

УДК 624.046.2

ГЛАГОЛЕВ А.В.

## **РАБОТА НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С ЖЕСТКОЙ АРМАТУРОЙ**

*Рассмотрены результаты экспериментального исследования прочности железобетонных балок с жесткой арматурой. Установлен характер напряженного состояния и разрушения по наклонным сечениям. Напряжения в стенке стального профиля достигали предела текучести. Напряжения в нижней гибкой арматуре не достигали предельных значений. Совместная работа бетона и жесткой арматуры наблюдалась вплоть до исчерпания несущей способности балок. Расслоения конструкций по контакту бетона и стального профиля не отмечено. Появление критических наклонных трещин наблюдалось при нагрузке около 80% от разрушающей. Способ передачи внешней нагрузки и меняющийся пролет среза не оказали влияния на характер трещинообразования и разрушения образцов. Разрушение опытных образцов балочных элементов происходило по наклонным сечениям под углом 45°. Приведены рекомендации по определению продавливающих усилий.*

**Ключевые слова:** железобетонные балки с жесткой арматурой, разрушение по наклонным сечениям, продавливание балок, продавливающее усилие.

С развитием строительной индустрии в монолитном строительстве все большее внимание обращается на железобетонные конструкции с жесткой арматурой. Эти конструкции, обладая повышенной несущей способностью и достаточной огнестойкостью, имеют хорошие перспективы использования.

Жесткая арматура наиболее эффективна в строительстве монолитных и сборно-монолитных каркасных зданий, большепролетных перекрытий, перекрытий под большие распределенные и сосредоточенные нагрузки при ограниченной строительной высоте конструкций и нестандартных пролетах [1].

Актуальная задача удешевления конструкций и экономия стали связана с рациональным использованием арматурных сталей. Надежность железобетонных конструкций на продавливание при действии сосредоточенной силы рассматривалась в работах [2,3].

Применительно к конструкциям с жесткой арматурой эта задача решается при использовании более эффективных видов стальных тонкостенных профилей – прокатных, штампованных, гнутых и сварных. Тонкостенные профили могут обеспечивать более рациональное распределение стали в поперечном сечении изгибаемого элемента.

Ранее проведенные исследования железобетонных конструкций с жесткой арматурой показали, что при однократном статическом нагружении железобетонных изгибаемых элементов с жесткой арматурой, обеспеченной анкерровкой, и имеющих дополнительную поперечную арматуру, наблюдается совместная работа бетона и жесткой арматуры вплоть до разрушения по нормальным или наклонным сечениям. Отмечалась аналогия характера разрушения элементов с жестким и гибким армированием [5,6].

Более поздние исследования ставили задачей детально изучить значения усилий в жесткой арматуре и бетоне, развивающиеся при разрушении по наклонным сечениям, исследовать по всей ли зоне разрушения по наклонному сечению в стенке стального профиля развиваются деформации текучести, достигается ли текучесть в верхнем сжатом стальном поясе, каковы напряжения в нижнем стальном поясе и в нижней гибкой арматуре. Каково влияние пролета среза на характер трещинообразования и разрушения [7-9].

Для проведения исследования прочности были запроектированы две серии опытных образцов железобетонных балок прямоугольного сечения (40х23 см) с жесткой арматурой. Образцы конструировались так, чтобы прочность по нормальному сечению была больше, чем прочность по наклонному сечению. Анкеровка жесткой и гибкой арматуры надежно обеспечивалась [6].

Для армирования балок было разработано три типа жесткой арматуры. Первый и второй типы представляли собой сварные двутавры с симметричными полками, которые отличались между собой только толщиной стенки. Третий тип представлял собой прокатный двутавр №14, располагаемый в нижней зоне сечения. Схему армирования см. рис. 1.

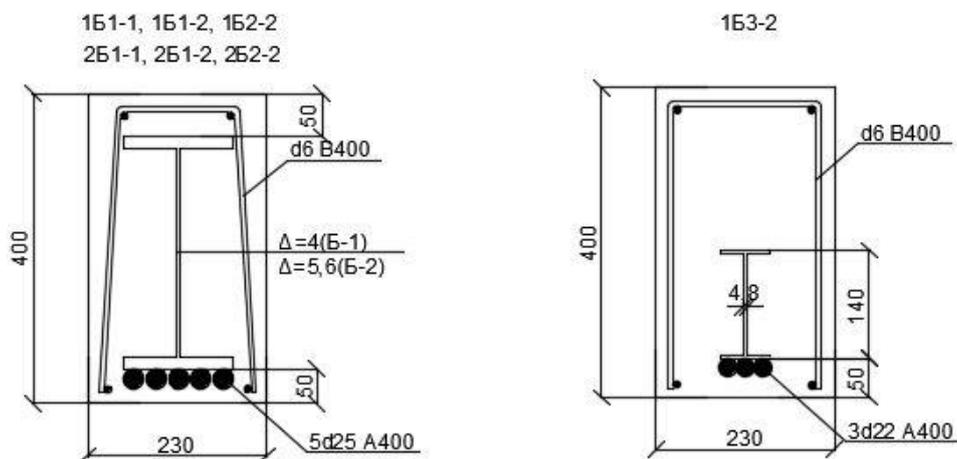


Рисунок 1 - Схема армирования образцов

Для проведения исследования прочности были запроектированы две серии опытных образцов железобетонных балок прямоугольного сечения (40х23 см) с жесткой арматурой. Первая серия образцов предполагала загрузку балок по верхней грани балок (имитировался случай платформенного опирания). Вторая серия образцов предполагала загрузку балок через монолитный выступ (имитировался случай опирания на балку монолитного столба или колонны).

