

ISSN 2518-170X (Online),  
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
Қ. И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

# Х А Б А Р Л А Р Ы

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казакский национальный исследовательский  
технический университет им. К. И. Сатпаева

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
Kazakh national research technical university  
named after K. I. Satpayev

### ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР СЕРИЯСЫ



### СЕРИЯ ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



### SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

**2 (428)**

НАУРЫЗ – СӘУІР 2018 ж.  
МАРТ – АПРЕЛЬ 2018 г.  
MARCH – APRIL 2018

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.  
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of geology and technical sciences scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of geology and technical sciences in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of geology and engineering sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді геология және техникалық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по геологии и техническим наукам для нашего сообщества.*

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі

**И.К. Бейсембетов**

Бас редакторының орынбасары

**Жолтаев Г.Ж.** проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Қазақстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Агабеков В.Е.** академик (Беларусь)  
**Алиев Т.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Қырғыстан)  
**Беспаев Х.А.** проф. (Қазақстан)  
**Бишимбаев В.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Тәжікстан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (АҚШ)  
**Ерғалиев Г.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Жуков Н.М.** проф. (Қазақстан)  
**Кенжалиев Б.К.** проф. (Қазақстан)  
**Қожахметов С.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Ресей)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Қазақстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Ресей)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Мұхамеджанов М.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Нигматова С.А.** проф. (Қазақстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Ракишев Б.Р.** проф., академик (Қазақстан)  
**Сейтов Н.С.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Сейтмуратова Э.Ю.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (АҚШ)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2018

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. э. н., профессор, академик НАН РК

**И. К. Бейсембетов**

Заместитель главного редактора

**Жолтаев Г.Ж.** проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абаканов Т.Д.** проф. (Казахстан)  
**Абишева З.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Агабеков В.Е.** академик (Беларусь)  
**Алиев Т.** проф., академик (Азербайджан)  
**Бакиров А.Б.** проф., (Кыргызстан)  
**Беспаяев Х.А.** проф. (Казахстан)  
**Бишимбаев В.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Буктуков Н.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Булат А.Ф.** проф., академик (Украина)  
**Ганиев И.Н.** проф., академик (Таджикистан)  
**Грэвис Р.М.** проф. (США)  
**Ергалиев Г.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Жуков Н.М.** проф. (Казахстан)  
**Кенжалиев Б.К.** проф. (Казахстан)  
**Кожаметов С.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Конторович А.Э.** проф., академик (Россия)  
**Курскеев А.К.** проф., академик (Казахстан)  
**Курчавов А.М.** проф., (Россия)  
**Медеу А.Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Мухамеджанов М.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Нигматова С.А.** проф. (Казахстан)  
**Оздоев С.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Постолатий В.** проф., академик (Молдова)  
**Ракишев Б.Р.** проф., академик (Казахстан)  
**Сейтов Н.С.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Сейтмуратова Э.Ю.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Степанец В.Г.** проф., (Германия)  
**Хамфери Дж.Д.** проф. (США)  
**Штейнер М.** проф. (Германия)

**«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».**

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2018

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, academician of NAS RK

**I. K. Beisembetov**

Deputy editor in chief

**Zholtayev G.Zh.** prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d :

**Abakanov T.D.** prof. (Kazakhstan)  
**Abisheva Z.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Agabekov V.Ye.** academician (Belarus)  
**Aliyev T.** prof., academician (Azerbaijan)  
**Bakirov A.B.** prof., (Kyrgyzstan)  
**Bespayev Kh.A.** prof. (Kazakhstan)  
**Bishimbayev V.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Buktukov N.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Bulat A.F.** prof., academician (Ukraine)  
**Ganiyev I.N.** prof., academician (Tadjikistan)  
**Gravis R.M.** prof. (USA)  
**Yergaliev G.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Zhukov N.M.** prof. (Kazakhstan)  
**Kenzhaliyev B.K.** prof. (Kazakhstan)  
**Kozhakhmetov S.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kontorovich A.Ye.** prof., academician (Russia)  
**Kurskeyev A.K.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Kurchavov A.M.** prof., (Russia)  
**Medeu A.R.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Muhamedzhanov M.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Nigmatova S.A.** prof. (Kazakhstan)  
**Ozdoev S.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Postolatii V.** prof., academician (Moldova)  
**Rakishev B.R.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Seitov N.S.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Seitmuratova Ye.U.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Stepanets V.G.** prof., (Germany)  
**Humphery G.D.** prof. (USA)  
**Steiner M.** prof. (Germany)

