

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.74:624.075

Агапов В.П., Айдемиров К.Р.

О РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ «ПРИНС»

Agapov V.P., Aidemirov K.R.

ON THE CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE PLATES OF VARIABLE THICKNESS IN THE COMPUTER PROGRAMM «PRINS»

Описываются особенности моделирования железобетонных плит переменной толщины в вычислительном комплексе метода конечных элементов «ПРИНС». Приводится пример расчета консольной железобетонной плиты, выполненного в этом комплексе. Рассматриваются два варианта сечения плиты - постоянное и переменное. Результаты расчета сравниваются по напряжениям и деформациям.

Ключевые слова: *строительные конструкции, железобетонные плиты постоянного и переменного сечения, метод конечных элементов.*

The features of modeling of reinforced concrete slabs of varying thickness in computer finite element method program PRINS are described. An example of the cantilever reinforced concrete slab, made in this program, is given. Two options section of the plate - fixed and variable, are considered. Calculation results are compared to stresses and strains.

Key words: *building structures, reinforced concrete plates of constant and variable thickness, finite element method.*

При проектировании железобетонных плит покрытий и перекрытий часто используется способ уменьшения напряжений, как в приконтурной, так и в основной части плиты за счет ее постепенного утолщения к линии контура [1-3]. В некоторых случаях этот прием существенно изменяет условия работы плиты, которая при искривлении ее срединной поверхности начинает работать как пологая оболочка. При расчете таких конструкций методом конечных элементов необходимо использовать оболочечные конечные элементы, как постоянной, так и переменной толщины. Однако элементы переменной толщины имеются не во всех конечно-элементных программах. Поэтому расчетчики и проектировщики, использующие такие программы, вынуждены упрощать расчетные схемы и представлять плиты переменной толщины как плиты ступенчатого сечения [4-7]. Это приводит к искажению напряженно-

деформированного состояния рассчитываемых конструкций. Следует отметить, что в подавляющем большинстве работ, посвященных расчету железобетонных плит с учетом нелинейности деформирования, также рассматриваются в основном плиты постоянного сечения (см., например, [8-10]). Отсутствие общедоступных и апробированных методик расчета плит переменной толщины создает проблемы при проектировании и расчете конструкций, содержащих подобные элементы. Возможно, что это является одной из причин того, что на практике плиты постоянной толщины применяются и в тех случаях, когда в этом нет никакой необходимости с точки зрения логики работы конструкции, например, при устройстве балконов или лоджий, что приводит к перерасходу материала. Упомянутые выше проблемы решены в вычислительном комплексе ПРИНС, в составе которого имеются конечные элементы железобетонных плит переменной толщины трех- и четырехугольной формы в плане. В качестве иллюстрации возможностей комплекса ПРИНС и доказательства возможности экономии материала рассмотрим расчет консольной плиты на равномерно распределенную нагрузку и собственный вес.

Плита рассчитывалась в двух вариантах. В первом варианте толщина плиты принималась постоянной, во втором - переменной. Размеры плит приведены на рис.1 и 2.

Расчет проводился в линейной постановке при следующих исходных данных: в качестве материала плит принят тяжелый бетон класса В40 с начальным модулем $E = 332000 \text{ кгс} / \text{см}^2$, коэффициент Пуассона $\mu = 0.2$, удельным весом $\gamma = 2500 \text{ кгс} / \text{м}^3$ и расчетным сопротивлением на растяжение $R_{bt} = 1,4 \text{ МПа}$. Плиты усиливались в растянутой зоне арматурой класса А III с площадью сечения $62,8 \text{ см}^2 / \text{м}$. Интенсивность нагрузки принималась равной $1 \text{ кН} / \text{м}^2$.

Для обоих вариантов принималась одна и та же расчетная схема, показанная на рис.3.

