

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №2, Том 12 / 2020, No 2, Vol 12 <https://esj.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/52SAVN220.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Аль-Хадж М.А.Х., Коржаева Е.Э., Яновская А.В., Кукаев А.Х., Падиев И.Д., Османов А. Особенности механики разрушения компонентов бетона железобетонных конструкций при динамических ударных воздействиях // Вестник Евразийской науки, 2020 №2, <https://esj.today/PDF/52SAVN220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Al'-Khadzh M.A.Kh., Korzhaeva E.E., Yanovskaya A.V., Kukaev A.Kh., Padiev I.D., Osmanov A. (2020). Features of the mechanics of the destruction of concrete components of reinforced concrete structures under dynamic impact. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(12). Available at: <https://esj.today/PDF/52SAVN220.pdf> (in Russian)

**УДК 691**

**ГРНТИ 67.09.33**

**Аль-Хадж Махмуд Абдо Хасан**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Аспирант  
E-mail: mahmoood@list.ru

**Коржаева Екатерина Эдуардовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: hett3351@gmail.com

**Яновская Алина Вадимовна**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Кукаев Анзор Хамидович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: kukaevanzor@mail.ru

**Падиев Ислам Даудович**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: islampadiev222@icloud.com

**Османов Ашыр**

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия  
Магистрант  
E-mail: ashirosman17@yandex.ru

**Особенности механики разрушения  
компонентов бетона железобетонных конструкций  
при динамических ударных воздействиях**

**Аннотация.** Железобетонные строительные конструкции, особенно эксплуатируемые в транспортных сооружениях, подвергаются значительным динамическим ударным

воздействиям. Они характеризуются относительно большим внутренним трением, поэтому учет его при их расчете на динамические нагрузки может дать значительный экономический эффект. Многие экспериментальные данные дают основание утверждать, что внутреннее трение в первую очередь зависит от структурных несовершенств материалов. Даже по отношению к одноименным материалам, например, бетонам, вряд ли можно однозначно характеризовать степень поглощения ими механической энергии динамических воздействий, учитывая использование различных по свойствам составляющих при приготовлении бетонов и не всегда нормальные условия, в которых протекают процессы их структурообразования. Эти факторы наделяют материалы макро- и микроскопической неоднородностью, тесно связанной со следующими явлениями, порождающими внутреннее трение при динамических процессах. Внутреннее трение обуславливается локальными микроскопическими или субмикроскопическими разрушениями, имеющими место при остаточных деформациях уплотнения. Это деформации, которые появляются мгновенно с нагружением (в противоположность упругому последствию) и не восстанавливаются (в противоположность мгновенной или акустической упругости). Значение и учет внутреннего трения в динамических задачах предопределяется в первую очередь самим взглядом на поведение материалов в динамике сооружений в отличие от статики. Вследствие этого внутреннее трение является одной из важнейших динамических характеристик материала и конструкции. Чем оно больше, то есть чем больше поглощается энергии материалом при циклических воздействиях, тем при прочих равных условиях конструкция выгоднее для восприятия динамических нагрузок.

**Ключевые слова:** бетон; заполнители для бетона; железобетонные конструкции; транспортное строительство; динамические воздействия; ударные нагрузки

Железобетонные строительные конструкции, особенно, эксплуатируемые в транспортных сооружениях, подвергаются значительным динамическим ударным воздействиям. Они характеризуются относительно большим внутренним трением, поэтому учет его при их расчете на динамические нагрузки может дать значительный экономический эффект.

В теориях удара не получила должного отражения способность твердых тел поглощать определенную часть энергии динамических воздействий. Между тем влияние этого свойства материалов на работу различных конструкций в условиях удара столь значительно, что игнорирование его при решении большого числа динамических задач лишает возможности объяснить, не искажая количественно и качественно, многие реально наблюдаемые явления, например, быстрое затухание свободных колебаний конструкций, резкое ограничение роста амплитуд вынужденных колебаний при резонансах, сильное снижение напряжений от импульсов и ударов в конструкциях с большим числом степеней свободы, выравнивание динамических напряжений в местах их концентрации.

