

2. Проектирование технологических процессов сборки машин: учебник / Под общ. ред. А.А. Жолобова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 410 с.

3. Технология машиностроения (специальная часть): учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

4. Выбор технологической оснастки для достижения точности сборки методом регулирования неподвижных компенсаторов / О.А. Медведев, П.Н. Ковальчук // Вестник брестского государственного технического университета. – Брест, 2008. – № 4(52): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 40-44.

УДК 624.012

Страпко И.В., Кот Н.Н., Видничук А.Н.

Научный руководитель: ассистент Желткович А.Е.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОГО ПРОЛЁТА БЕТОННОГО ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ, РАБОТАЮЩЕГО БЕЗ ВЫГИБА, ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ, И ПОДВЕРЖЕННОГО ВЫНУЖДЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ РАСШИРЕНИЯ

Влияние положения ограничивающих связей в пределах бетонного сечения

В теории самонапряженного железобетона на протяжении ряда лет наиболее дискуссионным вопросом являлся вопрос о распределении самонапряжения по сечению конструкции при изменении положения ограничивающей связи относительно центра тяжести бетонного сечения. На основании исследований [2, 3] с позиции энергетической теории расширения, изложенной в [4], принято считать, что независимо от расположения в сечении ограничивающих связей, самонапряжение по сечению распределено равномерно. Исходя из этого, мультипликативная модель для расчета самонапряжения в конструкции, описанная формулой (2.1) [5], построена с использованием гипотезы о равномерном распределении самонапряжения по сечению. Отклонения ограничивающей связи от осевого положения принято учитывать при помощи корректирующего коэффициента k_e (см. табл. 2.1) [5].

В исследовании [2, 3] наблюдали тенденцию к выравниванию усилий в верхнем и нижнем армировании при несимметричном расположении арматуры в сечении.

Несоответствие опытным данным (см. раздел 2.3.1) [5], наблюдается при оценке деформированного состояния конструкции, в случае одиночного армирования сечения. Экспериментально установлено [6, 7, 8, 9], что в односторонне армированных конструкциях при расширении наблюдаются значительные выгибы и даже появление трещин на неармированной грани (при использовании активных напрягающих бетонов). Такой характер деформирования указывает на явно неравномерное распределение самонапряжения в бетоне (трапецевидную и даже двузначную эпюру).

Как следует из результатов исследований, представленных в работах, гипотеза о равномерном распределении самонапряжения справедлива для элементов с малыми эксцентриситетами и практически полностью неприемлема для элементов с односторонним положением ограничивающей связи, при моделировании работы железобетонных конструкций.

В работе [10] акцентируется внимание на раздельном характере деформирования дорожного полотна относительно основания, причём распределение деформаций по высоте сечения плиты принимается равномерным, вертикальные деформации (выгибы) плиты не рассматриваются.

В работе [11] указывается, что при действии силы в сечении конструкции, приложенной с эксцентриситетом, конструкция будет выгибаться, если её не скомпенсирует другая сила (собственный вес, пригруз). При рассмотрении вопроса о взаимодействии системы «плита – основание» проблема распределения деформаций по высоте сечения становится актуальной и требует положительного решения.

Теоретические основы расчёта возможных вертикальных перемещений в плитах

Расчёт выполнен энергетическим способом [11]. Вычислим работу по подъёму плиты от силы, действующей с эксцентриситетом e , (см. рис. 1) относительно нейтральной оси, приложенной к подошве плиты. При этом зададимся очертанием изогнутой оси деформированной плиты в виде синусоиды $y(x) = f_0 \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l}$, которая хорошо описывает прогибы шарнирно опертой плиты при действии равномерно распределённой нагрузки [12]. На перемещениях y , положительную работу совершают силы собственного веса плиты.