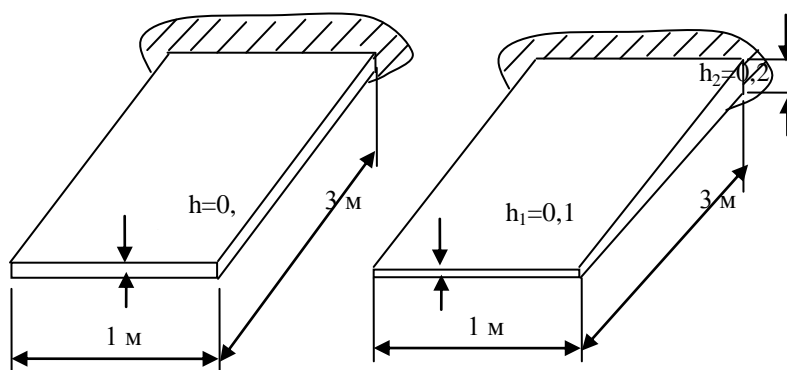


Рисунок 1 - Плита постоянной толщины

Рисунок 2 - Плита переменной толщины

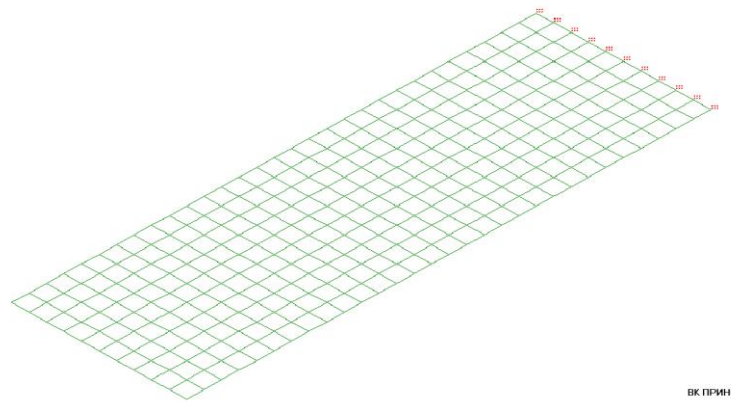


Рисунок 3 - Расчетная схема плиты

Результаты расчетов представлены на рис. 4 - 7.

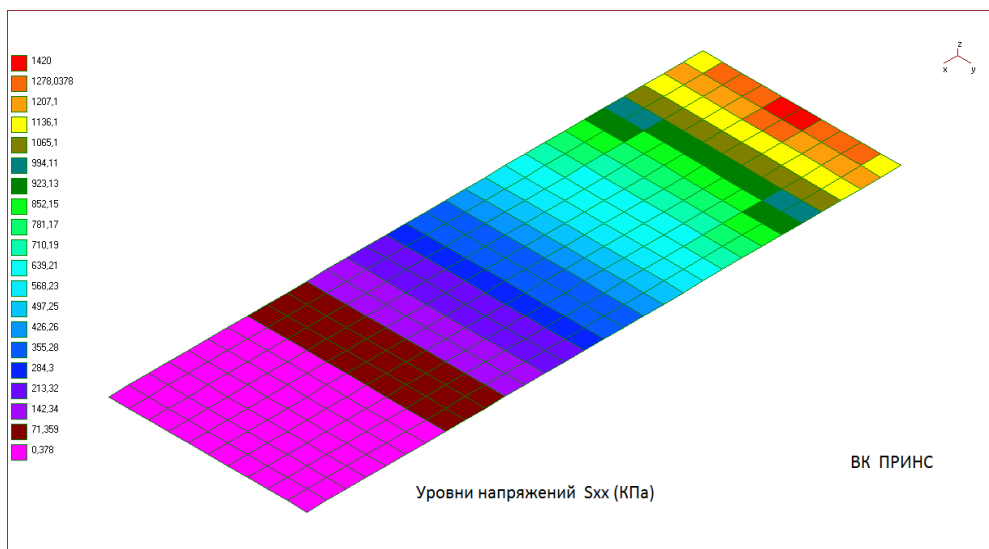


Рисунок 4 - Напряжения на верхней поверхности плиты постоянного сечения (КПа)