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.**

**ISSN 2518-170X (Online),**

**ISSN 2224-5278 (Print)**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,  
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2018

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev  
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

**NEWS**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 428 (2018), 212 – 219

**O. Dovzhenko, V. Pogrebnyi, I. Yurko**

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine.

E-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com, V.V.Pogrebnyi@gmail.com, ilona.yurko@gmail.com

**SHEAR FAILURE FORM REALIZATION IN CONCRETE**

**Abstract.** The shear is considered as concrete and reinforced concrete elements failure form, which differ significantly in constructive solutions, load transfer schemes and stress-strain state on shear surface. Conditions and criterion for shear failure form realization in concrete are formulated. As conditions, it is assumed that plastic deformation is localized in thin layers on failure surface and that shear stresses  $\tau_n$  are reached  $\sqrt{2/3}$  from their maximum value. Criterion for shear realization in structurally inhomogeneous materials with different resistance to compression and tension is simultaneous limit state existence over entire shear surface. To determine shear realization boundary in concrete, concrete plate destruction process under axial compression is analyzed. «Shear – tear» failure transition region existence is substantiated. Lower concrete destruction boundary by shearing is located in mixed region stresses close to axial compression, and upper boundary is in uneven biaxial compression zone. Kinematic concrete elements destruction mechanism under shear is considered as limit macroscopic structure. Rigid-plastic body concept is used. Plastic deformation is thought to be concentrated in thin layers on fracture surface, and adjacent areas are considered as hard disks. Sufficiently general technique for calculating strength based on mathematical plasticity theory apparatus, variational method with virtual velocities principle application, discontinuous solutions, and upper ultimate load magnitude estimate is proposed. Externally brittle destruction character cannot serve as obstacle to plasticity theory application. As plastic potential, concrete strength condition in revolution paraboloid form is adopted, which has fairly simple notation in tensor form and experimental confirmation. Strength problems solution is to write down virtual velocity principle functional for corresponding kinematic fracture mechanism. Functional is investigated for an extremum, which is equivalent to boundary value problem solution. Stationary state achievement by functional corresponds to plastic deformation power minimum. As an example, solution is given to strength problem of bent fixed from one end concrete (reinforced concrete) plate, simulating keyed joints. Realized kinematic mechanism under shear opens fracture surface direction variation possibility by creating lateral compression, which practical interest is.

**Key words:** concrete, shear failure form, conditions, criterion, realization mechanism, calculation methods.

УДК 624.044.3:539.42:691.32

**О. А. Довженко, В. В. Погребной, И. А. Юрко**

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Украина

**РЕАЛИЗАЦИЯ СРЕЗОВОЙ ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ В БЕТОНЕ**

**Аннотация.** Рассматривается срез как форма разрушения бетонных и железобетонных элементов, существенно различающихся конструктивными решениями, схемами передачи нагрузки и напряженно-деформированным состоянием на поверхности сдвига. Сформулированы условия и критерий реализации срезовой формы разрушения в бетоне. В качестве условий приняты обязательность локализации пластической деформации в тонких слоях на поверхности разрушения и достижение сдвиговыми напряжениями  $\tau_n$  уровня  $\sqrt{2/3}$  от их максимального значения. Критерием реализации среза в структурно-неоднородных материалах с различным сопротивлением сжатию и растяжению является одновременное существование предельного состояния по всей поверхности сдвига. Для определения границы реализации среза в бетоне

