

УДК 624

Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliev49@mail.ru

Биккинин Э.Г. – аспирант

E-mail: bekkan@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Основные факторы, влияющие на начальное напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций

Аннотация

Статья посвящена выявлению основных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций гражданских зданий. Произведен анализ расчётных предпосылок, стандартов организаций и сводов правил, посвященных расчету сталежелезобетонных конструкций. Выявлены основные факторы, влияющие на начальное напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций. Даны пути перехода оценки доэксплуатационного напряженно-деформированного состояния составных конструкций от сталежелезобетонных мостовых строений на «гибкие» сталежелезобетонные плиты гражданских зданий.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, усадка и ползучесть, начальное напряженно-деформированное состояние, перераспределение напряжений, свод правил, стандарт организаций.

Проблема экономии материала в строительных конструкциях из года в год приобретает главенствующую роль при формировании конструктивного облика будущего здания или сооружения. Поэтому, в современном мире строительные конструкции должны отвечать требованиям экономичности, надежности и эстетичности. Данным требованиям удовлетворяют композиционные конструкции, сочетающие в себе положительные свойства применяемых в них материалов. Так же одним из возможных путей решения проблемы экономии является применение методов расчета строительных конструкций, описывающих их напряженно-деформированное состояние уравнениями, полностью отражающими их реальную диаграмму деформирования.

Сталежелезобетонные конструкции находят достаточно широкое применение как в зарубежной практике, так и в отечественной. Однако, их применение в гражданском и промышленном строительстве на территории Российской Федерации на сегодняшний день сдерживается отсутствием норм проектирования, за исключением стандартов отдельных организаций, где порядок разработки, утверждения, учета и изменения данных стандартов устанавливаются ими самостоятельно. И зачастую главной целью данных норм является лишь совершенствование производства, обеспечения качества выполнения работ и продукции и носит добровольный характер.

Неоспорим тот вклад, который внесли отечественные ученые в развитие сталежелезобетонных конструкций, среди которых можно выделить Стрелецкого Н.Н., Гитмана Э.М., Гибшмана Е.Е. и других. Труды этих авторов [1-3] посвящены результатам теоретических и экспериментальных исследований не только отечественных ученых, но и зарубежных. В части развития теоретических предпосылок, отечественные ученые в основном описывали работу большепролетных мостовых конструкций, либо же, решетчатых сталежелезобетонных ферм, не рассматривая при этом возможное применение сталежелезобетонных конструкций в гражданском строительстве. Применение сталежелезобетонных конструкций в качестве перекрытий в малоэтажном и высотном строительстве требует решения новых задач физики перераспределения напряжений между составными частями композиционного сечения. Среди основных факторов требующих детального анализа можно выделить следующие:

1) Свойство сталежелезобетонных конструкций изменять свое равновесное состояния после укладки бетонной смеси в опалубку;

- 2) Влияние начальной усадки и начальной ползучести бетона на перераспределение напряжений, а также на развитие прогибов в изгибаемых конструкциях;
- 3) Влияние развития упругопластических деформаций бетона на образование дополнительных напряжений в стальной части (эффект догружения);
- 4) Влияние податливости шва контакта из-за близкого расположения к нейтральной зоне сечения композитной балки;
- 5) Влияние процесса переноса тепла вследствие протекания процессов гидратации цемента.

Кроме вышеперечисленных факторов, которые влияют на доэксплуатационное напряженно-деформированное состояние составной конструкции, необходимо научиться их использовать на получение более выгодных по стоимости и надежных в дальнейшей эксплуатации конструктивных решений сталежелезобетонных плит. Например, путем регулирования внутренних усилий в сталежелезобетонных конструкциях с целью уменьшения негативного влияния эффектов усадки и ползучести бетона в периоды возведения и эксплуатации конструкций.

Положительные результаты по повышению надежности и уменьшению материалоемкости сталежелезобетонных конструкций дадут также:

- 1) Учет пространственной работы сталежелезобетонных конструкций;
- 2) Внедрение методики расчета сталежелезобетонных конструкций по нелинейной деформационной модели.

