

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПУСТОТНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты компьютерного моделирования сталебетонных пустотных плит перекрытия с помощью программного комплекса «Лира». Решена задача численного поиска эффективного расположения пустот и их размеров, определена несущая способность, выявлены закономерности развития деформаций и напряжений.

Ключевые слова: сталебетонные конструкции, пустотные плиты перекрытия, метод конечных элементов, моделирование.

Введение. На сегодняшний день существует большое количество методов расчета плит из упругопластических материалов, позволяющих моделировать работу конструкции, учитывая перераспределение усилий. Такие расчеты связаны с громоздкими и сложными вычислениями и самое главное – с немалой погрешностью, что не позволяет определить эффективность и оценить рациональность использования конструкции.

Несомненно, дальнейшее развитие и совершенствование методики расчета изгибаемых в двух направлениях плит с внешним армированием являются актуальными. С учетом общности сталебетонных и железобетонных плит, целесообразно учитывать накопленный опыт в практике расчета железобетонных плит со стержневым дискретным армированием.

Процесс деформирования плит из нелинейно деформируемых материалов зависит от характера внешнего воздействия, граничных условий и существенно зависит от степени нелинейности деформирования материалов.

Обзор последних источников и публикаций. Большое количество информации о применении сталебетонных конструкций содержится в монографии [1]. Автор обобщил результаты исследований, проводившихся в ЦНИИС Минтрансстроя, МИИТ, НИИЖТ. Представлены и результаты собственных исследований о влиянии сдвигов в объединенном шве на совместную работу бетона и стали, пластических деформаций и ползучести бетона на распределение усилий, рассмотрены способы объединения стали и бетона. Также в работах [2, 3] разработаны теории и методы расчета сталебетонных колонн и плит при статическом, динамическом и температурном воздействии.

В работе [4] расчет монолитного перекрытия с армированием внешним профилированным листом предлагается свести к расчету составной двухслойной балки с упругопластичными стержнями и упругоподатливыми связями сдвига.

Возможные пути совершенствования сталебетонных плит заключаются в поиске наиболее эффективных способов облегчения конструкции [5], позволяющих снижать нагрузки на несущие конструкции. В последнее время значительное распространение получили монолитные сталебетонные перекрытия, в качестве внешней арматуры которых используется сталебетонный профилированный лист.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Существует мнение, что недостатком плиты с листовой гофрированной арматурой является малая жесткость и заниженная несущая способность поперек гофра, вследствие чего плита работает как балочная система. Альтернативой такому решению может быть конструкция, у которой в качестве внешнего армирования используется прямой лист со вставками пустотообразователей в бетоне. При правильном выборе размеров и схемы расстановки

пустотообразователей предлагаемое решение предположительно может быть эффективным за счет сохранения необходимой несущей способности и уменьшения собственного веса. Естественно, что для решения такой поисковой задачи необходимо применение современных средств численного анализа конструкций, основанных на использовании метода конечных элементов [6].

Цель исследования. Таким образом, основной задачей данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния сталебетонной пустотной плиты перекрытия с учетом нелинейных свойств материалов и конструкции с целью повышения ее эффективности и определения рационального положения пустот в бетоне.

Основной материал и результаты. Схема расчетной модели рассматриваемой сталебетонной пустотной плиты перекрытия изображена на рисунке 1.

