



УДК 624.016+691.342

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРБЕТОНОВ

А.А. Варламов

## THE STUDY FEATURES OF THE BEHAVIOR OF THE POLYMER CONCRETE

A.A. Varlamov

**Аннотация.** В статье приведены результаты испытаний полимербетонных и бетонных образцов. Изготовлено десять составов кубов и призм на полимерном и цементном связующем. В качестве заполнителя использовали щебень, песок, глину, мраморную муку, соду и тонкие минеральные волокна. Испытания образцов проведены по стандартным методикам. Результаты испытаний приведены в виде таблиц и графиков. Проведено сравнение энергетических показателей бетонов. Приведен анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** полимербетон; прочность; трещиностойкость; энергетические характеристики; результаты испытаний.

**Abstract.** The article presents the results of tests of polymer-concrete and concrete designs. Made ten compositions of cubes and prisms in polymer and cement binder. As the filler be used crushed stone, sand, clay, marble flour, soda and thin mineral fibers. Testing of samples is carried out according to standard procedures. The test results are shown in tables and graphs Comparison of energy performance of concretes. In conclusion, the analysis of the obtained results..

**Key words:** polymer concrete; strength; fracture toughness; energy characteristics; the results of the tests.

### Введение

Композитная система, состоящая из связующей матрицы и заполнителя, является эффективной несущей строительной конструкцией. Такая конструкция имеет много потенциальных возможностей и позволяет сочетать материалы с различными деформативными и прочностными характеристиками. Пример тому железобетон. Однако бетон на цементном связующем имеет существенный недостаток – малую прочность на растяжение. В большей степени такого недостатка лишен бетон на полимерном связующем [1]. Более того такие бетоны обладают многими другими полезными качествами (высокой плотностью, химической стойкостью и др.) [2-5]. С другой стороны полимерные связующие, склеивающие волокна являются отличным армирующим материалом [6,7]. Такое разнообразное применение раскрывает значительные возможности перед применением полимербетонов. Малое использование полимербетонов в массовом строительстве вызывает необходимость продолжения их исследования.

### Составы полимербетонных смесей для образцов

Для приготовления полимербетонной смеси использовали составы, которые представлены в табл. 1. Для приготовления растворов полимербетона использовали заполнители с максимальной зернистостью фракций до 1 мм: 50% тонких фракций (0,5 – 0,7 мм), 50% тончайших фракций (менее 0,1 мм). Связующее в образцах - полиэфирная смола. Для образцов с песком и щебнем дополнительно использовали обычный речной песок (0-5 мм) и щебень фракции 0...20. Эти же материалы использовали при изготовлении бетонных образцов на цементном связующем.

Таблица 1 – Характеристики полимербетонных смесей

№	Состав образца	Соотношение частей	$\rho$ , кг/л	$M$ , кг	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	Смола / Речной песок	100/ 500	1140/1440	114/720	1665
2	Смола /Речной песок/ Мин. вата	100/500/-	1140/1440/-	114/720/-	1665
3	Смола/ Обогащенная глина/ Кварцевый песок	100/200/200	1140/1490/1500	114/298/300	1475
4	Смола/ Обогащенная глина/ Кварцевый песок/ Сода	100/200/200/-	1140/1490/1500/-	114/298/300/-	1425
5	Смола/ Мраморная мука/ Кварцевый песок	100/250/250	1140/1333/1500	114/333/375	1625
6	Смола/ Мраморная мука/ Кварцевый песок/ Сода	100/250/250/-	1140/1333/1500/-	114/333/375/-	1575
7	Смола/ Мраморная мука/ Кварцевый песок/ Мин. Вата	100/250/250/-	1140/1333/1500/-	114/333/375/-	1625
8	Смола / Речной песок/ Щебень фракции 10-20мм	100/500/250	1140/1440/1320	114/720/330	1525
9	Чистая смола	100	1140	100	1140
10	Бетон (цемент М400) Ц:П:Щ:В	1:0.7:2:0,39	-	-	2441

Каждого вида бетона было изготовлено по 6 образцов. Всего было изготовлено бетонных образцов 10 составов. Общее количество образцов представлено в табл. 2.