В основе этих явлений лежат процессы, связанные с необратимым превращением части механической энергии внешних воздействий в твердом теле в тепло (которое, в конечном счете, рассеивается) и объединенные под общим названием «внутреннее трение».

Внутреннее трение вместе с другими отклонениями от свойств идеально упругого тела – последствием, релаксацией и ползучестью – обусловлено в основном неупругими свойствами материала, проявляющимися даже при малых напряжениях и называемыми упругими несовершенствами материала.

Выяснению сущности упругих несовершенств твердых тел уделялось внимание во многих работах, основанных на тонких методах физического эксперимента. Этой теме посвящены работы по изучению пластических свойств монокристаллов, поликристаллических

сред и сплавов [1], реологических свойств материалов [2; 3], тепловой, атомной, магнитной и других типов диффузий в твердых телах [4; 5], а также работы по изучению внешнего проявления внутреннего трения [6; 7].

Не вдаваясь подробно в физические аспекты проблемы упругих несовершенств, выдвигаемые и анализируемые в этих работах, следует отметить, что, несмотря на большой информационный материал, вопрос о физической природе и механизме явлений неупругости в настоящее время нельзя считать в достаточной мере выясненным и поэтому вопросу исследователи не пришли к единому мнению. Вместе с тем, точно установлено, что свойства наследственности – последствие, релаксация и ползучесть – проявляются при постоянных и медленно меняющихся напряжениях и деформациях, тогда как внутреннее трение – при быстровозникающих циклических процессах.

Это связано с появлением определенных форм энергии, сопровождающих процесс разрушения твердых тел при внезапном приложении сил. Слышится звук, что указывает на наличие колебаний. Последние постепенно затухают, и их энергия в конечном счете обращается в тепло. Весьма значительным является повышение поверхностной энергии благодаря увеличению поверхности частей по сравнению с поверхностью целого тела. Появление при разрушении этих и других видов энергии обуславливается превращениями потенциальной энергии.

Таким образом, вся работа напряжений, совершенная внешними силами, не может полностью перейти в энергию разрушения. Только консервативная часть этой работы – работы упругих деформаций – превращается в другие виды энергии. В общем случае часть работы напряжений диссипируется и, следовательно, не способна к превращениям.

Диссипация энергии при колебаниях происходит по внешним и внутренним причинам. Первые обуславливаются трением в точках закрепления колеблющегося тела и сопротивлением воздуха. Ни одна из них не дает возможности судить о внутренней природе материала. Наоборот, при её выяснении они являются помехами, которые должны быть исключены. В этом случае первостепенный интерес представляет только внутреннее трение или сопротивление, обусловленное неупругостью материала.

Многие экспериментальные данные дают основание утверждать, что внутреннее трение в первую очередь зависит от структурных несовершенств материалов. Даже по отношению к одноименным материалам, например, бетонам, вряд ли можно однозначно характеризовать степень поглощения ими механической энергии динамических воздействий, учитывая использование различных по свойствам составляющих при приготовлении бетонов и не всегда нормальные условия, в которых протекают процессы их структурообразования [8–10].

Эти факторы наделяют материалы макро- и микроскопической неоднородностью, тесно связанной со следующими явлениями, порождающими внутреннее трение при динамических процессах. Внутреннее трение обуславливается локальными микроскопическими или субмикроскопическими разрушениями, имеющими место при остаточных деформациях уплотнения. Это деформации, которые появляются мгновенно с нагружением (в противоположность упругому последствию) и не восстанавливаются (в противоположность мгновенной или акустической упругости) [11].

Появление таких деформаций связано с нарушением сплошности тел макропорами, микропорами и трещинами, а также инородными включениями. К этим несовершенствам следует добавить острые локальные выемки поверхности, царапины и надрезы.