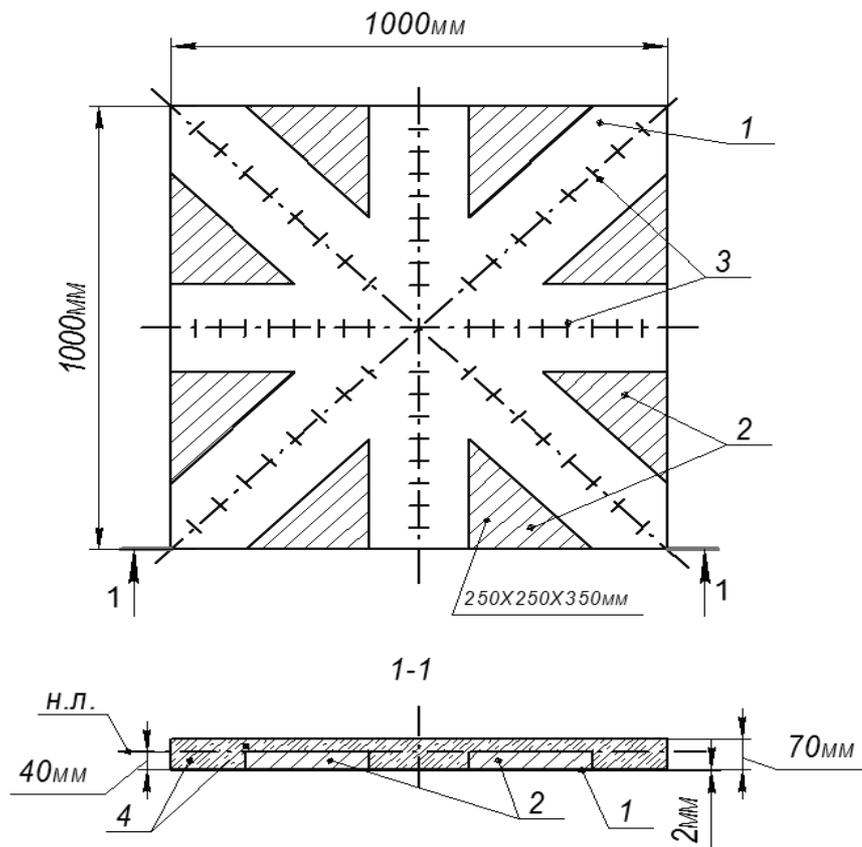


Рисунок 1 – Схема расчетной модели сталебетонной пустотной плиты

Сталебетонная плита (1) предполагает наличие по периметру сторон включений в бетон (4) в виде треугольных пустот (2). При этом совместная работа бетона и стали обеспечивается связями сдвига (3), расположенными по осям симметрии.

Расчетная схема рассматриваемой конструкции (см. рис. 2, 3) разработана с использованием пяти типов конечных элементов.

При моделировании металлического листа применялись геометрически нелинейные конечные элементы (КЭ) № 342 и 344, исключаяющие изгибную составляющую в работе оболочки (мембрана).

Упругие связи между мембраной и бетоном задавались при помощи двухузлового КЭ № 55, жесткости которого для усилий сдвига назначались в соответствии с предварительным расчетом.

Бетонная часть (см. рис. 3) представляет собой совокупность КЭ № 234 и 236, предназначенных для расчета массивных пространственных конструкций с учетом физической нелинейности материала. При этом для математического описания работы

бетона принят экспоненциальный закон деформирования как наиболее простой и приемлемый вариант с точки зрения соответствия физических представлений о работе материала, точности аппроксимации, с определением параметров по физическим величинам: прочности бетона, модулю упругости бетона и т.д. Далее в конструкции плиты моделировались пустоты путем исключения фрагментов из бетонной части (см. рис. 3).

