

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

Варламов А.А. *, кандидат технических наук, доцент,
Гаврилов В.Б., кандидат технических наук, доцент,
Давыдова А.М., аспирант,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия
*Ответственный автор E-mail: mgrp@mgn.ru

МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ ИДЕАЛИЗИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА ПИЛЕНИЕМ

Аннотация: требования современного строительства – это прочность строительных конструкций, а также низкая себестоимость. Именно эти условия обеспечивают новые технологии, которые постоянно совершенствуются. Статья посвящена рассмотрению случаев вероятностного подхода к решению задачи о теоретических затратах энергии на разрушение бетона идеальной структуры. Процессы деформирования бетона и его разрушение изучается строительной механикой. Бетон является многокомпонентным материалом, что представляет определенную сложность в изучении трещинообразования. В условиях эксплуатации на бетонную/железобетонную конструкцию влияют свойства составляющих ее материалов, поэтому одной из самых важных задач является выбор критериев, которые способны комплексно охарактеризовать основные параметры бетона. Получение прочностных характеристик бетона эксплуатируемых конструкций остается актуальной задачей. В статье предложена к рассмотрению идеальная структура бетона. Особенности этой структуры – симметричность разрушения по двум главным плоскостям. Разрушение бетона проводили путем пиления отдельных полосок бетона. При этом для описания процесса пиления авторами была предложена модель симметричной структуры бетона, в которой идеализированы зерна заполнителя. Они представлены в расчете в виде шаров в теле бетона. Выявлены особенности процесса пиления. Получены аналитические зависимости разрушения пилением идеальной структуры бетона. Сделаны выводы о возможности использования идеальной модели при получении прочностных характеристик бетона. Выполнен анализ симметричных идеальных составов бетона при различных переменных. Значимость проделанной работы заключается в возможности переноса результатов исследования на реальные здания и сооружения и решение главных задач, которые ставятся в исследовании.

Ключевые слова: идеализированная модель бетона, пиление, матрица, заполнитель, удельная энергия разрушения.

Введение

Технологии строительного производства в контексте развития современного мира предполагают большое количество вариантов развития технической мысли и адаптация её к конкретным проектным задачам [1]. Уже сегодня специалисты, рассуждая о будущем строительства, говорят о возможности сокращения расходов благодаря применению новых технологий [2]. Задачи создания новых материалов, отвечающих требованиям времени, развитие технологий, выходящих за рамки решения типовых практических задач строительной отрасли, и, соответственно, возникновение сопутствующих проблем составляют картину современности [3, 4, 5]. Своевременный расчет надежности конструкций позволяет избежать негативных последствий и техногенных аварий на производстве, что остаётся одной из важнейших задач в современном строительстве [6, 7].

По данной тематике изучены работы К.А. Пирадова, Е.А. Гузеева, Т.Л. Мамаева, К.У. Абдулаева, Ю.В. Зайцева, Г.Ф. Цаава и др. Получение прочностных характеристик бетона эксплуатируемых конструкций до сих пор остается актуальной задачей. Одним из методов изучения структуры и свойств бетона является бурение или пиление бетона в конструкции. Для адаптации этих методов в реальных условиях необходимо сопоставить реальную структуру бетона с моделью его структуры и выявить полученные при этом связи.

В статье предложена к рассмотрению идеальная структура бетона. Особенности этой структуры – симметричность разрушения по двум главным плоскостям. Разрушение бетона проводится путем пиления отдельных полосок бетона – такое разрушение является основой способа получения прочностных характеристик бетона.

Ранее было установлено, что рассмотрение двухфакторной структуры бетона является достаточным для оценки его прочности [9]. Для нашего случая рассмотрена двухфакторная модель как определяющая основные параметры бетона. В работе предлагается рассмотрение модели пиления идеального образца симметричной структуры. На основании фактических пилений в программе на ЭВМ и теоретического анализа (наибольший размер заполнителя в растворяющей части бетона составляет 5 мм) за глубину распила приняли

величиной $5/2 = 2,5$ мм (принятый размер (5 мм) определен нормами на заполнитель для растворной части бетона и согласуется с параметрами пиления – это минимальный размер макроструктуры, так как размер больше этого уже является структурой бетона. Принятие минимального размера позволяет выявить минимальную неоднородность макроструктуры бетона). Для дальнейшей работы приняли ширину пропила равной 2,0 мм, длину пропила по размеру грани стандартного образца – 100 мм. Для выявления неоднородности по различным направлениям выделяли сходные объёмы из условного куба, заполненного шарами (принятая модель двухфакторного идеального бетона). Борозды пропилов направляли перпендикулярно к граням куба [10], но направления этих борозд проходит под разными углами относительно осей симметрии, если рассматривать их проекции на плоскость грани (рис. 1).