В напряженном теле эти дефекты образуют слабые места, в которых происходит концентрация напряжений. И хотя тело в целом может быть достаточно прочным, чтобы сопротивляться силам, вызывающим деформацию, вблизи этих беспорядочно разбросанных

несовершенств структуры прочность материала может быть преодолена отдельными пиками напряжений, в несколько раз превышающими среднее напряжение, определяемое обычными экспериментальными методами или с помощью теории упругости. В случае пластического материала это вызовет локальные пластические деформации, в случае хрупкого – локальные повреждения, выражающиеся в уплотнении материала за счет вдавливания его частиц внутрь полостей, образуемых дефектами.

После снятия внешних нагрузок совокупность этих мгновенных пластических деформаций или разрушений проявляется как остаточная деформация уплотнения, являющаяся одной из причин проявления неупругости материала в обычной «упругой» области.

Наличие множества мелких трещин, например, усадочных и температурных в бетоне, растворе, каменной кладке, в значительной степени увеличивает внутреннее поглощение вследствие трения между их стенками. Энергия внешних воздействий расходуется также на трение в трещинах, образующихся в процессе нагружения.

Источником внутреннего трения служат дефекты, характеризуемые нарушением правильности расположения атомов в кристаллических решетках при смещении атомов из положения равновесия и образования вакансий, то есть незаполненных узлов кристаллической решетки, а также при внедрении атомов, нарушающих её правильность. Кроме этого, в твердых телах могут быть дефекты целых атомных плоскостей – дислокации.

В этом случае необратимые потери энергии связаны с возникновением тепловых потоков в результате неравномерного распределения температур, происходящего из-за различной деформации в теле, вызванной анизотропией кристаллической решетки, а также с движением границ зерен и поверхностей раздела двойников.

Значение и учет внутреннего трения в динамических задачах предопределяется в первую очередь самим взглядом на поведение материалов в динамике сооружений в отличие от статики.

В статике сооружений при определении внутренних усилий и перемещений в конструкциях их материал считается обычно идеально упругим, то есть связь между напряжением  $\sigma$  и относительной деформацией  $\varepsilon$  выражается в соответствии с законом Гука соотношением  $\sigma = \varepsilon E$ , что на диаграмме  $\sigma(\varepsilon)$  изображается прямой линией, причем однозначно для случая нагрузки и разгрузки.

В статике сооружений, где процесс нагрузки или разгрузки является одиночным актом, учет внутреннего трения не имеет практического значения ввиду обратимости полной деформации.

Если за один цикл колебаний потеря энергии сравнительно невелика, то в динамике сооружений за достаточно большое число циклов она может достигнуть значительной величины. Так, импульс, сообщенный конструкции при ударе, вызовет собственные колебания с определенной начальной амплитудой. Если бы материал конструкции был идеально упруг, как принято в статике, амплитуда колебаний оставалась бы неизменной и колебания продолжались неограниченно долго. Предполагается отсутствие внешних сопротивлений.

В действительности, благодаря внутреннему трению в материале конструкции за каждый цикл поглощается некоторая доля механической энергии, колебания затухают и, когда начальная энергия полностью израсходуется, прекращаются.

Поскольку собственные частоты колебаний большинства строительных конструкций достаточно высоки (10–50 циклов в секунду), время затухания колебаний исчисляется обычно секундами или долями секунды [7].

Благоприятное влияние внутреннего трения ещё более подчеркивается при рассмотрении периодических ударов с частотой, кратной собственной частоте конструкции, вызывающих явление ударного резонанса. При отсутствии неупругих сопротивлений каждый последующий удар, действуя в соответствующей фазе с перемещением конструкции, вызывал бы дополнительные колебания, которые суммируясь с предшествующими, стимулировали бы неограниченное возрастание амплитуды колебаний. На самом деле этого не происходит благодаря потерям энергии за каждый цикл колебаний. Максимальная амплитуда колебаний при последующих ударах не превышает амплитуды первого удара, если колебания успевают затухать за время между смежными ударами, или несколько превышает её, если период между ударами меньше времени, необходимого для полного затухания колебаний. Аналогичная картина наблюдается в случае резонанса при действии на конструкцию гармонической силы.

