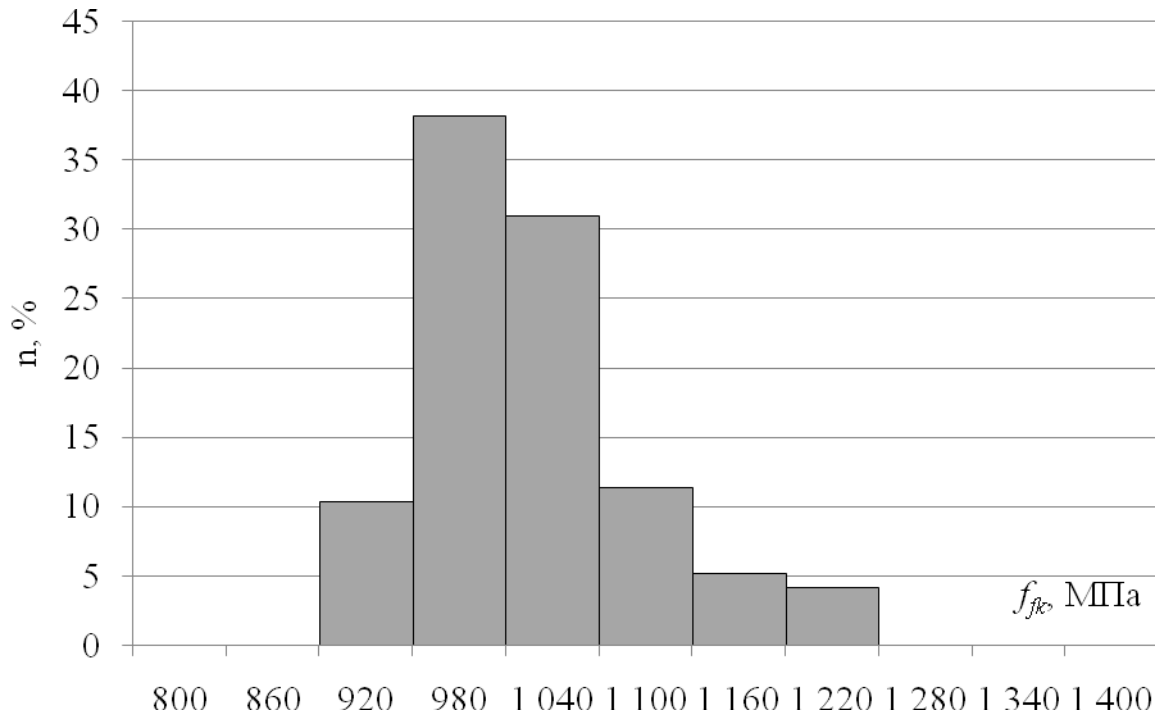


Рис.4. Гистограмма распределения значений временного сопротивления.

