

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бондарев Б.А.¹, Борков П.В.¹, Комаров П.В.¹, Бондарев А.Б.²

¹ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия (398600, Липецк, ул. Московская, 30), e-mail: borkovpv@mail.ru

²ООО «ЛипецкНИЦстройпроект», Липецк, Россия, e-mail: ialex-86@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований циклической долговечности полиэфирных полимербетон. Изложена методика испытания на выносливость полимерных композиционных материалов. Установлено, что снижение прочности полимерных композиционных материалов при циклических воздействиях нагрузок происходит гораздо интенсивнее, что объясняется тем, что при таком силовом воздействии происходит накопление остаточных деформаций и микроразрушений, создающихся в результате приложения нагрузки сверх предела длительной прочности наиболее слабых частиц. Разрушение происходит при снятии нагрузки, а не при нагружении, ибо снятие нагрузки с частиц, получивших необратимые деформации прямого знака, вызывает напряжения обратного знака. Если же напряжения превзойдут предел прочности при растяжении, частица разрушится, и в материале в целом появятся микроразрушения. Кроме того, при циклическом нагружении происходит наложение независимых и различных по своему характеру процессов ползучести от напряжения и усталости от напряжения.

Ключевые слова: полимерные композиты, циклическая долговечность, коэффициент асимметрии цикла.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CYCLIC DURABILITY OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

Bondarev B.A.¹, Borkov P.V.¹, Komarov P.V.¹, Bondarev A.B.²

¹FGBOU VPO "Lipetsk State Technical University", Lipetsk, Russia (398600, Lipetsk, Moskovskaya Str., 30), e-mail: borkovpv@mail.ru

²LLC "LipetskNICstroyproekt", Lipetsk, Russia, e-mail: ialex-86@mail.ru

Experimental results of cyclic durability of polyester polymer concrete. The method of testing the endurance of polymer composite materials. Found that the decrease in the strength of polymer composite materials under cyclic loading effects are much more intense, due to the fact that with such a force action there is an accumulation of residual strains and microfractures that are created as a result of application of the load in excess of the limit of long-term strength of the weakest particles. Failure occurs when the load is removed, not under load, for the removal of the load from the particles is derived irreversible deformation of the line mark causes the voltage of opposite sign. If a voltage greater than the tensile strength, the particle is destroyed, and in the material as a whole will be microfracture. In addition, under cyclic loading are superimposed independent and different in character creep processes of stress and fatigue stress.

Keywords: polymer composites, cyclic durability, stress ratio of cycle.

Введение

Долговечность, как характеристика полимерных композиционных материалов, необходима при проектировании строительных конструкций, материалов и изделий.

Вопросам долговечности композиционных материалов посвящены исследования ряда авторов [4,5,8,9,10]. Одним из основных факторов, влияющих на долговечность полимерных композитов и конструкций из них, является эксплуатационные нагрузки. Под действием этих нагрузок материал в течение времени получает так называемые усталостные микротрещины, которые являются причиной его разрушения. Причиной образования микротрещин является разрыв связей, вызванный одновременным развитием деформаций сжатия и растяжения структуры полимерного композита. Если локальные напряжения в области скопления

дислокаций превысят предел текучести композита, то возникают микроскопические трещины [6,7].

В работах [4,5] предложен ускоренный метод определения усталостной прочности полимербетона, основанный на фиксировании изменения внутреннего трения образца с последующим повышением уровня напряжений. Произведя регистрацию коэффициента внутреннего трения, можно зафиксировать начало структурных изменений в образцах, следовательно, и абсолютный предел выносливости, не доводя образец до разрушения. Проведенные эксперименты показали, что при циклических напряжениях ниже абсолютного предела выносливости уровень внутреннего трения полимербетонных образцов практически не изменялся. При повышении абсолютного предела выносливости сначала происходит увеличение коэффициента поглощения, а затем изменение практически прекращается, вплоть до разрушения.