Образцы первой и второй серий отличались не только способом передачи нагрузки, но и пролетом среза –  $a/h_0$ . Первая серия имела пролет среза 1,4 и 1,7, вторая – 1,4 и 1,95 (см. рис. 2).

Для замера деформаций элементов жесткой арматуры при поэтапном нагружении на стенку и полку жесткой арматуры наклеивались тензорезисторные датчики с базой 5 мм. Деформации бетона должны были контролировать тензорезисторные датчики на базе 5 см.

Параметры опытных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные параметры опытных образцов

Марка элемента	Бетон (МПа)			$a/h_0$	$\delta_c$ , см	$Q_p^{оп}$ кН	Руководство	
	R	$R_b$	$R_{bt}$				$Q_p^T$ кН	$Q_p^{оп}/Q_p^T$
1Б1-1(1)	54	44	2,5	1,7	0,4	715	531,2	1,35
1Б1-1(2)						722,5	501,3	1,44
1Б1-2(1)	41,5	31,5	2,1	1,4	0,4	745	471,6	1,58
1Б1-2(2)						755	471,6	1,60
1Б2-2(1)	58,2	49,3	2,95	1,4	0,56	935	664	1,41
1Б2-2(2)						958	668,9	1,43
1Б3-2(1)	53	48,5	2,64	1,4	0,48	573	413,3	1,39



давалась прессом на фрагмент колонны. Это обстоятельство объясняет схожесть схем разрушения образцов, похожесть рисунков трещинообразования, так как это соответствует известным схемам разрушения - от продавливания, (см. рис.3). Продавливаемый участок ограничен точками приложения усилий и критическими наклонными трещинами под углом  $45^0$ . Величина продавливающего усилия определяется по границам критических наклонных трещин из условия прочности наклонных сечений руководства п.п. 30.20 [10].

$$Q \leq 0.8h_{ст} \delta_c R_{аж} + \sum R_{ах} F_x + \sum R_{ах} F_o \sin \alpha + Q_б. \quad (1)$$

Разрушение опытных образцов изгибаемых элементов происходило по наклонным сечениям под углом  $45^0$ . Меняющийся пролет среза не оказал влияния на характер критических трещин и характер разрушения. Напряжения в стенке стального профиля достигали предела текучести. Расслоение конструкций по металлу не наблюдалось. Совместная работа бетона и жесткой арматуры наблюдалась вплоть до исчерпания несущей способности.

Учитывая возможность проявления эффекта продавливания балок сосредоточенной нагрузкой, необходимо проверять эту вероятность расчетом.

### Выводы

В лабораторных условиях удалось создать одинаковые величины усилий в балках справа и слева от точек приложения внешней нагрузки. Поэтому полученная картина разрушения соответствует продавливанию во всех испытанных образцах. Однако на практике невозможно создать одинаковые усилия справа и слева от точки приложения разрушающего усилия. Всегда имеется вероятность, что усилия справа и слева от точки приложения усилия будут разными. Это может быть вызвано: неточностью монтажа, техническими дефектами, случайными повреждениями, эксцентриситетами и др. Поэтому за предельное состояние при расчете на продавливание следует принимать минимальное условие прочности в наклонном сечении по одной из сторон - справа или слева от места приложения сосредоточенной нагрузки (1).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №7. - С. 51-54.
2. Тамразян, А.Г. К оценке надежности железобетонных плоских безбалочных плит перекрытий на продавливание при действиях сосредоточенной силы в условиях высоких температур / А.Г. Тамразян, Ю.Н. Звонов // Промышленное и гражданское строительство. - 2016. - №7. - С.224-28.
3. Тамразян, А.Г. О надежности железобетонных плит перекрытий на продавливание в условиях огневых воздействий / А.Г. Тамразян, Ю.Н. Звонов // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. - 2016. - С. 416-421.
4. Тамразян, А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий / А.Г. Тамразян, Д.С. Дехтерев, А.Е. Карпов, А.Г. Ласковенко // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. - 2016. - С. 413-416.
5. Васильев, А.П. Прочность наклонных сечений изгибаемых элементов с жесткой арматурой / А.П. Васильев, Н.И. Катин, Э.Е. Сигалов, А.В. Глаголев // Бетон и железобетон. - 1979. - №7.
6. Сигалов, Э.Е. Прочность наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов с жесткой арматурой / Э.Е. Сигалов, А.В. Глаголев // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». - 1979. - №1.
7. Карпенко, Н.И. Практическая методика расчета железобетонных плит на продавливание по различным схемам / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко // Бетон и железобетон. - 2012. - №5.
8. Старишко, И.Н. Влияние пролета среза, размеров свеса сжатых полок и других факторов на несущую способность по наклонным сечениям изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного и таврового сечений // Бетон и железобетон. 2016. - №2.
9. Тамразян, А.Г. Основные требования к проектированию железобетонных конструкций по модельному кодексу ФИБ / А.Г. Тамразян, В.Р. Фаликман // Строительство и реконструкция. - 2016. - № 3 (65). - С. 71-77.
10. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой. - М.: Стройиздат, 1978. - 55 с.