Таблица 2 – Номинальные размеры и количество испытанных образцов

Форма образца	Размеры образца	Количество, шт
Куб	100x100x100	48
Малая призма	40x40x1600	54
Призма	100x100x400	120

В связи с ограниченным количеством форм изготавливали в один день по одному составу. Образцы извлекали из форм через три дня. Следующий состав изготавливали через семь суток после извлечения предыдущих образцов. Такой промежуток времени позволил подготовить и испытать все изготовленные образцы в равные сроки. Испытания образцов проводили в возрасте 28-30 дней. Методика испытания соответствовала Нормативной методике испытания бетонных образцов (ГОСТ 10180-90. Методы определения прочности по контрольным образцам; ГОСТ 17624-87 Ультразвуковой метод определения прочности; ГОСТ 18105-2010 Правила контроля и оценки прочности; ГОСТ 24452 Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона; ГОСТ 29167-91 Методы определения характеристик трещиностойкости). Часть призм для выявления эффекта наибольших деформаций испытывали с эксцентриситетом, равным 1 см. Результаты испытаний подвергали статистической обработке в соответствии с принятыми при испытаниях Нормами.

### Результаты испытаний

Обобщенные результаты обработанных испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Сводная таблица характеристик бетонов

№	Образец, см	10x10x10	4x4x16	10x10x40	10x10x40 (эксцентр.)	10x10x400 (трещины.)	Относительная стоимость
<b>Характеристика</b>		$R$ , МПа	$R_b$ , МПа	$R_b$ , МПа	$R_b$ , МПа	N/N	S/S
1.	Смола, песок	57.7	41.3	57.4	-	1	6.4
2.	Смола, песок, мин.вата	52.5	53.7	51.1	-	1,3	6.5
3.	Смола, глина, песок	65.2	62.5	61	61.1	0,9	7.4
4.	Смола, глина, песок, сода	38.9	36.6	33.4	-	0,8	7.4
5.	Смола, мраморная мука, кварцевый песок	77.8	76	68.2	58.9	0,9	6.6

Окончание таблицы 3

6.	Смола, мраморная мука, кварцевый песок, сода	73.1	71.9	65	42	0,9	6.6
7.	Смола, мраморная мука, кварцевый песок, мин. вата	-	108.6	-	-	-	6.7
8.	Смола, речной песок, щебень фракции 10-20мм	63.5	37.5	63.8	30.9	1,1	4.2
9.	Смола	-	27.5	-	-	-	31.7
10.	Бетон	41.4	-	34	-	0.6	1 (3600 руб)

Вид некоторых образцов после разрушения показан на рисунке 1.



Рисунок 1– Вид образцов после испытаний

Графики деформаций бетонов разных составов приведены на рис. 2 – 8.