Задачи исследования можно представить следующим образом:

- разработка модели взаимодействия алмазного диска с бетоном [11, 12];
- получение зависимости для определения удельной энергии разрушения при многократном пилении конструкции;
- оценка испытанных симметричных идеальных образцов по следующим параметрам: соотношение прочности матрицы и заполнителя; объёмная концентрация заполнителя; разный диаметр заполнителя в образце.

Важность проведенного исследования с помощью методов математического моделирования позволяет спроецировать полученные результаты на конструкции, работающие в реальных условиях, что позволит проектировать и строить прочные и долговечные здания и сооружения из бетона и железобетона.

Методы и материалы

Для проведения исследования была составлена специальная программа, позволяющая в каждом выбранном объеме точно определить количество матрицы и заполнителя. Для распила каждого образца с помощью Microsoft® EXCEL 2002 выполнялся расчет W_i , строился график распределения в относительных координатах. Если рассматривать борозду, направленную по оси ординат, то получаем наибольшую удельную энергию разрушения из всех имеющихся направлений, так как в этом случае весь разрушенный объем максимально заполнен заполнителем. Заполнитель принимали заведомо прочнее растворной матрицы. По направлению оси абсцисс возможное количество борозд численно находится между нулем (0) и единицей (1), частота нахождения каждой борозды определяется $1/n$, где n – номер пропила. Если рассматривать пиление с точки зрения правил теории подобия и размерностей, то в случае использования безразмерных величин можно построить общую математическую модель вне зависимости от количества борозд и конкретных физических параметров компонентов (в том числе размера) бетонной смеси.

Установим, что средняя приведенная энергия разрушения каждого малого объема бетонного образца определяется суммой удельных прочностей отрыва отдельных частиц, тогда:

$$W = C_a \cdot a + C_g \cdot g \quad (1)$$

где C_a – приведенная энергия разрушения каждого малого объема заполнителя,

C_g – приведенная энергия разрушения каждого малого объема матрицы.

В соответствии с этим в формуле подсчёта удельной энергии разрушения (1) значение $C_a = 1$,

$C_g = R_M / R_3$ – отношение прочности матрицы к прочности заполнителя.

