

подоконный карниз и поддерживающих прямой профилированный сандрик. Подоконное пространство этих окон декорировано нишей. Оконные обрамления второго этажа все одинаковы и имеют более простую структуру: простой лучковый сандрик и профилированный карниз, поддерживаемый зубцами-консолями сложного профиля. Крайние проемы по уровню второго этажа являются дверными и ведут на балкон с ажурным литым ограждением и такими же по выразительности и красоте консолями. Здание имеет невысокий цоколь и венчается многопрофильным карнизом. Дворовой фасад за исключением простого межэтажного пояса, состоящего из выступающего ряда кладки и поддерживающих его зубцов-консолей, а также простого подоконного карниза, не имеет никакого другого декора. Архитектурная выразительность композиции здания достигается за счет поэтажного насыщения фасада архитектурными элементами. Акценты фасада подчеркиваются средствами симметрии и ритма. Архитектура первого этажа более насыщена декором, в то время как второй этаж имеет небольшое количество архитектурных элементов. За счет этого приема здание выглядит гармоничным и легким даже в перспективе узкого городского улицы.

Все вышеперечисленное и многие другие, как сохранившиеся, так и утраченные здания города Брест конца XIX – начала XX веков играют ключевую роль в формировании внешнего облика исторической части города, наделены культурно-исторической ценностью и нуждаются в глубоком изучении и сохранении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власюк, Н. Н. Историческая топонимия Кобринского форштадта крепости Брест-Литовск XIX-XXI веков и нынешних городских земель / Н. Н. Власюк. – Брест: Издательство БрГТУ, 2020. – 180 с.: 197 илл.
2. Государственный архив Брестской области. – Ф. 5. Оп. 1. – Д. 418. – Л. 4.
3. Здание с башенками возле железнодорожного вокзала «Брест-Центральный» ждет спасения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://virtualbrest.by/news34232.php>. – Дата доступа: 20.11.2020.
4. Зоненберг, Х. История города Брест-Литовска 1016 – 1907 / Х. Зоненберг. – Брест-Литовск: типография И. Кобринца, 1907. – 104 с.
5. Кулагін, А. М. Эклєктыка. Архітэктурна Беларусі другой паловы XIX - пачатку XX ст. / А. М. Кулагін. – Мінск: Ураджай, 2000. – 304 с. іл.
6. Хмелевский, Я. М. Календарь-справочник города Брест-Литовска на 1913 / Я. М. Хмелевский. – Брест-Литовск: типография И. Кобринца, 1913.
7. Шпилевский, П. М. Путешествие по Полесью и Белорусскому краю / П. М. Шпилевский. – СПб., 1852. – 242 с.

УДК 624.012.4

ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ THE HISTORY AND DEVELOPMENT OF FLAT SLAB STRUCTURES

А. И. Лапина

A. Lapina

*Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь*

*Brest State Technical University,
Brest, Belarus*

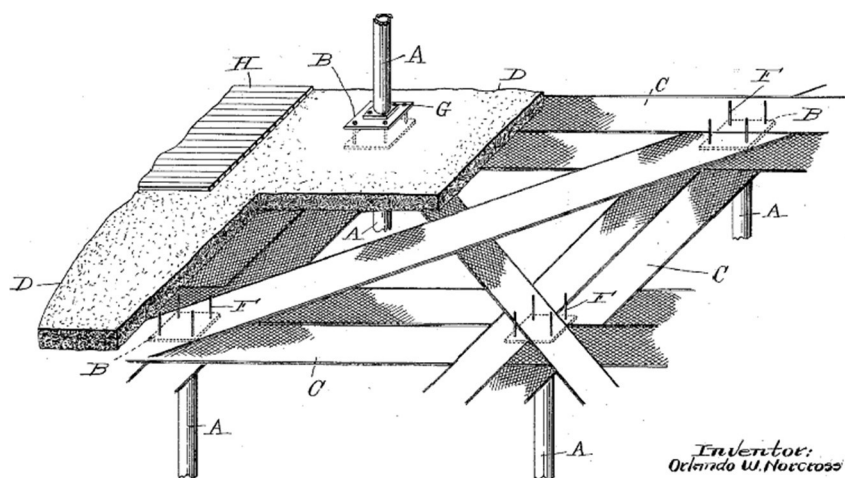
Данная статья посвящена развитию конструкции безбалочных перекрытий и методов ее расчета. В ней рассмотрены различные конструкции безбалочных перекрытий, описаны их способы расчета, приведены геометрические параметры и физические характеристики. Выполнен сравнительный анализ различных методов расчета конструкций, выявлены их достоинства и недостатки.

This article is devoted to the development of methods for calculating flat slab. It considers various designs of flat slab, describes their methods of calculation, provides geometric parameters and physical characteristics. A comparative analysis of various methods of design calculation is performed, their advantages and disadvantages are revealed.

Ключевые слова: конструкции, безбалочные перекрытия, методы расчета, геометрические параметры, физические характеристики.