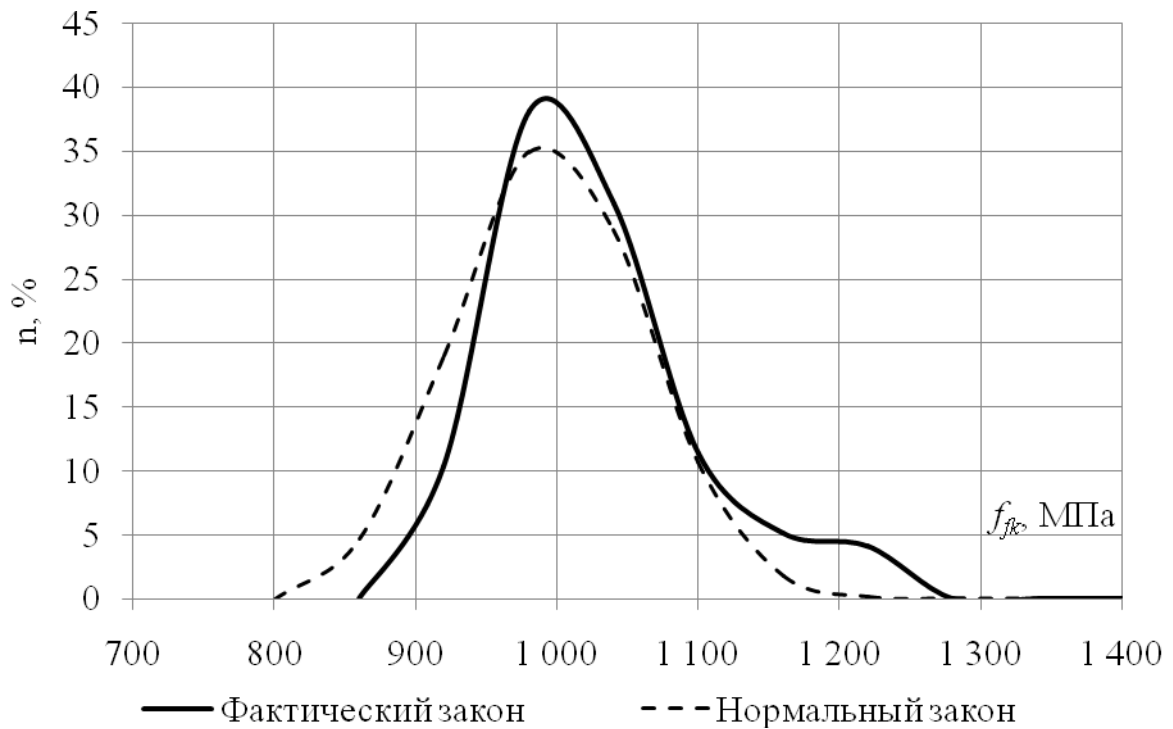


Рис.5. Сопоставления распределения значений временного сопротивления с законом нормального распределения.

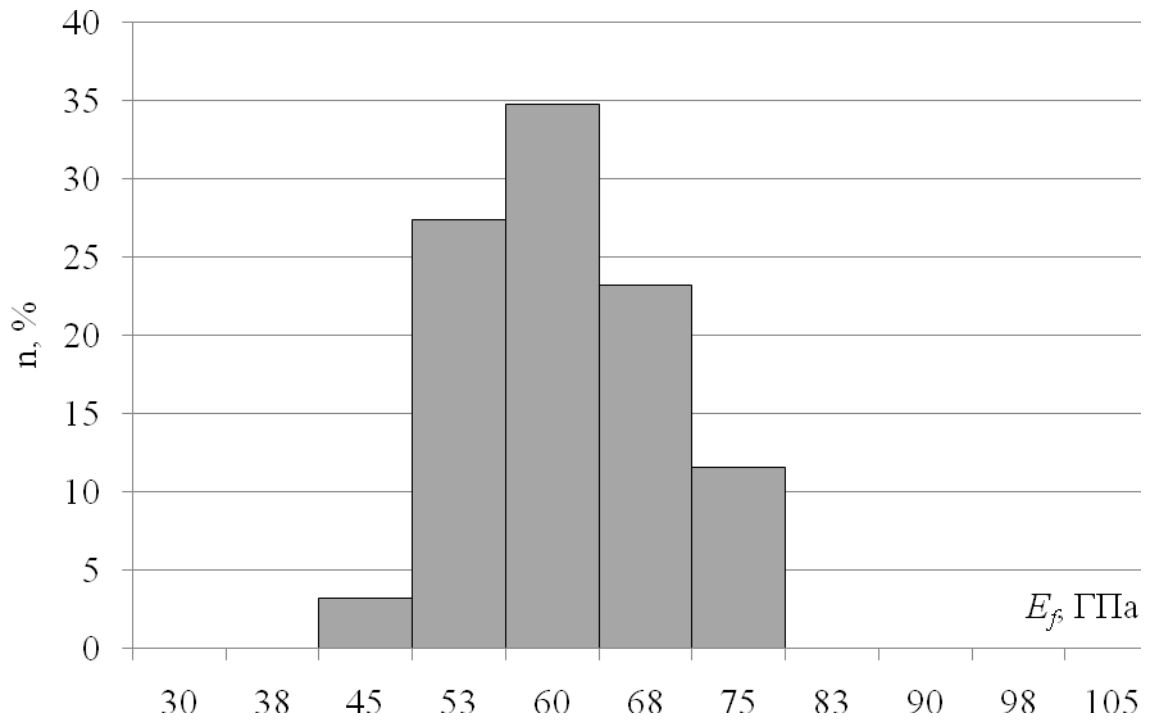


Рис.6. Гистограмма распределения значений начального модуля упругости.

