

## ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ИХ ШТАМПАМИ СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ

**Шеховцов В.И.** (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса*), **Клованич С.Ф.** (*Одесский национальный морской университет, г.Одесса*)

В першій частині праці представлені експериментальні данні по вивченню напружено-деформованного стану залізобетонних плоских плит при продавливанні їх штампами різноманітної конфігурації. У другій частині наводяться скінчено-елементні чисельні експерименти і їх порівняння з натурними дослідженнями.

Действующие нормы требуют расчета плитных конструкций на действие концентрированной на участке нагрузки - расчет на продавливание. Существующие методы расчета в отечественных нормах являются расчетами по прочности, в основу которых заложены гипотезы о заранее заданной пирамиде продавливания с плоскими гранями. Однако значительная часть экспериментов показывает, что данная гипотеза недостаточно обоснована.

В данной работе представлены результаты поставленных натуральных экспериментов по изучению влияния геометрии штампа на работу плит при продавливании. Также представлены результаты сравнительных численных расчетов методом конечных элементов, основанные на деформационной модели бетона и железобетона для решения трехмерных задач механики деформированного твердого тела, в основу которой положена теория Н.И. Карпенко [1].

**Натурный эксперимент.** Авторами, в лаборатории железобетона ОГАСА, проводятся экспериментальные исследования по изучению влияния геометрии штампов на работу железобетонных плит при продавливании. Здесь приводится описание нескольких из этих экспериментов и результаты последующего расчета по методу конечных элементов в нелинейной постановке. Испытывались серии квадратных плит с размерами 900x900x200 мм и шарнирным опиранием по всем сторонам.

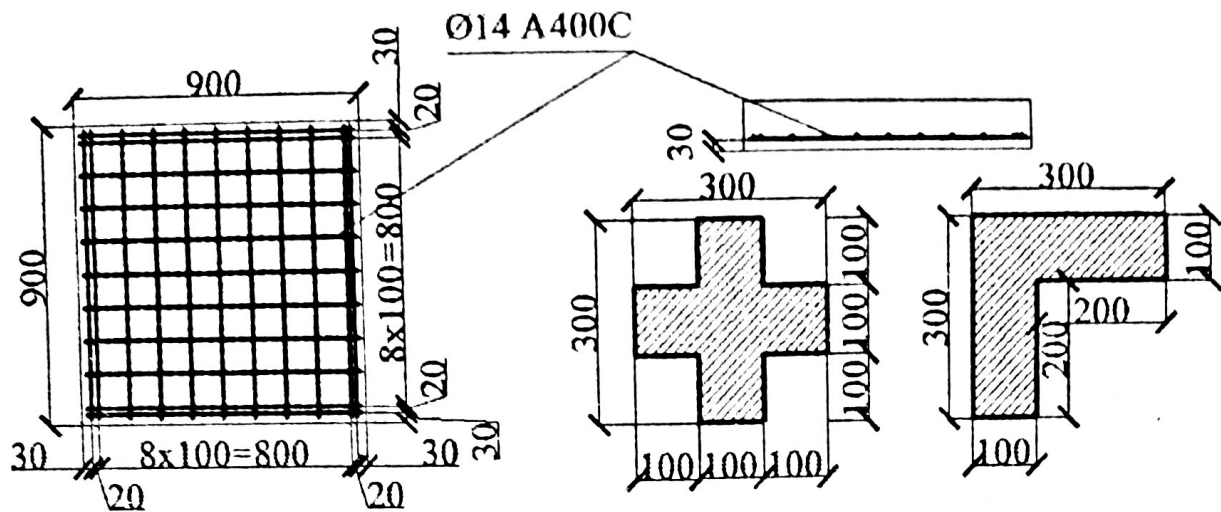


Рис 1. Армирование опытных образцов и геометрические размеры продавливающих штампов

