

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРЫ

## NON-DESTRUCTIVE TESTING OF FIBER REINFORCED POLYMER REBARS

А. В. БУЧКИН, канд. техн. наук  
В. Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук  
В. А. СТРИЖАК, канд. техн. наук  
Е. Ю. ЮРИН  
Е. И. НИКИШОВ

*В статье приведены сравнительные результаты определения структурных и физико-механических характеристик АКП, определенные стандартными методами и методом неразрушающего контроля. На основании полученных результатов, а также анализа отечественного и зарубежного опыта применения неразрушающего контроля качества изделий из композитных материалов, рекомендован метод волноводного акустического контроля физико-механических характеристик арматуры композитной полимерной.*

*The article presents the comparative results of determining the structural and physical-mechanical characteristics of FRP rebar, defined by standard methods and the method of non-destructive testing. Based on the results and analysis of the experience of application of non-destructive testing products from composite materials, the recommended method of acoustic guided wave testing of physical and mechanical characteristics of FRP rebar.*

### Ключевые слова:

*Акустический метод неразрушающего контроля, арматура композитная полимерная, арматура стеклокомпозитная полимерная, модуль упругости при растяжении, физико-механические характеристики*

### Key words:

*Acoustic non-destructive testing method, composite polymer reinforcement, glass-composite polymer reinforcement, physical and mechanical characteristics, tensile modulus*

Композитная полимерная арматура (АКП) относится к волокнистым композитам с однонаправленными непрерывными волокнами, к которой применимы все закономерности разрушения композитов. Подробно основы расчетов и теория разрушения композитов представлены в работах [1-2] и у других авторов. АКП состоит из двух основных ком-

понентов: непрерывной фазы – матрицы (связующего) и армирующего наполнителя (волокна). Основные прочностные характеристики АКП, такие как прочность, модуль упругости при растяжении, во многом определяются свойствами армирующего наполнителя и напрямую связаны с качеством волокна. В целом физико-механические свойства АКП, в основном, зависят от свойств армирующего наполнителя, свойств полимерной матрицы, соотношении волокна и связующего, а также адгезии матрицы с армирующим наполнителем (совместной работы) при отработанной технологии изготовления.

Основными факторами влияния на стабильность свойств АКП являются дефектность волокон, их геометрические размеры, напряженность компонентов, макроструктурные несовершенства из-за нарушения монолитности системы. К несовершенствам относятся искривление и скручивание волокон, их разориентация (отклонение от заданного направления армирования), неравномерность распределения по сечению, пористость матрицы, степень наполнения и степень полимеризации матрицы.

Несмотря на то что АКП была разработана более 50 лет назад, система взаимоувязанных нормативных документов в России появилась только после 2012 г., а до этого была представлена в виде Технических условий, Стандартов организаций и Технических рекомендаций. За это время в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева разработаны следующие нормативные документы, основанные на отечественном комплексе исследований, с учетом зарубежной технической документации:

- СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85» Приложение Ж (Обязательное). Требования к бетонам и железобетонным конструкциям, табл. Ж3 и Ж4);

- СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменением №1)». Приложение Л (рекомендуемое). Расчет конструкций с композитной полимерной арматурой;

- СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования» (введен в действие с 12.01.2018 г.);

- ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия (пересмотрен в 2017 г и находится на экспертизе и утверждении);

- ГОСТ 32492–2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик»;

- ГОСТ 32486–2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик долговечности»;

- ГОСТ 32487–2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам».

Исследование и разработка метода неразрушающего контроля (НК) физико-механических характеристик АКП является в настоящее время осознанной необходимостью, а многочисленные публикации о теоретическом и практическом применении методов НК к композитным материалам за последние 10 лет свидетельствуют об актуальности этого направления.