Вследствие этого внутреннее трение является одной из важнейших динамических характеристик материала и конструкции. Чем оно больше, то есть чем больше поглощается энергии материалом при циклических воздействиях, тем при прочих равных условиях конструкция выгоднее для восприятия динамических нагрузок.

Характерной особенностью ударного воздействия как динамического способа приложения нагрузки является развитие на поверхностях соударения тел значительных усилий за весьма малый промежуток времени. Высокая скорость нагружения может оказать существенное влияние на поведение материалов, испытывающих удар и разрушаемых этим способом. Из исследований по физике твердого тела [12] известно, что некоторые материалы, считающиеся в обычных условиях пластичными, при быстром приложении нагрузки разрушаются как типично хрупкие тела, то есть провести резкую границу между хрупкостью и пластичностью тел невозможно, так как в зависимости от условий нагружения практически все тела являются в известной степени и пластичными, и хрупкими.

Кроме скоростных особенностей внешнего воздействия к условиям нагружения можно отнести вид деформации, повторяемость нагружения, температуру и степень агрессивности среды.

При анализе результатов динамических испытаний разными исследователями рассматриваются многие виды деформации твердых тел. Качественная сторона и количественная оценка влияния таких факторов, как скорость и повторяемость нагружения, температура и агрессивность сред, на физико-механические свойства материалов сохраняются независимо от вида напряженного состояния [13].

Экспериментальное изучение процессов разрушения твердых тел под действием ударных нагрузок объединяет такие проблемы, как выяснение физических особенностей поведения материалов при изменении перечисленных выше условий нагружения, сопоставление динамического и статического способов приложения нагрузок с целью установления эффективности сопротивления материалов в том и другом случаях и ряд других вопросов.

В работах [14; 15] отмечено, что изменение свойств твердых тел при высоких скоростях деформирования может быть только кажущимся, вследствие огромных сил инерции, возникающих при таких скоростях. Если при статических испытаниях эти силы практически никакой роли не играют и не накладываются на внешние деформирующие силы, то при ударных испытаниях они приобретают первостепенное значение. Они как бы исходят из самого деформируемого тела, которое при ударе как бы само себя деформирует.

Большинство горных пород при воздействии на них относительно кратковременных внешних сил ведут себя как хрупкие тела, в которых отсутствует значительные пластические деформации. Ряд исследователей считает, что прочность горных пород не зависит от скорости

деформирования и от их температуры. Применительно к горным породам вопрос о влиянии температуры на прочностные свойства полностью не изучен. Однако, по предварительным данным с изменением температуры наблюдается изменение указанных свойств. На величину хрупкой прочности температурный фактор будет влиять так же, как фактор скорости нагружения: в начале повышение, а затем, по достижении температуры примерно в 600 °С, резкое снижение [16].

Согласно [17], при исследованиях процесса динамического разрушения горных пород необходимо учитывать две особенности:

- при динамическом нагружении, интенсивность которого быстро изменяется, проявляются силы инерции разрушаемого материала, повышающие его прочность по сравнению со статической прочностью;
- динамический режим нагружения способствует концентрации напряжений у мест ослаблений, особенно характерных для горных пород (трещины, поры), что должно способствовать понижению прочности разрушаемого материала. Суммарное действие этих факторов будет зависеть от того, какой из них явится преобладающим.