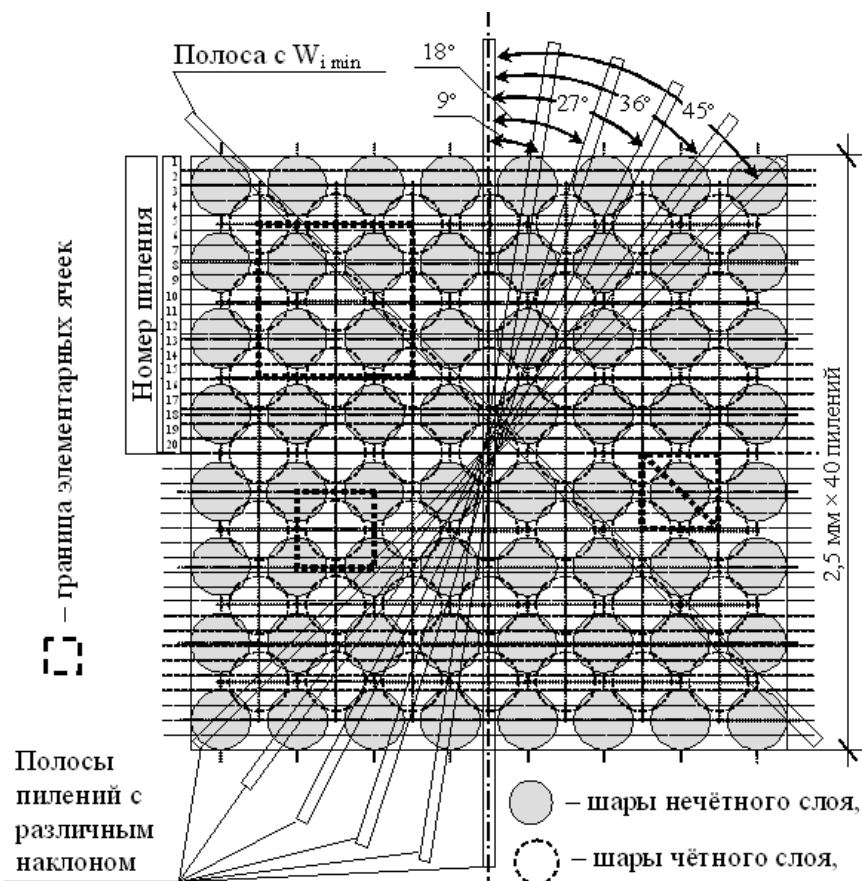


Рис. 1. Модель пиления бетона для $\phi=0,45$ и $\text{Ø}=10$ мм
Fig. 1. Model of sawing concrete for $\phi = 0.45$ and $\text{Ø} = 10$ mm

Для каждой борозды, заключающей 40 отдельных значений, изменение прочностных характеристик выглядит, как волнообразная кривая с последовательными максимумами и минимумами. В каждом образце анализировали распределения по 7 отдельным бороздам и в итоге получили полную зону распределения вероятности, приведенную на рис. 2. Борозду, имеющую наименьшее значение W_i , находили с помощью расчета по площади проекции заполнителя на поверхность модели куба. Эта борозда проходила под углом 45° и находится симметрично диагоналям проходящих между линиями, соединяющими фокусы, заполнителей.

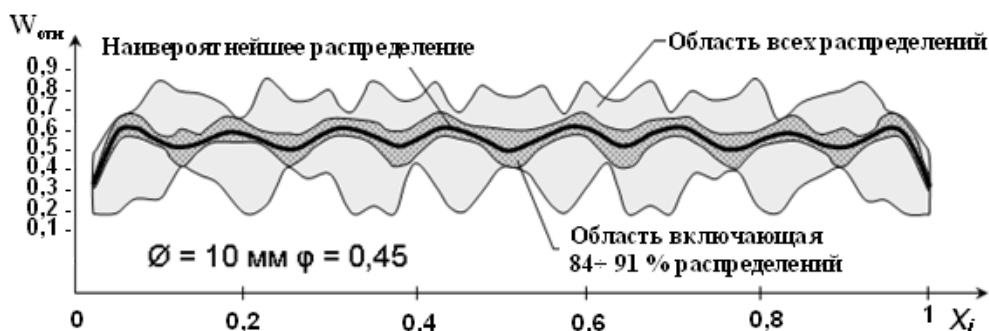


Рис. 2. Вероятности распределений для одного бетонного образца
Fig. 2. Probability of distributions for one concrete specimen

Результаты и обсуждения

Определенные распределения в общем случае представляют собой дискретные случайные величины вследствие того, что углы их наклона (пиления) являются конкретными числами: 0° , 9° , 18° , 36° и 45° . По факту угол наклона борозды может находиться в промежутке от 0 до 360° . Вследствие этого показанный диапазон воспроизводится 8 раз, а при каждом повторении воспроизводится предыдущий. Покажем наиболее возможные разделения и интервалы, в которых находятся больше 80% значений, для этого

перейдем к сплошному случайному разделению и оценим математическое ожидание любого последовательного разреза. Будем считать, что каждый разрез будет неотличим при его смещении на малую величину, т. е. разрез будет занимать некоторый сектор. Значения энергий W_i для углов поворота 0 и 45° будут определяться как краевые. В этом случае попадание пропилов в эти секторы будет в два раза реже, чем в остальные, определенные углами 9°, 18° и 36°. Результаты расчетов вероятностей по изложенному принципу продемонстрированы в табл. 1. Площади секторов вычислены согласно геометрическим проекциям заполнителя на грань модели. Для борозд, проходящих под углами 0 и 45°, выделяли сектор, отвечающий области со стабильным количеством заполнителя. В других случаях грань определяли как среднее значение между фокусами смежных борозд.