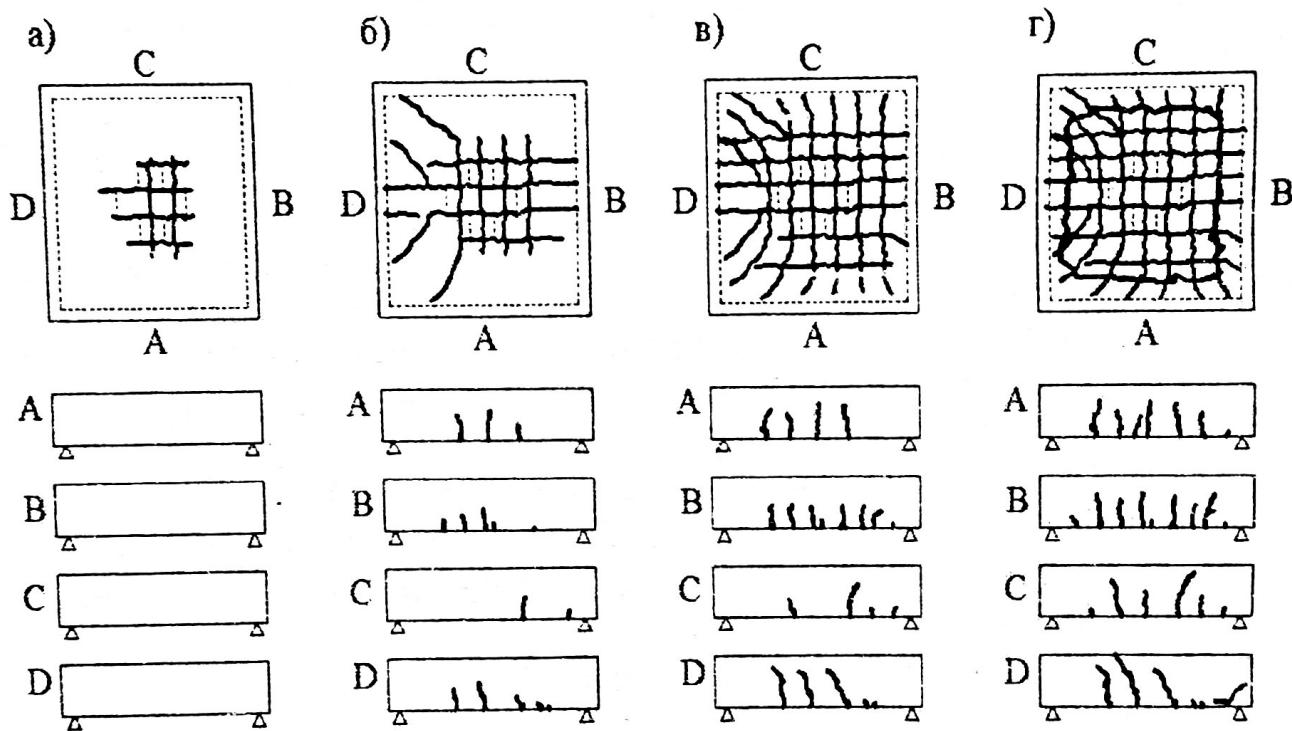


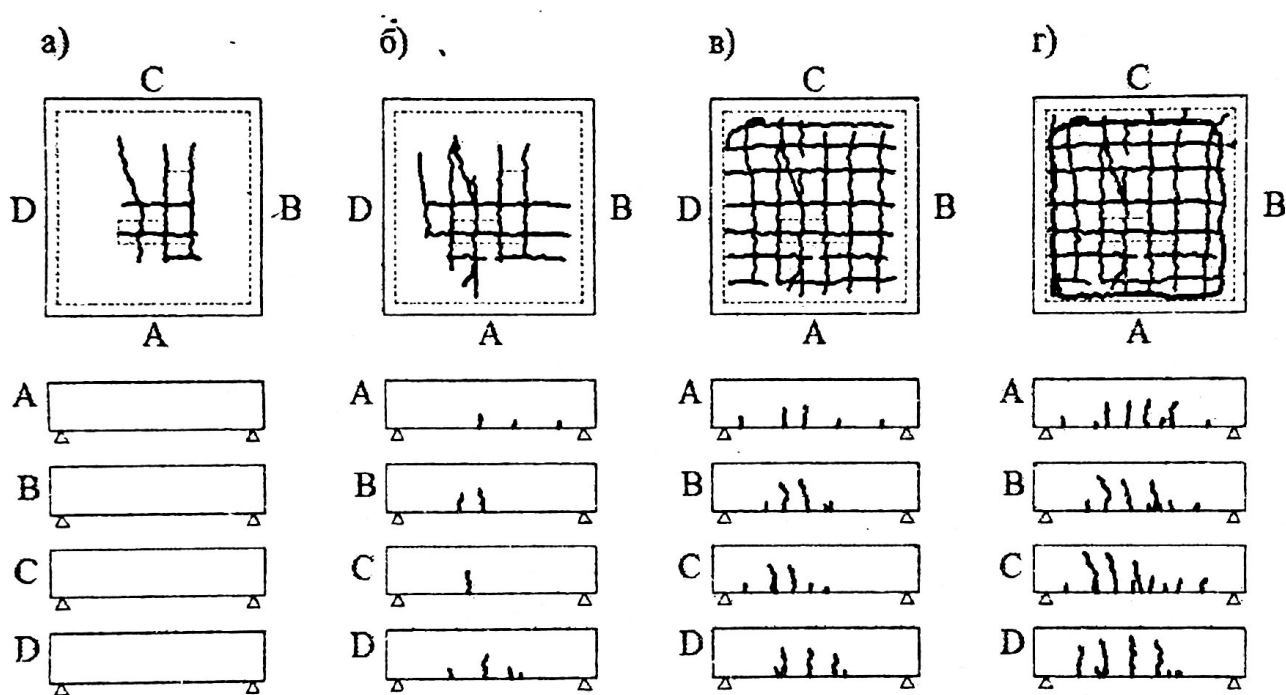
Рис. 2 Схема развития трещин на нижней и боковых поверхностях плиты при действии нагрузки, приложенной в виде штампа крестообразного сечения. а) – при нагрузке 0,4 от разрушающей; б) – при нагрузке 0,6 от разрушающей; в) – при нагрузке 0,8 от разрушающей; г) – при нагрузке 0,95 от разрушающей;

На рис. 1 приведены геометрические размеры, армирование опытных образцов и формы штампов.

Загружение плит производилось ступенями до их разрушения от продавливания. Во избежание разрушения плит от изгибающего