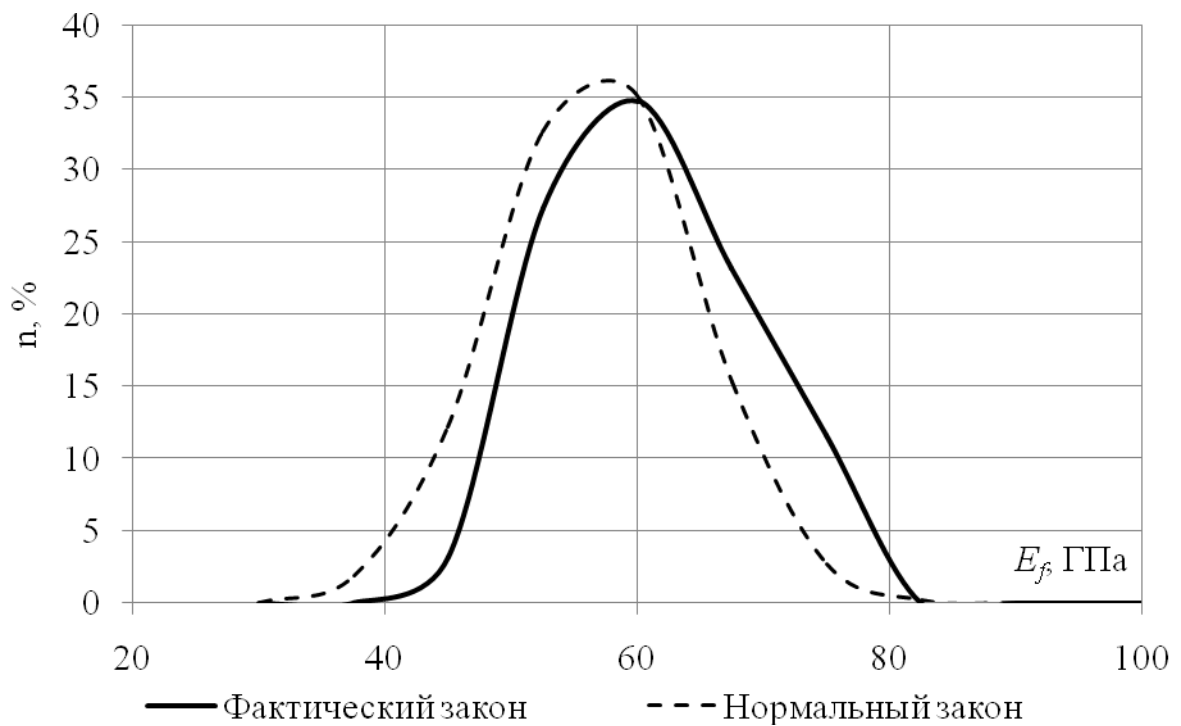


Рис.7. Сопоставления распределения значений начального модуля упругости с законом нормального распределения.