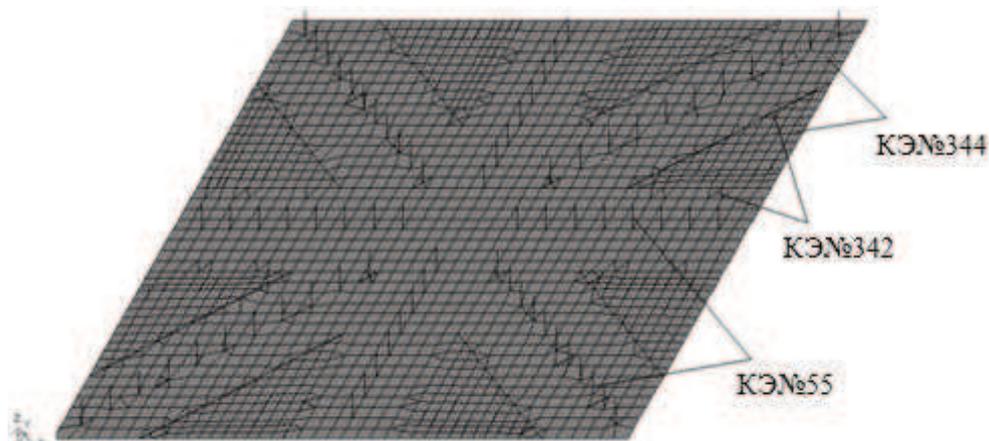


Рисунок 2 – Конечноэлементная сетка листовой арматуры и связей сдвига

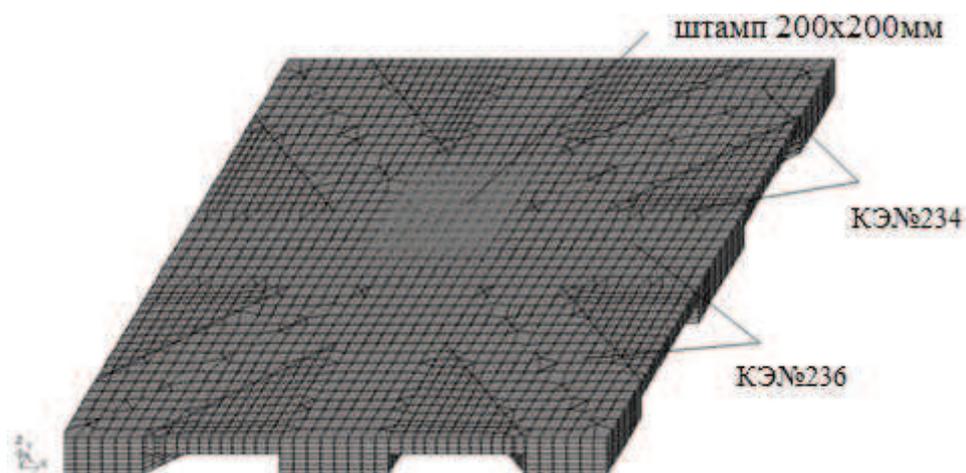


Рисунок 3 – Конечноэлементная сетка бетонной части

Граничные условия определены назначением конструкции и выполнены путем защемления стального листа по углам.

Нагрузка передается в центр плиты по поверхности штампа с размерами 200×200 мм. Расчет выполняется шагово-итерационным методом с наращиванием нагрузки равными ступенями до момента достижения предельного состояния конструкции.

Предварительно был выполнен расчет сплошной сталебетонной плиты перекрытия с идентичными геометрическими параметрами. Расчетом установлено положение нейтральной линии для различных сечений плиты, определены особенности деформирования и трещинообразования, получены законы изменения усилий сдвига по контакту между мембраной и бетоном.

Расчет вариантов выполнялся с контролем несущей способности и собственного веса конструкции. В результате численного эксперимента было установлено, что оптимальной формой пустот является треугольная призма с размерами в плане 250×250×350 мм, высотой 40 мм (см. рис. 1). Места расположения пустот выбирались анализом полей главных напряжений в мембране путем исключения участков с концентрацией напряжений.

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния плиты с пустотами установил следующие особенности.

Исчерпание несущей способности пустотной сталебетонной плиты происходит в момент достижения максимальных напряжений в бетоне (см. рис. 4, 5) и локально – в мембране.

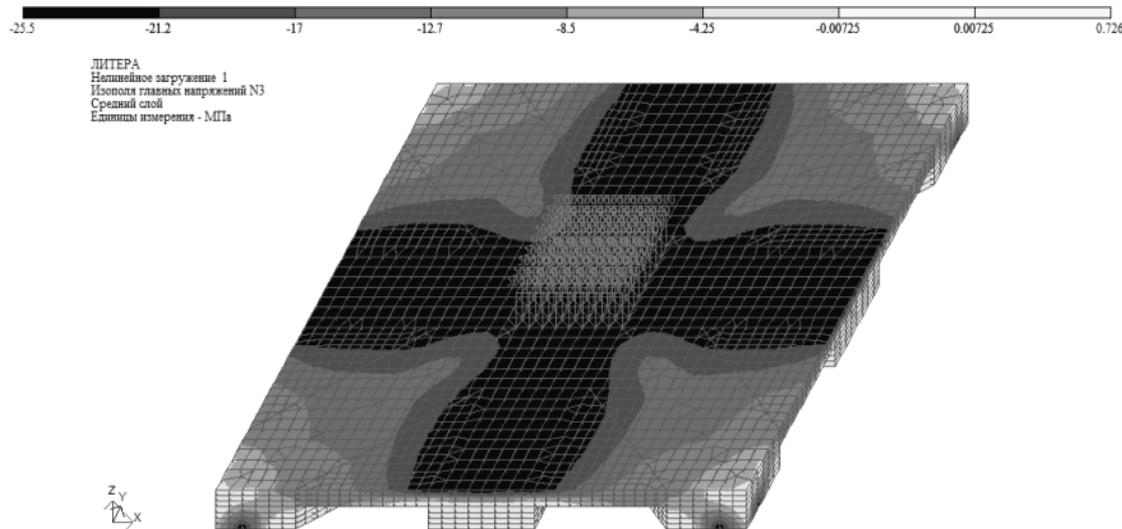


Рисунок 4 – Изополя главных сжимающих напряжений в бетоне при максимальной нагрузке