момента, плиты были армированы  $\approx 1\%$ , что соответствует предельной несущей способности сжатой зоны бетона. Нагрузка прикладывалась ступенями, с выдержкой в течение 10 минут на каждой ступени. Величина ступени составляла 40 кН. Во время выдержки велось фотографирование плит, фиксировались трещины.

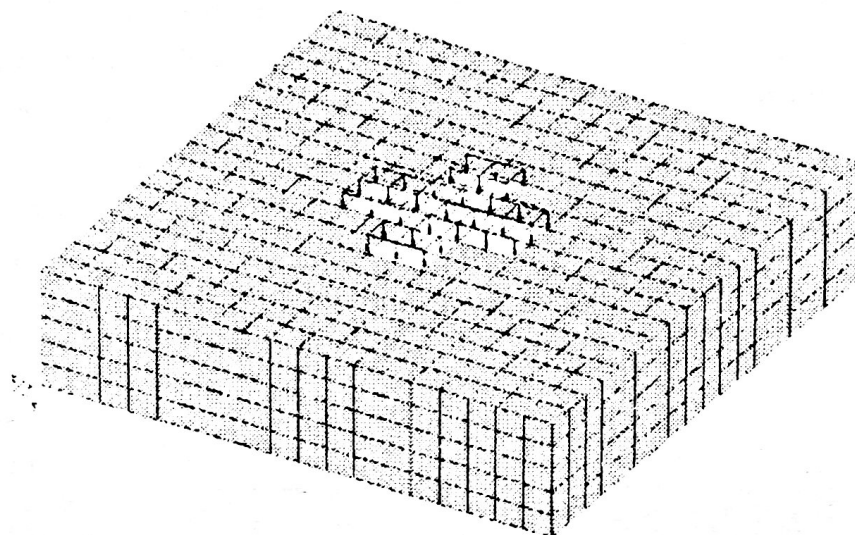
Разрушение характеризовалось постепенным падением нагрузки и оседанием штампа на 10-15 мм. Разрушающая нагрузка составила 860 кН для плиты, продавливаемой штампом крестообразного сечения и 680 кН для штампа уголкового сечения. Схемы образования трещин при различных этапах нагружения на верхней, нижней и боковых гранях представлены на рис. 2 и рис. 3 для крестообразного и уголкового штампов соответственно.