Автором [18] сделан общий вывод о более высокой сопротивляемости горных пород динамическим нагрузкам нежели статическим, что объясняется следующим образом. При ударе усилие развивается не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени. Прежде чем достичь какого-то значения  $P_2$ , усилие проходит через некоторое промежуточное значение  $P_1$ , разрушение образца при котором не происходит. Когда же будет достигнуто  $P_2$ , начнется разрушение, причем происходить оно будет не по одному наиболее слабому направлению, а по нескольким, для которых  $P_1 < P_2$  было недостаточным. При дальнейшем увеличении энергии ударяющего тела усилие возрастает до значения  $P_3 > P_2$ , и образец разрушится по ещё большему числу направлений. С возрастанием скорости удара слабые направления упрочняются вследствие перестройки структуры разрушаемого тела и увеличения сил инерции его массы. Таким образом, по мере роста скорости нагружения испытываемый интервал становится все более однородным и прочным. Учитывая, что ударяющее тело обычно обладает запасом избыточной энергии, не идущей на разрушение образца, и на основании анализа данных о распределении энергии удара при разрушении образцов горных пород установлено, что непостоянство значений энергоёмкости, имевшее место при опытах, является следствием не только качеств образца, но и различий в величине энергии и скорости приложения ударной нагрузки. Повышение энергоёмкости при таком нагружении происходит за счет роста сопротивления деформации с возрастанием скорости, что применительно к углям и горным породам ранее не было доказано.

Механизм этого явления заключается в том, что пластические деформации, являющиеся следствием перемещения структурных составляющих образца относительно друг друга, требуют длительного времени из-за наличия сил связей между ними, поэтому в случае статической нагрузки условия для накопления пластических деформаций в образце гораздо более благоприятны, чем при действии ударных нагрузок. При значениях энергии ударяющего тела, близких к минимально необходимой для разрушения ударной нагрузке, формы уплотнения и разрушения образца остаются такими же, как и при испытаниях статической нагрузкой. По мере возрастания скорости и энергии ударяющего тела степень дробления материала повышается и, значит, формы разрушения отличаются от наблюдаемых при испытаниях статической нагрузкой.

Причиной разрушения образцов из разных материалов, независимо от их структуры, слоистости и трещиноватости, являются, как при статических, так и при динамических

испытаниях, деформации зоны, находящейся под ударником и названной условно «уплотненным ядром». Уплотненное ядро образуется при воздействии ударниками или пуансонами любой из проверенных форм. Разрушение образца начинается с образования трещин под ядром. Появление первой из них вызывает перераспределение напряжений и их концентрацию по границам разрывов, что ведет к быстрому образованию и развитию новых трещин, которые обходят ядро и распространяются внутри образца в направлении удара. Направление поверхностей разрушения непостоянно: в одних случаях они параллельны направлению удара, в других – наклонены к нему (даже при разрушении одинаковых образцов из однородных материалов) под различными углами. Из этого следует, что разрушение таких материалов, как уголь, глиноземистый цемент, сланец и других может происходить путем отрыва и сдвига в зависимости от условий нагружения.

Энергоемкость разрушения образцов из углей и горных пород не является величиной постоянной, а зависит от скорости и энергии ударяющего тела, а также от условий проведения эксперимента – начального напряженного состояния, числа свободных поверхностей, формы и размеров образца, соотношения последних с величиной контактной площади образца, ориентировки удара. Также нестабильными являются значения пределов прочности, меняющиеся в зависимости от перечисленных факторов. Для разрушения образца динамической нагрузкой необходимо значительно большее проникновение ударяющего тела в испытуемый материал, чем при воздействии статической нагрузкой, а также большее развитие уплотненного ядра. Степень уплотнения удара зависит при прочих равных условиях от энергии ударяющего тела, его скорости, соотношения между размерами образца и размерами контакта и от типа ударяющего тела [18].

В [19; 20] приведены две гипотезы, объясняющие ход процесса ударного разрушения. Первая предполагает пластичное вдавливание ударника в материал при ударе и образование под ним ядра мелкого, разрушенного материала. Это ядро, сформировавшись, действует подобно несжимаемому гидравлическому клину и разрывает образец на части по плоскостям наименьшей сопротивляемости. Вторая гипотеза исходит из того, что в момент удара в образце возникает упругая волна напряжения и в тех точках, где напряжение превысит предел прочности материала, происходит разрыв.

Вопросы, связанные с характером сил, действующих в образцах при ударе, и определением величин разрушающих напряжений, рассмотрены в [21]. Энергетические характеристики процесса удара, а также связанная с ним сопротивляемость образца разрушению зависят от того, поддерживается ли образец во время испытания на одном месте или нет. Поддерживаемый образец при прочих равных условиях разрушается при меньшем числе ударов, чем неподдерживаемый.