Экспериментальная часть

В 1960 – 1980 годах в Липецком государственном техническом университете велись обширные экспериментальные работы по изучению физико-механических свойств полимерных композиционных материалов на различных связующих. Образцы, изготовленные в 1970-1980 г.г. хранились в нормальных температурно-влажностных условиях и стали предметом современных исследований.

Перед испытанием многократно приложенной нагрузкой производилось центрирование образцов по их физической оси. Для этого образец устанавливался в специально изготовленный оголовник, зажимался между опорными плитами и к нему прикладывалась нагрузка, составляющая 15-20% от разрушающей. Деформации регистрировались по двум противоположным граням; центрирование считалось законченным, если разница в показаниях тензодатчиков не превышала 10%. По окончании центрирования включался пульсатор и на его шкалах устанавливались минимальные и максимальные значения нагрузки с заданными коэффициентами асимметрии цикла. Испытания образцов в каждой серии производились при разных уровнях нагрузки, составляющей определенную долю от разрушающей, при постоянном, для всей серии образцов коэффициенте асимметрии цикла. Все образцы доводились до разрушения с фиксацией по счетчику количества циклов приложения нагрузки. Для установления количественных связей между пределом выносливости и логарифмом числа цикла до разрушения использовался метод прямолинейной корреляции.

Испытания на выносливость велись на образцах, изготовленных в 1970-е годы из полиэфирного полимербетона ПН-1. Предел кратковременной прочности полимербетона

ПН-1 (R_b) составил 64 МПа, предельная деформация $\varepsilon_b = 4,2 \cdot 10^{-4}$. На рисунке 1 приведены результаты испытаний – линии выносливости, построенные по полученным результатам.

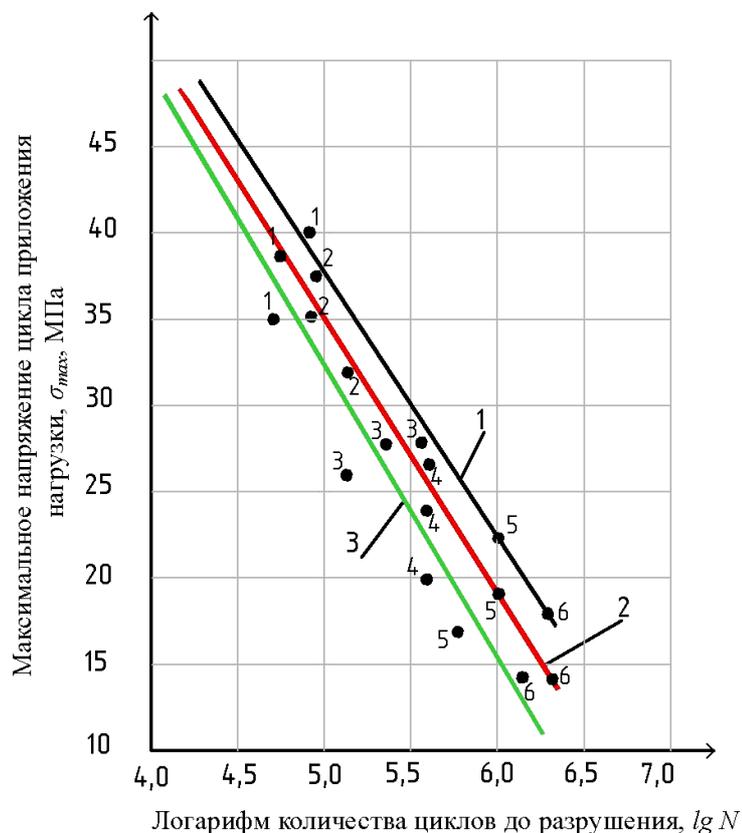


Рис. 1 – Линии выносливости полиэфирного полимербетона ПН-1: 1 – при $\rho=0,6$; 2 – при $\rho=0,3$; 3 – при $\rho=0,1$

Для испытаний также были отобраны образцы из полиэфирного полимербетона ПН-609-21М, хранившихся в лаборатории кафедры «Строительные материалы», изготовленные в 1980-1990-е годы.

