

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ

Кихья А.Х.

Дамасский университет, Сирия

Возникновение усадочных трещин и деформаций в монолитных железобетонных перекрытиях является одним из наиболее распространенных и опасных явлений, особенно в плитах больших пролетов. Эти явления можно считать серьезной проблемой монолитного домостроения.

Трещины, возникающие от усадки бетона, могут пронизывать всю толщину плиты и, следовательно, приводить к существенному изменению жесткости строительной конструкции и характеру ее работы в целом.

Предлагаемый метод учета и компенсации усадочных явлений в монолитных плитах заключается в выполнении между осями колонн подъема (выгиба) с небольшой стрелой, которая впоследствии исчезает в результате действия усадки и эксплуатационных нагрузок.

Широкое распространение монолитного бетона в строительстве многоэтажных зданий порождают некоторые проблемы, требующие скорейшего разрешения. Наиболее серьезным и опасным недостатком является усадка, которая приводит к возникновению трещин. Эти трещины полностью изменяют характер работы плит. Величина усадочных деформаций бетона колеблется в пределах $\varepsilon_{sh} = (20...80) \cdot 10^{-5}$ [1], в то время как предельные деформации бетона при растяжении (предельная растяжимость бетона) составляет $\varepsilon_{bt,u} = (20...40) \cdot 10^{-5}$. Обычно, в плитах используют бетонные смеси со средним значением относительных деформаций усадки $\varepsilon_{sh} = (50...60) \cdot 10^{-5}$. Таким образом, если не ограничивать усадочные деформации, то появляются большие усадочные трещины по всей поверхности плиты. Такие трещины могут привести к разделению плиты на несколько частей.

На практике существуют методы ограничения возникновения и распространения усадочных трещин. Вот некоторые из них:

- использование безусадочного цемента, цена которого в настоящее время достаточно высока;
- выполнение усадочных швов на определенном расстоянии;
- установка арматуры для восприятия усилий, возникших от усадки;
- улучшение качества бетона и, особенно, ухода и контроля за его состоянием.

Однако указанные способы, как правило, не приводят к полному предотвращению усадочного трещинообразования в плитах. Эти трещины появляются в результате растягивающих усилий от усадки бетона вследствие наличия связей (опор, ребер, колонн, арматуры), неравномерного высыхания поверхности и т.п.

Возникающие внутренние усилия в железобетонных элементах вызывают деформации сжатия в арматуре ε_s и растяжения – в бетоне ε_{bt} . Если учесть свободные деформации бетона ε_{sh} , то получим

$$\varepsilon_{sh} = \varepsilon_{bt} + \varepsilon_s \quad (1)$$

С другой стороны, из условия равновесия внутренних усилий

$$N_s = N_b \quad (2)$$

Используя теорию упругости, из уравнений (1) и (2) можно получить

$$\varepsilon_s = \frac{\nu_{bt} \varepsilon_{sh}}{\alpha\mu + \nu_t}; \quad (3)$$

$$\sigma_s = \frac{\nu_{bt} \varepsilon_{sh} E_s}{\alpha\mu + \nu_{bt}}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{bt} = \frac{\varepsilon_{sh}}{1 + \frac{\nu_{bt}}{\alpha\mu}}; \quad (5)$$

$$\sigma_{bt} = \frac{\nu_{bt} \varepsilon_{sh} E_b}{1 + \frac{\nu_t}{\alpha\mu}}. \quad (6)$$

В формулах (1)...(6):

ν_{bt} – коэффициент упругопластичности бетона при растяжении;

σ_{bt}, σ_s – напряжения в растянутом бетоне и сжатой арматуре;

E_b, E_s – начальные модули упругости бетона и арматуры;

$\alpha = E_s/E_b$, μ - коэффициент армирования сечения.

Из приведенных соотношений видно, что напряжения в арматуре от усадки бетона снижаются по мере повышения коэффициента армирования μ . В то же время напряжения в бетоне увеличиваются.

Рис. 1 отражает изменение напряжений в бетоне и арматуре в зависимости от коэффициента армирования и деформаций усадки.

Усилия от усадки приводят не только к появлению усадочных трещин, но и к деформациям в плитах. Ниже приведен расчет стрелы прогиба f , который можно ожидать в плите вследствие усадки бетона.