проанализирован процесс разрушения бетонной пластины при осевом сжатии. Обосновано существование переходной области разрушения «сдвиг-отрыв». Нижняя граница разрушения бетона путем среза расположена в области смешанных напряженных состояний, приближенных к осевому сжатию, а верхняя – в зоне неравномерного двухосного сжатия. Кинематический механизм разрушения бетонных элементов при срезе рассматривается как предельная макроскопическая структура. Используется концепция жестко-пластического тела. Пластическая деформация считается сосредоточенной в тонких слоях на поверхности разрушения, а соседние области рассматриваются как жесткие диски. Предложена достаточно общая методика расчета прочности на основе математического аппарата теории пластичности, вариационного метода с применением принципа виртуальных скоростей, разрывных решений и верхней оценки величины предельной нагрузки. Внешне хрупкий характер разрушения не может служить препятствием применения теории пластичности. В качестве пластического потенциала принято условие прочности бетона в виде параболоида вращения, имеющее достаточно простую запись в тензорной форме и экспериментальное подтверждение. Решение задач прочности сводится к записи функционала принципа виртуальных скоростей для соответствующего кинематического механизма разрушения. Функционал исследуется на экстремум, что эквивалентно решению краевой задачи. Достижение функционалом стационарного состояния соответствует минимуму мощности пластической деформации. В качестве примера приведено решение задачи прочности изгибаемой защемленной с одного конца бетонной (железобетонной) пластины, моделирующей работу шпонок стыкового соединения. Реализуемый кинематический механизм при срезе открывает возможность варьирования направления поверхности разрушения путем создания бокового обжатия, что представляет практический интерес.

**Ключевые слова:** бетон, срезовая форма разрушения, условия, критерий, механизм реализации, методика расчета.

**Введение.** Бетонные и железобетонные элементы, работающие на восприятие усилий среза, получили широкое распространение в практике, что предопределяет необходимость их дальнейшего изучения. Они существенно отличаются конструктивными решениями, схемами передачи нагрузки, а также спецификой напряженно-деформированного состояния зоны сдвига. К настоящему времени отсутствует достаточно общая методика расчета прочности таких элементов, позволяющая наиболее полно учесть их особенности и влияние определяющих факторов. Ее создание на основе единой теоретической основы является актуальной задачей.

Цель данной работы – определение условий, критерия и механизма реализации среза в бетоне для разработки общей методики расчета на основе механики деформируемого твердого тела.

**Методика исследования.** Достижение поставленной цели осуществляется путем анализа явления среза в бетоне [1-4]. Рассматриваются картина разрушения и напряженно-деформированное состояние зоны сдвига. Для решения уравнений механики деформируемого твердого тела [5-7], которое в общем виде представляет собой сложную задачу, введено ряд упрощений [8, 9]. Оценка прочности при срезе проводится с использованием вариационного метода [10], принципа виртуальных скоростей и разрывных решений [8, 9], которые позволяют достаточно просто получить результат, соответствующий минимуму мощности пластической деформации [8-11].

**Результаты.** *Формы разрушения бетона.* Реализуемые в упруго-пластических материалах, к числу которых относится бетон, формы разрушения отображают макромеханическое поведение тел в предельном состоянии и оказывают определяющее влияние на величину предельной нагрузки [12]. Они существенно отличаются между собой и как составляющие механизмов разрушения требуют применения разных теорий, концепций и подходов к решению задач прочности. При отрыве отдельные части элемента перемещаются в перпендикулярном к поверхности разрушения направлении, оставаясь малодеформированными. Для раздробления характерно зональное размещение пластической деформации в области разрушения. Поведение тел при срезовой форме имеет свои особенности, исследовав которые можно сформулировать условия, определить механизм и границы ее реализации, разработать методику расчета, учитывающую специфику среза.

