Дзюба В. А., Погорельских И. В., Сайдамирова О. А.
V. A. Dzyuba, I. V. Pogorelskikh, O. A. Saidamirova

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С МУФТОВЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ АРМАТУРЫ

RESEARCH OF ULTIMATE DEFORMATIONS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH VALVE COUPLING JOINTS REINFORCEMENT

Дзюба Виктор Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
Viktor A. Dzyuba – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Architecture Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Погорельских Инга Витаутовна – старший преподаватель кафедры «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
Inga V. Pogorelskikh – Senior Lecturer, Construction and Architecture Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Сайдамирова Ольга Александровна – магистр направления «Строительство» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).
Olga A. Saidamirova – Master's Degree Student Major in Construction, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. В работе рассмотрено поведение изгибаемых железобетонных элементов, имеющих в растянутой зоне арматуру с муфтовыми соединениями. На основе проведённых машинных экспериментов и обзора литературы установлена степень влияния податливости муфтового соединения на напряжённо-деформированное состояние железобетонных конструкций. При проведении машинных экспериментов использована нелинейная деформационная модель с полными диаграммами деформирования бетона и арматуры.

Summary. The paper considers the behavior of bend reinforced concrete elements having reinforcement with coupling joints in the stretched zone. Based on the conducted machine experiments and literature analysis, the degree of influence of the malleability of the coupling joint on the stress-strain state of reinforced concrete structures has been established. When conducting machine experiments, a nonlinear deformation model with complete diagrams of concrete and reinforcement deformation was used.

Ключевые слова: монолитные конструкции, диаграмма деформирования, арматурный стержень, муфтовые соединения, предельные деформации.

Key words: monolithic structures, deformation diagram, reinforcing bar, coupling joints, ultimate deformations.

УДК 691.87

Традиционные соединения арматуры при возведении монолитных зданий приводят к перерасходу стали. Стыки стержней на муфтах позволяют существенно снизить количество арматуры в сравнении со стыками внахлёст при изготовлении монолитных конструкций, а также уменьшают продолжительность строительства [1; 2].

Для надёжного проектирования монолитных зданий, имеющих муфтовые соединения в арматурных каркасах, необходимы дополнительные исследования сопротивления арматуры с такими соединениями. Результаты, опубликованные в работе [3], позволили существенно расширить представления о поведении муфтовых соединений под нагрузкой. В статье приведены материалы испытаний стержней из арматурной стали класса А500, в том числе соединённых муфтами LENTON фирмы ERICO типа А12 диаметром 32 мм. Испытания на растяжение проводились на

универсальной машине ИК-1000.04. Экспериментальные данные представлены в табл. 1 и на рис. 1. Как следует из материалов эксперимента, стержни с муфтовыми соединениями обладают повышенной деформативностью. Авторы исследования предлагают снижать модуль упругости арматуры, имеющей муфтовые соединения, путём введения коэффициента γ_E. Значение коэффициента γ_E на основе обработки экспериментальных данных предложено авторами принимать равным 0,86, то есть

$$E_S = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad E_{SM} = E_S \cdot \gamma_E: \quad E_{SM} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}86 = 1{,}72 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Таблица 1

Результаты испытаний (по данным работы [3])

Муфтовое соединение Ø32			
σ, МПа	$\varepsilon \cdot 10^5$	σ, МПа	$\varepsilon \cdot 10^5$
0	0	0	0
101	50,8	101	45,2
201	104,7	201	97,6
302	169,1	302	142,9
403	223,8	403	204,8
503	291,3	503	273,8
541	554,0	541	638,1
Муфта		Стержень	