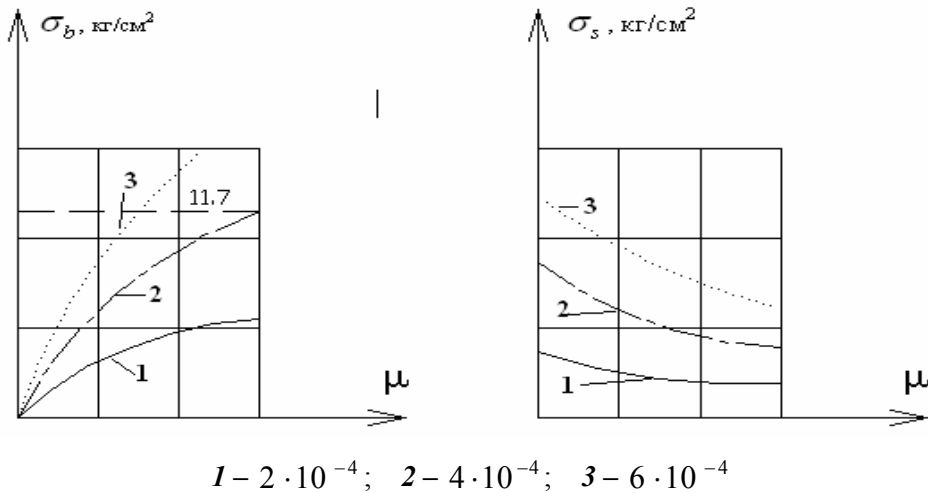


Рис. 1. Изменение усилий в бетоне и арматуре с изменением соотношения армирования и деформаций усадки, для деформаций усадки ε_{sh}

Предполагается, что пролет плиты между колоннами А и В (рис. 2) равен L , а дуга выгиба вследствие усадки составляет величину S . В этом случае

$$L = S - S\varepsilon_{sh} = S(1 - \varepsilon_{sh}), \quad (7)$$

откуда

$$S = \frac{L}{1 - \varepsilon_{sh}}; \quad (8)$$

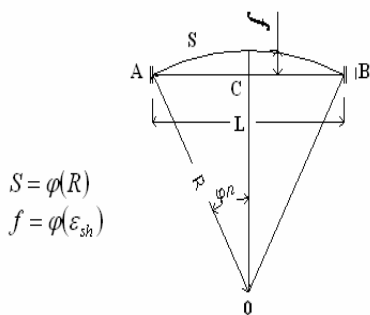
Из рис. 2 очевидно

$$R^2 = (R - f)^2 + (L/2)^2, \quad (9)$$

где f – ожидаемая вследствие усадки стрела прогиба.

Из (9) получаем

$$f = R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}. \quad (10)$$



$$S = \varphi(R)$$

$$f = \varphi(\varepsilon_{sh})$$

Из рис. 2 также видно, что длину дуги S можно определить из соотношений

$$S_R = \varphi R \quad \text{и} \quad \sin \frac{\varphi}{R} = \frac{L}{2R}. \quad (11)$$

Отсюда получаем

$$S_R = 2R \arcsin \left(\frac{L}{2R} \right), \quad (12)$$

Рис. 2. Расчет величины стрелы подъема, полученной вследствие усадки

что дает возможность рассчитать ожидаемую величину выгиба плиты в зависимости от деформаций усадки.

На рис. 3 показаны зависимости между величинами усадки и пролетами плоских плит

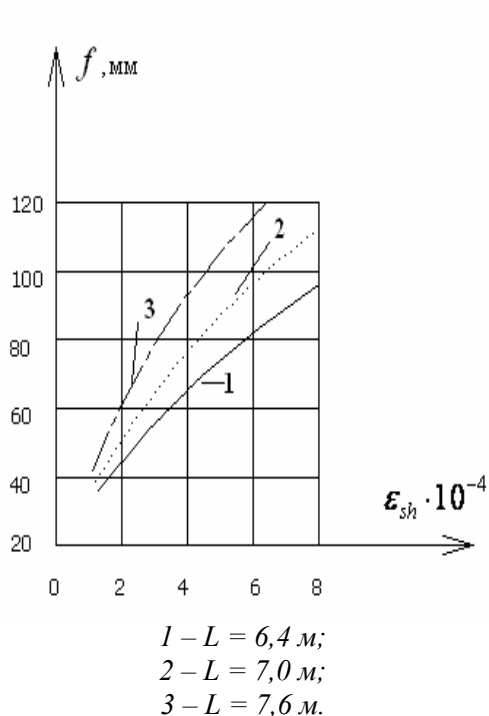


Рис. 3. Зависимость между полученными стрелой прогиба и деформациями усадки, для разных пролетов плиты L