$$A_1 = q_{c.occ} \cdot \int_0^l y(x) dx = q_{c.occ} \cdot \int_0^l \sin \left(\frac{\pi \cdot x}{l} \right) dx = -q_{c.occ} \cdot \frac{f_0 \cdot l}{\pi} \cdot \left(\cos \left(\frac{\pi \cdot x}{l} \right) \right) \Big|_0^l = q_{c.occ} \cdot \frac{2 \cdot f_0 \cdot l}{\pi} \quad (1)$$

где f_0 – предполагаемый выгиб плиты, φ – угол поворота участка плиты (депланация сечения), $q_{c.occ}$ – полная нагрузка от собственного веса, e – эксцентриситет силы, u – перемещение концевой участка плиты, $\tau(u)$ – касательные напряжения.

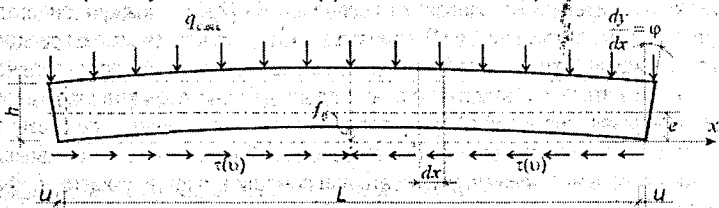


Рисунок 1 – Силы, действующие в плите

Работу (отрицательную) так же совершает внутренний изгибающий момент (силы, приложенной с эксцентриситетом) на деформациях изгиба плиты, вызванной перемещениями плиты по основанию при расширении или усадке бетона плиты.

$$A_2 = \frac{B}{2} \cdot \int_0^l \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{B}{2} \cdot \frac{f_0^2 \cdot \pi^4}{l^4} \cdot \int_0^l \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot x}{l} \right) dx = \frac{B}{2} \cdot \frac{f_0^2 \cdot \pi^4}{2 \cdot l^3} \quad (2)$$

Изгибная жёсткость плиты определена по формуле:

$$B = \frac{ML^2}{\pi^2 f_0} = \frac{q_{c.occ} \cdot l^4}{8\pi^2 f_0}, \text{ где } M = T \cdot e; \text{ а } T = \tau(u) \cdot \frac{L}{2} \quad (3)$$

Составляя выражение баланса работ $A_1 = A_2$, получаем линейное уравнение относительно величины $q_{c.occ}$ – собственного веса плиты, требуемой для компенсации выгиба. Плита не реализует выгиб, если работа сил сцепления и трения по подошве плиты будет меньше работы сил собственного веса плиты.

$$q_{c.occ} \geq \frac{\tau(u) \cdot e \cdot \pi^2}{8L \left(\frac{\pi^2}{32} + \frac{2}{\pi} \right)} \quad (4)$$

Принимая во внимание, что эксцентриситет равен половине высоты плиты $e = \frac{h}{2}$, выражение (4) удобнее представить через определение L_{\min} – минимально возможной длины плиты, для которой градиента напряжений (неравномерного распределения напряжений по высоте сечения) будет недостаточно, чтоб реализовался выгиб. Запишем его в зависимости от $\tau(u)$ – величины касательных напряжений, действующих по контакту плиты.

$$L_{\min} \geq \frac{\tau(u) \cdot 2 \cdot \pi^3}{\rho_{\text{бет}} \cdot (\pi^3 + 64)} \quad (5)$$

Так как $\tau(u) = \tau(u)^* + \tau_{\text{трения}}$, где $\tau_{\text{трения}} = \rho_{\text{бет}} \cdot h \cdot \mu$, выражение (5) окончательно примет вид:

$$L_{\min} \geq \frac{(\tau(u)^* + \rho_{\text{бет}} h \mu) \cdot 2 \cdot \pi^3}{\rho_{\text{бет}} \cdot (\pi^3 + 64)} \quad (6)$$

Т.о., получим ряд значений L_{\min} для различных типов оснований, (см. табл. 1).