Появление процедуры контроля качества АКП на производстве приведет к улучше-

нию качества продукции, а следовательно, надежности и стабильности ее свойств. Задачи внедрения средств НК для АКП позволяют регулировать технологический цикл, улучшая качество продукции за счет стабилизации технологического процесса. Для того чтобы полный (100%) контроль АКП являлся обязательным элементом технологического цикла, необходима разработка соответствующих нормативных документов.

За прошедшие несколько лет в России отмечается ежегодный рост производства и реализации полимерных композитных материалов. Развитие рынка АКП является перспективным направлением при строительстве зданий и сооружений в условиях воздействия агрессивной среды в различных климатических зонах. Отсутствие эффективной системы контроля качества продукции при огромном числе производителей осложняет и замедляет процесс внедрения АКП. С ростом производства, а вместе с этим, и числа производителей, отмечаются многочисленные случаи поступления на строительный рынок АКП, не отвечающей требованиям утвержденных нормативных документов, в частности, ГОСТ 31938. Усугубляет указанную проблему спрос на услуги лабораторий и органов по сертификации, что порой приводит к незаконному обеспечению документами о безопасности и качестве продукции, получению сертификатов соответствия, изготовленных по заказу изготовителей или поставщиков АКП, без проведения необходимых испытаний.

Проведен анализ деятельности испытательных лабораторий, центров и органов сертификации по наличию аккредитации на проведение испытаний АКП по ГОСТ 31938. В результате установлено, что число организаций, осуществляющих деятельность в этом направлении, составляет около 24, из них 18 оказались фиктивными (не имеют соответствующего оборудования, специалистов или числятся только «на бумаге»).

При этом необходимо отметить парадоксальную ситуацию: существуют многочисленные производства АКП (с числом линий до 6 шт.), представлена разнообразная номенклатура АКП, производители гарантируют соответствие требованиям нормативно-техническим документам, но при этом производственный контроль в необходимом объеме не ведется, а стандартные методы если и используются, то только при проведении очередных сертификационных испытаний, один раз в три года.

В действующем ГОСТ 31938 контролируемые параметрами АКП при приемо-сдаточных испытаниях являются: внешний вид, геометрические размеры, предел прочности при растяжении и модуль упругости при растяжении. Для определения прочности и модуля упругости при растяжении используют только «разрушающий» метод по ГОСТ 32492. Метод требует трудоемкой и относительно длительной подготовки образцов для проведения испытаний, заключающийся в установке образца в бетонные анкерные устройства (рис. 1).

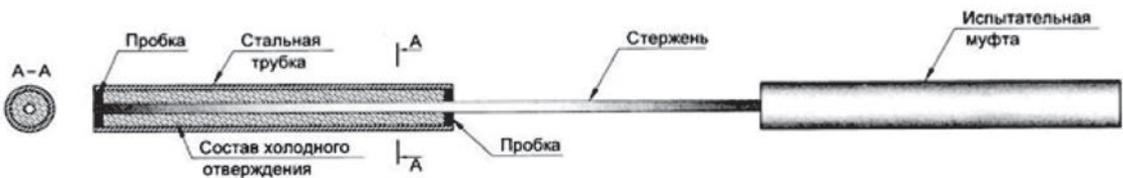


Рис. 1. Вид типового опытного образца по ГОСТ 32492

В проведенной работе была поставлена задача разработать неразрушающий экспресс-метод оценки качества АКП в условиях производства как дополнительный инструмент к стандартному методу испытания АКП.

В существующем многообразии задач, решаемых методами НК, важная роль отводится структуроскопии, которая оценивает структурные и физико-механические характеристики материалов. В качестве такого метода НК применительно к АКП можно использовать метод волноводного контроля протяженных объектов, который реализуется на базе ультразвуковых дефектоскопов посылкой акустических импульсов в тело композитного стержня с последующей регистрацией отраженных сигналов.