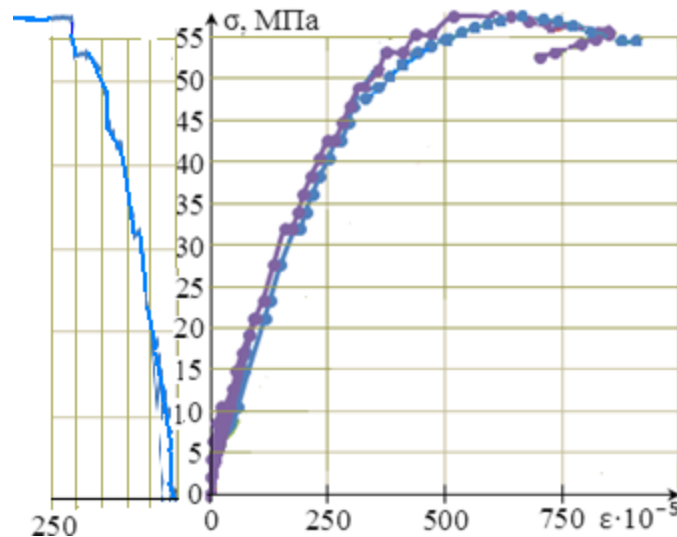


Рисунок 2 – График деформаций призмы с наполнителем в виде песка

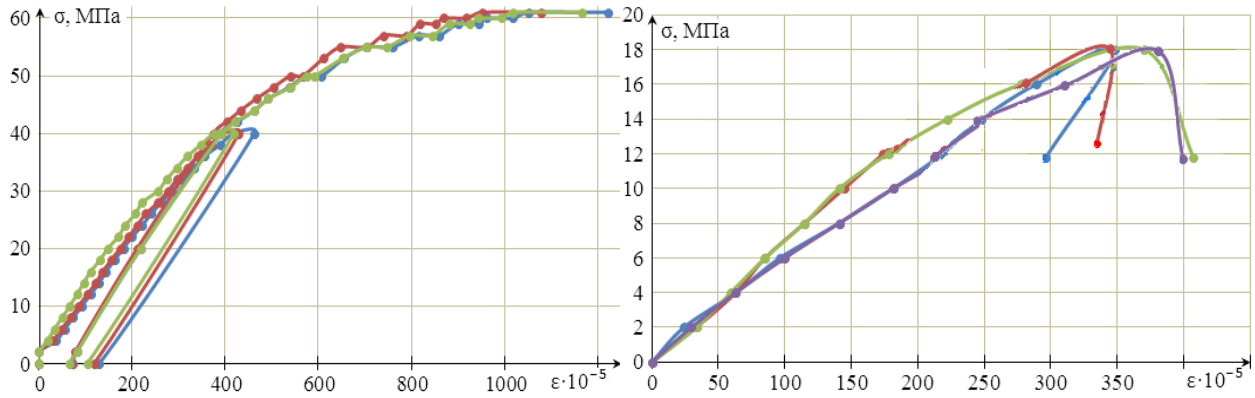


Рисунок 3 – Графики деформаций призм с наполнителем в виде глины (слева) и с наполнителем в виде глины, с добавлением соды (справа)