Современные условия проектирования требуют внедрения в строительный процесс все более сложных конструктивных систем сталежелезобетонных конструкций: возможность устраивать большие перекрываемые пролеты, возможность уменьшения строительной высоты конструкций и другие. Однако тенденция увеличения требований, предъявляемых к конструкциям, не способствуют к развитию новых отечественных норм проектирования и методик расчетов. Необходимо так же отметить явный факт отставания отечественной нормативной базы от зарубежных аналогов [5]. Как показали экспериментальные исследования [10-13], проведенные в лаборатории КГАСУ, существующие стандарты организаций и своды правил РФ, имеющие разделы, посвященные расчетам сталежелезобетонных конструкций, не полностью отражают фактическую работу сталежелезобетонных конструкций, а именно не хватает комплексного учета основных факторов, перечисленных выше, влияющих на механику деформирования таких конструкций. Так, например, многие расчетные предпосылки СП35.13330.2011 Мосты и трубы основаны на гипотезе плоских сечений, что невыполнимо при расчете прочности поперечного сечения сталежелезобетонных балок с податливым соединением. О наличии расчетных предпосылок, выведенных при больших допущениях свидетельствует появления дефектов, выявленных в ходе обследований [6]. Как показал обзор литературы наиболее полно расчет поперечного сечения сталежелезобетонных конструкций отражено в [9], в котором расчет по первой и второй группам предельным состояниям осуществляется с учетом процессов усадки и ползучести бетона, а также отражены вопросы учета догружения стального профиля вследствие сдвигов в контакте швов композиционной балки.

Опыт эксплуатации сталежелезобетонных конструкций показал наличие в них больших прогибов, значительно отличающихся от проектных значений [6]. В существующих отечественных рекомендациях и нормах расчет по второй группе предельных состояний производится на основе предпосылок, имеющих различное содержание. Так, например, в СТО 0047-2005 окончательный прогиб, складывающийся от действия веса плиты G_1 , стальной балки G_2 , перегородок G_3 , временной эксплуатационной Q и от действия усадки $f(E_\gamma)$ и от возможного обратного выгиба δ_0 , вызванный так же усадкой необходимо определять по (1):

$$f(G_1+G_2) + f(Q+G_3) + f(E_\gamma) - \delta_0 \leq [f_{don}], \quad (1)$$

где $\delta_0 \geq (0,025L)^{0.5}$. В то время как согласно 9.9 СП35.13330.2011 «Мосты и трубы», п.10.4 СП 159.1325800.2014 «Сталежелезобетонные пролетные строения автомобильных мостов. Правила расчета» при определении итогового прогиба не рекомендуется учитывать разгружающее влияние усадки бетона. О большой степени влияния выгиба конструкций в процессе усадочных явлений отмечается так же в источнике [6]. В

названных выше сводах правил и в источнике [1], для вычисления усадочного прогиба в статически определимой сталежелезобетонной балке используют следующее выражение:

$$f^y = \varepsilon_y \sum_{k=0}^n \frac{S_{cm,cm\bar{o}}^y}{I_{cm\bar{o}}^y} \int M_f dx, \quad (2)$$

где $M_f dx$ – площади участков эпюры изгибающих моментов от единичной вертикальной силы, приложенной в месте вычисляемого прогиба, ε_y – предельная относительная деформация усадки бетона, принимаемая постоянной равной 0,0002 и 0,0001. Аналогичные выражения, учитывающие лишь предельные относительные деформации усадки бетона при определении напряжений в крайних фибрах сталежелезобетонного сечения приводит Гибшман Е.Е. [3]:

$$M_{\bar{o}} = A \cdot a \cdot E_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}} \cdot \Delta, \quad (3)$$

$$M_{cm} = A \cdot a \cdot E_{cm} \cdot I_{cm} \cdot \Delta, \quad (4)$$

$$N = A (E_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}} + E_{cm} \cdot I_{cm}) \Delta, \quad (5)$$

где N – сила с которой железобетонная плита оказывается растянутой, металлическая балка – сжатой, вследствие усадочных явлений, так же $M_{\bar{o}}$, M_{cm} – изгибающие моменты действующие на плиту и на металлическую балку, Δ – укорочение плиты на единицу длины балки, так же принимается постоянной, равной 0,00015 при обычном бетонировании, либо 0,0001 при бетонировании секциями.