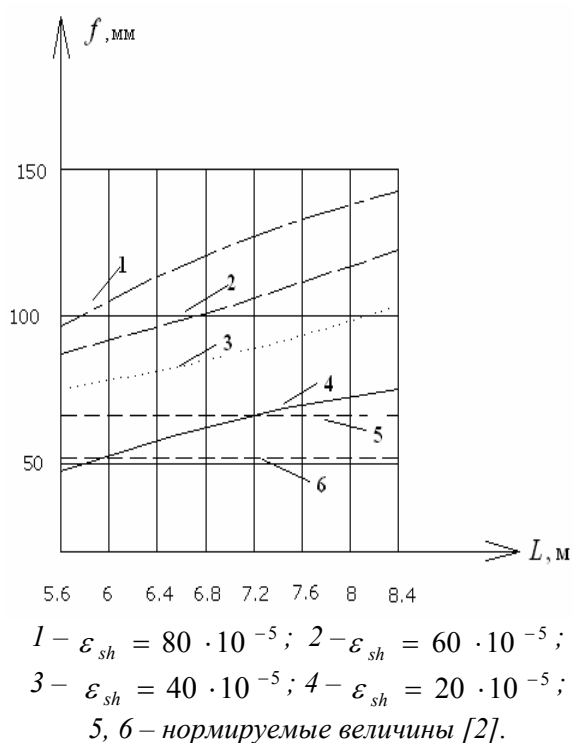


Рис. 4. Соотношение между пролетами плит и ожидаемыми теоретическими стрелами подъема для деформаций усадки ε_{sh}

Рис. 4 демонстрирует результаты совместного решения уравнений (7), (8), (9) и (10). Анализируя рис.4, можно установить величину ожидаемых деформаций. Так, при $\varepsilon_{sh} = 40 \cdot 10^{-5}$ и $L = 6 \text{ м}$ $f = 73,51 \text{ мм}$ (кривая 3), а при $\varepsilon_{sh} = 20 \cdot 10^{-5}$ и $L = 7,6 \text{ м}$ $f = 71,35 \text{ мм}$ (кривая 4), что больше нормируемых величин (см. кривые 5 и 6).

Опыт показывает, что фактические величины вгибов значительно меньше вычисленных вследствие влияния контурных балок, колонн и длительных процессов ползучести. Указанные деформации зависят от качества бетона, условий твердения, способа приложения нагрузок, армирования и многих других факторов. Поэтому определенные расчетом величины оказываются сугубо приближенными.

Для определения величины фактических деформаций, которые могут возникнуть в плитах в результате приложения эксплуатационных нагрузок, деформаций усадки и ползучести бетона проведены экспериментальные исследования монолитных плит на одном из строящихся объектов (рис. 5).

Суть эксперимента заключается в создании соответствующей плиты, ограниченной контурными балками и колоннами с подъемом очень маленькой высоты. После разборки

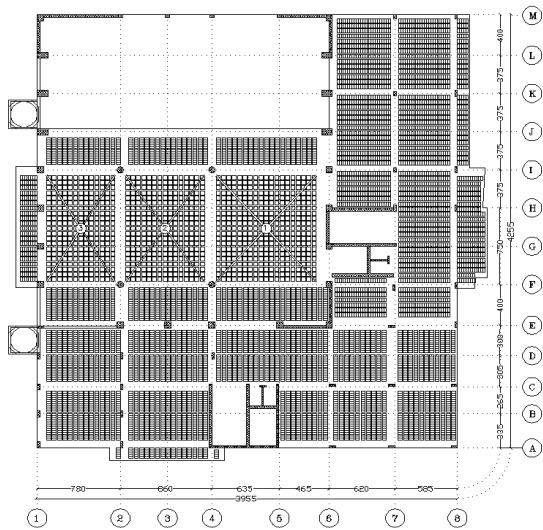
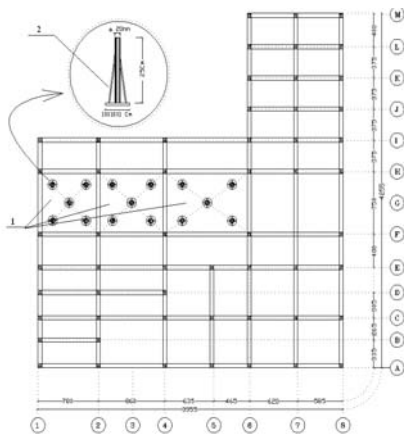