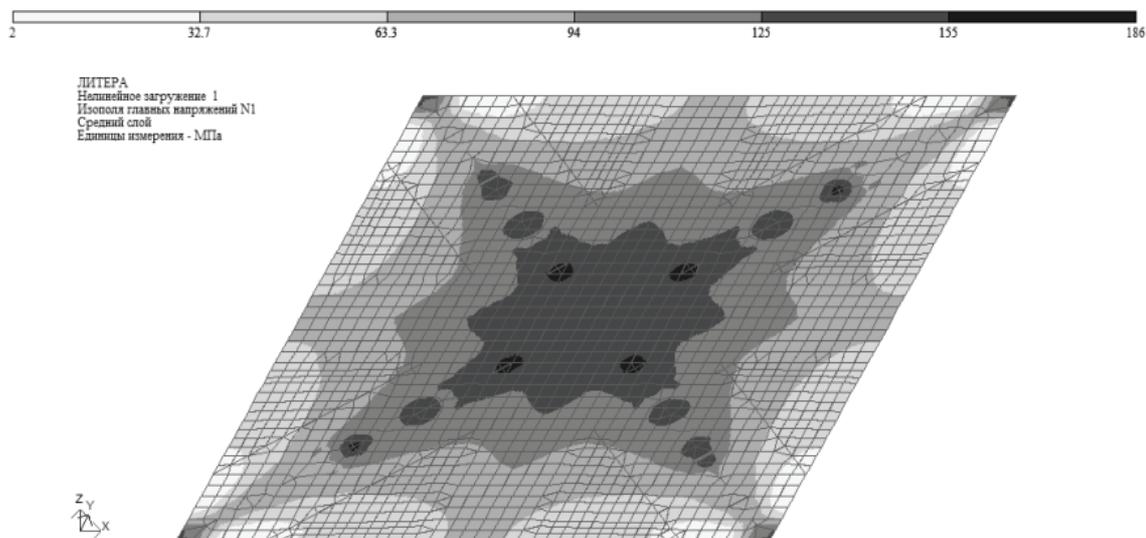


Рисунок 5 – Изополя главных напряжений в металлическом листе при максимальной нагрузке

1. Концентрация напряжения в металлическом листе выражена вдоль его диагоналей, начиная от узлов закрепления мембраны и заканчивая в центре плиты (см. рис. 5). При этом значения напряжений, возникающих в металлическом листе под поверхностью приложения нагрузки, не превышают 140 МПа. Максимальные напряжения концентрируются в окрестности связей сдвига, расположенных наиболее близко к центру плиты, и составляют 186 МПа.

2. Сжимающие напряжения в бетоне возникают вдоль линий, проходящих через середины сторон у верхней грани и в опорных элементах – у нижней грани. При этом

максимальные значения напряжений у верха плиты достигают -25,5 МПа, а в опорных элементах -22 МПа (см. рис.4, 6).

