Чернышева Е.В., канд. техн. наук, доц.,
Серых И.Р., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Статинов В.В., ген. дир.,
Статинов В.Ф., техн. дир.
ООО НЦЭ «БелЭкс»

СРАВНЕНИЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

inna_ad@mail.ru

В работе проиллюстрирована эффективность сталебетонных плит по сравнению с железобетонными. Параметры сравниваемых аналогов подбирались из условия их эквивалентности по количеству рабочей арматуры и ее механическим свойствам, рабочей высоте, прочности бетона и геометрическим размерам плиты в плане. Рассматривалось предельное состояние по нормальному сечению.

Ключевые слова: *сталебетонная плита, железобетонная плита, эффективность листового армирования.*

В настоящее время существует достаточное число примеров использования конструкций с внешним армированием в мировой и отечественной практике строительства, что подтверждает их эффективность и конкурентоспособность в сравнении с обычными железобетонными [1–28]. При этом обеспечивается значительный экономический эффект за счет снижения трудоемкости, сокращения сроков строительства, лучшего использования техники.

Как правило, внешняя арматура наиболее эффективна в строительстве монолитных и сборно-монолитных каркасных зданий и сооружений, выполняемых по индивидуальным проектам. Эффективна внешняя арматура и при устройстве большепролетных монолитных и сборно-монолитных перекрытий, перекрытий под большие сосредоточенные и распределенные нагрузки. При этом внешняя арматура позволяет существенно снизить собственный вес и уменьшить габариты конструкций, что особенно важно при строительстве зданий большой высоты. Применяется внешняя арматура и в конструкциях перекрытий со сложным планом и нестандартными пролетами, где нецелесообразно использовать сборный железобетон индивидуального изготовления. Внешняя арматура дает возможность сократить материальные и трудовые затраты на устройство лесов и подмостей монолитных перекрытий, открывает широкие возможности по использованию подвесной, переставной и скользящей опалубки.

Следует, однако, отметить, что сталебетонные конструкции в сравнении с железобетонными находятся в невыгодных условиях. Практика применения стержневого армирования, на протяжении длительного периода развития конструкций из бетона непрерывно совершенствовала технологию производства, конструктивные решения железобетона, а также отдельных его элементов (бетон, арматура). В то же время использование листового внешнего армирования насчитывает чуть более 60 лет и, естественно, не имеет массового характера, а робкие попытки внедрения сталебетона при строительстве отдельных объектов сталкиваются с конкуренцией со стороны развитой индустрии железобетона, имеющей мощную производственную базу.

Эффективность листового армирования наиболее ощутима при монолитном строительстве, которое чаще всего обусловлено необходимостью устройства большого количества отверстий, проемов, наличием большого количества закладных деталей и в некоторых случаях недостаточной мощностью заводов железобетонных изделий в отдельных регионах страны. Кроме того, при наличии дешевых местных материалов (щебень, песок, гравий), монолитное строительство диктуется возможностью существенного снижения стоимости сооружений.

Наиболее трудоемким и сложным процессом при строительстве монолитным способом являются опалубочные работы. Замена деревянной опалубки стальным листом (плоским или гофрированным), с последующим использованием его в качестве растянутой арматуры, позволяет значительно усовершенствовать организацию труда, повысить уровень индустриализации, сократить сроки строительства.

Конструкции с листовой арматурой по существу представляют собой пример интенсификации обычных конструктивных решений за счет возложения на стальной лист дополнительных функций. Опытное применение конструкций с листовой арматурой показывает, что в сооружениях, где по каким либо причинам требуется стальная облицовка, многофункциональное использование листа, в том числе и в качестве арматуры, дает возможность с экономить от 40 % до 60 % внутренней арматуры, повысить

несущую способность при изгибе и получить технологический эффект за счет использования листа как опалубки или ее составной части.