Рис. 5. Опалубочные чертежи перекрытия, на котором проведены испытания (плиты 1, 2, 3)

Опалубка плиты № 1 была приподнята в середине пролета на 100 мм, плиты № 3 – на 60 мм, а плита № 2 оставалась без подъема. На стадии укладки были отобраны пробы, по которым впоследствии определяли физико-механические свойства бетона.



*1 – исследуемые плиты;
2 – конструкция марки*

Рис. 6. Места установки измерительных марок и их форма

опалубки в результате возникших в плите деформаций от приложенной внешней нагрузки плита приобретает плоскую форму. Таким образом, величина подъема погашается за счет величины ожидаемой деформации в плите.

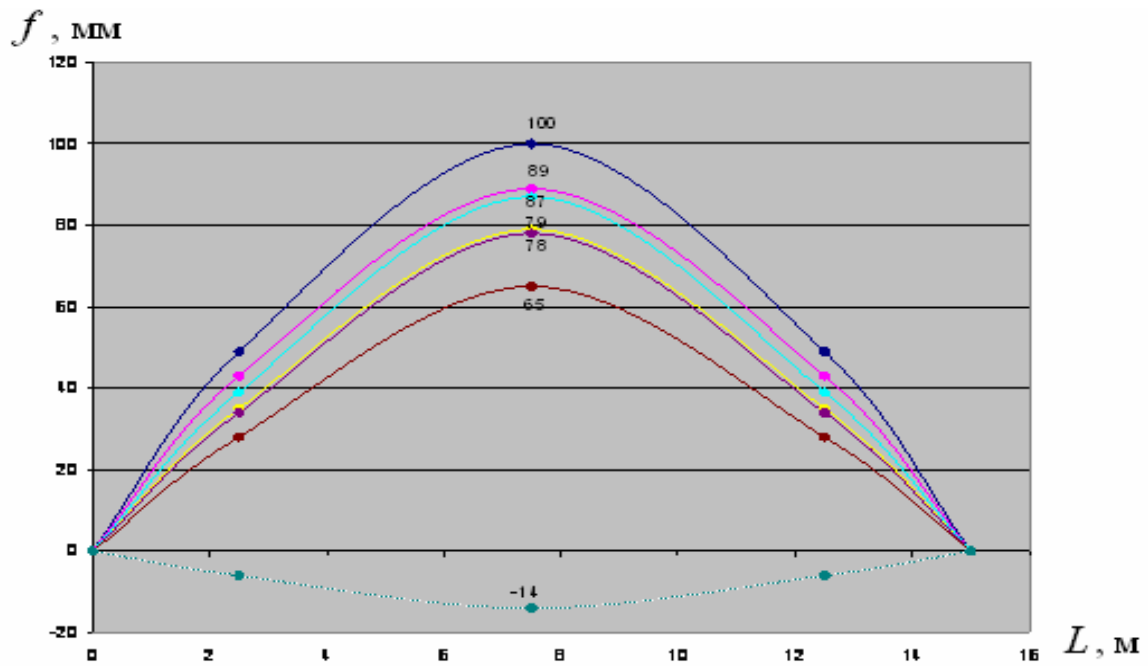
В силу того, что контурные балки и колонны создают жесткое защемление плиты, появляются усилия сжатия, которые оказывают сопротивление усилиям, возникшим вследствие усадки бетона. Эти усилия могут полностью уравновесить усадочные напряжения или ограничить усадочные трещины.

Деформации, возникающие в плитах, измеряли с помощью точных геодезических приборов в точках, указанных на рис. 6. Для проведения измерений использовали металлические марки в разных точках плит.

Первые измерения выполнены непосредственно после укладки бетона. Проведены измерения всех точек с определением деформаций по трем коэффициентам. Эти измерения были приняты в качестве опорных (исходных) данных. После снятия опалубки через 30 дней величина стрелы выгиба, полученная непосредственно с учетом собственного веса была определена в каждой точке измерения сразу же после снятия опалубки.