Таблица 1

Подсчёт вероятности попадания значений W_i различных полос пиления в выпиленный объём

Table 1

Calculation of probability of getting W_i values of various sawing strips into sawn volume

Положение полосы пиления	Угол сектора × количество секторов				Вероятность попадания (занимаемая доля)			
	0,25	0,35	0,45	0,55	0,25	0,35	0,45	0,55
угол 0°	8°×2	4°×2	4°×2	1°×2	0,088	0,044	0,044	0,011
угол 9°	9,5°×4	11,5°×4	11,5°×4	13°×4	0,209	0,253	0,253	0,286
угол 18°	9°×4	9°×4	9°×4	9°×4	0,198	0,198	0,198	0,198
угол 27°	9°×4	9°×4	9°×4	9°×4	0,198	0,198	0,198	0,198
угол 36°	10,5°×4	9,5°×4	10,5°×4	10,5°×4	0,231	0,209	0,231	0,231
угол 45°	6°×2	8°×2	6°×2	6°×2	0,066	0,088	0,066	0,066
минимальная W	1°×2	1°×2	1°×2	1°×2	0,011	0,011	0,011	0,011
кроме 0 и 45°	38°×4	39°×4	40°×4	41,5°×4	0,835	0,857	0,879	0,91

Форма наиболее возможного распределения энергии рассчитывается следующим образом:

$$W_i = W_{i0} \cdot P_{(0)} + W_{i9} \cdot P_{(9)} + \dots + W_{i45} \cdot P_{(45)} \quad (2)$$

где $W_{i0} \div W_{i45}$ – значения приведенной энергии разрушения для выделенной борозды;

$P_{(0)} \div P_{(45)}$ – соответствующие вероятности значений приведенных энергий разрушения.

Если значения наиболее возможных распределений энергии перенести на график, то они лягут довольно близко к плавной периодической кривой (см. рис. 2 и 3), которую можно очертить функцией синусоидального типа (см. рис. 3):

$$W = a \cdot \sin(\omega \cdot x_i + \psi_0) + c \quad (3)$$

в которой x_i – относительный номер борозды, a – амплитуда синусоиды, ω – частота синусоиды, ψ_0 – начальная фаза, c – коэффициент смещения синусоиды по оси ординат.

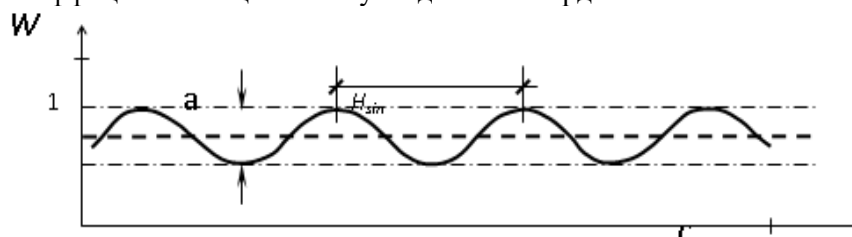


Рис. 3. Описание наиболее вероятного распределения
Fig. 3. Description of the most probable distribution

Как уже отмечалось, энергия разрушения заполнителя в бетоне R_3 может быть в 2,5÷8 раз выше прочности матрицы R_M . В этом случае можно считать, что разброс энергии при пилении разных борозд может изменяться с изменением соотношения R_M/R_3 с учетом того, что при равенстве энергий разрушения заполнителя и матрицы разброса энергии не будет.

Для построения теоретических линий разброса изменяли соотношение R_M/R_3 от 0,15; 0,29 до 0,4, диаметра наполнителя от Ø5 мм, 10, 15 до 20 мм, объёмной концентрации наполнителя ϕ от 0,25; 0,35; 0,45 до 0,55. Для поиска наиболее адекватных коэффициентов модели (3) применили программный пакет (Table

Curve V.2.0 (Copyright © 1989 AISN Software)). Расчеты аппроксимации наиболее адекватных теоретических моделей показаны в таблице 2.

Полученный уровень аппроксимации $R^2 = 0,65 \div 0,95$ обнаруживает, что происходит разброс наиболее возможных значений распределения энергии от принятой синусоиды, которая описывает возможное идеальное распределение. Вероятно, полученный разброс определен в основном отсутствием соотношения между принятой глубиной борозды пиления и фактическими размерами составляющих модели. Значимым был и дискретный подход при определении величин возможных значений распределения энергии. Уменьшение разрушаемых объемов, а следовательно, и уменьшение структурных элементов дает лучшее приближение к теоретической кривой W. Отклонения при описании модели получаются из-за дискретизации диаметров заполнителя, энергии W_i и ϕ . Однако наибольшие погрешности каждой из величин не превышают $1 \div 3\%$.