Срез как форма разрушения характеризуется перемещением одной части элемента вдоль другой и для пластических тел является продолжением наблюдаемой визуальной направленной интенсивной деформации в зоне сдвига (скольжения) [8, 11]. Пластические свойства бетонов ограничены и зависят от напряженного состояния элемента [12]. При двухосном сжатии они имеют определяющее значение, в условиях смешанных напряженных состояний их влияние существенно снижается, а размеры областей пластичности уменьшаются. Внешне хрупкое лавинообразное



Рисунок 1 – Разрушение бетонной балки путем среза (а) и отрыва (б)

разрушение при срезе в целом ряде случаев визуально практически не отличается от разрушения путем отрыва (рисунок 1). Вместе с тем, фиксируемая в опытах интенсивность деформации бетона вблизи поверхности разрушения при срезе и отрыве имеют принципиальные различия.

*Границы срезовой формы разрушения.* Расположение границы среза зависит от сопротивления материала осевому сжатию и растяжению, а также его структурных особенностей. Анализ результатов исследований [1-4, 11, 13] указывает на то, что срез имеет место в бетоне плоско-напряженных элементов при двухосном неравномерном сжатии, одноосном сжатии, а также смешанных напряженных состояниях, приближенных к осевому сжатию. С целью детального изучения явления среза целесообразно рассмотреть поведение элементов на границе его реализации в переходной области «срез-отрыв», где при сравнении двух форм более ярко видны их отличия и характерные особенности. К переходной области относится разрушение при одноосном сжатии (рисунок 2, а, б), выбор которого для исследования также обоснован наличием многочисленного экспериментального материала [11, 13-15].

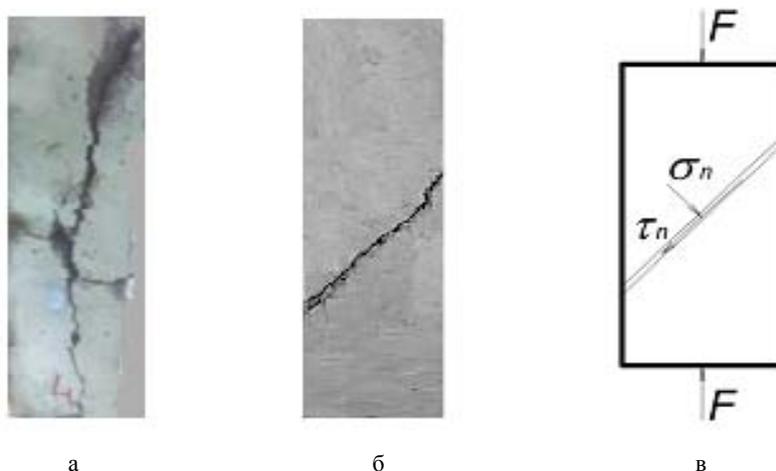


Рисунок 2 – Разрушение бетонных призм путем отрыва (а) и среза (б), локализация пластической деформации на поверхности сдвига (в)

Как известно область срезовой формы разрушения определяется существованием реальных плоскостей скольжения [8, 16]. Для пластических материалов ее границы расположены в интервалах двухосных сжатия и растяжения [8]. Однако для бетона указанная область не столь широка.

*Переходная область разрушения «отрыв-срез».* При одноосном сжатии бетонного элемента случай его разрушения существенно зависит от соотношения упругой кристаллической и пластической гелевой составляющих цементного камня. С увеличением первой прочность бетона повышается, а деформативность уменьшается. В перпендикулярном сжатию направлении возникают структурные растягивающие напряжения вокруг пор и пустот, концентрация которых приводит к возникновению микротрещин уже на начальных стадиях нагружения. При напряжениях, превышающих нижнюю границу их образования, микротрещины умеренно развиваются.

С достижением верхней границы трещинообразования (границы между стадиями умеренного и интенсивного роста трещин) процесс носит незатухающий характер и происходит разрушение от

отрыва [14, 15]. С преобладанием гелевой (пластической) составляющей разрушение тел преимущественно происходит путем среза. Возможность развития и локализации пластической деформации определяется разницей между верхней и нижней границей образования микротрещин. С увеличением этой разницы пластические свойства материала возрастают, – вероятность срезовой формы разрушения повышается. В случае незначительной протяженности зон перенапряжений местные напряжения уменьшаются, происходит сосредоточение пластичной деформации в тонких слоях на поверхности разрушения (рисунок 2, в) и реализуется срез [11, 13].