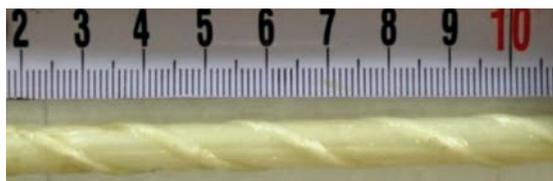
Апробацию приспособлений для реализации НК проводили на арматуре стеклокомпозитной полимерной (АСК) как наиболее распространенном на строительном рынке виде АКП, представляющем собой неметаллические стержни из стеклянных волокон, пропитанных термореактивным полимерным связующим. Для испытаний проведена выборка пяти партий АСК периодического профиля диаметрами 8 мм, изготовленных методом безфильерного формования, с устройством тангенциальной обмотки четырех производителей. Все арматурные стержни позиционируются производителями как соответствующие требованиям ГОСТ 31938. Внешний вид арматуры показан на рис. 2 – 6.

Партии №1 и №3 представлены арматурными стержнями с однозаходной нитью, партии №2, №4, №5 — арматурой с двузаходной нитью. Стержни партии №4 и №5 изготовлены одним производителем, имеют черный цвет и позиционируются в разных ценовых категориях, при этом на основании Технических условий качество АСК партии №4 выше, чем партии №5.

Для анализа характеристик стержней в партии все стержни подвергнуты неразрушающему контролю датчиком стержневой волны с приложением к одной стороне. Число стержней в каждой партии, подвергнутых исследованию представлено в табл. 1. Стержни с диаметром, превышающим проходной диаметр датчика стержневой волны, контролю не подвергались. Это характерно для арматурных стержней производителя №1, доля стержней не прошедших контроль, составила 20 %.



**Рис.2.** Внешний вид стержня композитной арматуры, партия №1



**Рис.3.** Внешний вид стержня композитной арматуры, партия №2



**Рис.4.** Внешний вид стержня композитной арматуры, партия №3



**Рис.5.** Внешний вид стержня композитной арматуры, партии №4 и №5

Таблица 1

## Партии АСК разных производителей

Партия	Цвет	Общее число	Проконтролировано
№1	Светло-коричневый	300	238
№2	Светло-желтый	298	269
№3	Светло-желтый	300	296
№4	Черный	150	150
№5	Черный	150	149
Всего		1198	1105

Оценка акустических свойств стержней АСК проведена на основании полученной величины скорости акустической волны, проходящей по телу стержня. Распределение партий стержней по скорости приведено на рис. 6. По горизонтальной оси отложено значение скорости акустической волны. По вертикали отложено число стержней арматуры, выраженное в процентах от общего числа стержней в данной партии, попавших в интервал распределения скоростей.

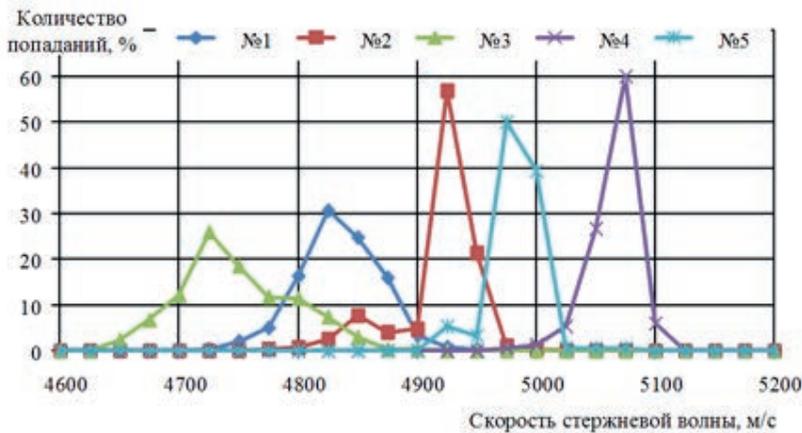


Рис.6. Распределение скоростей стержневой волны по партиям

Диапазон зарегистрированных скоростей составляет в партии №1 –  $4820 \pm 100$  м/с, в партии №3 –  $4725 \pm 100$  м/с).