Таблица 1 – Минимально возможная длина плиты без выгиба

Тип основания	Минимально возможная длина плиты без выгиба, L_{\min} [м]
Бетон	6,53
Песок	0,25
Щебень	0,47

Как видно, при устройстве плиты на бетонном «жестком» основании требуются значительные размеры самой плиты для компенсации сил сцепления и трения, возникающих на подошве. Это требует организации дополнительных мер, например, устройства рабочей арматуры в верхней части сечения плиты.

С целью выявления действительного характера распределения деформаций по высоте сечения плиты, устроенной на «жестком», бетонном основании, были запланированы и проведены экспериментальные исследования образцов плит.

Экспериментальные исследования

Изготовления опытных образцов было выполнено с использованием специальных деревянных опалубочных форм. Основание перед установкой опалубки для плит промывалось проточной водой и очищалось от пыли.

Выгибы (вертикальные деформации) измерялись индикаторами часового типа ИЧ-100, размещёнными на штативах. Фиксация вертикальных деформаций центра плиты производилась при помощи видеокамеры с передачей изображения на компьютер.

Для определения вертикальной составляющей деформации (выгиба), посередине полёта плиты устанавливается штатив с индикатором (см. рис. 4), шток которого опирается на репер устроенный в середине плиты. Показания индикатора фиксируются видеокамерой (см. рис. 4), с частотой съёмки 1 к/с, на протяжении нескольких суток непрерывно.

Таблица 2 – Краткая программа экспериментальных исследований

Серия	Обозначение плит	Сечение		Энергоактивность напрягающего бетона, Н/мм ²	Основание	Услов. хранения	Кол. во, шт.
		bxhxl, см	Аб, см ²				
1	П-I	3x20x2000	60	0,6	бетон	влажное, под плёнкой	1
2	П-III	3x20x2000	60	3,0	бетон	влажное, под плёнкой	1

Устройство – самописец было сконструировано для выявления кинетики деформирования плиты с возможностью фиксации момента проскальзывания края плиты и величины деформации сдвига. В одном торце плиты устанавливался индикатор на штативе, см. рис. 2, а в другом – самописец.

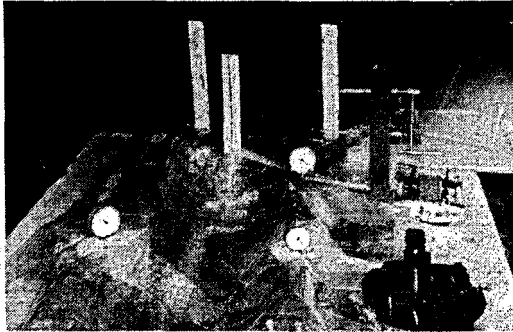


Рисунок 1 – Общий вид испытаний плит (момент ожидания выгиба и проскальзывания края плиты)

Анализ экспериментальных исследований

Графики распределения вертикальных перемещений, зарегистрированных в результате испытаний, показаны на рис. 3, рис. 5, горизонтальных – на рис. 4, рис. 6. Для серии № 2 конечные измерения деформаций производились в возрасте 10 суток.

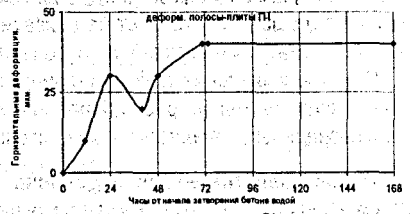
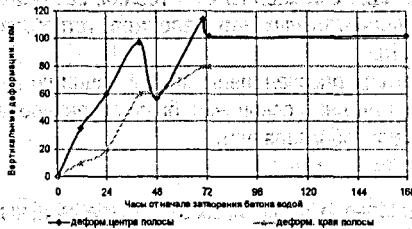