**Глаголев Александр Васильевич**

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва  
К.т.н., доцент, доцент кафедры железобетонных конструкций  
E-mail: geradgeny@rambler.ru.

---

GLAGOLEV A.V.

## WORK ON PUNCHING REINFORCED CONCRETE BEAMS RECTANGULAR SECTION WITH HARD REINFORCEMENT

*The results of an experimental study of the strength of reinforced concrete beams with rigid reinforcement are considered. The nature of the stressed state and fracture along oblique sections is established. Stresses in the wall of the steel profile reached the yield point. The stresses in the lower flexible armature did not reach the limit values. The joint work of concrete and rigid reinforcement was observed up to the exhaustion of the bearing capacity of the beams. The stratification of structures on the contact of concrete and the steel profile was not observed. The appearance of critical inclined cracks was observed at a load of about 80% of the fracture. The method of transferring the external load and the varying span of the cut did not affect the character of the cracking and fracture of the samples. The destruction of the prototypes of the beam elements occurred along oblique cross sections under the 45 ° hole. The recommendations for determining the pushing forces are given.*

**Key words:** reinforced concrete beams with rigid reinforcement, destruction along inclined sections, pushing of beams, pushing force.

### REFERENCES

1. Tamrazyan, A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2014. - №7. - S. 51-54.
2. Tamrazyan, A.G. K otsenke nadezhnosti zhelezobetonnykh ploskikh bezbalochnykh plit perekrytiy na prodavlivaniye pri deystvii sosredotochennoy sily v usloviyakh vysokikh temperatur / A.G. Tamrazyan, YU.N. Zvonov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2016. - №7. - S.224-28.
3. Tamrazyan, A.G. O nadezhnosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy na prodavlivaniye v usloviyakh ognevnykh vozdeystviy / A.G. Tamrazyan, YU.N. Zvonov // Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnyye vozdeystviya. Pod redaktsiyey A.G. Tamrazyana, D.G. Kopanitsy. - 2016. - S. 416-421.
4. Tamrazyan, A.G. Opredeleniye raschetnykh parametrov dlya otsenki nadezhnosti platformennykh stykov panel'nykh zdaniy / A.G. Tamrazyan, D.S. Dekhterev, A.Ye. Karpov, A.G. Laskovenko // Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnyye vozdeystviya. Pod redaktsiyey A.G. Tamrazyana, D.G. Kopanitsy. - 2016. - S. 413-416.
5. Vasil'yev, A.P. Prochnost' naklonnykh secheniy izgibayemykh elementov s zhestkoy armaturoy / A.P. Vasil'yev, N.I. Katin, E.Ye. Sigalov, A.V. Glagolev // Beton i zhelezobeton. - 1979. - №7.
6. Sigalov, E.Ye. Prochnost' naklonnykh secheniy izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s zhestkoy armaturoy / E.Ye. Sigalov, A.V. Glagolev // Izvestiya vuzov. Ser. «Stroitel'stvo i arkhitektura». - 1979. - №1.
7. Karpenko, N.I. Prakticheskaya metodika rascheta zhelezobetonnykh plit na prodavlivaniye po razlichnym skhemam / N.I. Karpenko, S.N. Karpenko // Beton i zhelezobeton. - 2012. - №5.
8. Starishko, I.N. Vliyaniye proleta sreza, razmerov svesa szhatykh polok i drugikh faktorov na nesushchuyu sposobnost' po naklonnym secheniyam izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov pryamougol'nogo i tavrovogo secheniy // Beton i zhelezobeton. 2016. - №2.
9. Tamrazyan, A.G. Osnovnyye trebovaniya k proyektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy po model'nomu kodeksu FIB / A.G. Tamrazyan, V.R. Falikman // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2016. - № 3 (65). - S. 71-77.
10. Rukovodstvo po proyektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy s zhestkoy armaturoy. - M.: Stroyizdat, 1978. - 55 s.

**Glagolev A. V.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow  
Candidate of Tech. Science, Docent, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures  
E-mail: geradgeny@rambler.ru.