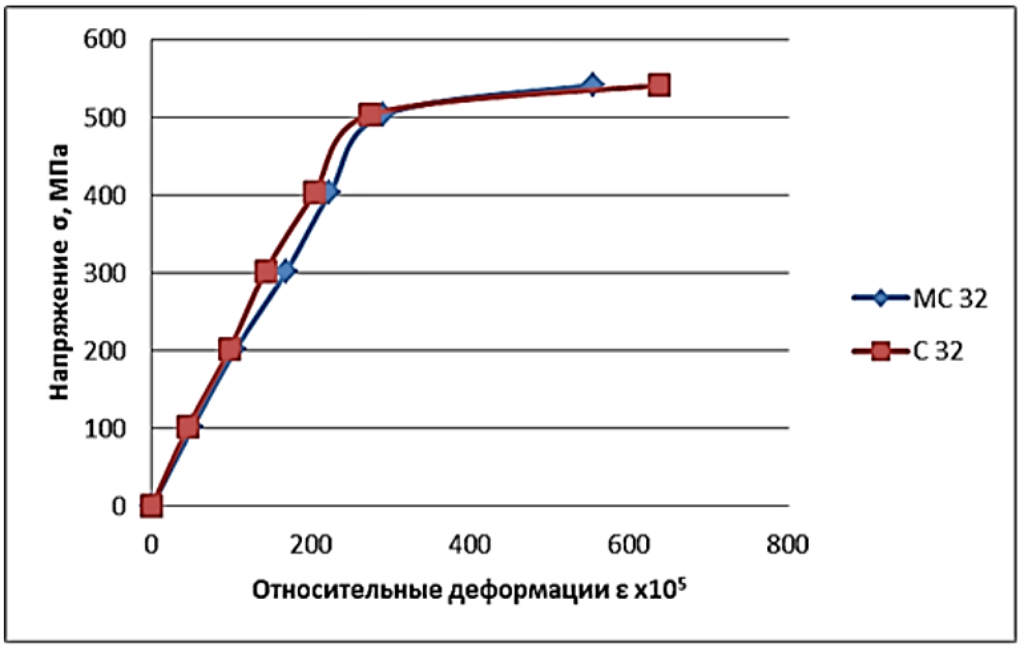

Рис. 1. Диаграмма деформирования муфтового соединения (по данным работы [3])

В Комсомольском-на-Амуре государственном университете в 2018-2019 годах были проведены исследования пластических свойств новой арматурной стали класса А500 [4]. Экспериментальная диаграмма растяжения арматуры класса А500 с постоянной скоростью деформирования представлена на рис. 2.

Использование диаграммы растяжения арматуры позволило оценить с помощью численного метода [5] поведение железобетонного элемента с таким армированием на всех стадиях нагружения, а также смоделировать в машинном эксперименте работу железобетонного элемента с муфтовым соединением арматуры с учётом данных [3].