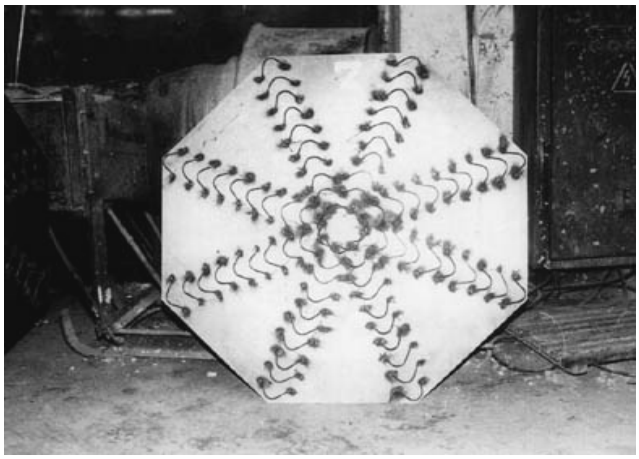
Максимальная эффективность от использования стального листа как арматуры достигается при армировании растянутой зоны плит, изгибаемых в двух направлениях.

Опыт проведенных исследований, проектирования и применения в строительстве сталебетонных конструкций показывает целесообразность их использования в различных областях строительства.

Основными показателями, характеризующими эксплуатационные свойства конструкций любого типа, являются их несущая способность и жесткость. Анализ результатов выполненных экспериментальных исследований показал, что внешнее армирование в плитах приводит к существенному повышению их несущей способности и жесткости по сравнению с железобетонными.

Для иллюстрации эффективности сталебетонных плит по сравнению с железобетонными были выполнены расчеты, результаты которых представлены в таблице 1. Опытные образцы П-3, П-4 (рис. 1, *а*) были выполнены в виде восьмиугольных симметричных в плане плит размерами описанной окружности R=541 мм, вписанной окружности r=500 мм, стороной b=414 мм и высотой 50 мм. Образцы были запроектированы и изготовлены в виде бетонной плиты с внешним армированием из листовой стали толщиной 1мм. Для совместной работы листовая арматура была объединена с бетоном наклонными петлевыми анкерами 1, расположенными по радиусам 2 с шагом 50 мм (рис. 1, *б*). Их наклон к горизонтальной поверхности составляет 45° в направлении от центра к полигональному контуру. Кроме плит испытанных авторами в рамках настоящей работы к сравнительному анализу привлекались сталебетонные плиты UR1, UR2, UR3 [29] и железобетонные плиты Г. Баха и О. Графа [30].

а *б*



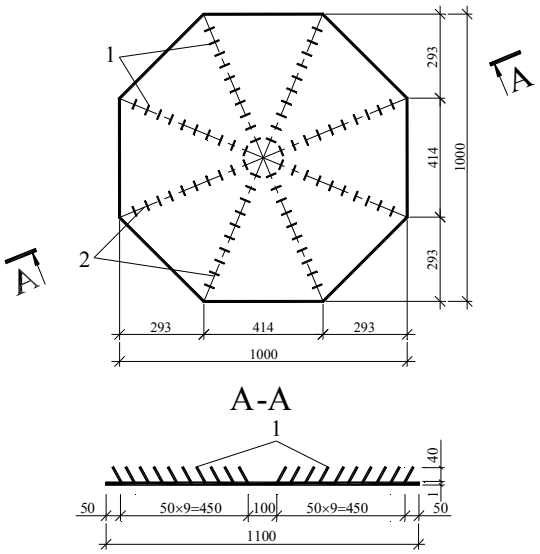


Рис. 1. Внешнее армирование образцов П–3, П–4
а – листовая арматура, б – схема опытного образца 1– анкерные упоры, 2– линии пластических шарниров

Параметры сравниваемых аналогов подбирались из условия их эквивалентности по количеству рабочей арматуры и ее механическим свойствам, рабочей высоте, прочности бетона и геометрическим размерам плиты в плане. Рассматривалось предельное состояние по нормальному сечению.

Разрушающая нагрузка сталебетонных плит П-3, П-4, UR1, UR2, UR3, полученная в эксперименте, сопоставлялась с разрушающей нагрузкой, полученной для их железобетонных аналогов при расчете методом предельного равновесия. Предельная нагрузка железобетонных плит № 822, 863, 866, полученная экспериментально, сравнивалась с несущей способностью, найденной для их сталебетонных аналогов из расчета напряженно-деформированного состояния на ПЭВМ.

Результаты сравнения свидетельствуют о том, что замена стержневого армирования на листовое в плитах, опертых по контуру, приводит к увеличению их несущей способности в

2,2–3,2 раза при одинаковом расходе рабочей арматуры и прочих равных условиях. Существенно повышается жесткость. Так достижение предельных значений прогибов по второй группе предельных состояний происходит при нагрузках, в 2,5–3,0 раза превышающих аналогичные значения для железобетонных плит.