Рисунок 1 – Вертикальные деформации центра и края плиты (П-I) серии №1

Рисунок 1 – Горизонтальные деформации для плиты (П-I) серии №1

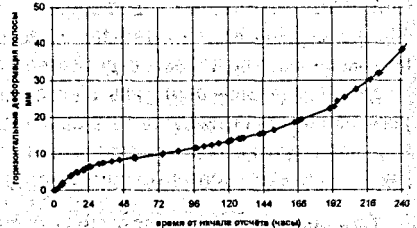
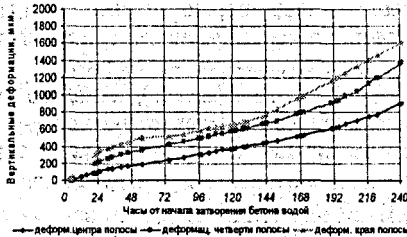


Рисунок 1 – Вертикальные деформации разных участков плиты (П-III) серии №2

Рисунок 1 – Горизонтальные деформации плиты (П-III)

Заключение

1. В опытах серии № 1 показания индикатора, снимающего вертикальные перемещения плиты в центре, превышали аналогичные значения на краях плиты, но эта разница

вполне объяснима температурными колебаниями среды. Анализируя график развития горизонтальных перемещений, см. рис. 4, зафиксирован аналогичный характер динамики деформирования на данный момент времени, например, на 48 час. В опыте серии № 2, где был использован более активный бетон, показания вертикальных перемещений плиты П-III, в центре плиты, были значительно меньше аналогичных перемещений в четверти полосы, и на концевом участке, что говорит об отсутствии каких-либо указаний на выгиб.

2. В момент предполагаемого выгиба при нарушении сцепления бетона с основанием (у края плиты, из-за стремительного сокращения площади взаимодействия плиты с основанием), ожидалось возвращение плиты в прежнее положение. Видеоприборы должны были зафиксировать выгиб, а после – падение показаний на индикаторе № 3, снимающем вертикальные перемещения, а чернильная ручка на самописце № 1 в этот момент отчертила бы отличающийся след на миллиметровой бумаге, так называемый след смещения от вертикальной составляющей перемещений, но это явление не было отмечено ни в одном из экспериментов. Вместе с тем не было зафиксировано и характерного выгиба. Таким образом, при расширении плиты на «жёстком», бетонном основании возникающую связь на контакте можно рассматривать как силу, действующую в определённый, самый короткий момент времени, но не способную реализовать выгиб. Это можно объяснить тем, что в процессе расширения, на концевых участках, накапливается значительная потенциальная энергия деформации, которая реализуется в сдвиге концевого участка гораздо раньше (и выравнивает градиент деформаций по высоте сечения), чем плита успевает набрать достаточную жёсткость, чтобы реализовать выгиб.

3. Можно сделать вывод, что момента от силы сдвига в контакте (при устройстве плиты без упоров, нагелей) недостаточно для того, чтобы в плите были преодолены вертикальные силы сцепления с основанием (адгезионные). После сдвига концевого участка идёт стремительное развитие трещины в контакте между плитой и основанием, приближая фронт трещины к центру плиты, тем самым разрушая адгезионные силы сцепления и нейтрализуя момент силы.

4. Как видно из результатов проведённых экспериментов, существует явное расхождение между теоретически определённым параметром L_{\min} по формуле (6) и опытными данными. Это можно объяснить тем, что в формуле (6) не учтен ряд параметров охватывающих особые свойства напрягающего бетона (формирование структуры расширяющегося бетона, кинетика набора прочности, расширение в связанных условиях). Силы трения по подошве плиты и основания при значительных горизонтальных перемещениях плиты могут изменяться теоретически вплоть до величины характеризующей коэффициентом трения двух бетонных поверхностей, в формуле же (6) значение $\tau_2(u)$ (напряжение в контакте при сдвиге бетона по бетону) принято постоянным и равными 0,24 МПа, в соответствии с [13].