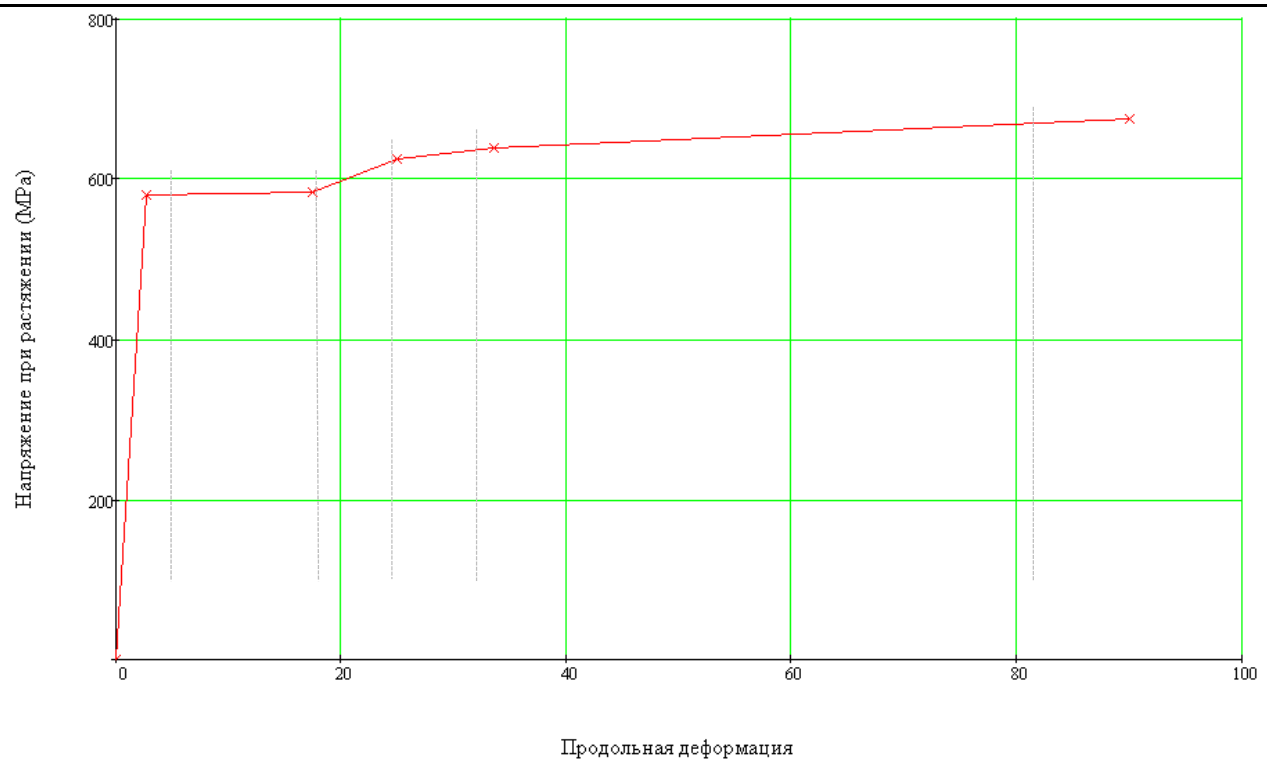

Рис. 2. Диаграмма растяжения арматурного стержня

Для проведения машинных экспериментов использована программа «GID», разработанная В. А. Дзюбой и Ю. С. Глушаковой [5]. В основу программы положена нелинейная деформационная модель, использующая полные диаграммы деформирования бетона и арматуры.

В данном эксперименте исследовались железобетонные балки сечением 0,6×0,2 м; класс бетона – В20. Были проведены две группы машинных экспериментов. В первой группе армирование образцов осуществлялось арматурой класса А500С, а во второй – также арматурой класса А500С, но с муфтовым соединением. Диаграмма деформирования волокон бетона сжатой зоны принималось в виде составной функции с нисходящей ветвью [5].

Диаграмма растяжения арматуры была представлена кусочно-линейной функцией, полученной по результатам испытания арматуры на растяжение. Деформация арматуры в начале площадки текучести принималась равной $\varepsilon_1 = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$ [42]. Для арматуры с муфтовыми соединениями с учётом повышенной податливости стыков это значение составляло $\varepsilon_{1м} = \varepsilon_1/0{,}86 = 3{,}14 \cdot 10^{-3}$. Ввод исходных данных производился в определённом формате (см. рис. 3).