Таким образом, при одноосном сжатии существует переходная область разрушения «срез-отрыв». При отрыве наблюдается большая нестабильность поведения и увеличение разброса прочности элементов. При этом средняя величина предельной нагрузки соответствует нагрузке при срезе. То есть оценка прочности на основе срезовой формы разрушения в условиях одноосного сжатия и во всей переходной области предпочтительна.

*Условия реализации среза.* Одним из обязательных условий реализации среза в упруго-пластических материалах является локализация пластической деформации в тонких слоях на поверхностях скольжения, что определяет механизм разрушения тел.

В качестве условия пластичности рекомендуется использовать условие прочности Баландина–Гениева [16] (рисунок 3), имеющее удовлетворительную сходимость с данными экспериментов и простую запись в тензорной форме.

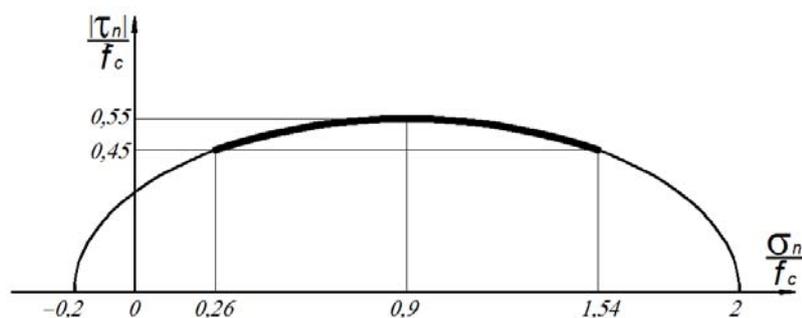


Рисунок 3 – Условие прочности бетона при соотношении сопротивлений растяжению и сжатию  $f_{ct}/f_c=0,1$ ; ———— – интервал реализации среза

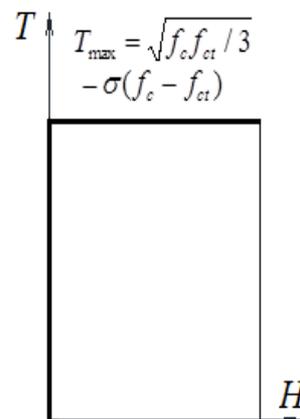


Рисунок 4 – Диаграмма «интенсивность касательных напряжений  $T$  – интенсивность скоростей деформации сдвига  $H$ » для бетона

Интервал реализации срезовой формы разрушения бетона предлагается ограничивать точками, в которых значения углов  $\psi$  касательной к огибающей кругов Мора (рисунок 3) соответствуют их величинам при осевом сжатии и растяжении пластических материалов. Указанное ограничение определяет граничный уровень напряжений на площадках сдвига.

Принята концепция жестко-пластического тела (рисунок 4).

*Механизм разрушения и критерий его реализации.* Для использования теории пластичности важно рассмотреть особенности процесса развития предельного состояния деформируемого твердого тела. Этот процесс приводит к формированию макроскопической структуры, так называемого кинематического механизма, развитие которого обусловлено достижением предельного состояния тела в наиболее напряженной и деформированной его области (области разрушения), где локализуются большие необратимые деформации, за счет которых части, разделенные поверхностью разрушения, приобретают возможность взаимного движения [10-12]. При пластическом кинематическом механизме процесс деформирования проходит постепенно. Характерной его чертой является одновременность существования предельного состояния по всей области разрушения, что невозможно при хрупком кинематическом механизме с доминирующим уровнем напряжений в зоне растяжения и формированием трещины отрыва. Указанное поведение пластического кинема-

тического механизма обусловлено достаточным ресурсом пластических деформаций деформируемого твердого тела, для которого может быть использована диаграмма упруго-пластического или жестко-пластического тела с ограниченным интервалом пластичности.