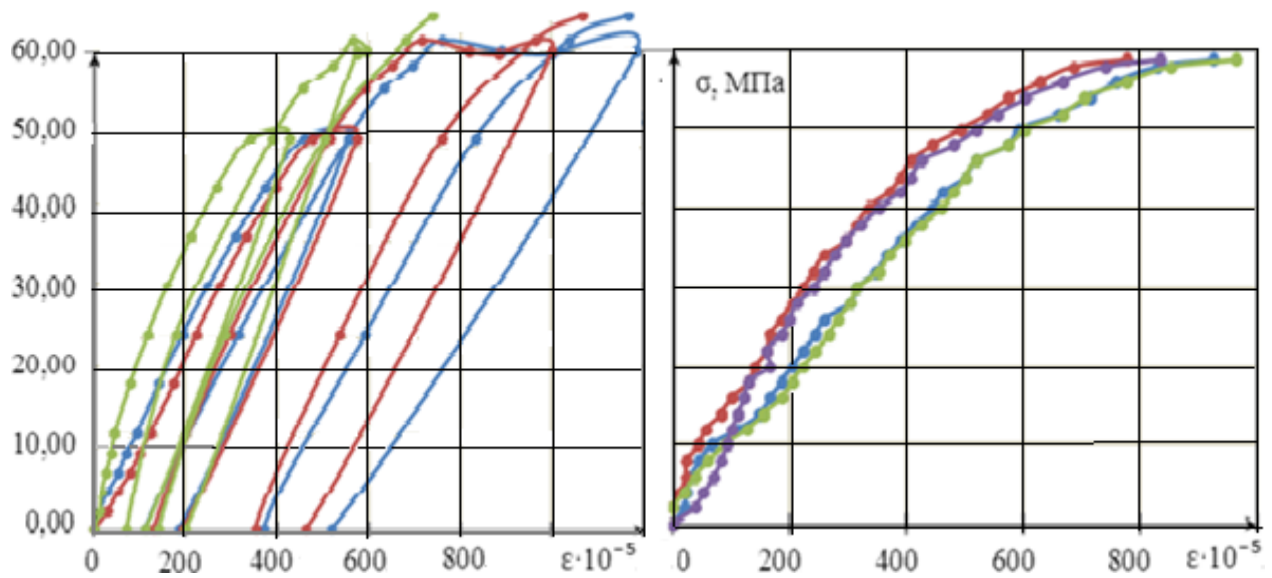


Рисунок 4 – Графики испытания призм (мрамор), справа с эксцентриситетом

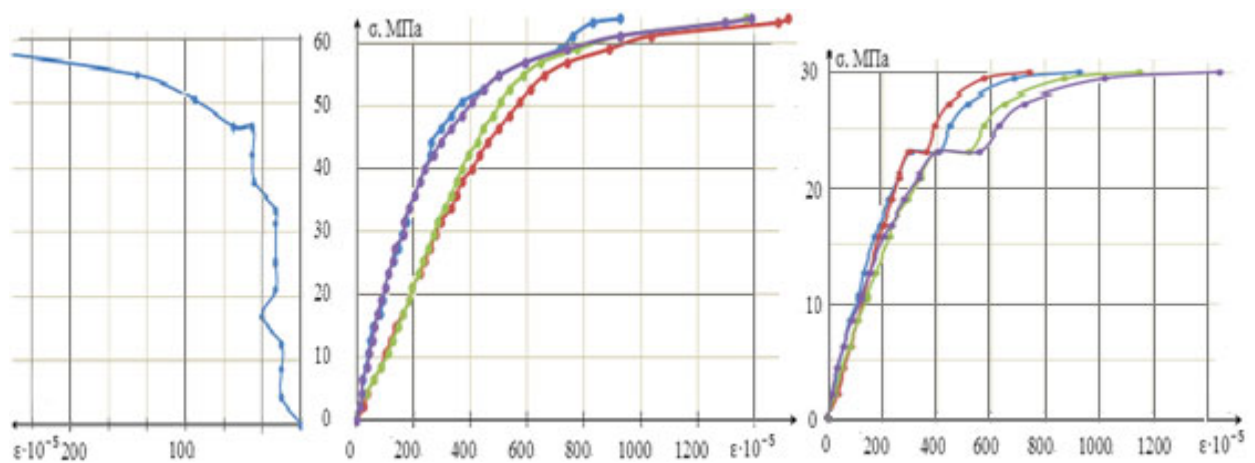


Рисунок 5 – Графики испытания призм с наполнителем песок+щебень на центральное сжатие (слева) и с эксцентриситетом (справа)