При использовании копров, подобно примененному в описываемых опытах, можно считать, что в случае неподдерживаемого образца доля поглощенной им энергии составляет 15–18 % для упругих ударов, а для поддерживаемого образца ту же величину для первых ударов и 25–35 % для последующих, исключая последний. В обоих случаях при последнем, разрушающем ударе образец поглощает не более 60 % энергии падающего груза. Таким образом, копер при упругом ударе рассеивает до 80–85 % энергии груза, а при неупругом – не менее 40 %. Учитывая величину энергии, поглощенной при неупругом ударе, и зная время соударения в [21] определены силы, действующие на образец в момент разрушения, которые составили примерно 70–75 % от рассчитанных без учета поглощения энергии копром. Образец при этом раскалывается по образующей цилиндра на две части, а если его поддерживать, то на три части, поскольку предыдущие удары несколько углубляют полусферу, через которую передается удар от копра к образцу. Аппроксимируя в первом приближении действие этой

полусферы клином, автор рассчитывает силы, действующие на обе половины образца при его разрушении, и критические напряжения, возникающие при ударе [21].

Потери энергии определялись в [22] на специальном маятниковом копре при разрушении ударом цилиндрических образцов диаметром 40 мм из горных пород и цемента. С увеличением высоты образца количество поглощаемой энергии сначала резко возрастает, а затем постепенно стремится к предельному значению, соответствующему высоте образца, равной его диаметру. При определенном весе наковальни и ударника энергия, затраченная на разрушение, составляет 70 % полной энергии удара и остается практически одинаковой независимо от формы ударника.

Анализируя полученные результаты, касающиеся работы ударников различной формы, авторы [23; 24] пришли к выводу, что пренебрегать потерями энергии, обусловленными гистерезисными явлениями, нельзя; что потери энергии сильно зависят от формы ударников, воздействующих на породу.

В работе [25] исследовалось влияние скорости деформации на временное сопротивление сжатию и упругие свойства бетона при действии ударных и статических нагрузок. Для этого использованы цилиндрические образцы из двух типов бетона с резко различными показателями статической прочности:  $176 \text{ кг/см}^2$  – «слабый» и  $458 \text{ кг/см}^2$  – «крепкий» бетон. Сопротивление бетона сжатию при возрастании скорости нагружения увеличивается. Средние величины соотношений между сопротивлениями динамическому и статическому сжатию составляют для «слабого» и «крепкого» бетонов при самых высоких скоростях нагружения соответственно 1,84 и 1,85; характер разрушения в обоих случаях примерно одинаковый. Значения динамического модуля упругости бетона на 12–47 % больше статических модулей для «слабого» бетона соответственно скоростям нагружения, примененным в испытаниях. Сопротивление бетонов удару, характеризующее способность поглощать энергию деформации, по мере роста скорости нагружения также увеличивается. Средние отношения величин энергии деформации при динамических и статических испытаниях изменяются в исследованном диапазоне скоростей нагружения от 0,9 до 2,2. Значения деформации при разрушении в динамических испытаниях больше, чем в статических.

Как показывают результаты других исследований, сопротивляемость бетона удару зависит не только от скоростных особенностей нагружения при испытаниях. В работе [26], показано что ударная прочность бетона меняется в зависимости от рода каменного заполнителя, качества цемента и водоцементного отношения. В качестве крупного заполнителя использовались гранитный, известняковый и кирпичный щебни и гравий с характеристиками, приведенными в таблице 1.

**Таблица 1**

**Характеристики материалов**

Характеристики	Вид материала		
	Гранит	Известняк	Кирпич
Плотность сухого материала, $\text{г/см}^3$	2,75	2,51	1,79
Водопоглощение по массе в %	1,23	2,40	13,5
Временное сопротивление сжатию в сух. сост., $\text{кг/см}^2$	1770	648	420
Временное сопротивление сжатию в насыщенном водой состоянии, $\text{кг/см}^2$	1443	458	329

*Составлено авторами*

Потеря ударной прочности бетона при замене гранитного щебня другими видами изучавшихся заполнителей составила от 22 до 40 %. Замена в бетоне цемента марки 300 цементом марки 400, вместо ожидавшегося увеличения сопротивления удару, вызвала резкое понижение этого качества бетона. При применении гранитного щебня указанное снижение сопротивления удару достигло 30 %.