Методика проведения испытаний на выносливость аналогична предыдущим экспериментам. Количество образцов – по 6 в каждой серии. Коэффициент асимметрии циклов приложения нагрузки $\rho = 0,1; 0,3; 0,6$. На рисунке 2 показаны линии выносливости, характеризующие циклическую долговечность полиэфирного полимербетона ПН-609-21М, изготовленного в 1990-е годы.

Кратковременные испытания образцов, размерами $40 \times 40 \times 160$ мм позволили получить следующие прочностные характеристики: $R_{b,inf} = 84$ МПа, $E_{b,inf} = 4,1 \cdot 10^{-4}$, $E_b = 27100$ МПа.

Испытания на выносливость велись также как и в предыдущих случаях. Количество образцов – по шесть в серии, коэффициент асимметрии циклов приложения нагрузки

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \text{ равен } 0,1; 0,3; 0,6.$$

Линии выносливости, построенные по результатам экспериментальных исследований образцов полиэфирного полимербетона ПН-609-21М, испытанных в 2010 году, показаны на рисунке 2.

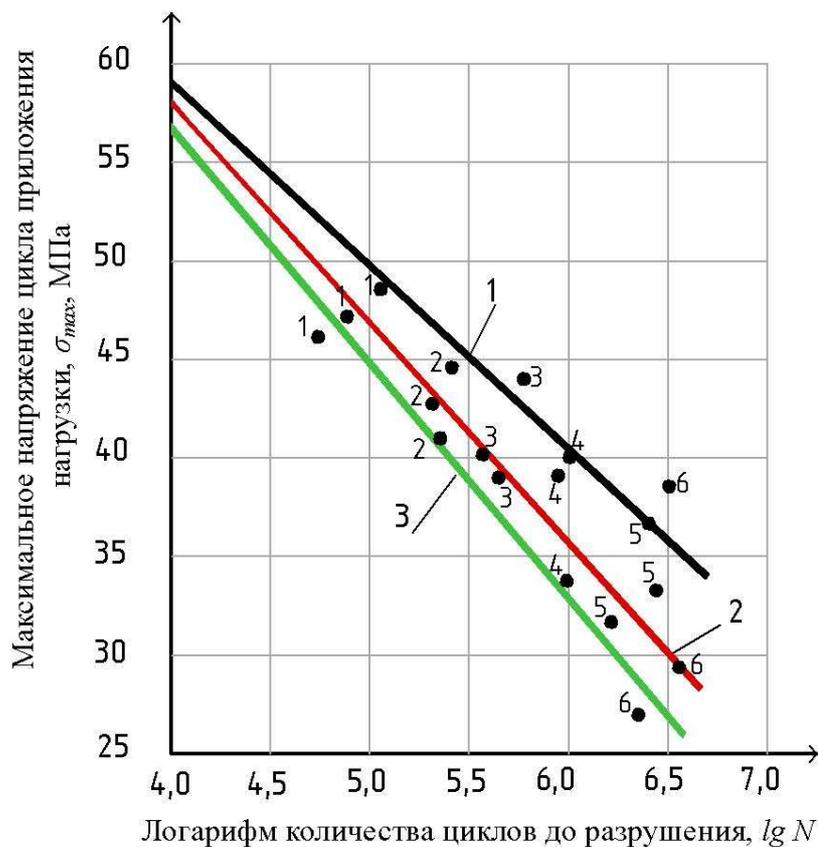


Рис. 2 – Линии выносливости полиэфирного полимербетона ПН-609-21М (2010г.): 1 – при $\rho=0,6$; 2 – при $\rho=0,3$; 3 – при $\rho=0,1$

Анализ результатов экспериментальных исследований

На рисунке 3 приведены результаты экспериментальных исследований циклической долговечности полиэфирного полимербетона и развития этого процесса во времени в виде линий выносливости при $\rho = 0,6$, $\rho = 0,3$, $\rho = 0,1$ полимербетона и показаны тенденции развития циклической долговечности за 40 лет.