Таблица 2

Результаты теоретического распределения энергетических характеристик образцов

Table 2

The results of the theoretical distribution of the energy characteristics of the samples

Характеристика бетона			Параметры синусоиды			
1	2	3	4	5	6	7
R_M/R_3	\emptyset , мм	ϕ	a	ω	c	R^2
0,15	5	0,25	0,04	75,4	0,35	0,91
		0,35	0,035	81,7	0,41	0,84
		0,45	0,03	94,2	0,48	0,77
		0,55	0,04	100,5	0,56	0,68
	10	0,25	0,05	37,7	0,37	0,94
		0,35	0,04	44	0,42	0,81
		0,45	0,032	50,3	0,51	0,84
		0,55	0,047	56,5	0,6	0,71
	20	0,25	0,059	18,8	0,36	0,95
		0,35	0,051	25,1	0,42	0,82
		0,45	0,034	31,4	0,53	0,79
		0,55	0,063	37,7	0,62	0,65
0,29	5	0,25	0,03	75,4	0,459	0,93
		0,35	0,02	81,7	0,51	0,83
		0,45	0,018	94,2	0,57	0,78
		0,55	0,035	100,5	0,64	0,66
	10	0,25	0,04	37,7	0,48	0,92
		0,35	0,03	44	0,51	0,82
		0,45	0,023	50,3	0,59	0,86
		0,55	0,042	56,5	0,67	0,77
	20	0,25	0,05	18,8	0,46	0,94
		0,35	0,04	25,1	0,51	0,82
		0,45	0,03	31,4	0,61	0,85
		0,55	0,06	37,7	0,68	0,65
0,4	5	0,25	0,022	75,4	0,54	0,91
		0,35	0,016	81,7	0,59	0,8
		0,45	0,015	94,2	0,63	0,79
		0,55	0,023	100,5	0,69	0,69
	10	0,25	0,03	37,7	0,56	0,90
		0,35	0,024	44	0,58	0,88
		0,45	0,02	50,3	0,65	0,82
		0,55	0,03	56,5	0,72	0,73
	20	0,25	0,035	18,8	0,55	0,93
		0,35	0,03	25,1	0,58	0,82
		0,45	0,027	31,4	0,67	0,77
		0,55	0,04	37,7	0,72	0,67

Учитывая наличие погрешности методики и хорошую корреляцию в исследуемых вариантах (при $R^2 \geq 0,8$), считаем данные погрешности допустимыми.

Данные таблицы 2 обрабатывали на ЭВМ математическими методами многофакторного анализа. При помощи программы EXCEL 2002 графоаналитическим методом определялся характер зависимостей, а с помощью модуля Reg. Analysis системы STATISTIKA в среде Windows (фирма производитель StatSoft Inc., USA) установлены коэффициенты регрессии. Характеристики идеальной модели бетона наиболее тесно связаны с параметрами синусоиды следующими функциями.

Объёмная концентрация крупного заполнителя:

$$\varphi = c + a^{0,8}(1 + 0,03 \times \omega) - 0,32 \quad (4)$$

где c , a и ω – параметры синусоиды;

Отношение прочности матрицы к прочности заполнителя:

$$\begin{aligned} R_m &= c - \varphi \\ R_a &= 1 - \varphi \end{aligned} \quad (5)$$

Размер зерна крупного заполнителя:

$$\varnothing = \frac{62,5 \times (1 - 2 \times \varphi)}{0,73 - \varphi} \quad (6)$$

Согласно зависимости (4) величина разброса при постоянном режиме резания характеризует соотношение составляющих компонентов бетона. На графике этой функции (рис.3) можно выделить шаг синусоиды H_{sin} , который связан с частотой ω следующей зависимостью:

$$H_{sin} = \frac{2 \times \pi}{\omega} \times n \times h, \text{ мм} \quad (7)$$

где n – общее количество пилений,

h – средняя глубина пилений, мм.

Согласно симметричной модели, шаг H_{sin} есть не что иное, как размер энергетической ячейки h_z .