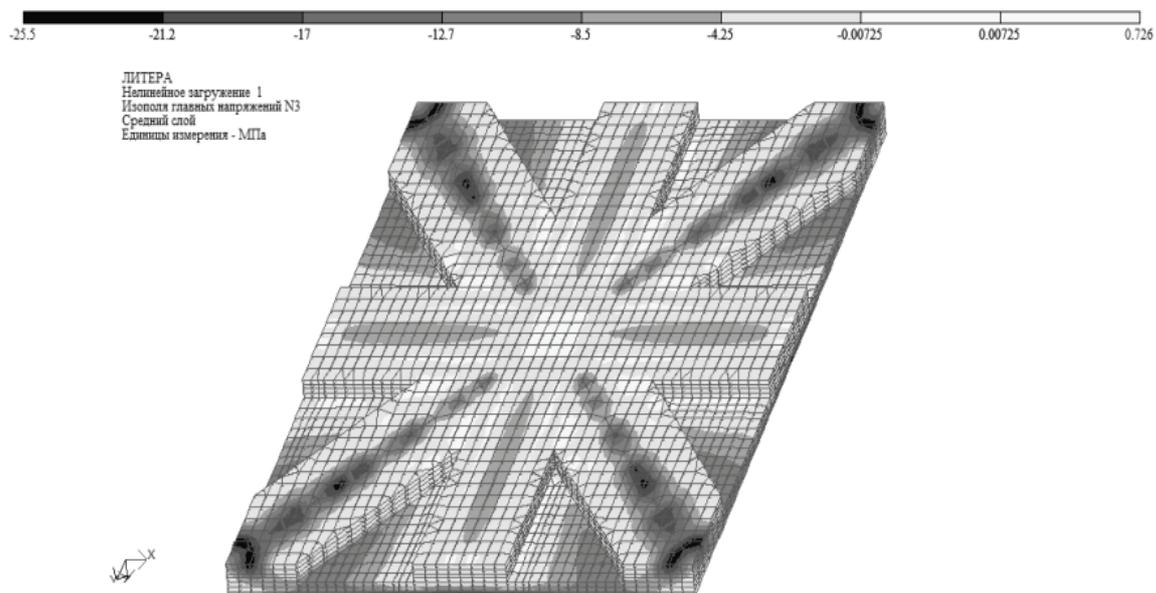


Рисунок 6 – Изополю главных сжимающих напряжений в бетоне

3. Растягивающие напряжения в бетоне преимущественно возникают за пределами пустот и распространяются к центру плиты на последней стадии, составляя 1,95МПа (см. рис. 7).

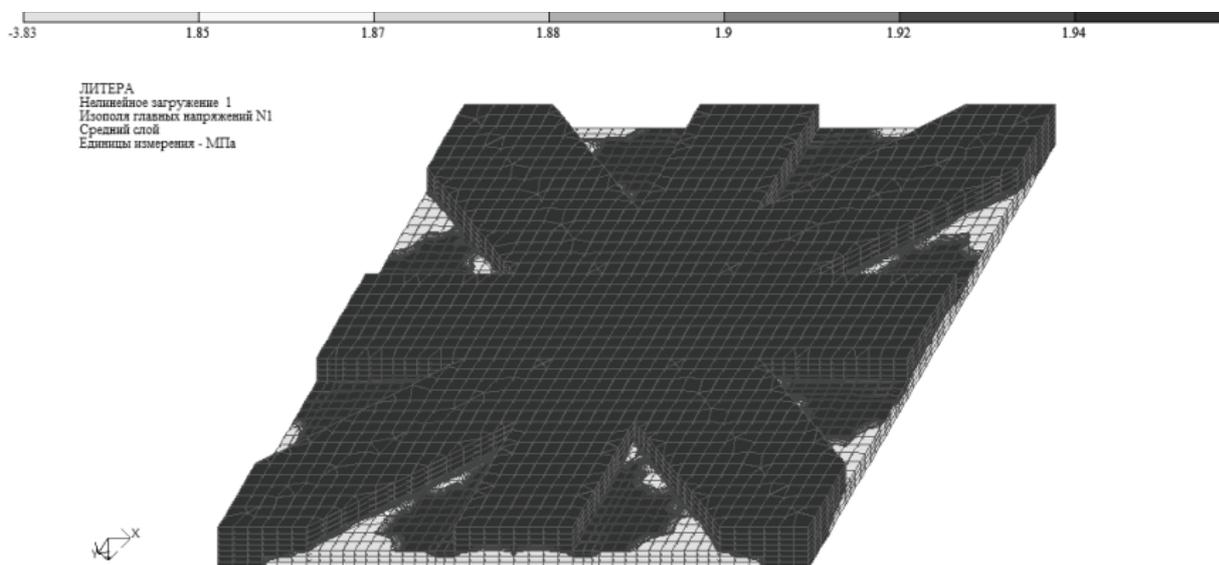


Рисунок 7 – Изополю главных растягивающих напряжений в бетоне при максимальной нагрузке

4. Вдоль диагоналей экстремум усилий возникает в связях сдвига, расположенных на расстоянии 250 мм от узлов закрепления листа. Связи сдвига расположенные на центральной оси равномерно распределяют напряжения. Напряжения в связях сдвига составляют 75–90% от расчетного сопротивления материала анкера (см. рис. 8).

По результатам расчета можно сделать вывод, что несущая способность сталебетонной пустотной плиты составляет 15,8 т и определяется напряжениями в

бетоне, возникающими в центре у верхней грани, и главными напряжениями в стальном листе, концентрирующимися в направлении диагоналей.