В партии №2 образцы с более высокой скоростью и низким разбросом скоростей ( $4930 \pm 40$  м/с), но 66 образцов (18%) имеют более низкую скорость ( $4840 \pm 40$  м/с).

В партиях №5 и №4 стержни имеют более высокие скорости акустической волны при узком разбросе скоростей  $4950 \pm 40$  м/с и  $5025 \pm 40$  м/с соответственно.

После этого для испытаний стандартными методами АСК проведен отбор стержней длиной 6000 мм, характерных для каждой партии, из числа стержней, не имеющих дефектов. Выбор проведен на основании измеренной скорости распространения акустических импульсов стержневой волны, с предварительной отбраковкой дефектных стержней.

Из каждой партии выбираются 2 стержня со скоростью стержневой волны, близкой к среднему значению в партии, и по 2 стержня в середине диапазона справа от среднего и слева от среднего значения скорости. Для уточнения акустических характеристик ото-

бранных стержней диаметром 8 мм выполнена подготовка их торцов для улучшения акустического контакта, с последующим измерением длины стержня. Измерение скоростей стержневой волны проведено по 10 раз с каждой стороны стержня при постоянной смене измеряемого образца.

Распределение значений скорости стержневой волны по каждому измерению внутри одной партии показано на рис. 7.

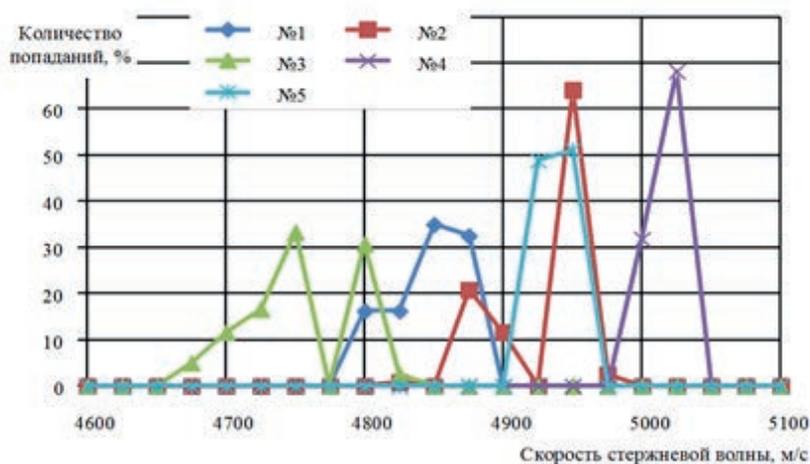


Рис. 7. Распределение уточненных значений скорости стержневой волны в стержнях по партиям

Для определения физико-механических характеристик стержня АСК длиной 6000 мм нарезали на 2 участка по 3000 мм каждый. На каждом участке выделяется фрагмент 1200 мм для измерения механических характеристик и фрагмент длиной 700 мм для измерения физических характеристик. По результатам измерений скоростей стержневой волны были определены акустические свойства каждого стержня.

В проведенных исследованиях показана связь физико-механических характеристик АСК, определенных стандартными методами испытаний, и результатов, получаемых методом НК. Проведена оценка факторов, влияющих на контролепригодность АСК методом параметрической статистики, позволяющей определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями, а также критерии корреляции.

Определяемые физические и структурные характеристики АСК:

- содержание волокна, % по массе;
- плотность, г/см<sup>3</sup>.

Определяемые механические характеристики АСК:

- предел прочности при растяжении, МПа;
- модуль упругости при растяжении, МПа.

Связь между прочностью при растяжении в качестве основного контролируемого показателя, определяемого по ГОСТ 32492, и скоростью распространения стержневой волны после уточнения данных оказалась слабой (низкий коэффициент корреляции), но получена хорошая связь между скоростью распространения стержневой волны и модулем упругости  $E_f = f(C_p)$ .