При оценке итоговых прогибов сталежелезобетонных конструкций на эксплуатационные нагрузки, необходимо учитывать начальные прогибы от усадки, ползучести бетона и других факторов, возникающих во вновь образуемом составном сечении.

Прочность сталежелезобетонного сечения по нормальному сечению с комплексным учетом факторов начального напряженно-деформированного состояния можно определять на основании выражения источника [14] с добавлением дополнительного внутреннего момента (6):

$$M_z = \int_0^{h_2} [\sigma_s(x)] I_s Z_1 dx + \sigma_s(\varepsilon_{st}') M_s Z_2 + \sigma_s(\varepsilon_{st}') M_s Z_1 + \sigma_s' [\varepsilon_{st}(x)] I_s Z_1 + \sigma_s' [\varepsilon_{st}(x)] I_s Z_2 + M_{доп}, \quad (6)$$

где $M_{доп}$ – момент внутренних усилий, возникающих при начальной усадке и ползучести бетона, а также от других факторов в составном сечении.

Заключение

1.) Выявлены основные факторы начального напряженно – деформированного состояния сталежелезобетонных конструкций гражданских зданий требующих детального анализа;

2.) Анализ и учет факторов, влияющих на начальное напряженно-деформированное состояние, позволит на этапе эксплуатации уменьшить влияние эффектов ползучести и усадки бетона на напряженно-деформированное состояние уже при эксплуатационных нагрузках;

3.) Внедрение методики расчета сталежелезобетонных конструкций по нелинейной деформационной модели позволит оценить их прочность и получить экономичное проектное решение.

Список библиографических ссылок

1. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
2. Гитман Э.М. Вопросы оптимального проектирования сталежелезобетонных пролетных строений // Исследования современных конструкций стальных мостов. Выпуск 94. – М.: Транспорт, 1975.
3. Гибшман Е.Е. Мосты со стальными балками, объединенными с железобетонной плитой. – М.: Дориздат, 1952. – 86 с.
4. Гибшман Е.Е., Гибшман М.Е. Теория и расчет предварительно напряженных железобетонных мостов: Автотрансиздат. – М., 1962. – 397 с.

5. Роджер П. Джонсон. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций (пер. с англ.): МГСУ, 2013. – 412 с.
6. Добровичская И.В. Совершенствование методики расчета сталежелезобетонных автодорожных пролетных строений мостов с комплексным учетом конструктивно-технологических факторов: автореферат дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М.: ОАО «ЦНИИС», 2008. – 24 с.
7. Жильникова Т.Н. Прогноз прочности, усадки и ползучести цементных бетонов по результатам измерений в ранний период: автореферат дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М.: РГСУ, 2006. – 24 с.
8. Hadzalic E., Varucija K. Concreteshrinkageeffectsincompositebeam// Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014, № 11 (26). – С. 85-93.
9. Парфенов С.Г., Федоренко Е.А., Пикин Д.Ю. Проектирование железобетонных и сталежелезобетонных конструкций из ячеистых бетонов: учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 192 с.
10. Замалиев Ф.С., Гурьянов И.А., Шаймарданов Р.И., Хайрутдинов Ш.Н. Численные и натурные эксперименты в исследованиях сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19). – С. 46-52.
11. Замалиев Ф.С., Шаймарданов Р.И. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкции на крупномасштабных моделях // Известия КазГАСУ, 2008, № 2 (10). – С. 47-52.
12. Замалиев Ф.С., Биккинин Э.Г. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных балок таврового сечения // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). – С. 134-138.
13. Замалиев Ф.С., Биккинин Э.Г. Экспериментальные исследования начального напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балок и плит // Известия КГАСУ, 2015, № 2. – С. 149-153.
14. Замалиев Ф.С., Мирсаяпов И.Т. Расчет прочности сталежелезобетонных изгибаемых конструкций на основе аналитических диаграмм // Разработка и исследование металлических и деревянных конструкций // Сборник научных трудов: КГАСА. – Казань, 1999. – С. 142-149.