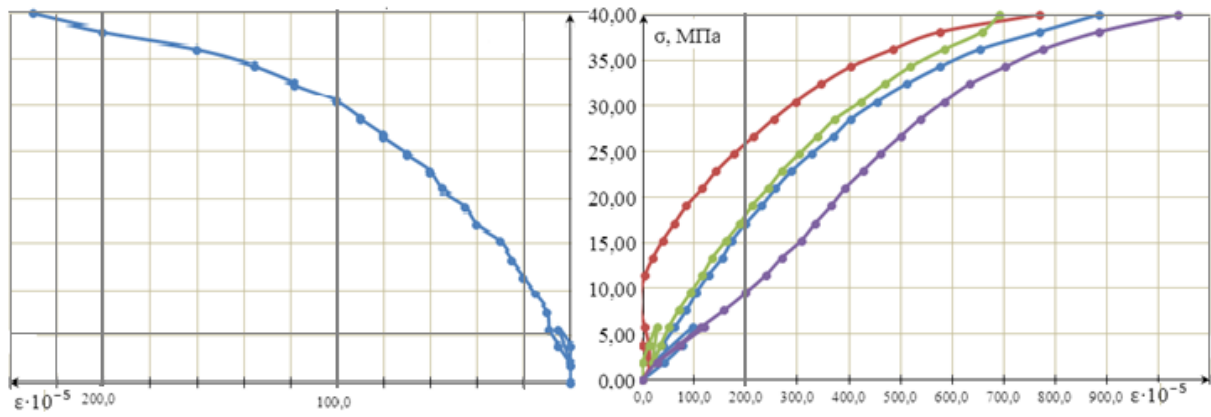


Рисунок 6 – Графики испытания призмы (мрамор + сода) с эксцентриситетом

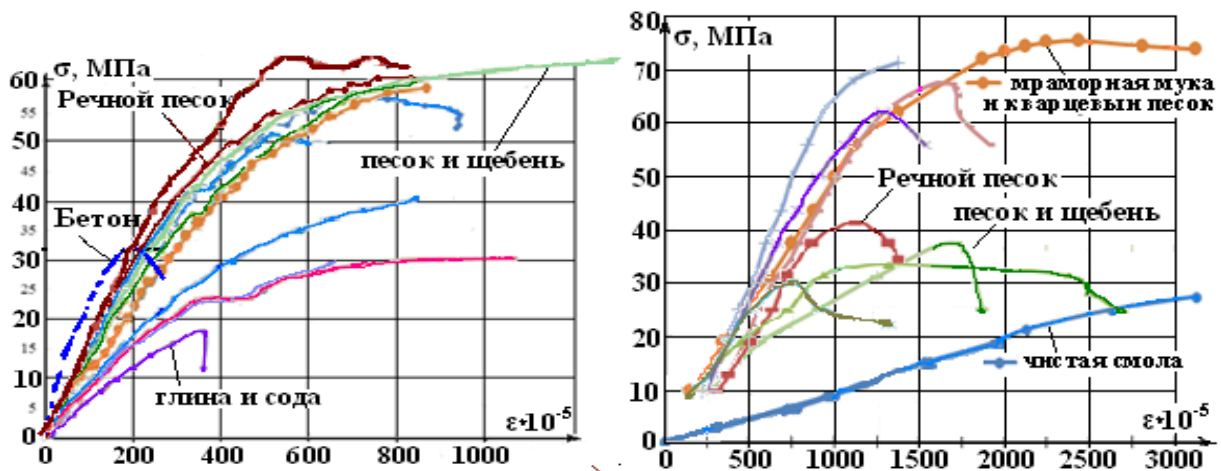


Рисунок 7 – Сводный график продольных деформаций призм 100x100x400 мм (слева) и призм 40x40x160 мм (справа)

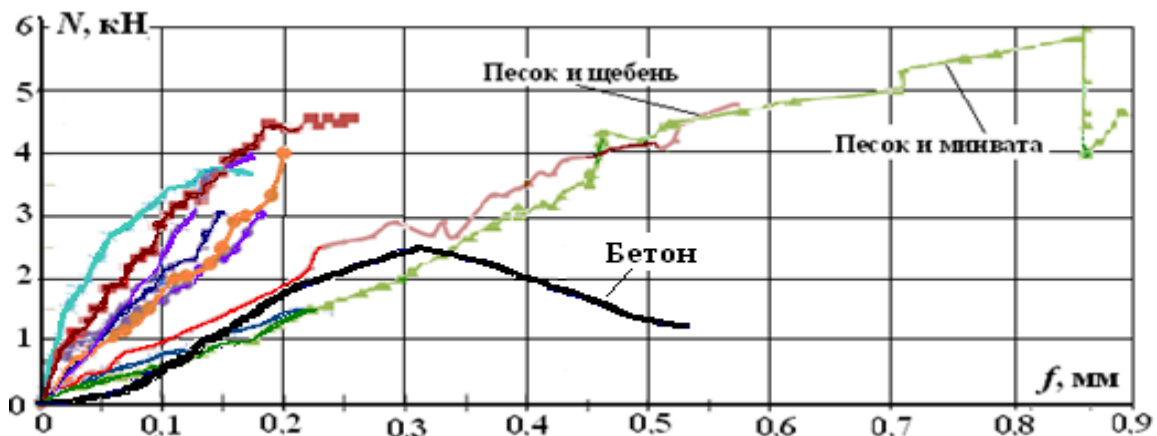


Рисунок 8 – Сводный график испытаний призм на трещиностойкость

### Оценка энергетических параметров

Для оценки энергетических параметров полимербетона использовали модель теории деградации [8], выявляющую пластические свойства объекта и его способность к трещиностойкости. Зависимость « $\sigma$ - $\epsilon$ » записана в форме, выявляющей распределения мощности на диаграмме бетона:



$$\sigma = BL\ln\varepsilon - B\varepsilon + (Ba - BL\ln a) + (CL\ln\varepsilon)/2 - C\varepsilon^2/4L + [Ca^2/4L - (CL/2)\ln a] \quad (1)$$

В предлагаемой модели  $L$  – деформация элемента, соответствующая его прочности;  $B$  и  $C$  – энергетические характеристики объекта,  $a$  – величина начальной зоны упругой работы бетона.