Таким образом, не во всех случаях наблюдается соответствие между ударной и статической прочностью бетона. Объясняется это характером структуры затвердевшего цементного камня. В большинстве случаев, охваченных в опытах, сопротивление удару повышалось при увеличении водоцементного отношения. Однако отмечается, что каждый из испытанных составов бетона изучался лишь при двух значениях водоцементного отношения. Объяснение указанного явления рекомендуется искать в особом значении, которое, с точки зрения ударной прочности, приобретает пластичность бетонной смеси. Полученные результаты дают возможность считать, что при использовании цементов различных марок роль каменного материала проявляется по-разному.

Поэтому прочность бетона при ударе зависит от совокупности влияний специфических особенностей заполнителя и цемента [26].

Железобетонные строительные конструкции характеризуются относительно большим внутренним трением, поэтому учет его при их расчете на динамические нагрузки может дать значительный экономический эффект.

Внутреннее трение является одной из важнейших динамических характеристик материала и конструкции. Чем оно больше, то есть чем больше поглощается энергии материалом при циклических воздействиях, тем при прочих равных условиях конструкция выгоднее для восприятия динамических нагрузок.

Внутреннее трение в первую очередь зависит от структурных несовершенств материалов. По отношению к бетонам невозможно однозначно характеризовать степень поглощения ими механической энергии динамических воздействий, учитывая использование различных по свойствам составляющих при приготовлении бетонов и не всегда нормальные условия, в которых протекают процессы их структурообразования.

Поэтому характеристики и механика разрушения бетона при ударе зависит от совокупности влияний специфических особенностей заполнителя и цемента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. Том 2, перевод с английского. Изд. «Мир», М., 1969.
2. Рейнер М. Деформация и течение. Гостоптехиздат, М., 1963.
3. Упругость и неупругость металлов. Сб. переводов под ред. Вонсовского С.В. ИЛ, 1954.
4. Горский В.С. Советская физика, № 8, 1985.
5. Успехи физики металлов. Сб., т.1. Metallurgizdat, 1956.
6. Сорокин Е.С. К вопросу неупругого сопротивления строительных материалов при колебаниях. Госстройиздат, 1954.
7. Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. Госстройиздат, 1960.
8. Shcherban E.M., Stel'makh S.A., Efimenko E.A. Deformability and features of destruction of centrifuged concrete during shock loads. AIP Conference Proceedings 2188, 060002 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5138471>.
9. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Sysoev A.K. Influence of type of filler and dispersive reinforcement on the nature of structured formation and deformative properties of vibrocentrifuged concrete. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 753 022014; <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/2/022014>.
10. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Prokopov A.Yu. Features of change in strength and modulus of elasticity of various layers of vibrocentrifuged fiber-reinforced concrete