Zamaliiev F.S. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: zamaliiev49@mail.ru

Bikkinin E.G. – post-graduate student

E-mail: bekkan@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The main factors influencing the initial stress-strain state of steel-concrete composite structures

Resume

In our country, more and more there is a tendency of application steel-concrete composite structures in civil engineering. However, for larger scale their applications on the one hand, you must have design standards based on deformation methods that take into account the non-linear operation as the materials section and construction as a whole, on the other hand should be good to know the features of the stress-strain state of a composite structure, which is the steel-concrete composite structures not only during operation, but also to the operational period.

The analysis estimated the prerequisites codes and standards organizations dedicated to the design of bridges, but steel-concrete composite structures of overlaps and covers civil buildings are significantly different from the bridge structure, they have a less massive cross section and small bays compared to overhead structures. Therefore, mechanical transfer factors of internal stress-strain state of the steel-concrete composite bridge span on a «flexible» of the steel-concrete composite slab will be wrongful. Wanted to study the influence of internal factors in the operational period up to the stress-strain state of a steel-concrete composite slab section of civil buildings.

The behavior of the steel-concrete composite section should be analyzed with «germ», i.e. since the beginning of hardening concrete, because the first hours of silicification cement paste concrete begin early during the initial stress-strain state for internal processes, such as shrinkage, creep, swelling, self-heating of concrete, etc.

The article, based on a set of rules and recommendations for the design of bridge structures are shown approaches to accounting internal processes occurring in a section of steel-concrete composite structures. Presents attempts to move them to the «flexibility» of the composite slab of civil buildings to incorporate an internal stress-strain state of the shrinkage, creep, etc., to the operational processes within the composite section.

Keywords: steel-concrete composite structures, shrinkage and creep at an early stage, redistribution of stresses, a set of rules, standards organizations.

References list

1. Streletskii N.N. Steel-concrete bridge spans // 2-nd ed., Rev. and add. – M.: Transport, 1981. – 360 p.
2. Gitman E.M. Optimum design of composite spans // Research modern constructions of steel bridges. Issue 94. – M.: Transport, 1975.
3. Gibshman E.E. Bridges with steel beams combined with concrete plate. – M.: Dorizdat 1952. – 86 p.
4. Gibshman E.E., Gibshman M.E. Theory and Design of prestressed concrete bridges. Avtotransizdat. – M., 1962. – 397 p.
5. Roger P. Johnson. Guidelines for designers to Eurocode 4: Design of composite structures (trans. From Eng.): MGSU, 2013. – 412 p.
6. Dobrochinskaya I.V. Improved methods of calculation of composite road bridge spans a comprehensive view of structural and technological factors: the author's dis. onsoisk. Ouch. Art. cand. tehn. sciences. – M.: JSC «CNIIS», 2008. – 24 p.
7. Zhilnikova T.N. Forecast strength, shrinkage and creep of cement concrete as measured in the early period: the author's abstract dis. Ouch. Art. cand. tehn. sciences. – M.: RSSU, 2006. – 24 p.
8. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of unique buildings and structures, 2014, № 11 (26). – P. 85-93.
9. Parfenov S.G., Fedorenko E.A., Pikin D.Y. Design of concrete and composite structures of cellular concrete: a tutorial. – M.: Publishing Association building universities, 2012. – 192 p.
10. Zamaliev F.S., Guryanov I.A., Shaimardanov R.I., KhairutdinovSh.N. Numerical experiments and field trials in steel-concrete composite structures // Izvestiya KGASU, 2012, № 1 (19). – P. 46-52.
11. Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I. Experimental study of steel-concrete composite structures on large-scale models // News KGASU, 2008, № 2 (10). – P. 47-52.
12. Zamaliev F.S., Bikkinin E.G. Experimental study of steel-concrete composite beams T-section // Izvestiya KGASU, 2014, № 4 (30). – P. 134-138.
13. Zamaliev F.S., Bikkinin E.G. Experimental studies of the initial stress-strain state of steel-concrete composite beams and plates // Izvestiya KGASU, 2015, № 2. – P. 149-153.
14. Zamaliev F.S., Mirsayapov I.T. Strength calculation of steel-concrete bent designs based on the analytical diagrams // Development and research of metal and wooden structures // Proceedings: KGASA. – Kazan, 1999. – P. 142-149.