Выводы

Проанализировав возможные режимы пиления образцов, авторами была разработана модель взаимодействия алмазного диска с бетоном. Для реализации предлагаемого способа определены ограничительные параметры: однотипный режущий инструмент, ограничение ширины алмазного диска в пределах 2 – 3 мм, ограничение глубины прорези в 2,5 мм.

Изучено два варианта подхода с точки зрения теории вероятности решить проблему о возможных расходах энергии на пиление бетона модельной структуры. В первом варианте было предположено, что все частицы бетона (в случае пиления это частицы стружки) равномерно распределены в модели бетонного куба до начала пиления. В этом случае при изучении объёма бетона, который больше размера отдельной частицы в сто и более раз, разница в числе частиц заполнителя в модели от количества, определяющего его объёмную концентрацию, будет не более +15% (это в случае относительного содержания крупного заполнителя φ больше, чем 0,3) для уровня надёжности 0,95. Во втором варианте рассматривали концентрацию отдельных частиц в зернах заполнителя, распределенные в матрице растворной части. Для этого варианта было установлено, что наилучшим образом такой вариант распределения заполнителя описывает модель идеального симметричного распределения крупных зерен в теле бетона. В этом случае крупные зерна заполнителя представляли шарами со средневзвешенным диаметром. Шары равномерно и симметрично располагали в теле матрицы. Для механических характеристик шарообразного заполнителя и матрицы использовали удельную энергоёмкость каждого компонента модели. В результате получена формула оценки удельной энергии разрушения всей модели для многократного пиления.

Анализ результатов пиления различных составов бетона при использовании различных заполнителей и растворных составляющих и с использованием различных размеров заполнителя позволил выявить значения, близкие к симметричной структуре бетона в разных направлениях. Изучение изменения средней удельной энергии разрушения, получаемой в процессе образования отдельных последовательных прорезей в теле бетона, позволяет оценить расположение заполнителя, средний размер его зёрен и удельную энергию разрушения матрицы (прочность) при известной средней удельной энергии разрушения заполнителя (прочности).

Благодарность

Авторы выражают признательность Фонду содействия инновациям за оказанную финансовую поддержку при проведении данного исследования

Литература

1. Воронин К.М., Гаркави М.С., Пермяков М.Б., Кришан А.Л. и др. Научные исследования, инновации в строительстве и инженерных коммуникациях в третьем тысячелетии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 49 – 50.
2. Пермяков М.Б., Краснова Т.В., Дорофеев А.В. Аддитивные технологии в строительстве и дизайне архитектурной среды: настоящее и будущее // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9. № 2. С. 2 – 5.
3. Ilyin A., Permyakov M., Andreyev V., Krasnova T. Regularities of Changes in Material Properties for Some Polymer-Concrete Ratios // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 110. [Электронный ресурс] URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001009> (дата обращения 18.06.2020)
4. Ilin A.N., Chernyshova E.P., Permyakov M.B., Andreev V.M., Krishan A.L., Sabirov R.R. Polymer-modified cement as a new level of electric insulation in electrical engineering systems // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016, № 11 (1). P. 13 – 16.
5. Пермяков М.Б., Веселов А.В., Пермякова А.М. Полимерно-бетонная висячая ребристая свая-оболочка и способ ее возведения // Технологии Бетонов. 2014. № 6 (95). С. 30 – 32.
6. Permjakov M.B., Building residual life calculation at hazardous production facilities // Advances in Environmental Biology. 2014. Т. 8. № 7. P. 1969 – 1973.
7. Permyakov M., Ilyin A., Andreev V., Voronin K., Krasnova T. Assessment of reliability and accident risk for industrial buildings // MATEC Web of Conferences. 2018. Т. 251.
8. Варламов А.А. К оценке долговечности зданий и конструкций // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 186 – 188.
9. Варламов А.А., Римшин В.И. Модели поведения бетона. Общая теория деградации: монография. М.:ИНФРА-М, 2019. 436 с. [Электронный ресурс] URL: www.dx.doi.org/10.12737/monography-5c8a716t3c4460.52838016 (дата обращения: 18.06.2020)
10. Гаврилов В.Б. Оценка механических и структурных характеристик бетона в строительных конструкциях методом локального разрушения: дис. ... на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Магнитогорск, 2004.
11. Варламов А.А., Гаврилов В.Б., Давыдова А.М., Морозов М.С., Пензин В.А., Тоторкулов А.Х. Обоснование методов определения параметров трещиностойкости железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий // В книге: Научное окружение современного человека: техника, информатика, архитектура, медицина, сельское хозяйство. Линда С.Н., Львович И.Я., Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Олешко Е.П., Петровская Ю.Р., Кучерук М.Д., Агаджанова С.В., Алёшин С.П., Бойко П.Н., Бондар Н.В., Варламов А.А., Гаврилов В.Б., Зинченко И.Н., Купчак Д.В., Куц А.М., Михайловская Е.В., Толбатов А.В., Толбатов В.А., Шандиба О.Б. и др. // Серия монографий. Сер.: "Научное окружение современного человека". Одесса, 2019. С. 104 – 112.
12. Варламов А.А., Гаврилов В.Б., Давыдова А.М., Морозов М.С., Пензин В.А. Изучение отдельных параметров методики определения параметров трещиностойкости бетона на плоской поверхности эксплуатируемых конструкций // В книге: Научное окружение современного человека: техника, информатика, архитектура, медицина, сельское хозяйство. Линда С.Н., Львович И.Я., Преображенский А.П., Чопоров О.Н., Олешко Е.П., Петровская Ю.Р., Кучерук М.Д., Агаджанова С.В., Алёшин С.П., Бойко П.Н., Бондар Н.В., Варламов А.А., Гаврилов В.Б., Зинченко И.Н., Купчак Д.В., Куц А.М., Михайловская Е.В., Толбатов А.В., Толбатов В.А., Шандиба О.Б. и др. // Серия монографий. Сер.: "Научное окружение современного человека". Одесса, 2019. С. 113 – 121.