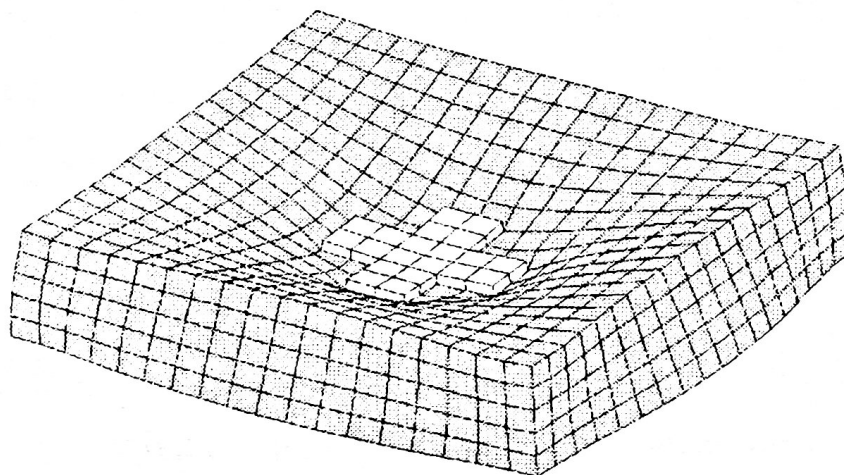
*Рис. 3 Схема развития трещин на нижней и боковых поверхностях плиты при действии нагрузки, приложенной в виде штампа уголкового сечения. а) – при нагрузке 0,4 от разрушающей; б) – при нагрузке 0,6 от разрушающей; в) – при нагрузке 0,8 от разрушающей; г) – при нагрузке 0,95 от разрушающей;*

**Реализация модели.** Основываясь на теоретическую модель бетона [2], основанную на теории Н.И. Карпенко [1] в конечно-элементном программном комплексе «CONCORD» [3] были смоделированы проведенные эксперименты. Результаты численного расчета представлены ниже.

Расчет плиты (штамп - крестообразный). Расчетная схема плиты представлена на рис. 4. Характеристики материалов приняты аналогичными опытными данным: для бетона –  $R_b=21,1$  МПа,  $R_{bt}=1,0$  МПа,  $E_b=23000$  МПа,  $\nu=0.2$ ; для арматуры –  $\varnothing 14$   $R_s=365$  МПа,  $E_s=200000$  МПа. Для передачи нагрузки моделировалась жесткая пластина, к которой прикладывалась нагрузка ступенями  $\Delta P=40$  кН.



*Рис 4. Общий вид конечно-элементной модели*



*Рис 5. Деформированная схема*

В ходе численного эксперимента разрушение образца произошло на 21 ступени при нагрузке 840 кН. На рис. 5 представлена деформированная схема плиты. Результаты расчета в виде изолиний напряжений  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xz}$  приведены на рис. 6-8. График расчетных прогибов образца по ступеням нагружения показан на рис. 9, здесь же, для сравнения, приводятся экспериментальные данные.