При неоднородных напряженных состояниях поверхность разрушения состоит из площадок сдвига и отрыва. Однозначно определить преобладание отрывной или срезовой формы достаточно сложно. Возникает необходимость в качественном критерии использования теории пластичности. Предложена следующая формулировка критерия ее применимости: существование условия пластичности (прочности) по всей области предельного состояния бетона, полностью пересекающей тело, развитие которой необходимо для превращения его в механизм. Одновременность предельного состояния в зонах растяжения и сжатия достигается на стадии предшествующей сдвигу при опережении уровнем напряжений сжатия уровня напряжений растяжения. При этом внешне хрупкий характер разрушения не является препятствием для реализации среза и применимости теории пластичности.

*Расчет прочности при срезе.* Достаточно общая и точная теория расчета должна объяснять физическую сущность широкого круга известных явлений, предсказывать новые зависимости и свойства, описывать с необходимой точностью соотношения параметров происходящих процессов.

В Полтавском национальном техническом университете имени Юрия Кондратюка разработана методика расчета прочности на основе теории идеальной пластичности бетона [12, 16], дополненная ограничениями её применимости, рассматривающая стадию разрушения элементов, расчетные схемы, наглядно отображающие кинематику механизма разрушения, и использующая вариационный метод определения предельной нагрузки.

Расчет предельной нагрузки конкретного элемента связан с заданием его кинематического механизма разрушения и записью функционала принципа виртуальных скоростей [9, 10, 12].

Функционал для трехосных напряженных состояний имеет вид

$$I = \int_{S'_i} m \left[ B^2 + 0,25 (\Delta V'_t / \Delta V'_n)^2 \right] \Delta V'_n dS - \int_{S_f} f_i V'_i dS, \quad (1)$$

где  $m = f_c - f_{ct}$ ;  $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$ ;  $\chi = f_{ct} / f_c$ ,  $f_i, V'_i$  – задаваемые силы на поверхности тела  $S_f$  и кинематически возможные скорости;  $S'_i$  – поверхность разрушения;  $\Delta V'_n, \Delta V'_t$  – разрывы (скачки) нормальной и касательной к поверхности  $S'_i$  составляющих скорости.

Для плоских напряженных состояний первый член выражения (1) записывается

$$I_i = \int_{S'_i} m \left[ 2B \left( 1 + 0,25 (\Delta V'_t / \Delta V'_n)^2 \right)^{0,5} - 1 \right] \Delta V'_n dS. \quad (2)$$

На действительном напряженном состоянии функционал  $I$  равен нулю. Величина предельной нагрузки находится из условия минимума мощности пластической деформации путем варьирования геометрических параметров поверхности  $S_i$  и отношения скоростей движения дисков.

В качестве примера рассмотрим задачу прочности защемленной с одного конца изгибаемой пластины, моделирующей работу шпонок в соединениях элементов [4, 18-20]. Кинематическая схема разрушения пластинки представлена на рисунке 5. Неизвестными параметрами данной задачи является предельная нагрузка  $q_u$ , углы наклона  $\alpha$  площадки  $AB$  и  $\beta$  площадки  $BC$  к вертикали (где  $ABC$  – поверхность разрушения), отношение скоростей  $k = V_x / V_y = \operatorname{tg}(\psi + \beta)$  движения дисков I и II (рисунок 5).

Обжатие  $\sigma$  учитывается как внешняя нагрузка, равномерно распределенная по высоте пластины, а влияние армирования в железобетонном элементе – путем приложения в уровне расположения арматуры ( $A_s, A_{sw}, A'_s$ ) сжимающей внешней силы [21].