5. В качестве резюме отметим – в плитах длиной 2 м, устроенных на бетонном основании, не происходит деформации сечения, поэтому не требуется организация мероприятий по компенсации усилий от трения и сцепления. Автоматически очевидно и следующее: при устройстве плит из напрягающего бетона размерами более указанных в таблице 1, на «сыпучих» основаниях (гравий, щебень), в верхней части сечения никогда не возникнет такого состояния, при котором плита потеряет плоскостность и выгнется.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные нормы и правила 2.03.13-88. Полы. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 16 с.
2. Будагянц, Л.И. Исследование напрягающего цемента нормального твердения и процесса самонапряжения железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. – М., 1980. – 160 с.
3. Будагянц, Л.И. Исследование самонапряжения изгибаемых и симметрично армированных элементов // Новые технологии и конструирование бетонных и железобетонных конструкций: Сб. тр. / Под ред. В.В. Михайлова. – Москва: НИИЖБ, 1966. – С. 41–47.
4. Михайлов, В.В. Расширяющие и напрягающие цементы и самонапряженные конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 389 с.
5. Тур, В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкции при применении напрягающего бетона. – Брест: Изд. БПИ, 1998. – 244 с.
6. Будюк, В.Д. Экспериментально-статистическое моделирование самонапряжения железобетонных элементов / В.Д. Будюк, В.И. Никитин // Изв. вузов. – Т. 36, № 2. – С: 12-17.
7. Будюк, В.Д. К вопросу повышения эффективности емкостных сооружений малых объемов / В.Д. Будюк, В.В. Тур // Вопросы строительства и архитектуры: сб. тр./ Под ред. Л.К. Лукши. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – С. 37-41.
8. Гольшев, А.Б. Расчет предварительно напряженных сборно-монолитных неразрезных конструкций с учетом длительных процессов / А.Б. Гольшев, Г.М. Реминец, М.М. Федоренко // Железобетонные конструкции: сб. тр. / Под ред. В.П. Полищука и Б.Я. Рискинда. – Челябинск: Стройпроект, 1969. – С. 29-41.
9. Тур, В.В. Прочность, жесткость и трещиностойкость самонапряженных сборно-монолитных ребристых плит перекрытий: дисс. ... канд. техн. наук 05.23.01. – Москва, 1989. – 275 с.
10. Zhang, J. Victor. Li. Influence of supporting base characteristics on shrinkage-induced stresses in concrete pavements / J. Zhang, Li. Victor // Journal of Transportation Engineering. – 2001. – № 6. – Vol. 127.
11. Босоков, С.В. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безапалубочного формования / С.В. Босоков, В.Н. Белевич, Н.С. Щетиков // Вестник БрГТУ. – 2010. – № 1(61): Строительство и архитектура. – С. 46-50.
12. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. – Москва: Наука, 1965. – 363 с.
13. Желткович, А.Е. Исследование параметров диаграмм сдвига бетона по основанию и получение аналитических зависимостей развития деформаций сдвига в зависимости от типов оснований: перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров РБ: сб. тр. XV Междунар. науч.-метод. семинара: в 2-х т. / Под общ. ред. Д.Н. Лазовского, А.А. Бакатовича. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т. II. – 233 с.

УДК 681.7:068

Сушков Д.А., Медведев Т.А.

Научные руководители: доцент Веремейчик А.И., профессор Сазонов М.И.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ НАГРЕВА АЗОТА

Введение

Плазменные потоки используются в различных практических приложениях: для изучения движения тел при входе в плотные слои атмосферы Земли и других планет, для промышленного получения различных химических веществ, которые трудно либо вообще невозможно получить; при сварке, резке и упрочнении металлов, нанесении износостойких тонких пленок на детали машин, в металлургии и многих других процессах [1-6]. Плазменные технологии относятся к разряду наиболее перспективных и в настоящее время интенсивно разрабатываются. Исследования и практика их применения показали, что плазменный источник нагрева эффективно может применяться наряду с лазерным и электронно-лучевым источниками, обеспечивая высокую эффективность процесса [1-2]. Такие источники нагрева с высокой плотностью позволяют осуществлять поверхностную закалку изделий, сущность которой заключается в фазовых и структурных