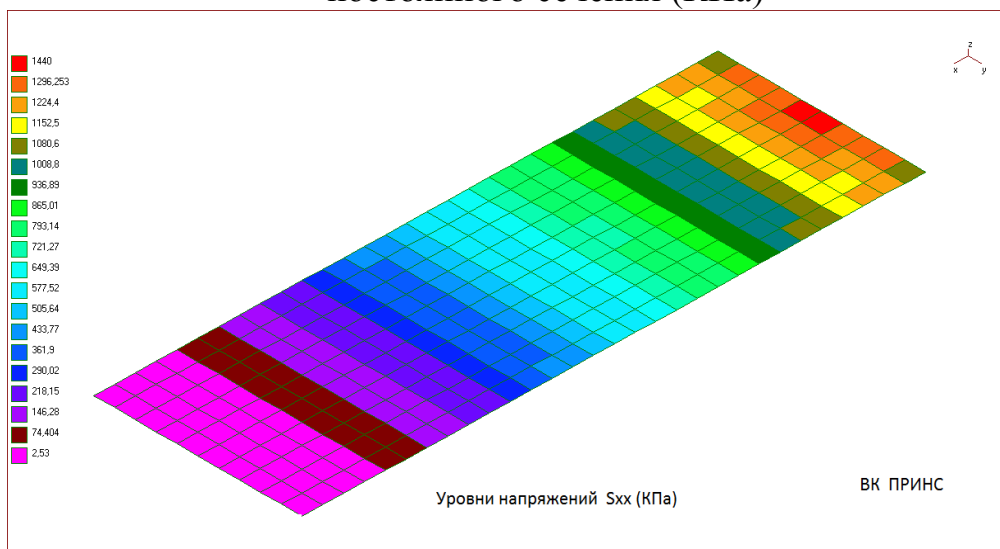


Рисунок 5 - Напряжения на верхней поверхности плиты переменного сечения (КПа)

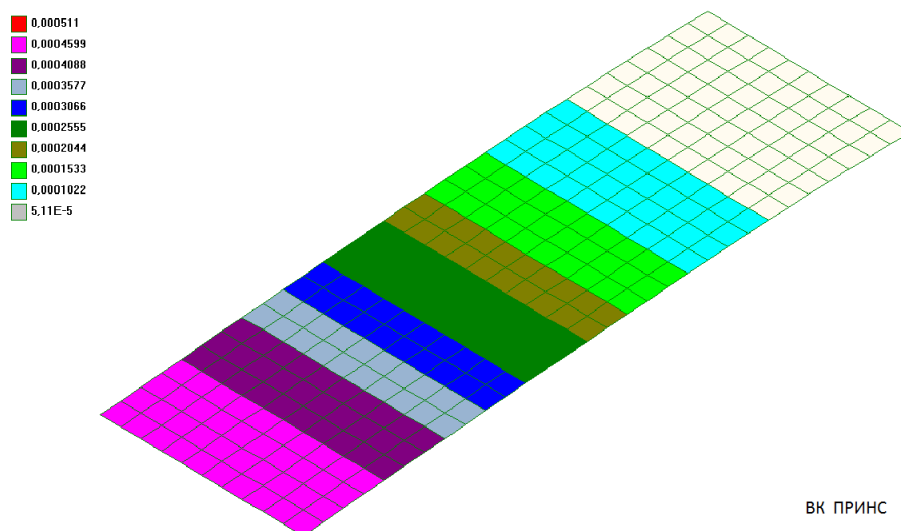


Рисунок 6 - Перемещения в плите постоянного сечения (м)