Далее измерения выполняли через каждые 2 месяца, а также при каждом изменении нагрузки. Таким образом выполнены измерения сразу же после укладки бетона, после приложения нагрузки, равной 400 кг/м^2 , а также после разопалубки следующего этажа и устройства полов, что дополнительно составляет 300 кг/м^2 .

Измерения, выполненные через 6 месяцев и через год, показали результаты, приведенные на рис. 7...12.



Условные обозначения:

- стрела подъема перекрытия до съема опалубки;
- стрела подъема перекрытия после съема опалубки под действием собственного веса;
- стрела подъема перекрытия под нагрузкой от опалубки и свежеуложенного бетона (400 кг/м²);
- стрела подъема перекрытия после снятия опалубки вышестоящего этажа;
- ожидаемая стрела подъема от эксплуатационной нагрузки;
- теоретический прогиб без учета подъема.

Рис. 7. Стрелки выгиба и прогиба в плите № 1 от различных видов загрузок

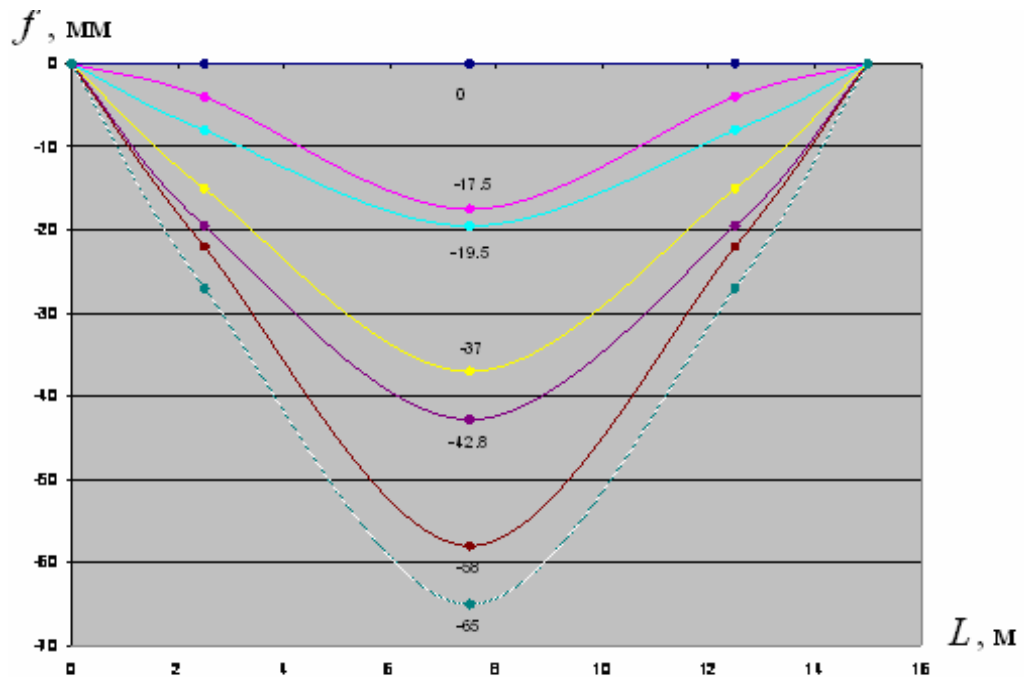


Рис. 8. Стрелки прогиба в плитах № 2 от различных видов нагрузок
(Условные обозначения – см. рис. 7)