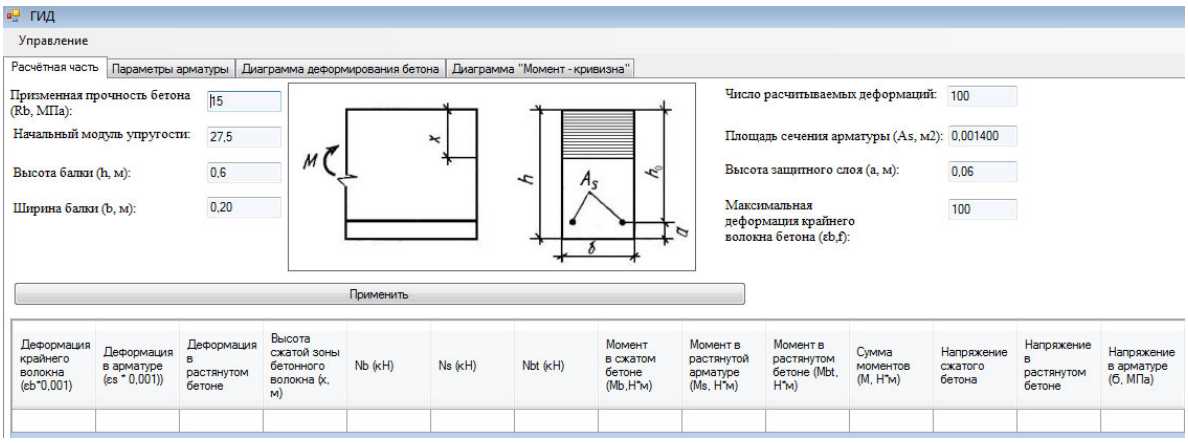

Рис. 3. Ввод исходных данных

В каждой группе машинных экспериментов варьировалась высота сжатой зоны ξ, т.к. значение относительной высоты сжатой зоны определяет способность изгибаемого элемента к пластическому или хрупкому деформированию. В итоге было проведено шесть машинных экспериментов. Значения относительной высоты сжатой зоны в расчётах были равны:

1. ξ = 0,1 – слабоармированные конструкции;
2. ξ = 0,25 – среднеармированные конструкции;
3. ξ = 0,5 – граничные значения армирования.

С помощью программы «GID» был произведён расчёт шести железобетонных балок с арматурой без муфт и с муфтовыми соединениями. Для каждого образца определены параметры напряжённо-деформированного состояния на всех этапах нагружения вплоть до полного разрушения конструкции. Внутренний изгибающий момент сечения вычислялся как сумма моментов, создаваемых волокнами сжатого и растянутого бетона, а также растянутой арматуры. Кривизна на каждом этапе расчёта принималась по выражению

$$K = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_s}{h_0},$$

где ε_b – деформация крайнего сжатого волокна; ε_s – деформация растянутой арматуры; h_0 – рабочая высота сечения.

По результатам расчётов были построены графики «момент – кривизна» для железобетонных балок, армированных сталью класса А500С и для железобетонных балок, армированных сталью класса А500С с муфтовым соединением (см. рис. 4).