Модуль упругости является одной из наиболее важных характеристик АКП, поэтому проведен расчет теоретического значения именно этой характеристики. При прогнозировании физико-механических характеристик композитов можно воспользоваться свойством линейной аддитивности. В этом случае некую физическую величину композита ( $y$ ) можно выразить зависимостью:

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n, \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – объемные содержания составляющих материалов композита;  
 $c_1, c_2, \dots, c_n$  – физические характеристики этих материалов.

Зависимость (1) позволяет применять «правило смесей» при определении плотности, модуля упругости и прочности композитного материала (КМ). Правило смеси для КМ с однонаправленным волокном основано на предположении, что их свойства зависят только от свойств и соотношения компонентов и что свойства одинаковы во всем объеме КМ.

Воспользуемся «правилом смесей» для предварительного теоретического расчета модуля упругости АСК, изготовленной на основе стеклянных волокон и эпоксидного связующего по формуле Фойгта [239].

В общем виде расчетную формулу для определения теоретического значения модуля упругости АСК можно представить как

$$E_{\text{теор}} = V_{\text{волокна}} \cdot E_{\text{волокна}} + V_{\text{св}} \cdot E_{\text{св}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{волокна}}$  – объёмное содержание волокна;  
 $E_{\text{волокна}}$  – модуль упругости волокна;  
 $E_{\text{св}}$  – модуль упругости связующего;  
 $V_{\text{св}}$  – объёмное содержание связующего.

В общем виде расчетную формулу для определения теоретического значения плотности АСК можно представить как

$$\rho_{\text{теор}} = V_{\text{волокна}} \cdot \rho_{\text{волокна}} + V_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{св}}, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{теор}}$  – теоретическое значение плотности;  
 $V_{\text{волокна}}$  – объёмное содержание волокна;  
 $\rho_{\text{волокна}}$  – плотность волокна;  
 $V_{\text{св}}$  – объёмное содержание связующего;  
 $\rho_{\text{св}}$  – плотность связующего.

Таблица 2

### Справочные значения характеристик сырьевых материалов для производства АСК

Материал	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Волокно стеклянное	1800 – 3850	70 – 80	2,40 – 2,55
Смола эпоксидная	55 – 130	2,75 – 4,10	1,20 – 1,40

Модуль упругости волокна имеет более высокие значения по сравнению с модулем упругости полимерной матрицы. На основании этого можно сделать допущение о том, что для КМ, армированных непрерывными волокнами, можно не принимать во внимание напряжение, действующее в матричной фазе, но нужно учитывать его объемное содержание:

$$V_{\text{волокна}} = \frac{X_{\text{волокна}}}{X_{\text{волокна}} + X_{\text{св}} \cdot \rho_{\text{волокна}} / \rho_{\text{св}}} \quad (4)$$

где  $X_{\text{волокна}}$  – содержание волокна по массе, г;  
 $X_{\text{св}}$  – содержание связующего по массе, г.

$$V_{\text{волокна}} = \frac{0,8}{0,8 + 0,2 \cdot 2,47 / 1,30} = 0,678$$

Соответственно,  $V_{\text{св}} = 1 - V_{\text{волокна}} = 1 - 0,678 = 0,322$ .

Подставляя в формулы (2, 3) данные, полученные по формуле (4) и средние значения характеристик стеклянного волокна и эпоксидной смолы из табл. 2, получаем:

$$E_{\text{АСК}} = 0,678 \cdot 72 + 0,322 \cdot 3,45 = 49,91 \text{ ГПа};$$

$$\rho_{\text{АСК}} = 0,678 \cdot 2,47 + 0,322 \cdot 1,30 = 2,09 \text{ г/см}^3.$$

Из расчета определения теоретического значения модуля упругости АСК видно, что для обеспечения нормативного значения модуля упругости, равного 50 ГПа по ГОСТ 31938, требуется содержание волокна не менее 80% по массе.