При назначенном положении пустот бетон в их окрестности в сравнении со сплошными плитами испытывает перераспределение усилий, что не влияет на несущую способность конструкции в целом.

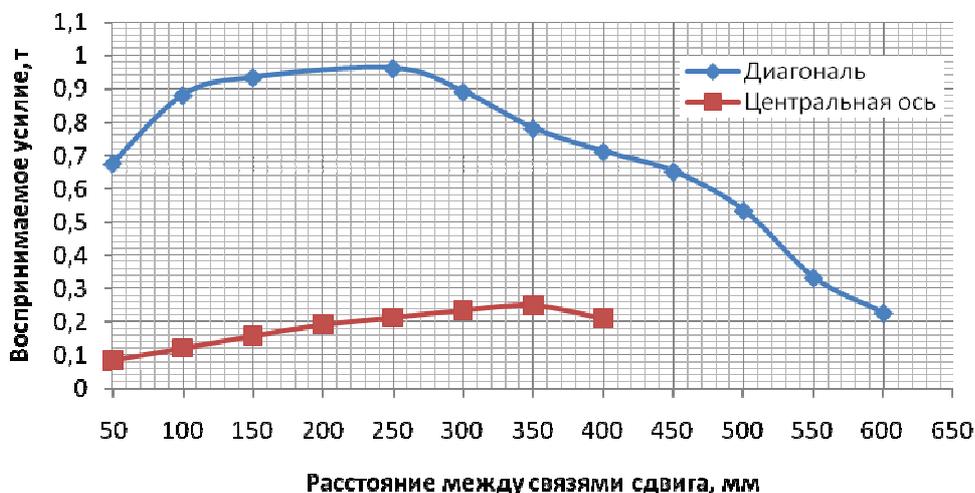


Рисунок 8 – График распределения усилий в связях сдвига

Выводы. На основании проведенного численного эксперимента и решения многовариантной поисковой задачи удалось добиться таких сочетаний жесткостных характеристик плиты и форм пустот, при которых без потери в несущей способности по сравнению со сплошными сталебетонными плитами достигается экономия бетона в среднем на 16% и снижается собственный вес конструкции на 14%.

Литература

1. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов. [2-е изд.] – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
2. Чихладзе Э.Д. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Строительная механика и расчет сооружений, 1990. – №2. – С. 22–26.
3. Чихладзе Э.Д. Теория деформирования сталебетонных плит / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений. – Харьков, ХарГАЖТ, 1996 – Вып. 27. – С. 4–39.
4. Голосов В.Н. Расчет конструкций с внешним армированием под действием поперечных сил / В. Н. Голосов, А. С. Залесов, Г. П. Бирюков // Бетон и железобетон, 1977. – №6. – С. 14–16.
5. Патент №2140500 Российской Федерации. Сталебетонные перекрытия/Чихладзе Э.Д., Колчунов В.И., Сатинов Е.В.; заявитель и патентообладатель Белгородская государственная академия строительных материалов. – заявка №97109091; дата поступления 28.05.97; опубликовано 27.10.99
6. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. Киев: издательство "Факт", 2007. - 394 с.

О.В. Лобяк, к.т.н., доцент
Д.В. Головко, здобувач
Українська державна академія залізничного транспорту

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТАЛЕБЕТОННИХ ПУСТОТНИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ З УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛІВ

Наведено результати комп'ютерного моделювання сталобетонних пустотних плит перекриття за допомогою програмного комплексу «Ліра». Розв'язано задачу чисельного пошуку ефективного розміщення пустот і їх розмірів, визначено несучу здатність, виявлено закономірності розвитку деформацій і напружень.

Ключові слова: сталобетонні конструкції, пустотні плити перекриття, метод скінченних елементів, моделювання.

*A. Lobiak, Ph.D., associate Professor
D. Golovko, external PhD student
Ukrainian state academy of railway transport*

MODELING OF STEEL – CONCRETE HOLLOW CORE SLABS WITH THE NONLINEAR PROPERTIES OF THE STRUCTURE AND MATERIALS

There are the results of computer modeling of steel-concrete hollow core slabs using the software package «Lira.» The problem of finding an efficient numerical arrangement of voids and their sizes is solved; the load-bearing capacity is determined; the regularities of strain and stress development are reduced.

Keywords: composite steel and concrete constructions, hollow core slabs, finite element method, modeling.

Надійшла до редакції 30.09.2014

© А.В. Лобяк, Д.В. Головко