References

1. Voronin K.M., Garkavi M.S., Permjakov M.B., Krishan A.L. i dr. Nauchnye issledovanija, innovacii v stroitel'stve i inzhenernyh kommunikacijah v tret'em tysjacheletii. Vestnik Magnitogor-skogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2009. 2. P. 49 – 50. (rus.)
2. Permjakov M.B., Krasnova T.V., Dorofeev A.V. Additivnye tehnologii v stroitel'stve i dizajne arhitekturnoj sredy: nastojashhee i budushhee. Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovanija. 2018. 9 (2). P. 2 – 5. (rus.)

3. Ilyin A., Permyakov M., Andreyev V., Krasnova T. Regularities of Changes in Material Properties for Some Polymer-Concrete Ratios. E3S Web of Conferences. 2019. 110. [Elektronnyj resurs] URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001009> (data obrashhenija 18.06.2020)
4. Ilin A.N., Chernyshova E.P., Permyakov M.B., Andreev V.M., Krishan A.L., Sabirov R.R. Polymer-modified cement as a new level of electric insulation in electrical engineering systems. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. 11 (1). P. 13 – 16.
5. Permjakov M.B., Veselov A.V., Permjakova A.M. Polimerno-betonnaja visjachaja rebristaja svaja-obolochka i sposob ee vozvedenija. Tehnologii Betonov. 2014. 6 (95). P. 30 – 32. (rus.)
6. Permjakov M.B., Building residual life calculation at hazardous production facilities. Advances in Environmental Biology. 2014. 8 (7). P. 1969 – 1973.
7. Permyakov M., Ilyin A., Andreev V., Voronin K., Krasnova T. Assessment of reliability and accident risk for industrial buildings. MATEC Web of Conferences. 2018. 251.
8. Varlamov A.A. K ocenke dolgovechnosti zdaniy i konstrukcij. Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovanija. 2013. 2 (71). P. 186 – 188. (rus.)
9. Varlamov A.A., Rimshin V.I. Modeli povedenija betona. Obshhaja teorija degradacii: monografija. M.:INFRA-M, 2019. 436 p. [Elektronnyj resurs] URL: www.dx.doi.org/10.12737/5c8a716t3c4460.52838016 (data obrashhenija: 18.06.2020) (rus.)
10. Gavrilov V.B. Ocenka mehanicheskikh i strukturnyh harakteristik betona v stroitel'nyh konstrukcijah metodom lokal'nogo razrushenija: dis. ... na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk. Magnito-gorsk, 2004.
11. Varlamov A.A., Gavrilov V.B., Davydova A.M., Morozov M.S., Penzin V.A., Totorkulov A.H. Obosnovanie metodov opredelenija parametrov treshhinostjokosti zhelezobonnyh konstrukcij jeks-pluatiruemyh zdaniy. V knige: Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: tehnika, informatika, arhitektura, medicina, sel'skoe hozjajstvo. Linda S.N., L'vovich I.Ja., Preobrazhenskij A.P., Choporov O.N., Oleshko E.P., Petrovskaja Ju.R., Kucheruk M.D., Agadzhanova S.V., Aljoshin S.P., Bojko P.N., Bondar N.V., Varlamov A.A., Gavrilov V.B., Zinchenko I.N., Kupchak D.V., Kuc A.M., Mihajlovskaja E.V., Tolbatov A.V., Tolbatov V.A., Shandiba O.B. i dr. Serija monografij. Ser.: "Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka". Odessa, 2019. P. 104 – 112. (rus.)
12. Varlamov A.A., Gavrilov V.B., Davydova A.M., Morozov M.S., Penzin V.A. Izuchenie otdel'nyh parametrov metodiki opredelenija parametrov treshhinostjokosti betona na ploskoj poverhnosti jekspluatiruemyh konstrukcij. V knige: Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: tehnika, informatika, arhitektura, medicina, sel'skoe hozjajstvo. Linda S.N., L'vovich I.Ja., Preobrazhenskij A.P., Choporov O.N., Oleshko E.P., Petrovskaja Ju.R., Kucheruk M.D., Agadzhanova S.V., Aljoshin S.P., Bojko P.N., Bondar N.V., Varlamov A.A., Gavrilov V.B., Zinchenko I.N., Kupchak D.V., Kuc A.M., Mihajlovskaja E.V., Tolbatov A.V., Tolbatov V.A., Shandiba O.B. i dr. Serija monografij. Ser.: "Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka". Odessa, 2019. P. 113 – 121. (rus.)