Экспериментальные значения механических и физических характеристик отобранных стержней партий АСК, представленные в табл. 3, показывают, что для обеспечения того же значения модуля упругости содержание армирующего наполнителя должно быть не менее 82%.

Такая же зависимость прослеживается для значения плотности.

Таблица 3

### Средние значения физико-механических и акустических характеристик АСК

Характеристика	Партия АСК				
	№1	№2	№3	№4	№5
Средняя плотность $\gamma_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup>	1,97	2,04	1,97	2,18	2,15
Содержание волокна $M_{\text{glass}}$ , %	77,8	82,3	78,8	86,9	85,1
Предел прочности при растяжении $\sigma_r$ , ГПа	1010	1083	1082	1109	1085
Модуль упругости при растяжении $E_r$ , ГПа	48,58	50,59	49,1	54,5	53,03
Средняя скорость стержневой волны $C_{\text{ср}}$ , м/с	4834	49,16	4742	5015	4931

Методом параметрической статистики проведена оценка связи содержания волокна по массе в партиях АСК, определенных стандартными методами испытаний, с результатами полученных НК, позволяющая определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями, а также оценить ее тесноту и статистическую

значимость, определяемую критериями корреляции Пирсона. Представленные в табл. 4 результаты характеризуют связь  $M_{glass} = f(C_p)$  как очень высокую.

Таблица 4

**Данные зависимости «скорость стержневой волны – содержание волокна по массе»**

Номер партии	Среднее значение содержания волокна по массе, %	Средняя квадратичная ошибка, S	Коэффициент вариации V, %	Коэффициент корреляции, r
1	77,8	0,66	0,9	0,83
2	83,3	0,47	0,6	0,92
3	78,8	0,50	0,6	0,96
4	86,8	0,29	0,3	0,79
5	85,1	0,35	0,4	0,74

Проведена статистическая обработка результатов испытаний плотности для партий АСК и установлена средняя плотность с доверительным интервалом  $2,06 \pm 0,6$  г/см<sup>3</sup> при коэффициенте вариации 4,4 % и стандартном отклонении 0,09.

Простым и объективным способом контроля модуля упругости является способ, основанный на установлении эмпирической статистической связи между модулем упругости и одним или несколькими физическими параметрами АСК (табл. 5).

Изменение значения модуля упругости и скорости стержневой волны происходит от одних и тех же параметров. Наиболее существенное влияние на эти характеристики оказывают содержание волокна, пористость и ориентация наполнителя (плотность). Учет этих факторов имеет большое значение для установки объективных корреляционных соотношений.

Таблица 5

**Связь «модуль упругости – физическая величина» АСК пяти серий**

Зависимость	Среднее значение $E_f$	Средняя квадратичная ошибка S	Коэффициент вариации V, %	Коэффициент корреляции, r
$E_f = f(M_{glass})$	51160	1,55	0,003	0,91
$E_f = f(\gamma)$		0,03	0,0001	0,93

Определено эмпирическое уравнение связи между модулем упругости по ГОСТ 32492 и скоростью распространения стержневой волны методом НК. Установлена корреляционная связь между скоростью распространения стержневой волны и модулем упругости  $E_f = f(C_p)$  для партий АСК, прошедших акустические и механические испытания (табл. 6).

Таблица 6

**Связь «модуль упругости – скорость стержневой волны» АСК пяти серий**

Зависимость	Среднее значение $E_f$	Средняя квадратичная ошибка S	Коэффициент вариации V, %	Коэффициент корреляции, r	Линейное уравнение
$E_f = f(C_p)$	51160	56	0,11	0,82	$E_f = 0,032 C_p - 29,25$

Связь между модулем упругости и скоростью стержневой волны для всех образцов из пяти партий АСК показана на рис. 8. Горизонтальная ось градуирована значениями модуля упругости в ГПа. По вертикальной оси отложено значения скорости стержневой волны в м/с. Каждый образец представлен двумя точками: при различных значениях модуля

упругости, полученных на независимых фрагментах одного стержня, при среднем значении скорости стержневой волны в соответствующем стержне. Линия тренда показывает, что рост значения модуля упругости приводит к росту скорости стержневой волны. При этом необходимо отметить, что волноводный метод прозвучивания АСК усредняет все участки прутка, а метод по ГОСТ 32492 определяет модуль упругости на заданной базе измерения.