В табл. 4 приведены обработанные по формуле (1) данные диаграмм по полимер бетонам, полученные в наших испытаниях. Для сравнения приведены характеристики высокопрочного бетона.

Таблица 4 – Энергетические параметры диаграмм

Характеристика	Смола	Щебень, песок	Глина	Мрамор, песок	Песок	В30	В100
$R_m, \text{МПа}$	29	64	61	68	51	22	71
$C$	5848	7277	35630	11603	13532	25945	115410
$B$	-3294	-2745	-18670	-5600	-5241	-11159	-59341
$a$	-----	33,5	-----	94	51	7,1	-----

Как видно из таблицы все бетоны (и на цементном и на полимерном вяжущем) имеют положительное значение характеристики  $C$  и отрицательное значение характеристики  $B$ . Цементные бетоны при близкой призмной прочности более хрупкие по сравнению с полимербетоном. По показателю упругой зоны  $a$  полимербетоны близки к металлам.

#### Анализ результатов

Результаты исследований видны из сопоставления результатов испытаний отдельных составов. Внешний характер разрушения всех композитных образцов был одинаков. О чем свидетельствуют приведенные фотографии разрушенных образцов. Однако разрушение связующих (цемент и смола) резко отличалось друг от друга. Разрушение призмы из чистой смолы носило в основном пластичный характер: призма под действием нагрузки сжалась в два раза, после этого стала изгибаться и только после изгиба в ней появилась трещина. Однако как видно из таблицы прочность смолы оказалась в 1,5 раза меньше прочности цементного связующего.

Цементное связующее, близкое по своим характеристикам в твердом состоянии с каменным заполнителем, оказывает сравнительно малое влияние на образующуюся в результате синтеза бетонную систему (в данной статье не анализируется). Для связующего из полиэфирной смолы влияние заполнителя на прочность при сжатии оказывает решающее значение. Прочность полимербетонных образцов на сжатие значительно выше прочности на сжатие полимера – в 2...3 раза. Прочность полимербетона на разных компонентах примерно одинакова и зависит от однородности приготовления смеси в некоторых случаях (сода, образующая поры, или образцы недостаточного размера) неоднородность значительно снижала прочность. Деформативность полимербетонов снизилась по сравнению с деформативностью чистой смолы. Относительность деформаций при таких больших значениях пластической составляющей перестает иметь смысл. Однако деформативность полимербетона в 5...6 раз выше деформативности обычного бетона на цементном вяжущем.

Ультразвуковые исследования не выявили в полимербетоне с мелким заполнителем роста трещин вплоть до начала разрушения образцов. В образцах с заполнителем из песка и щебня изменения скорости ультразвука отмечены при нагрузках свыше 0,8 от разрушающей. Деформации при этом превосходили деформации обычного бетона более, чем в три раза.

Вследствие тонкомолотой среды и высокой прочности, разрушение образцов при испытаниях на трещиностойкость происходило хрупко. При этом прочность образцов из полимербетонов возрастала в два раза. При добавлении крупных компонент в бетон,

ограничивающих рост трещин, разрушение начинало происходить пластично, а прочность возросла более, чем в три раза.

### Выводы

1. Применение полимербетонов в качестве несущих конструкций эффективно, но только с точки зрения сравнения с поведением обычного бетона: высокая прочность при обычной технологии изготовления; значительная деформативность, что позволяет использовать высокопрочные стали; высокая трещиностойкость.

2. Энергетически бетоны на неорганическом вяжущем и полимербетоны находятся в одной группе.