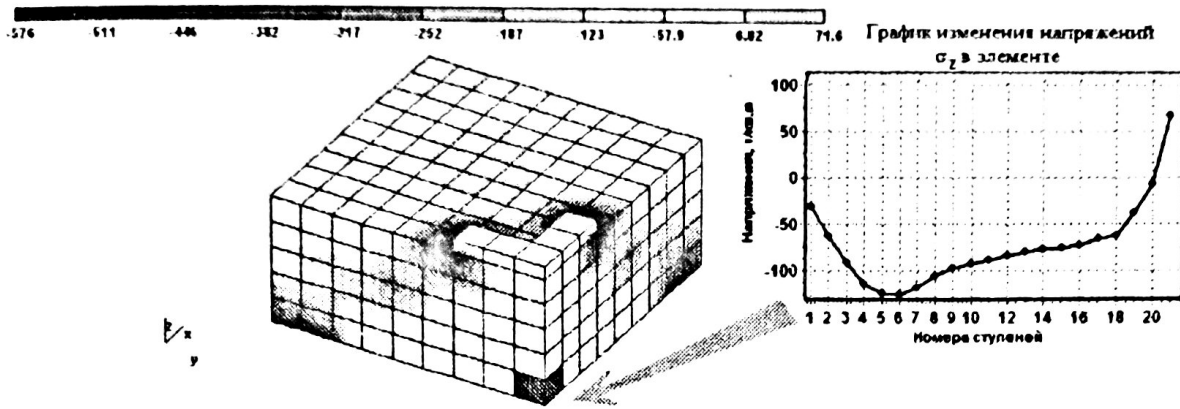


Рис 6. Напряжения в бетоне  $\sigma_z$  четверти плиты на 21 ступени

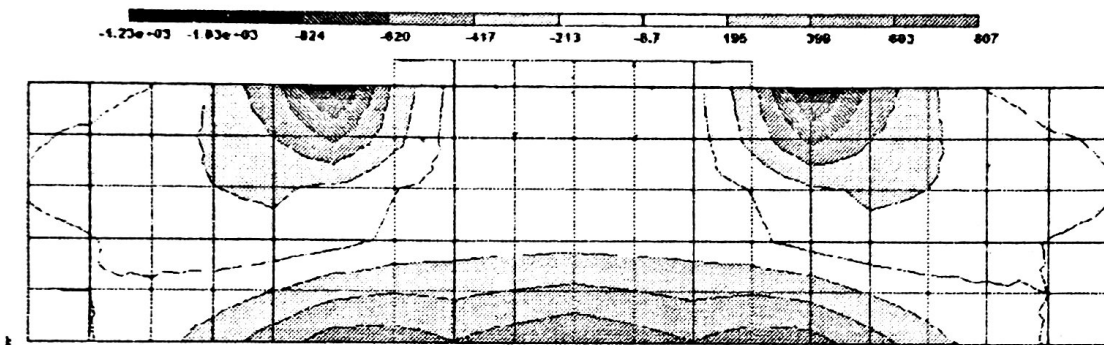


Рис 7. Напряжения в бетоне  $\sigma_x$  половины плиты на 20 ступени

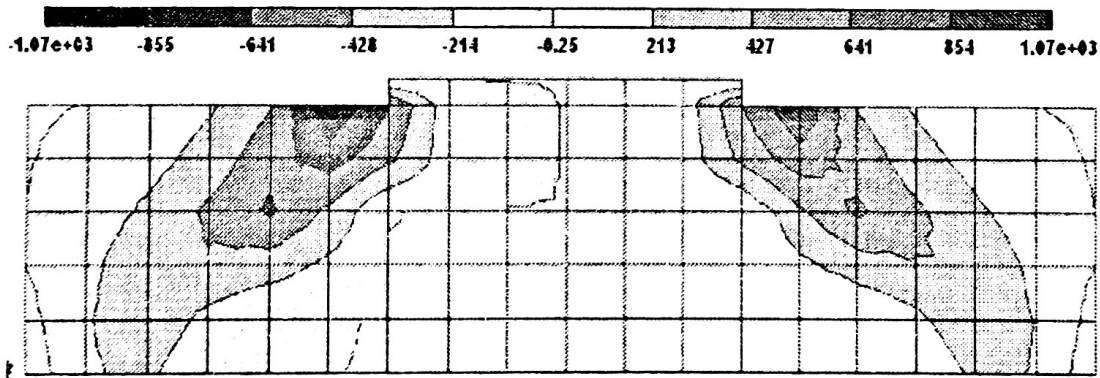


Рис 8. Касательные напряжения в бетоне  $\tau_{xz}$  плиты на 21 ступени

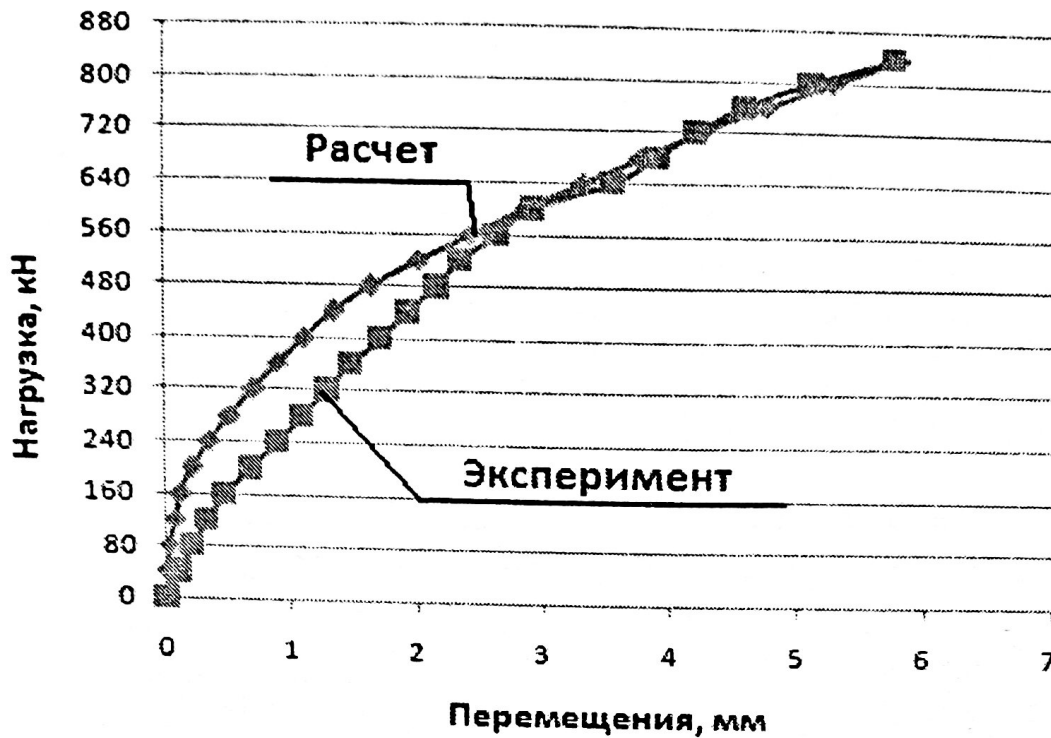


Рис 9. Максимальные вертикальные перемещения нижней грани плиты

Расчет плиты (штамп – уголковое сечение). Общий вид конечно-элементной модели представлен на рис. 10. Характеристики материалов также приняты аналогичными опытными данным: для бетона –  $R_b=22,1$  МПа,  $R_{bt}=2,2$  