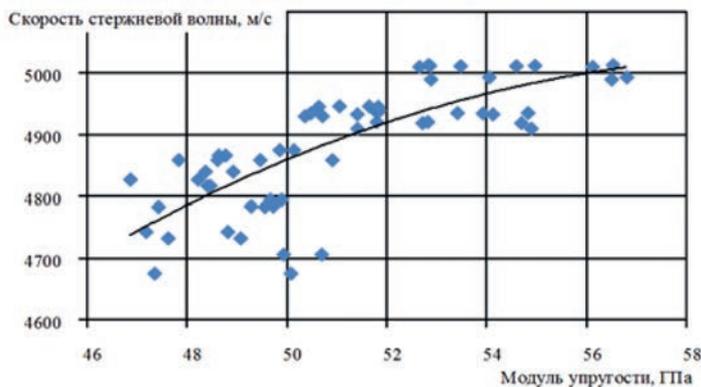


Рис.8. Зависимости скорости стержневой волны и модуля упругости

На рис. 9 показаны средние значения модуля упругости и соответствующие им средние значения скорости стержневой волны в партии. Планки погрешностей нанесены по уровню значимости 0,05 (95% уровень надежности).

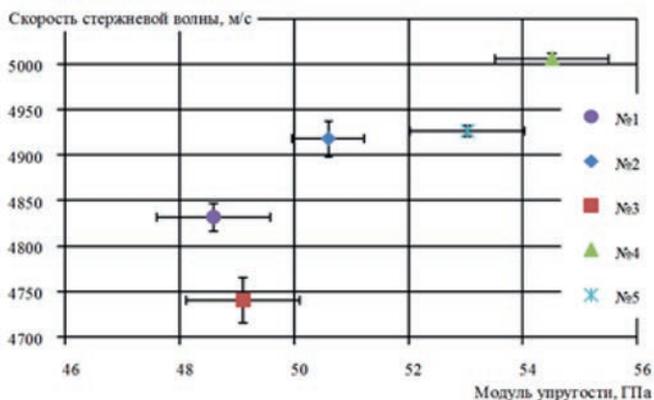


Рис.9. Погрешность скорости стержневой волны и модуля упругости

Следует отметить наличие существенного разброса значений модуля упругости, определенного стандартным методом при относительно узком диапазоне разброса скоростей.

Партия №3 по средним значениям выпадает из связи «больше модуль упругости — выше скорость стержневой волны», так как имеет профиль, существенно отличающийся от профилей других партий. Партия №3 имеет однозаходную нить с частым шагом намотки оплеточной нити на силовой стержень, и эта особенность требует дополнительного

исследования.

В партии №2 рост скорости соответствует росту модуля упругости. В партиях №1 и №3, видимо, присутствуют неоднородности структуры по телу стержня, что приводит как к разбросу по скоростям, так и к относительно низкому значению модуля упругости. Следует также отметить рост разброса значений модуля упругости с ростом его величины.

Исходя из установленной закономерности влияния содержания волокна на плотность АСК, а также из высокой связи  $M_{glass} = f(C_f)$ , для контроля модуля упругости на производстве целесообразно принять содержание непрерывного армирующего наполнителя не менее 80% по массе с плотностью  $2,06 \pm 0,6 \text{ г/см}^3$ .

Измеряя скорость стержневой волны, можно рассчитать значение модуля упругости. Скорость стержневой волны  $C_{s0}$  является постоянной и определяется по формуле

$$C_{s0} = \sqrt{\frac{E_f}{\rho}} .$$

Получена оценка связи между скоростью стержневой волны и физико-механическими характеристиками, из которой видно, что с помощью этой формулы можно определить модуль упругости с точностью, не превышающей  $\pm 5\%$ .