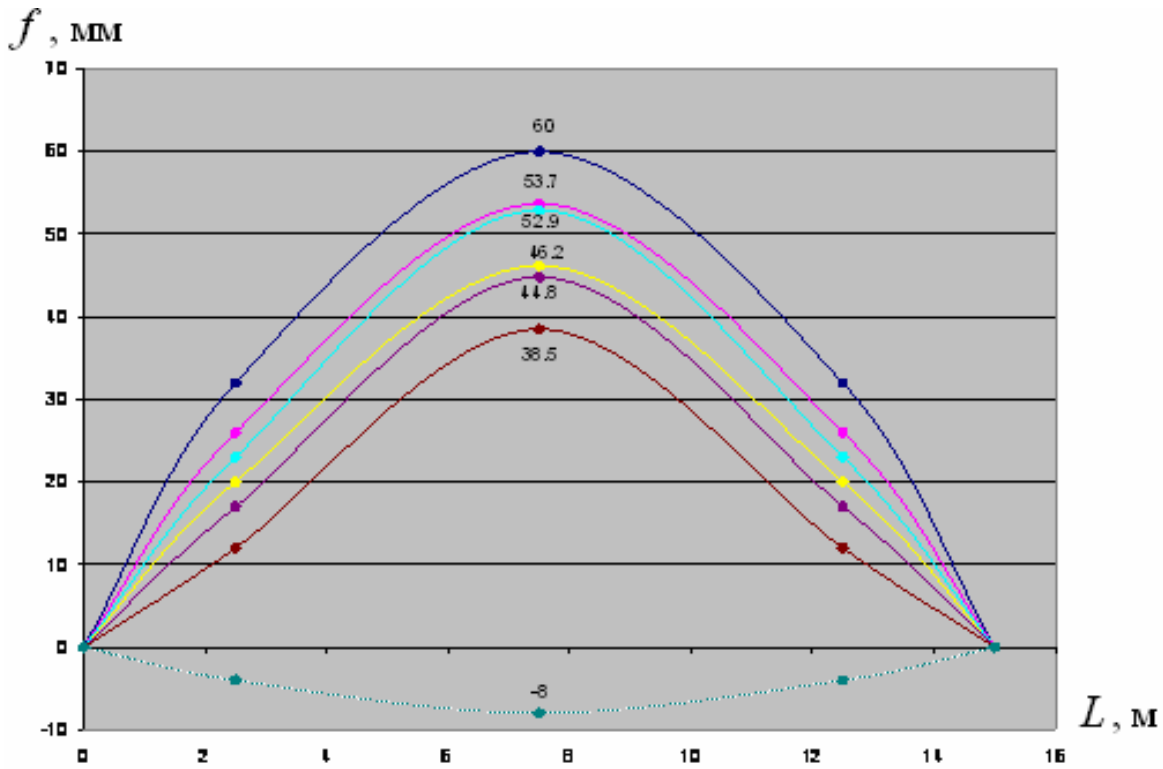
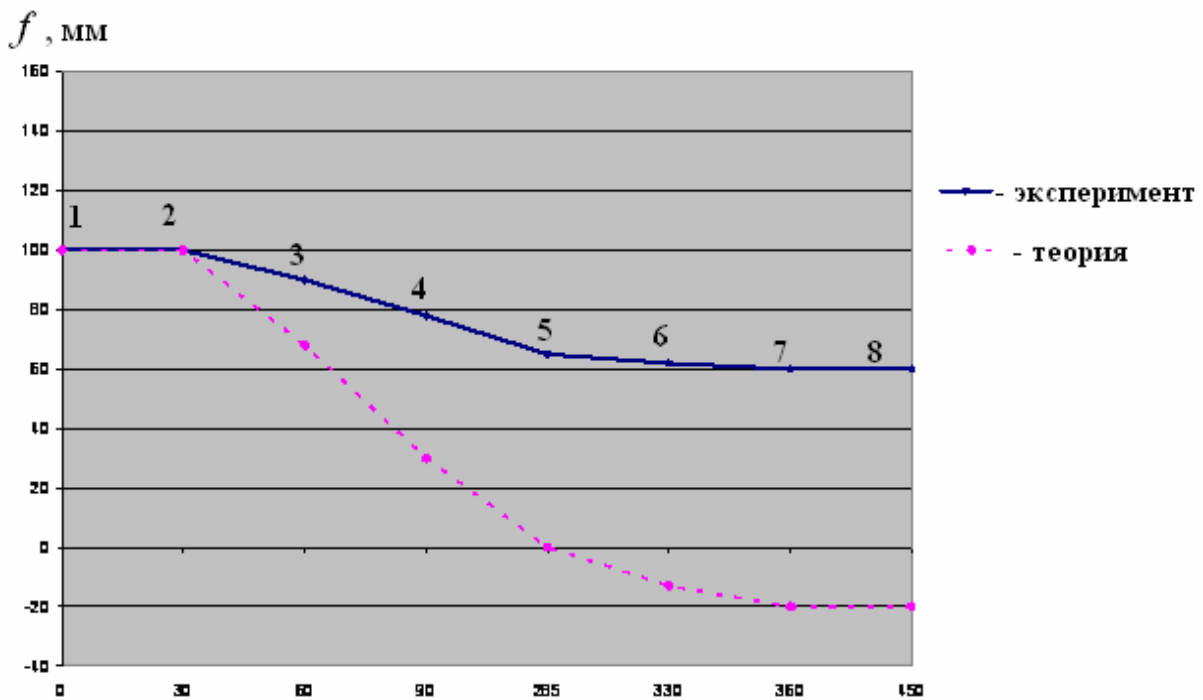