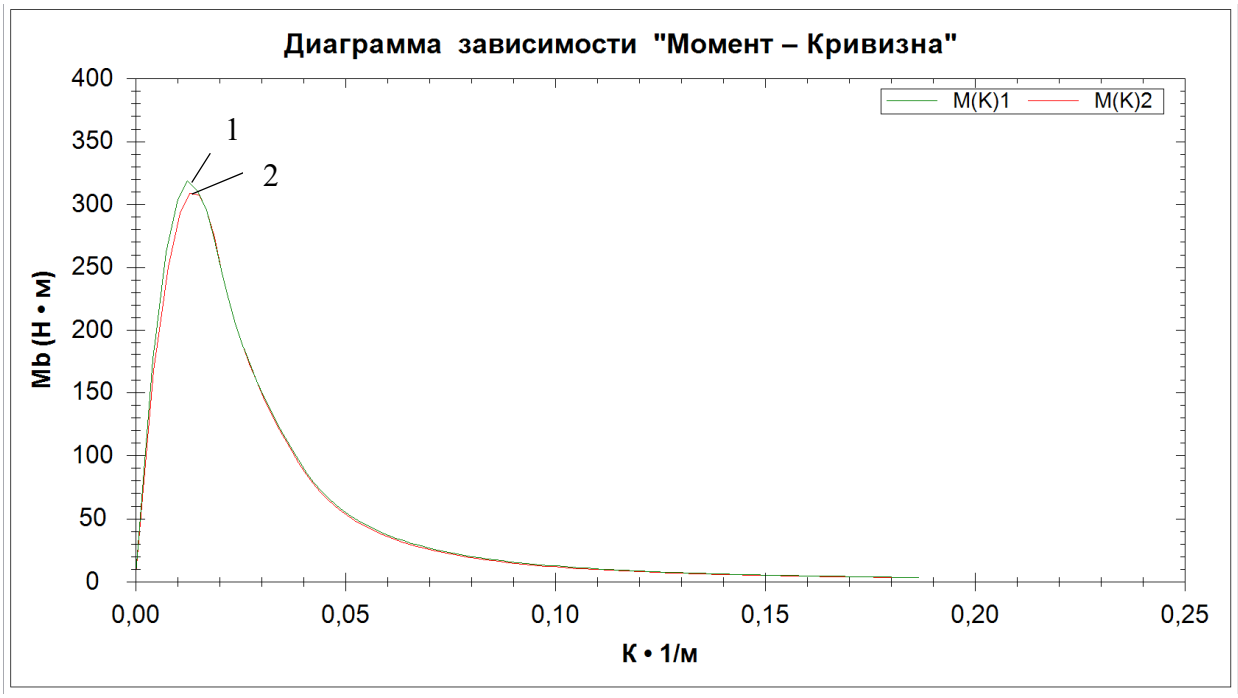

Рис. 4. Диаграмма зависимости «момент-кривизна»:
1 – для образца с арматурой А500 при ξ = 0,5 (М(К)1);
2 – с арматурой А500 с муфтовым соединением при ξ = 0,5 (М(К)2)

Сравнение результатов расчётов железобетонных элементов с арматурой с муфтовыми соединениями и без соединений показывает, что пониженный модуль упругости муфтового соединения не вызывает существенного изменения в напряжённо-деформированном состоянии железобетонного элемента.

В конструкциях, обладающих высокой пластичностью (при относительной высоте сжатой зоны равной 0,1 и 0,25), графики деформирования «момент-кривизна» для элементов с муфтами и без таковых не отличаются. Изменения происходят для хрупких железобетонных элементов (при относительной высоте сжатой зоны 0,5). В этом случае снижается значение максимального изгибающего момента для конструкций с муфтовыми соединениями арматуры (3-5 %), однако увеличивается пластичность деформирования конструкции при максимальном моменте (появляется незначительная площадка текучести на диаграмме «момент-кривизна», которая отсутствует в конструкциях с обычной арматурой).

Данное обстоятельство можно рассматривать как благоприятный фактор при расчёте статически неопределимых систем с высоким содержанием арматуры, позволяющий улучшить перераспределение усилий в несущей системе многоэтажного здания.

Таким образом, железобетонные элементы, имеющие арматуру с муфтовыми соединениями, обладают высокой надёжностью. Муфтовые арматурные соединения не меняют напряжённо-деформированное состояние элементов, работающих в режиме $\xi \leq \xi_R$, т.е. в случае, когда относительная высота сжатой зоны не превышает граничного значения, а при $\xi = \xi_R$ обладают более высокой пластичностью по сравнению с обычно армированными конструкциями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование свободных и вынужденных колебаний разомкнутых тонкостенных железобетонных оболочек / Е. О. Сысоев, К. К. Кахоров, О. Е. Сысоев, Е. В. Журавлева // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2020. – № 1 (43). – С. 13-23.

2. Сысоев, О. Е. Исследование собственных колебаний и напряжённо-деформированного состояния замкнутого кольца при местном нагреве / О. Е. Сысоев, А. Ю. Добрышкин, С. Н. Нейн // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2018. – № I-1 (33). – С. 34-38.

3. Чепизубов, И. Г. Сравнительный анализ работы муфтовых соединений арматуры и сварных стыков с использованием ванн / И. Г. Чепизубов, Г. А. Моисеенко, В. М. Степанов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 206-210.

4. Дзюба, В. А. Исследования пластических свойств арматурных сталей / В. А. Дзюба, Е. В. Журавлева // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 16-18 декабря 2019 г. / редкол.: О. Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. – С. 143-145.

5. Дзюба, В. А. Применение составной функции диаграммы сжатого бетона для деформационной оценки конструкций / В. А. Дзюба, Ю. С. Глушакова // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2014. – № II-1 (18). – С. 109-114.