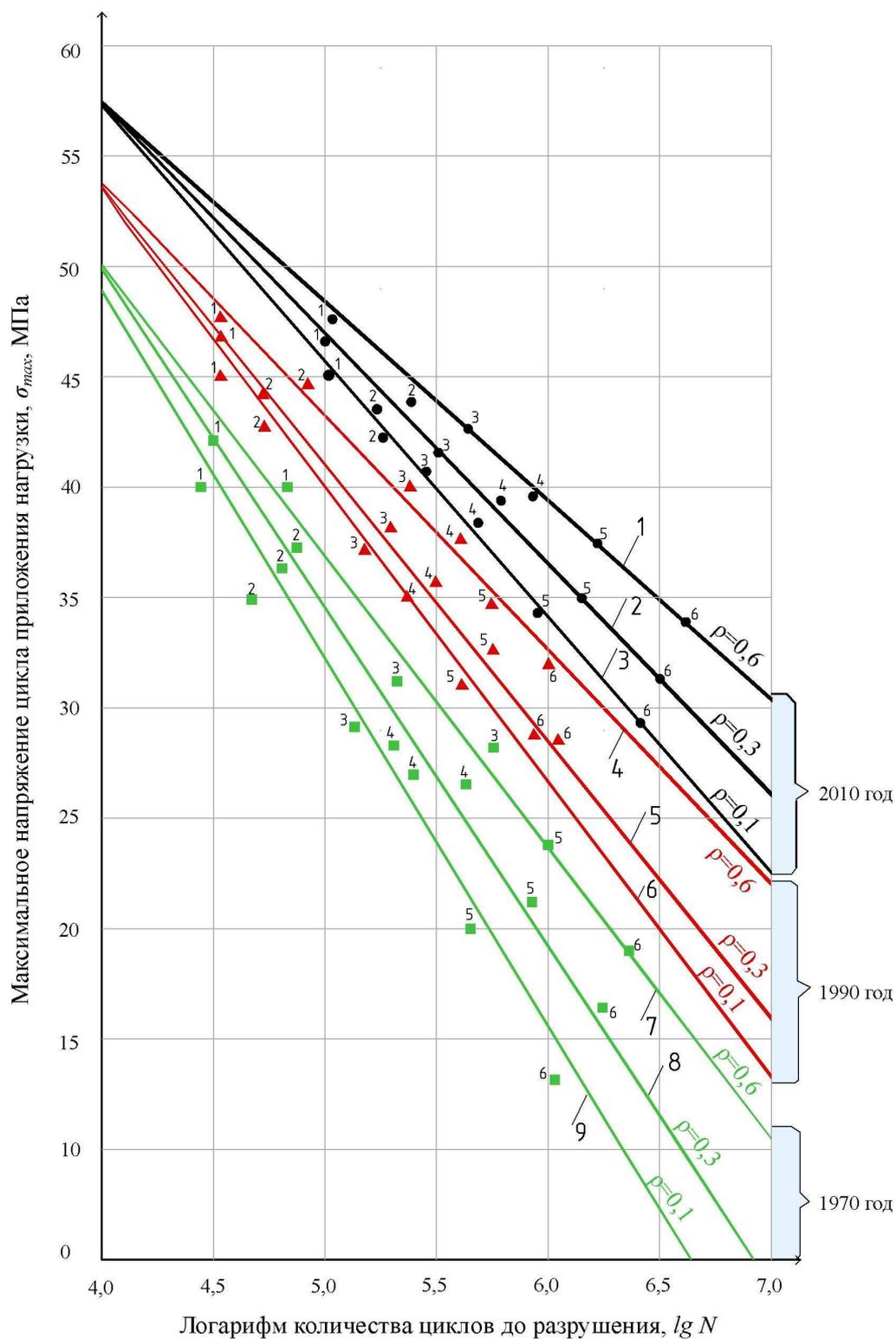


Рис.3. - Линии выносливости 1, 2, 3 – 2010 год; 4, 5, 6 – 1990 год; 7, 8, 9 – 1970 год

Анализируя результаты исследований можно видеть, что снижение циклической долговечности во времени в среднем составляет 44,7%. Наиболее жесткий режим эксплуатации при $\rho=0,1$ приводит к снижению долговечности на 53,2%, при $\rho=0,3$ – 43,1%, при $\rho=0,6$ – 37,5% (рисунок 4).