### Выводы

1. Исследована возможность использования акустического волнового метода НК физико-механических характеристик АСК параллельно со стандартной методикой испытаний образцов АСК по определению модуля упругости на растяжение.

2. Показан принцип использования акустического волнового метода НК модуля упругости АСК на производстве, который заключается в измерение скорости стержневой волны. Проведены механические испытания АСК по ГОСТ 32492, построены градуировочные зависимости «скорость стержневой волны – модуль упругости». при обязательном определении содержания волокна по массе, плотности, номинального диаметра, водопоглощения и степени полимеризации по различным сериям образцов за установленный контролируемый период. После этого величину модуля упругости устанавливают по математическим зависимостям.

3. Выявлена эмпирически статистическая связь между изменением значения модуля упругости и скорости стержневой волны, показывающая, что наиболее существенное влияние на эти характеристики оказывает содержание волокна.

4. Проведена оценка статистической связи между модулем упругости, содержанием волокна и скоростью стержневой волны в АСК на стержнях пяти партий диаметром 8 мм. Анализ экспериментальных данных показал, что установленные показатели обладают высокой корреляционной связью.

5. Полученные данные статистической связи модуля упругости и скорости стержневой волны в АСК дают основания использовать НК по оценке модуля упругости на производстве с целью повышения качества продукции.

6. Рекомендуются сделать нормируемыми величинами плотность АСК на уровне  $2,05 \pm 0,5 \text{ г/см}^3$  с содержанием непрерывного армирующего наполнителя не менее 80% по массе при степени полимеризации связующего не менее 95%.

## Библиографический список

1. *Фудзии Т., Дзако М.* Механика разрушения композиционных материалов. М.: Мир, 1982.
2. *Победря Б.Е.* Механика композиционных материалов. М. Издательство Московского университета, 1984.
3. *Шевнин А.А., Захаров А.И.* Анализ положения ГОСТа 31938-2012. / Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сб. мат. второй науч.-техн. конф. Ижевск: Издательство «Проект», 2016. С. 29-34.
4. *Бучкин А.В.* Нормирование прочностных характеристик композитной арматуры. / Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сб. мат. третьей науч.-техн. конф. Ижевск: Издательство «Проект», 2017. С. 15-20.
5. *Бучкин А.В., Шевнин А.А., Семенова С.В.* Основные направления развития нормативной базы по композитным материалам в строительстве. / Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сб. мат. четвертой науч.-техн. конф. Ижевск: Издательство «Принт», 2018. С. 8-15.
6. *Стрижак В.А., Пряхин А.В., Хасанов Р.Р., Ефремов А.Б., Мкртчян С.С.* Опыт структуроскопии арматуры из композитных материалов. / Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сб. мат. четвертой науч.-техн. конф. Ижевск. Издательство «Принт», 2018. С. 69-76.
7. *Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П.* Арматура композитная полимерная.– М.: АСВ, 2013.

### Авторы:

Андрей Викторович БУЧКИН, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey BUCHKIN, Ph.D. (Engineering), Deputy Head of the Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: andibuch@inbox.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, проф., заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valentina STEPANOVA, D. Sci (Engineering), Full Prof., Head of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Виктор Анатольевич СТРИЖАК, канд. техн. наук, доцент кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики», ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», Ижевск

Victor Strizhak, Ph.D. (Engineering), associate Professor of the Department «Devices and methods of measurement, control, diagnostics», Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

e-mail: str@istu.ru

Евгений Юрьевич ЮРИН, научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Evgeny YURIN, researcher of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHБ named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: max199107@bk.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81

Евгений Игоревич НИКИШОВ, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Evgeny NIKISHOV, engineer of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHБ named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: sheny08@mail.ru