**Varlamov A.A. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Gavrilov V.B., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Davydova A.M., Postgraduate,
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Russia**
*Corresponding author E-mail: mgrp@mgn.ru

DESTRUCTION MODEL OF IDEALIZED CONCRETE STRUCTURE BY SAWING

Abstract: the requirements of modern construction are the strength of building structures, as well as low cost. It is these conditions that provide new technologies that are constantly being improved. The article is devoted to the consideration of cases of a probabilistic approach to solving the problem of theoretical energy consumption for the destruction of concrete of ideal structure.

The processes of concrete deformation and its destruction are studied by building mechanics. Concrete is a multicomponent material, which presents a certain difficulty in the study of crack formation. In operating conditions, the concrete/reinforced concrete structure is affected by the properties of its constituent materials; therefore, one of the most important tasks is the selection of criteria that can comprehensively characterize the basic parameters of concrete. Obtaining the strength characteristics of concrete of operated structures remains an urgent task. The article proposes to consider the ideal structure of concrete. The features of this structure are the symmetry of fracture along two principal planes. The destruction of concrete was carried out by sawing individual strips of concrete. Moreover, to describe the sawing process, the authors proposed a model of a symmetric structure of concrete in which aggregate grains are idealized. They are presented in the form of balls in the body of concrete.

The features of the sawing process are revealed. The analytical dependencies of fracture sawing the ideal structure of concrete are obtained.

Conclusions are drawn about the possibility of using the ideal model for obtaining the strength characteristics of concrete. The analysis of symmetrical ideal concrete compositions with various variables is performed. The significance of the work done lies in the possibility of transferring the research results to real buildings and structures and solving the main tasks that are posed in the study.

Keywords: idealized concrete model, sawing, matrix, aggregate, specific fracture energy

Для цитирования: Варламов А.А., Гаврилов В.Б., Давыдова А.М. Модель разрушения идеализированной структуры бетона пилением // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 2. С. 46 – 54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

For citation: Varlamov A.A., Gavrilov V.B., Davydova A.M. Destruction model of idealized concrete structure by sawing. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). P. 46 – 54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

Поступила в редакцию 8 января 2020 г.

Принята в доработанном виде 5 марта 2020 г.

Одобрена для публикации 2 апреля 2020 г.

Received: January 8, 2020.

Revised: March 5, 2020.

Accepted: April 2, 2020.