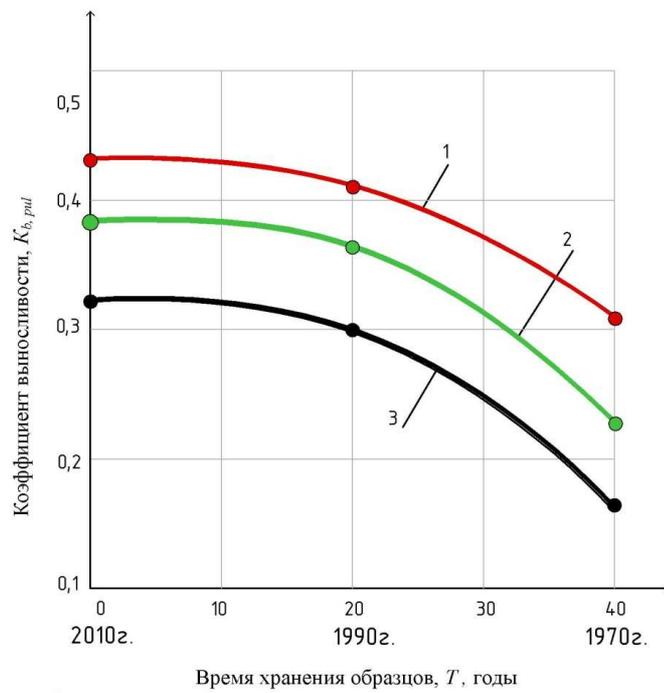


Рис.4 – Изменение коэффициента выносимости во времени: 1 – при $\rho=0,6$; 2 – при $\rho=0,3$; 3 – при $\rho=0,1$

Диаграмму изменения циклической долговечности в одном временном интервале можно проследить, обратившись к рисунку 5, из которого видно, что наибольшее падение долговечности наблюдается для образцов, изготовленных в 1970-е годы (49,3%).

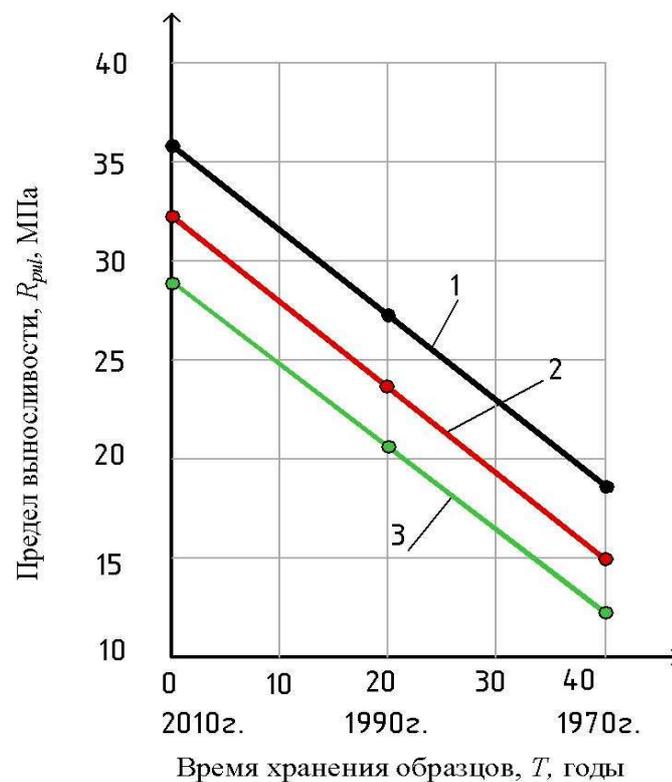


Рис. 5 – Изменение предела выносимости полимерного композита во времени: 1 – при $\rho=0,6$; 2 – при $\rho=0,3$; 3 – при $\rho=0,1$