МПа,  $E_b=25000$  МПа,  $\nu=0.2$ ; для арматуры –  $\varnothing 14$   $R_s=365$  МПа,  $E_s=200000$  МПа. Для передачи нагрузки использовалась жесткая пластина, к которой прикладывалась нагрузка ступенями  $\Delta P=40$  кН.

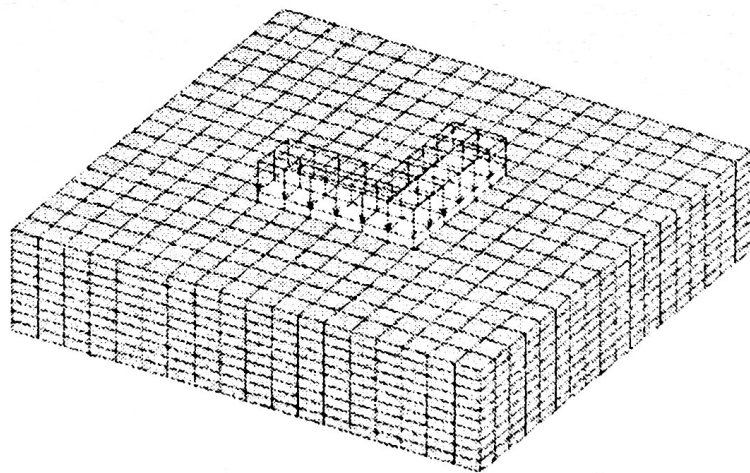


Рис 10. Общий вид конечно-элементной модели

В ходе численного эксперимента разрушение образца произошло на 17 ступени при нагрузке 680 кН. Результаты расчета в виде изолиний напряжений  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{xy}$  приведены на рис. 11-13. Сравнительный график расчетных прогибов образца с экспериментальными по ступеням нагружения показан на рис. 14.