Рис. 9. Стрелки выгиба и прогиба в плите № 3 от различных видов нагрузок (Условные обозначения – см. рис. 7)



1, 2 – до снятия опалубки; 3 – после снятия опалубки; 4 – первое приложение нагрузки; 5, 6, 7, 8 – после второго приложения нагрузки.

Рис. 10. Стрелки прогиба в середине плиты № 1 от различных видов нагрузок

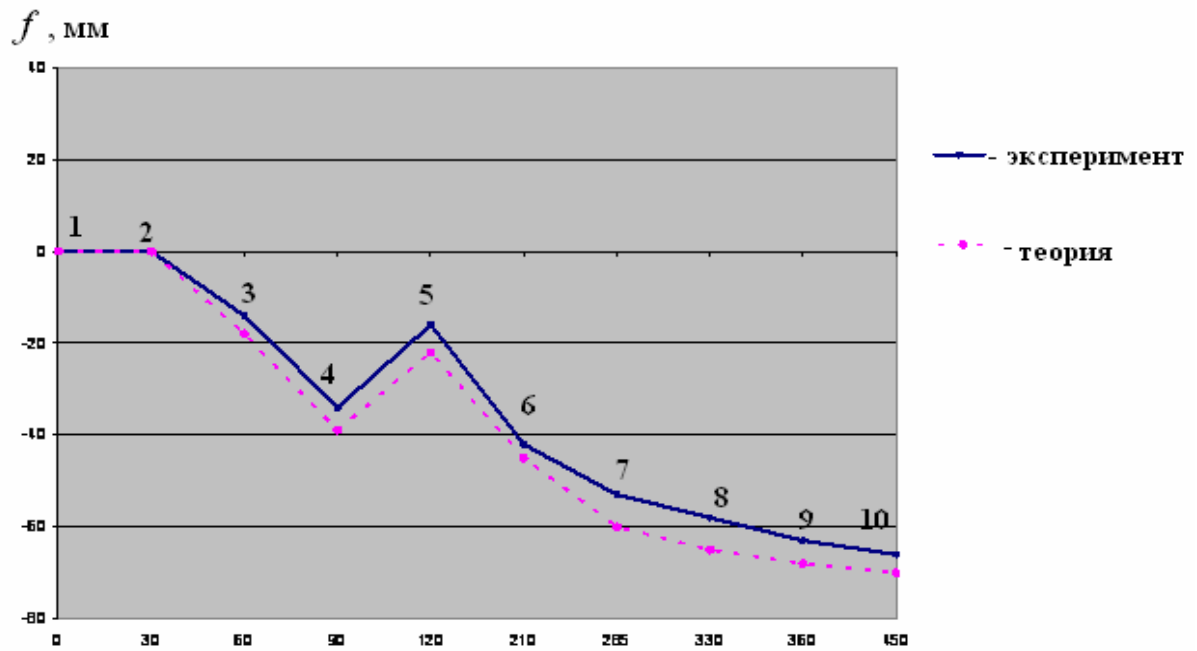


Рис. 11. Теоретические и экспериментальные прогибы в середине плиты № 2 от различных видов нагрузок (Условные обозначения – см. рис. 10)