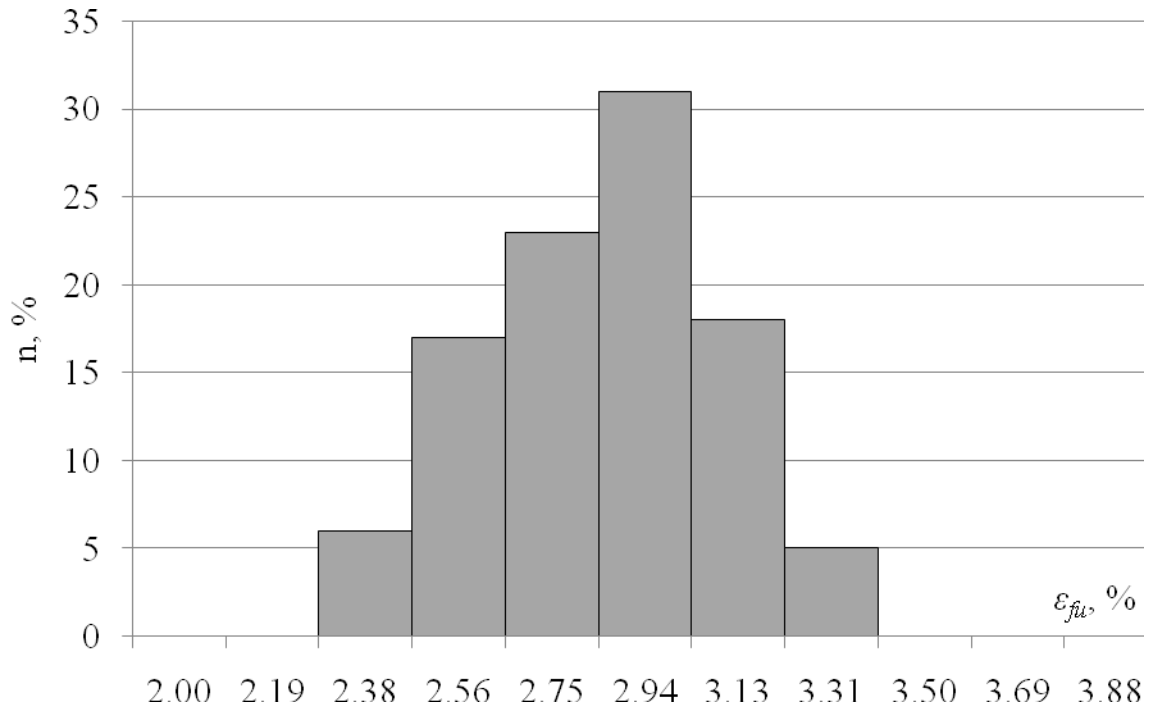


Рис.8. Гистограмма распределения значений относительного равномерного удлинения.