Формула для определения предельной нагрузки записывается в виде



#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Falcon J.M. (2012) Experimental research on reinforced concrete dapped end beams: shear strength and serviceability behavior. Proc. of the 9<sup>th</sup> fib. International PhD Symposium in Civil Engineering, Karlsruhe, Germany. P. 61-66.
- [2] Lee Ch.H., Chin W.J., Choi E.S., Kiml Y.J. (2011) An Experimental Study on the Joints in Ultra High Performance Precast Concrete Segmental Bridges. Journal of the Korea Concrete Institute. Vol. 23(2). P. 235-244.
- [3] Kaneko Y., Mihashi H., Ishihara S. (2004) Shear failure of plain concrete in strain localized area. Proceeding of the Fifth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, Vail, Colorado, USA. Vol.1. P. 383-390.
- [4] Dovzhenko O., Pohribnyi V., Yurko I., Shostak I. (2017) The bearing capacity experimental determination of the keyed joints models in the transport construction. Proc. of the 6<sup>th</sup> fib. International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings». Kharkiv, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602011>
- [5] Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. (2001) Механика материалов и конструкций. Москва, Россия. 408 с. ISBN 5217029749.
- [6] Пановко Я.Г. (1985) Механика деформируемого твердого тела. Современные концепции, ошибки и парадоксы. Москва, Россия. 288 с. (2017). Изд. 2. ISBN 978-5-9710-4173-3.
- [7] Работнов Ю.Н. (1980) Механика деформируемого твердого тела. Москва, Россия. 712 с.
- [8] Качанов Л. М. (1969) Основы теории пластичности. Москва, Россия. 420 с. (2013). 426 с. ISBN 5458436059, 9785458436052.
- [9] Колмогоров В. Л. (1986) Механика обработки металлов давлением. Москва, Россия. 689 с.
- [10] Mitrofanov V.P. (2006) The theory of perfect plasticity as the elementary mechanic pseudo-plastic ultimate state of concrete: bases, limitations, practical aspects. Improving Proc. of the 2<sup>nd</sup> fib. Congress, Naples, Italy P. 7-6.
- [11] Nielsen M.P. Hoang L.C. (2011) Limit Analysis and Concrete Plasticity. CRC Press, Taylor & Francis Group. 3<sup>rd</sup> ed. 669 p. ISBN 9781439803967.
- [12] Митрофанов В.П., Довженко О.О., Погребной В.В. (2002) Про можливість застосування передумови про ідеальну пластичність до бетону [Pro mozhlivyst' zastosuvannya peredumovy pro ideal'nu plastychnist' do betonu]. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса, Україна. №7. С. 118-124.
- [13] Сытник В.И., Иванов Ю.А. (1967) Экспериментальные исследования прочности и деформативности высокопрочных бетонов. Высокопрочные бетоны. Киев, Украина. С. 54-72.
- [14] Евдокимова Т.С. (2017) Наряженно-деформированное состояние и расчет прочности кососжимаемых фибро-железобетонных элементов: дис. ... канд. наук: 05.23.01. Санкт-Петербург, Россия. 150 с.
- [15] Ватуля Г.Л., Гарагуля С.І., Петренко Д.Г., Биченок І.В. (2014) Дослідження деформативності бетонних колон методом глибинної тензометрії [Doslidzhennya deformatyvnosti betonnykh kolon metodom hlybunnoyi tenzometriyi]. Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво). Вип. 3 (42), Т.2. Полтава, Україна. С. 30-36.
- [16] Гениев Г. А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. (1974) Теория пластичности бетона и железобетона. Москва, Россия. 316 с.
- [17] Pedersen R.H. Herlev M.E. (2015) Shear capacity of construction-friendly element joints. Bachelor Thesis, Department of Civil Engineering, Denmark.
- [18] Svejgaard J. (2015) Test and analysis of keyed shear joints between precast concrete walls - influence of indent area on the load bearing capacity. Master's thesis, Department of Civil Engineering, Denmark.
- [19] Sorensen J.H, Hoang L.C, Olesen J.F, Fischer G. (2017) Test and analysis of a new ductile shear connection design for RC shear walls. Structural Concrete. 18:189–204. <https://doi.org/10.1002/suco.201600056>.
- [20] Jorgensen H.B, Hoang L.C. (2015) Load carrying capacity of keyed joints reinforced with high strength wire rope loops. Proceedings of fib symposium: Concrete - Innovation and Design, Copenhagen, Denmark. 13 p.
- [21] Довженко О.А., Погребной В.В., Чурса Ю.В. (2017) Расчет прочности шпоночных соединений элементов перекрытия конструктивной системы «АРКОС». Промышленное и гражданское строительство. № 2. Москва, Россия. С. 70-74.