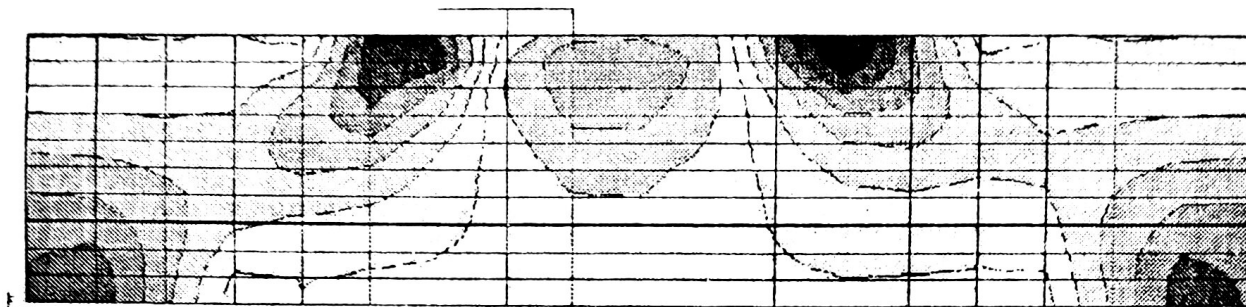


Рис 11. Напряжения  $\sigma_z$  в бетоне плиты на 16 ступени

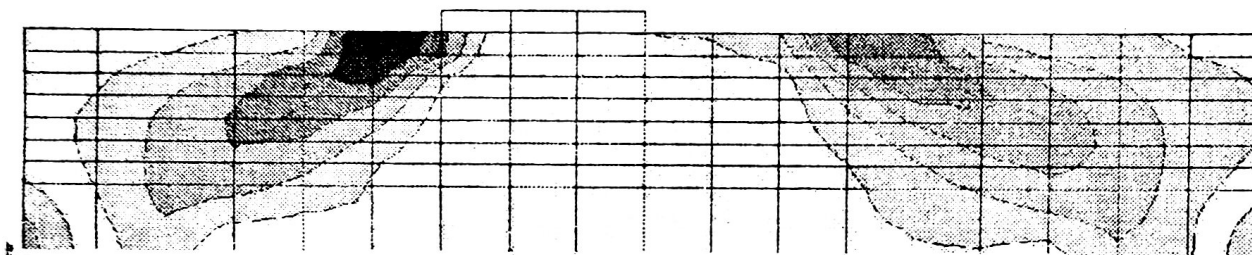
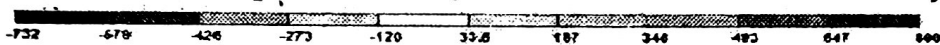


Рис 12. Касательные напряжения  $\tau_{xz}$  в бетоне плиты на 16 ступени

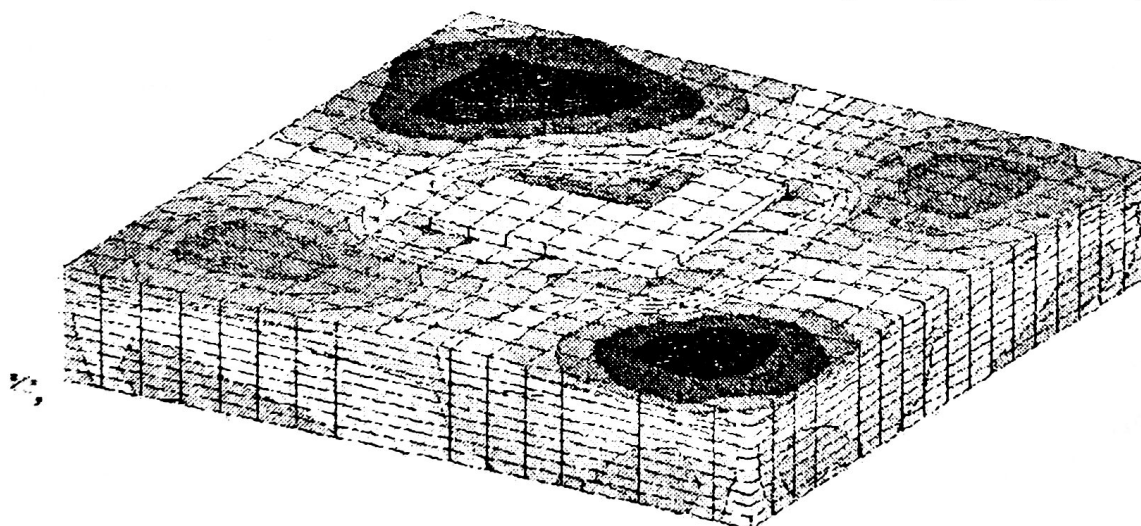
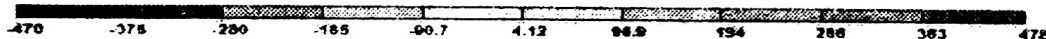