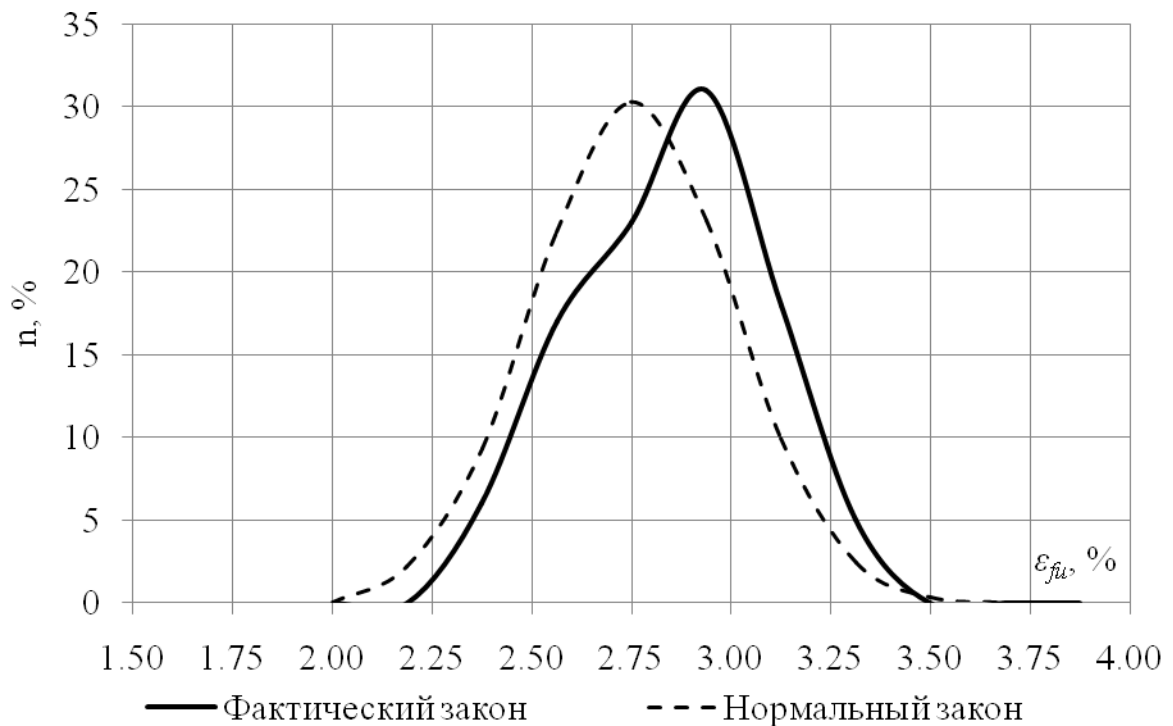


Рис.9. Сопоставления распределения значений относительного временного удлинения с законом нормального распределения.



Обобщение, систематизация и анализ результатов проведенных испытаний (рис.4-9, табл.3-5) позволяют констатировать следующее.

1. Характер распределения значений временного сопротивления ( $f_{fk}$ ) (см. рис.5), начального модуля упругости ( $E_f$ ) (см. рис.8) и относительного равномерного удлинения после разрыва ( $\varepsilon_{fu}$ ) (см. рис.11) близки к нормальному закону распределения.

2. **Временное сопротивление.** Обеспеченность значения временного сопротивления ( $f_{fk}$ ) неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга диаметром 4, 6, 8, 10 и 12 мм составляет 0,998 (см. табл. 2), что превышает нормируемую обеспеченность временного сопротивления, равную 0,95.

3. **Начальный модуль упругости.** Обеспеченность значения начального модуля упругости ( $E_f$ ) неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга диаметром 4, 6, 8, 10 и 12 мм составляет 0,961 (см. табл. 3), что превышает нормируемую обеспеченность начального модуля упругости, равную 0,50.

4. **Относительное равномерное удлинение.** Обеспеченность значения относительного равномерного удлинения после разрыва ( $\varepsilon_{fu}$ ) неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга диаметром 4, 6, 8, 10 и 12 мм составляет 0,987 (см. табл. 3), что превышает нормируемую обеспеченность относительного равномерного удлинения, равную 0,90.

### Выводы

1. Для применения неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга в Украине необходимо проведение оценки статистических показателей механических свойств.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований прочности неметаллической композитной арматуры на растяжение установлено, что зависимость напряжение – деформации ( $f - \varepsilon$ ) имеют линейный характер (рис.3), разрушение – хрупкое.

3. Характер распределения значений временного сопротивления ( $f_{fk}$ ) (рис. 5), начального модуля упругости ( $E_f$ ) (рис. 7) и относительного равномерного удлинения после разрыва ( $\varepsilon_{fu}$ ) (рис. 9) близки к нормальному закону распределения.

4. Обеспеченность значений временного сопротивления ( $f_{fk}$ ) (табл. 3), начального модуля упругости ( $E_f$ ) (табл. 4) и относительного равномерного удлинения после разрыва ( $\varepsilon_{fu}$ ) (табл. 5) неметаллической композитной арматуры на основе базальтового ровинга превышают нормируемые значения обеспеченности соответствующих показателей.

5. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке соответствующих положений документов по проектированию бетонных конструкций армированных неметаллической композитной арматурой на основе ровингов.

### **Література**

1. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. – International Federation for Structural Concrete 2007. – 160 p.
2. ACI 440.3R-04 Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures. – June 2004.
3. ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение.
4. ТУ У В.2.7-25.2-34323267-001:2009 Арматура неметалева композитна базальтового періодичного профілю.
5. Степанова В.Ф., Красовская Г.М. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных и железобетонных конструкциях // НИИЖБ. – Москва.
6. ДСТУ 3760:2006 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови.

### **Анотація**

У статті приведені результати експериментальних досліджень механічних властивостей неметалевої композитної арматури на основі базальтового ровінгу на розтяг.

### **Annotation**

This article has results of experimental research of mechanical properties of basalt fiber reinforcement polymer bars.