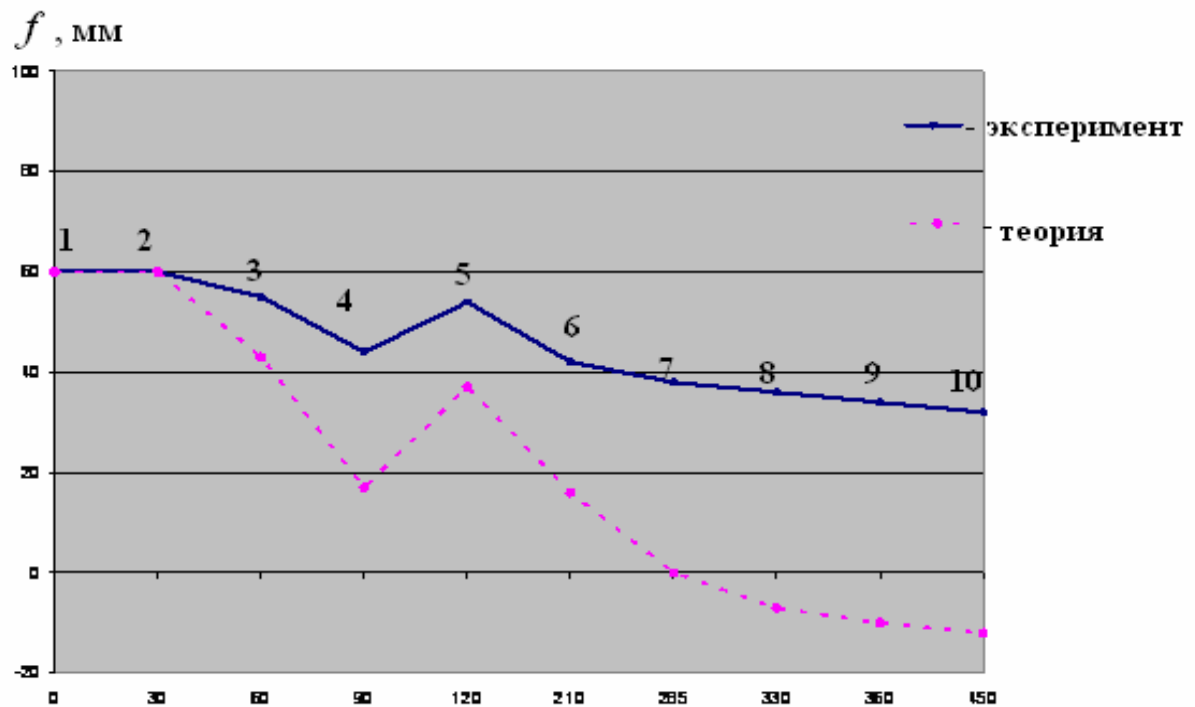


Рис. 12. Теоретические и экспериментальные прогибы в середине плиты № 3 от различных видов нагрузок (Условные обозначения – см. рис. 10)

В плите №2 было замечено образование усадочных трещин у краев и в углах сразу же после снятия опалубки. В плитах №1 и 3 такие трещины после распалубливания не были замечены. Однако со временем приборы показали наличие нескольких микротрещин, которые невозможно заметить невооруженным глазом.

На рис. 10, 11 и 12 приведено сопоставление изменения во времени экспериментальных и теоретических прогибов в середине плит №1, 2 и 3 под воздействием различных нагрузок.

Анализируя приведенные рисунки, можно сделать следующие выводы:

1. Размеры прогибов при одинаковых нагрузках в плитах № 1 и 3, выполненных с выгибом составляют 20...30 % от прогибов плиты № 2, выполненной без выгиба.
2. Экспериментальные прогибы в плитах с выгибами не превышают 30 % теоретической величины.
3. Фактические значения прогибов в плитах без выгиба около 85 % их теоретической величины.

Таким образом, экспериментами установлено, что создание выгиба в плоских плитах приводит к результатам, которые позволяют:

- избежать или существенно ограничить прогибы и трещинообразование от усадки бетона;
- перераспределять усилия в плите, что способствует повышению сопротивления ее внешним нагрузкам.

Выводы

Выполнение плиты с небольшой вспарушенностью в виде выгиба (обратной стрелки подъема) приводит к уменьшению прогибов и усадочных трещин, а также деформаций после приложения внешних нагрузок.

Для того, чтобы величина выгиба создавала положительный эффект, она должна быть выполнена в пределах 30 % от ожидаемой расчетной величины прогиба.

Более точное решение вопроса деформативности и трещиностойкости плоских плит пролетом свыше 5 м при действии деформаций усадки и внешних нагрузок требует постановки более широких экспериментальных исследований.

Литература

1. Методические рекомендации по исследованию усадки и ползучести бетона. НИИЖБ. – Москва, 1975. – 56 с.
2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 1989. – 86 с.