3. Высокая стоимость полимербетона (таблица 3) вынуждает применять полимербетоны в обычных конструкциях только в особых случаях. Выгодно использовать полимербетоны в тонкостенных эффективных конструкциях. Полимербетон может служить внешней оболочкой трубобетонной конструкции или служить защитной оболочкой комплексной конструкции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патуроев В. В. Полимербетоны. М.: Стройиздат, 1987. 286 с.
2. Чебаненко А. И. Армополимербетонные строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1988. 440 с.
3. Schorn H. Theoretical comparison between resin Concrete, resin modified Concrete and impregnated Concrete. Fourth International Congress on Polymers in Concrete. April 8-10, Koriyama, Japan, 1984, pp. 3-10.
4. Mwamila L. M. Reinforced Plastics // Journal of Polymer Science. 1982. Vol. 26. No. 19, pp. 372-379.
5. Parry S H, Kankan J A, Ben-Georg M. The Scope of the Truth Congress of the Federation Internationale de la Precont-rainte. Oct. 1-3. Alberta, Canada. 1986. V. 2, pp. 205-214.
6. Асланова Л.Г. Неметаллическая арматура для бетона. Обзорная информация. М.: ВНИИТПИ, 1990. 53 с.
7. Oller S., Onate E., Miquel J., Botello S. A plastic damage constitutive model for composite material. Int. J. Solids Structures. V. 33, No. 17, 1996, pp. 2501–2518.
8. Варламов А.А. Общий энергетический подход к оценке деформаций бетона // Бетон и железобетон. 2012. № 3. С. 27-30.

### REFERENCES

1. Paturoev V.V. *Polimerbetoni* [Polymer Concrete]. Moscow: Strojizdat Publ., 1987. 286 p.
2. Chebanenko F.I. *Armopolimerbetonnye stroitel'nye konstrukcii* [Reinforced polymer concrete building structures]. Moscow: Strojizdat Publ., 1988. 440 p.
3. Schorn H. Theoretical comparison between resin Concrete, resin modified Concrete and impregnated Concrete. Fourth International Congress on Polymers in Concrete. April 8-10, Koriyama, Japan, 1984, pp. 3-10.
4. Mwamila L. M. Reinforced Plastics. *Journal of Polymer Science*. 1982. V. 26. No. 19, pp. 372-379.
5. Parry S H, Kankan J A, Ben-Georg M. The Scope of the Truth Congress of the Federation Internationale de la Precont-rainte. Oct. 1-3. Alberta, Canada. 1986. V. 2, pp. 205-214.
6. Aslanova L. G. *Nemetalliteskaia armatura dlya betona Obzornaya informatsiya* [Non-metallic reinforcement for concrete. Overview]. Moscow: VNIINTPI Publ, 1990. 53 p.
7. Oller S., Onate E., Miquel J., Botello S. A plastic damage constitutive model for



composite material. Int. J. Solids Structures. V. 33, No. 17, 1996, pp. 2501–2518

8. Varlamov A A. *Obchyi energeticheskiy podhod k osenke deformatsiyi betona* [Overall energy approach to the estimation of deformations of concrete]. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 3, pp. 27-30.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Варламов Андрей Аркадьевич*

Проектный институт гражданского строительства, планировки и застройки городов и поселков «Магнитогорскгражданпроект», Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова, г. Магнитогорск, Россия, кандидат технических наук, профессор, Почетный строитель РФ,

E-mail: [mgrp@mgn.ru](mailto:mgrp@mgn.ru)

*Varlamov Andrey Arkad'evich*

Projecting institute of civil construction, planning and building system for towns and villages «Magnitogorskgrazhdanproekt», Magnitogorsk state technical University named G. I. Nosov, Magnitogorsk, Russia, candidate of technical Sciences, Professor, Honorary Builder of the Russian Federation,

E-mail: [mgrp@mgn.ru](mailto:mgrp@mgn.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:  
455028, Магнитогорск, пр. К.Маркса, дом 79а, АО «МГрП», каб.208. Варламов А.А.  
(3519)438311; 8(932)300-89-14