- columns of annular section. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 687 022009; <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/2/022009>.
11. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods. Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2020. – № 1 (45). – pp. 6–14.
  12. Стельмах С.А., Щербань Е.М. Сравнение стойкости к ударным нагрузкам опытных образцов вибрированного и центрифугированного тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/56SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
  13. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Ванян С.С., Евсюков К.К., Зарецкий А.В., Коржаева Е.Э. Особенности изменения прочностных и деформативных характеристик обычного и модифицированного центрифугированных бетонов при циклическом замораживании и оттаивании // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, <https://esj.today/PDF/62SAVN619.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
  14. Murtazaev S.-A.Y., Mintshev M.S., Saydumov M.S., Aliev S.A. Strength and strain properties of concrete, comprising filler, produced by screening of waste crushed concrete. Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. № 4. pp. 32–44.
  15. Murtazaev S.A.Y., Saidumov M.S., Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Bataev D.K.S. Fine-grained cellular concrete creep analysis technique with consideration for carbonation. Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. № 4. pp. 233–245.
  16. Федотов А.Н. Современные средства бурения шпуров и скважин при проведении горных выработок. Изд. ЦИНТИ, Алма-Ата, 1958.
  17. Тимофеев О.В. Исследование разрушения горных пород крупным сколом при ударном приложении нагрузки. Канд. дисс. Ленинградский горный институт, 1956.
  18. Борисов А.А. Разрушение углей и горных пород ударной нагрузкой. Сб. 2 «Расчеты, конструирование и испытание горных машин». Углетехиздат, 1955.
  19. Геронтьев В.И. Предварительные результаты и основные направления теоретических и экспериментальных исследований разрушения углей ударной нагрузкой. Труды совещания по координации исследований в области отделения от массива углей и пород. Изд. АН СССР, 1954.
  20. Геронтьев В.И., Кальницкий Я.Б., Берсенев В.С. Некоторые итоги исследований разрушения углей в массиве ударной нагрузкой. Сб. «Вопросы разрушения и давления горных пород». Углетехиздат, 1955.
  21. Желудев И.С. Изучение процесса разрушения горных пород при испытаниях на ударную нагрузку при помощи пьезоэлектрического датчика. Труды института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР, вып. 13, 1958.
  22. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. Госстройиздат, М., 1970.
  23. Девятко Л.И., Дудин В.Ф. Об оценке потерь энергии при ударе в процессе разрушения горной породы. «Нефть и газ», № 9, 1961.
  24. Девятко Л.И., Дудин В.Ф. Сравнение потерь энергии при взаимодействии зубьев различной формы с горной породой. «Нефть и газ», № 8, 1963.
  25. Watstein D. Title № 49–52, J. Amer. Concrete Inst., vol. 4, № 8, 1958.
  26. Александрин И.П. Прочность бетона в зависимости от рода каменного заполнителя. Сб. «Прочность, упругость и ползучесть бетона». Госстройиздат, 1941.

**Al'-Khadzh Makhmud Abdo Khasan**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: mahmooood@list.ru

**Korzhaeva Ekaterina Eduardovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: hett3351@gmail.com

**Yanovskaya Alina Vadimovna**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: kgweny@gmail.com

**Kukaev Anzor Khamidovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: kukaevanzor@mail.ru

**Padiev Islam Daudovich**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: islampadiev222@icloud.com

**Osmanov Ashyr**

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia  
E-mail: ashirosman17@yandex.ru

## **Features of the mechanics of the destruction of concrete components of reinforced concrete structures under dynamic impact**

**Abstract.** Reinforced concrete building structures, especially those used in transport facilities, are subject to significant dynamic impacts. They are characterized by relatively large internal friction, therefore, taking it into account when calculated for dynamic loads can give a significant economic effect. Many experimental data suggest that internal friction primarily depends on structural imperfections of materials. Even with respect to the materials of the same name, for example, concrete, it is hardly possible to unambiguously characterize the degree of absorption of mechanical energy by them of dynamic influences, given the use of components with different properties in the preparation of concrete and not always normal conditions under which the processes of their structure formation occur. These factors give materials a macro- and microscopic heterogeneity, closely related to the following phenomena that generate internal friction during dynamic processes. Internal friction is caused by local microscopic or submicroscopic fractures that occur during residual deformation of the seal. These are deformations that appear instantly with loading (as opposed to the elastic aftereffect) and cannot be restored (as opposed to instantaneous or acoustic elasticity). The value and consideration of internal friction in dynamic problems is primarily determined by the look at the behavior of materials in the dynamics of structures, in contrast to statics. As a result, internal friction is one of the most important dynamic characteristics of the material and structure. The more it is, that is, the more energy is absorbed by the material under cyclic influences, the ceteris paribus the construction is more beneficial for the perception of dynamic loads.

**Keywords:** concrete; aggregates for concrete; reinforced concrete structures; transport construction; dynamic effects; impact loads