Это объясняется старением полимерного композиционного материала, то есть изменением его прочности, а, следовательно, и выносливости во времени и деградацией (уменьшение прочности вследствие адсорбции, диффузии среды и связанным с этим уменьшением свободной энергии). Интересно сравнить величины изменения прочности полимерных композитов во времени при их хранении в нормальных условиях при статических нагрузениях, в работах, выполненных Беляевым А.В. Заланом Л.М. и Бадулиным Р.В.. Так, по данным Залана Л.М. [3] снижение статической долговечности для полимербетона ФАМ составляет 22,8% за 30 лет. По данным Беляева А.В. [2] для полимербетона ПН-609-21М снижении прочности при сжатии составляет 17,6% за 25 лет, для ЭД-20 – 17,3% за тот же период. По данным Бадулина Р.В. [1], изучавшего изменение прочности полимербетона ФАМ при растяжении, падение прочности составляет 30% за 40 лет. Таким образом, снижение прочности полимерных композиционных материалов при циклических воздействиях нагрузок происходит гораздо интенсивнее, что объясняется тем, что при таком силовом воздействии происходит накопление остаточных деформаций и микроразрушений, создающихся в результате приложения нагрузки сверх предела длительной прочности наиболее слабых частиц. Разрушение происходит при снятии нагрузки, а не при нагружении, ибо снятие нагрузки с частиц, получивших необратимые деформации прямого знака, вызывает напряжения обратного знака. Если же напряжения превзойдут предел прочности при растяжении, частица разрушится, и в материале в целом появятся микроразрушения. Кроме того, при циклическом нагружении происходит наложение независимых и различных по своему характеру процессов ползучести от напряжения σ_{\min} и усталости от напряжения ($\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$).

Список литературы

1. Бадулин Р. В. Фурфуролацетоновый композиционный материал и его долговечность : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2001. 23 с.
2. Бондарев Б.А. Выносливость композиционных материалов в конструкциях железнодорожных шпал / Б.А. Бондарев [и др.]. Липецк : ЛГТУ, 2002. 220 с.
3. Залан Л. М., Левченко П.Г. Старение полимербетона на основе мономера ФАМ // Строительные конструкции из полимерных материалов : сб. науч. тр. Воронеж : Изд-во ВИСИ, 2000. С. 64-67.
4. Меднов А.Е. Исследование армополимербетонных элементов на действие многократно приложенной нагрузки / А.Е. Меднов – Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1979. – 209с.

5. Меднов А.Е. Определение усталостной прочности полимербетона ускоренным методом / А.Е. Меднов // Исследования строительных конструкций с применением полимерных материалов. – Воронеж: ВорПИИ. – 1987. – С.98 – 100.
6. Регель В.Р., Слущкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая прочность твердых тел. М. : Наука, 1977. 560 с.
7. Хрулев В. М. Прогнозирование долговечности клеевых соединений. М. : Стройиздат, 1981. 126 с.
8. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций / В.П. Чирков – М.: Транспорт, 1980. – 134с.
9. Чирков В.П. Выбор меры накапливаемых повреждений в полимербетоне при длительном действии нагрузки / В.П. Чирков // Коррозионностойкие строительные конструкции из полимербетонов и армополимербетонов. – Воронеж: ВорПИИ, 1984. – С.23 – 28.
10. Чирков В.П. Расчет плотности вероятности функции случайных аргументов способом последовательной замены с использованием гистограмм./ В.П. Чирков – Межвуз. сб. научн. трудов. – М.:МИИТ. Вып.5, 1977. – С.35 – 39.

Рецензенты:

Корнеев Александр Дмитриевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительных материалов ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный университет», г. Липецк.

Бочарников Александр Степанович, д.т.н., профессор, профессор кафедры транспортные средства и техносферная безопасность ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный университет», г. Липецк.