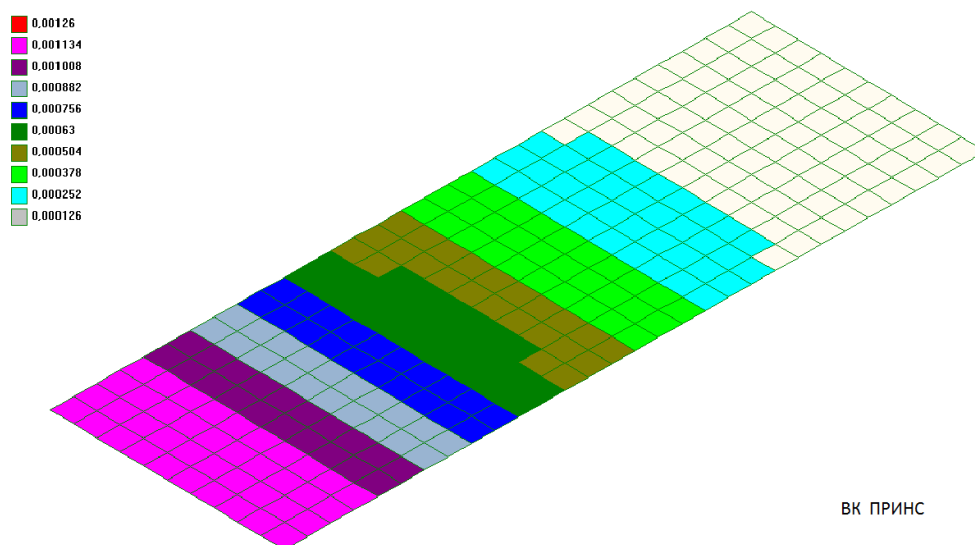


Рисунок 7 - Перемещения в плите переменного сечения (м)

Как видно из рисунков 4 и 5, обе рассчитанные плиты дают практически одинаковые значения напряжений на растянутой поверхности в заделке: $\sigma_{x, \max} = 1420$ кПа в случае плиты постоянного сечения и $\sigma_{x, \max} = 1440$ кПа в случае плиты переменного сечения. Следовательно, сравниваемые плиты обеспечивают одинаковую прочность. Однако объем плиты переменного сечения намного меньше. При принятых размерах объем плиты постоянного сечения $V_{\text{пост}} = 1,2$ м³, а объем плиты переменного сечения $V_{\text{перем}} = 0,525$ м³. Таким образом, замена плиты постоянного сечения плитой переменного сечения в данном случае обеспечивает более чем двукратную экономию бетона.

Что касается деформаций плит, то максимальный прогиб в случае плиты постоянного сечения оказался равен $w_{\text{макс. пост}} = 0,511$ мм, а в случае плиты пе-

ременного сечения $w_{\text{макс.перем}} = 1,26$ мм, т.е. несколько больше. Однако и в последнем случае максимальный прогиб составляет $1/2381$ длины консоли, равной 3 м, что намного меньше норм, принятых в строительстве.

На основе проведенных расчетов можно сделать вывод, что программный комплекс ПРИНС может оказаться полезным при проектировании и расчете конструкций, содержащих плиты переменной толщины.

Библиографический список:

1. Складнев Н. Н. Особенности работы ребристых полок панелей покрытий одноэтажных промзданий//Железобетонные элементы и конструкции пространственно-деформируемых систем. – М., 1976. – с. 83-87.
2. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы): Справочник/Ю. А. Дыховичный, Э. З. Жуковский, В. В. Ермолов и др.; Под ред. Ю. А. Дыховичного, Э. З. Жуковского.— М.: Высш. шк., 1991.—543 с.
3. СП 52-117-2008. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть I. Методы расчета и конструирование. - М., 2008.
4. Басов К.А. ANSYS: Справочник пользователя. - М., ДМК Пресс, 2005. - 640 с.
5. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа.- М., ДМК Пресс, 2005. - 600 с.
6. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт,- 2007. - с. 392.
7. Карпенко С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. - М., 2010.- 375 с.
8. Ray S.S. Reinforced concrete. Analysis and Design. - Blackwell Science Ltd. 1995. - 543 p.
9. Chen W.F. Plastisity in Reinforced Concrete. - J.Ross Publishing, 2007. - 463 p.
10. Kwak H.G., Filippou F.C. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures Under Monotonic Loads. - Department of Civil Engineering University of California Berceley, California.- Report NO.UCB/SEMM-90/14. - 2004. - 120 p.
11. Агапов В.П. Исследование прочности пространственных конструкций в линейной и нелинейной постановках с использованием вычислительного комплекса «ПРИНС». - Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчет, проектирование, применение). – Сб. статей, вып. 11 // МОО «Пространственные конструкции», под ред. В.В.Шугаева и др. – М., 2008, с. 57-67.