Рис.

13. Изолинии касательных напряжений  $\tau_{xy}$  на верхней плоскости плиты на 16 ступени загрузки

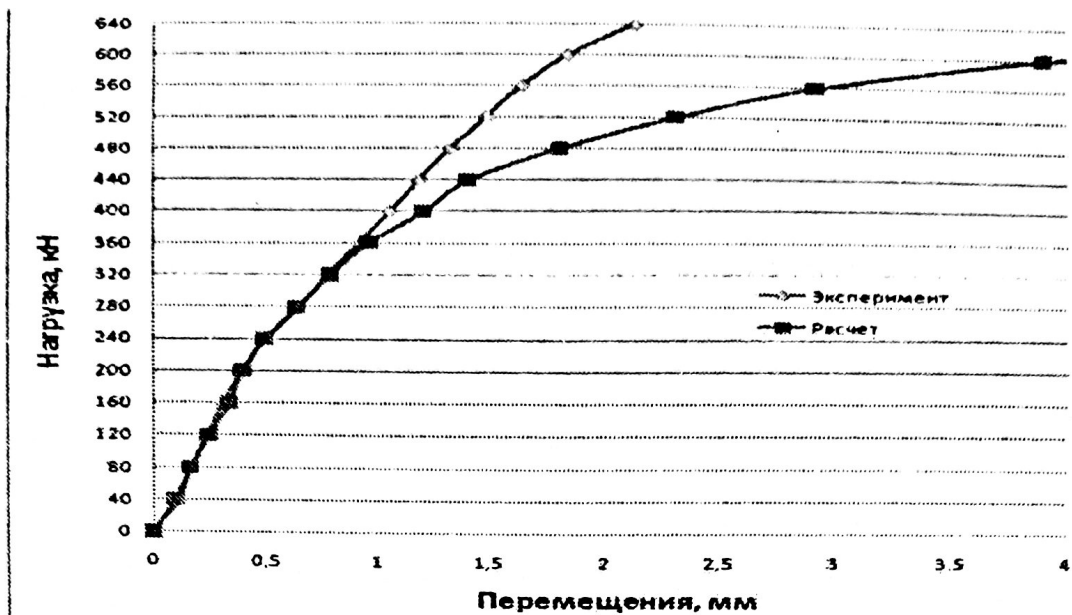


Рис 14. Максимальные вертикальные перемещения нижней грани плиты

**Заключение.** Отсутствие достаточного количества исследований в области работы железобетонных плит на продавливание, при действии различных форм штампов приложения нагрузки, требует продолжения исследований в данной области. Для полноценного анализа напряженно-деформированного состояния плит, помимо натурных экспериментов существует необходимость проводить численные расчеты в нелинейной постановке. Анализ результатов и их сопоставление с экспериментальными данными свидетельствует о достаточной надежности и достоверности предлагаемой расчетной методики [2] и возможности ее применения в изучении поставленной задачи.

#### Литература

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / М.: Стройиздат, 1996. - 206 с.
2. Клованич С.Ф., Шеховцов В.И. Применение нелинейной модели железобетона при расчете плит на продавливание методом конечных элементов // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры.- О.: Издательство Одеса Зовнішрекламсервіс.- 2009.- №33.- С. 81-88.
3. Клованич С.Ф. Программа "CONCORD" для решения геотехнических задач методом конечных элементов // Вестник Одесского национального морского унив.- О.: Издательство ОНМУ.- 2003.- №10.- С. 39-46.