Таблица 1

Сравнение сталебетонных и железобетонных плит

№№ Плит, размеры в плане	Вид нагрузки	Предел текучести арматуры, МПа	СТАЛЕБЕТОННЫЕ ПЛИТЫ			ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЛИТЫ			$k = \frac{P_{ст}}{P_{жп}}$
			Толщина стального листа, мм	Рабочая высота сечения, мм	Разрушающая нагрузка, кН $P_{ст}$	Площадь арматуры на единицу длины сечения, мм	Рабочая высота сечения, мм	Разрушающая нагрузка, кН $P_{жп}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
П-3	сосред.	190,0	1,0	49,5	40,0	0,50/0,50	50,0/50,0	17,0	2,4
П-4	сосред.	190,0	1,0	49,5	37,5	0,50/0,50	50,0/50,0	13,0	2,9
UR1 (0,9×0,9)	сосред.	210,0	0,62	100,0	163,0	0,31/0,31	100/100	54,0	3,0
UR2 (0,9×0,9)	сосред.	210,0	0,62	49,0	84,0	0,31/0,31	49,0/49,0	26,0	3,2
UR3 (0,9×0,9)	сосред.	218,0	1,0	50,5	111,0	0,50/0,50	50,5/50,5	44,0	2,5
822 (2,0×2,0)	равном.	408,0	0,814	63,5	0,14	0,41/0,41	67,0/60,0	0,063	2,2
863,866 (3,0×2,0)	равном.	430,0	0,77	104,5	0,16	0,39/0,39	108/101	0,075	2,1

Очевидно, отмеченные свойства сталебетонных плит объясняются способностью работы плоского стального листа, воспринимающего растягивающие усилия близкие к его физическому пределу текучести, одновременно во взаимно перпендикулярных направлениях и деформирующегося при этом в стесненных условиях в 1,4–2,0 раза меньше, чем в условиях одноосного растяжения. Кроме того, благодаря изотропным свойствам армирующего листа, после появления трещин сталебетонный элемент в значительно меньшей степени проявляет анизотропные свойства по сравнению с железобетонными, соответственно, лучше сохраняет способность воспринимать крутящие моменты.

Специалисты многих стран считают, что применение листовой опалубки-арматуры является экономичным по стоимости и трудоёмкости возведения, и эффективным средством увеличения жесткости не только сталебетонных плит, но и железобетонных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышева Е.В. Экспериментальные исследования сталебетонных плит / Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века: сб. докл. Междунар. научно-практич. конф. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. С. 297–300.

2. Серых И.Р., Чернышева Е.В. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных брусьев прямоугольного поперечного сечения с составной обоймой при сжатии и изгибе: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 108 с.

3. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Статинов В.В., Статинов В.Ф., Глаголев Е.С. Несущая способность сталебетонных плит по нормальному сечению // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2015. № 5. С. 42–44.

4. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Статинов В.В., Статинов В.Ф., Глаголев Е.С. Несущая способность сталебетонных полигональных плит // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 102—105.

5. Панченко Л.А., Серых И.Р., Юрьев А.Г. Подкрепление балки полосой из полимера, армированного волокнами / Современные строительные материалы, технологии и конструкции: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова» (Грозный, 24-26 марта 2015 г.). В 2-х томах. Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», Т.2. 2015. С. 278–283.

6. Панченко Л.А., Серых И.Р., Юрьев А.Г. Напряжения в трубофибробетонных изгибаемых

элементах // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3–1 (34). С. 110–111.

7. Серых И.Р., Чернышева Е.В. Сталебетон в современном строительстве // Наукоемкие технологии и инновации: сб. докл. Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова / БГТУ им. В.Г.Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. Ч.2. С. 112–115.

8. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р. Конструкции тоннелей мелкого заложения с использованием стеклофибробетона // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 9. Вып. 2. С. 68-71.

9. Серых И.Р. Усиление конструкций углеродными композиционными материалами / Инновация-2013: сб. научн. статей Междунар. науч.-практ. конф. // Ташкентский государственный технический университет (Ташкент 16-18 окт. 2013 г.), Ташкент: Изд-во Янги аср авлоди, 2013. С. 125–126.

10. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р. Рациональное применение фибробетона / Фундаментальные исследования в естественно-научной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области: сб. докл. науч.-практ. конф. // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова (Белгород, 12 окт. 2013 г.), Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Часть 1. С. 273–275.

11. Клюев С.В., Гурьянов Ю.В. Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1(36). С. 21–26.

12. Клюев С.В., Клюев А.В., Лесовик Р.В. Усиление строительных конструкций композитами на основе углеволокна // Germany. 2011. 123 с.

13. Клюев С.В., Лесовик Р.В. Внешнее армирование конструкций композитами на основе углеродного волокна // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): матер. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2011. С. 239–243.

14. Клюев С.В., Лесовик Р.В. Расчет усиления железобетонных колонн углеродной тканью // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): матер. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. С. 3–5.

15. Клюев С.В. Усиление и восстановление конструкции с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. 2012. № 3. С. 23–26.

16. Клюев С.В. Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. 2012. №3. С. 23–26.

17. Клюев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: сб. студ. докл. Международного конгресса. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. Ч. 1. С. 161–163.

18. Клюев С.В. Технология усиления конструкций углеволокном // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. Ч.1. С. 404–408.

19. Клюев С.В., Лесовик Р.В. Высокопрочные дисперсно-армированные композиты для восстановления и усиления зданий и сооружений // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 5 (160). С. 12–13.

20. Клюев С.В. Сталефибробетон на основе композиционного вяжущего // Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее: материалы обл. научн.-практ. конф. В 3-х ч. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. С. 32–36.

21. Чихладзе Э.Д., Ватуля Г.Л. Предельное состояние двухслойных плит // Збірник наукових праць. Рівне, 2011. Вип. 22. С. 532–537.

22. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А. Работа сталебетонных перекрытий разного очертания при силовом воздействии / Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: сб. матер. междунар. научн.-практ. конф. // Пермский государственный технический университете, Пермь. 2013. Т. 3. С.79–86.

23. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит // Строительная механика и расчет сооружений, 1990. № 2. С. 22–26.

24. Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Ковальчук А.М. Экспериментальные исследования сталебетонных плит перекрытия // Збірник наукових праць. Харьків, УкрДАЗТ. 2011. Вип. 126. С. 239-242.

25. Ватуля Г.Л., Смолянюк Н.В. Работа сталебетонного перекрытия при силовом воздействии // Збірник наукових праць. Харків, УкрДАЗТ. 2011. Вип. 127. С. 164–170.

26. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А., Смолянюк Н.В. Исследование работы сталебетонной круглой плиты при силовом воздействии / Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: сб. матер. междунар. научн.-практ. конф. // Пермский государственный технический университете, Пермь. 2012. Т. 4. С. 59–65.

27. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А., Головко Д.В. Экспериментальная оценка напряженно–

деформированного и предельного состояния сталебетонных круглых плит // Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 129. С.145–149.

28. Ватуля Г.Л., Орел Е.Ф., Матящук О.В., Довганик О.Я. Оценка влияния толщины металлического листа на несущую способность конструкций с внешним армированием // Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 133. С. 290–295.

29. Richard F.E., Brantzaeg A., Brown R. L. A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses. Univ. of Illinois, Eng. Exper. Station. Bull. 185. 1928.

30. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат, 1976. 208с.

Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Statinov V.F.

COMPARISON OF STEEL-CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE PLATES

In this work the efficiency of steel-concrete plates in comparison with reinforced concrete has been illustrated. Parameters of the compared analogs have been selected from conditions of their equivalence in amount of working reinforcement and its mechanical properties, working height, resistibility of concrete and the geometrical sizes of the plate in the plan. The limit state on normal section has been considered.

Key words: *steel-concrete plate, reinforced concrete plate, efficiency of sheet reinforcing.*

Чернышева Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: bellena_74@mail.ru

Серых Инна Робертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: inna_ad@mail.ru

Статинов Владислав Владимирович, генеральный директор
Общество с ограниченной ответственностью Независимый центр экспертизы «БелЭкс»
Адрес: Россия, 308027, г. Белгород, ул. Пирогова д. 36
E-mail: bel_eks127@mail.ru

Статинов Владимир Федорович, технический директор
Общество с ограниченной ответственностью Независимый центр экспертизы «БелЭкс»
Адрес: Россия, 308027, г. Белгород, ул. Пирогова д. 36
E-mail: bel_eks127@mail.ru