**О. А. Довженко, В. В. Погребной, И. А. Юрко**

Юрий Кондратюк атындағы Полтава ұлттық техникалық университеті, Полтава, Украина

#### **БЕТОНДАҒЫ БҰЗЫЛЫСТАРДЫҢ КЕСІНДІ ҚАЛЫПТАРЫН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ**

**Аннотация.** Кесінді ығысу бетіндегі кернеулік түр өзгерту күйі, жүктемені тарату мен, конструктивтік шешімдерімен айрықша ажыратылатын бетонды және темірбетонды элементтерді бұзу қалыптары ретінде

карастырылады. Бетондағы бұзылыстың кесінді пішіндерін жүзеге асыру шарттары мен критерийлері тұжырымдалған. Шарт ретінде пластикалық деформацияның бұзылыс бетінде жұқа қабаттарда орналасу міндеттілігі мен ығысу кернеуімен максималды мәніндегі деңгейге жетуі қабылданған. Сығу мен созуға кедергісі әр түрлі құрылымдық біртекті емес материалдардағы кесіндіні жүзеге асыру критерийі ығысу бетінің барлық бөліктерінде бір уақытта шектік күйінің болуы болып табылады. Бетондағы кесіндіні жүзеге асыру шекарасын анықтау мақсатында осьтік сығу кезіндегі бетондық платинаның бұзылу үрдісі талданған. Бұзылудың «ығысу-жұлу» аралық бөлігінің болуы негізделген. Бетонның кесінді арқылы бұзылуының төменгі шекарасы кернеулі күйі аралас аймақтарда, ал жоғарғысы – біртекті емес екі осьтік сығу аймағында орналасқан. Кесу кезіндегі бетондық элементтердің бұзылуының кинематикалық механизмі шектік макроскопиялық құрылым ретінде қарастырылады. Қатты-пластикалық дене концепциясы пайдаланылады. Пластикалық деформация бұзылу бетінің жұқа қабаттарында жинақталған болып есептелінеді, ал көршілес аймақтар қатты дисктер ретінде қарастырылады. Созылымдылық теориясының математикалық аппараты, виртуалды жылдамдықтар қолданылған вариациялық әдіс, үзіліс шешімдері мен шектік кернеу мәнінің жоғарғы бағасы негізінде беріктікті есептеудің жалпы әдістемесі ұсынылған. Бұзылудың сырттай морт сипаттамасы созылымдылық теориясын қолдануға кедергі бола алмайды. Пластикалық потенциал ретінде тензорлық түрде қарапайым жазбасы мен тәжірибелік дәлелі бар айналу параболоиды түріндегі бетон беріктігі шарты қабылданған. Беріктік мәселелерін шешу бұзылудың сәйкес кинематикалық механизмі үшін виртуалды жылдамдықтар принципі функционалын жазуға саяды. Функционал экстремумға зерттеледі, бұл шеттік есепті шешуге эквивалентті болып табылады. Функционалдың стационарлы күйге жетуі созылымдылық деформациясы қуатының минимумына сәйкес келеді. Мысал ретінде, түйістірілген қосынды кілтектері жұмысын модельдейтін, бір шетінен қысылған иілгіш бетон (темірбетон) пластинасының беріктігі есебінің шешімі берілген. Кесіндідегі жүзеге асырылатын кинематикалық механизм бүйірлік сығу арқылы бұзылу бетінің бағытын түрлендіру мүмкіндігін береді, бұл тәжірибелік маңызға ие.

**Түйін сөздер:** бетон, бұзылудың кесінді түрі, шарттары, критерий, жүзеге асыру механизмі, есептеу әдістемесі.

#### **Сведения об авторах:**

Довженко Оксана Александровна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, o.o.dovzhenko@gmail.com

Погребной Владимир Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Железобетонных и каменных конструкций и сопротивления материалов» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, V.V.Pohribnyi@gmail.com

Юрко Илона Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских строений» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, ilona.yurko@gmail.com

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

**ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)**

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 02.04.2018.

Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

16,9 п.л. Тираж 300. Заказ 2.