Keywords: flat slab structures, methods of calculation, geometric parameters, physical characteristics.

Первые безбалочные перекрытия. Патент на первую конструкцию с безбалочными перекрытиями был зарегистрирован в США Орландо Норкроссом в 1902 году (рис. 1) [1]. Конструкция Норкросса имела четырехпутное армирование в виде металлических сеток, расположенных в нижней части плиты перекрытия. Для усиления мест соединения с колоннами в верхней и нижней частях плиты были предусмотрены стальные опорные пластины, стянутые между собой болтами. В описании своей модели автор не дал никаких рекомендаций, касающихся расчета или выбора геометрических параметров и допустимых нагрузок. Практического применения модель Норкросса не имела.



A – стальная колонна (допускалась бетонная или деревянная),

B – стальная поддерживающая пластина,

C – металлическая сетка, *D* – бетон, *F* – болт, *G* – гайка, *H* – деревянный настил

Рисунок 1 – Модель безбалочного перекрытия О. Норкросса [1]

В 1906 году американским инженером Клодом Тернером было впервые построено пятиэтажное здание с безбалочными перекрытиями в Миннеаполисе, штат Миннесота [2]. А в 1911 году им был получен патент на эту конструкцию (рис. 2) [3]. Пролет конструкций в Миннеаполисе составляет 5 x 4,5 м при толщине перекрытий 19 см. Арматура плиты также, как и в описанной выше модели, установлена в четырех направлениях. При этом сделана попытка расположить арматуру согласно напряжениям в плите. Площадь сечения арматуры в каждом из четырех направлений составляла 112 см. Над колоннами в плите перекрытия устанавливались дополнительные усиления, состоящие из двух колец арматуры диаметром 13 см и 20 см и соединяющих их радиальных стержней. Конструкция получилась очень жесткой (при тестовой нагрузке 33,5 кПа максимальный прогиб перекрытия составлял всего 1,6 см), но очень тяжелой и металлоемкой.

В начале XX века в США построено большое количество зданий с безбалочными перекрытиями, опирающимися на капители. Максимальный пролет конструкций составлял 7 x 7,9 м при толщине плиты 39,7 см (здание “Hamm Brewery St Paul”) [4]. Для определения изгибающих моментов и прогибов в центре пролета инженеры пользовались эмпирически полученными формулами.

В 1907 было закончено строительство безбалочной конструкции покрытия Богородско-Глуховской текстильной мануфактуры архитектора А. В. Кузнецова и инженера А. Ф. Лолейта

в России В 1908 году в Москве под руководством А.Ф. Лолейта было запроектировано и построено четырехэтажное здание склада молочных продуктов с безбалочными перекрытиями [5]. Это были первые в мире безбалочные конструкции с двухпутным армированием.

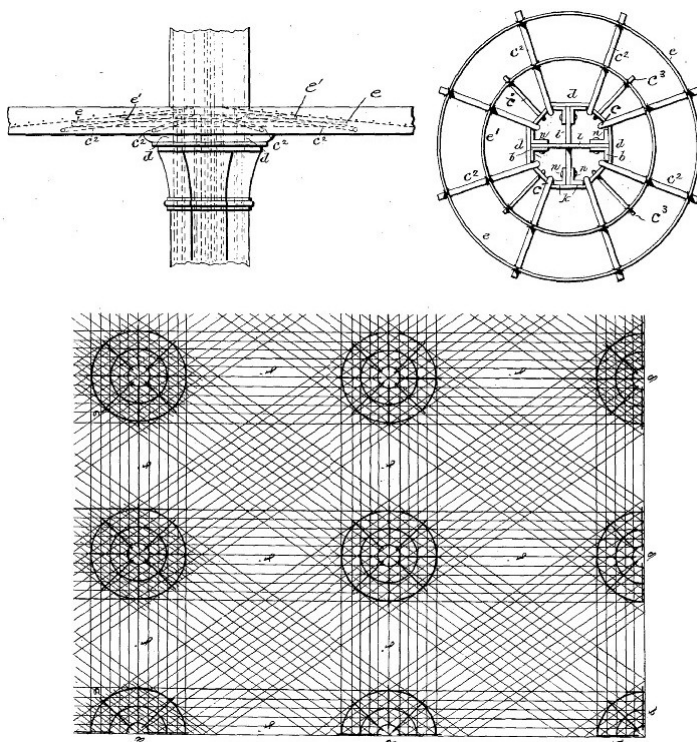


Рисунок 2 – Безбалочные перекрытия К. А. П. Тернера

В 1912 А.Ф. Лолейт провел испытания двух безбалочных перекрытий, разработал типовую конструкцию и сделал доклад на XIV-м съезде русских техников и заводчиков по цементному, бетонному и железобетонному делу в Москве [5]. Типовое перекрытие А. Ф. Лолейта представляло собой плиту толщиной 10,7 мм (1/20 сажени), пролетом 5,33 x 4,8 м (4,5 x 4,25 саженей). Схема армирования плиты представлена на рисунке 3.

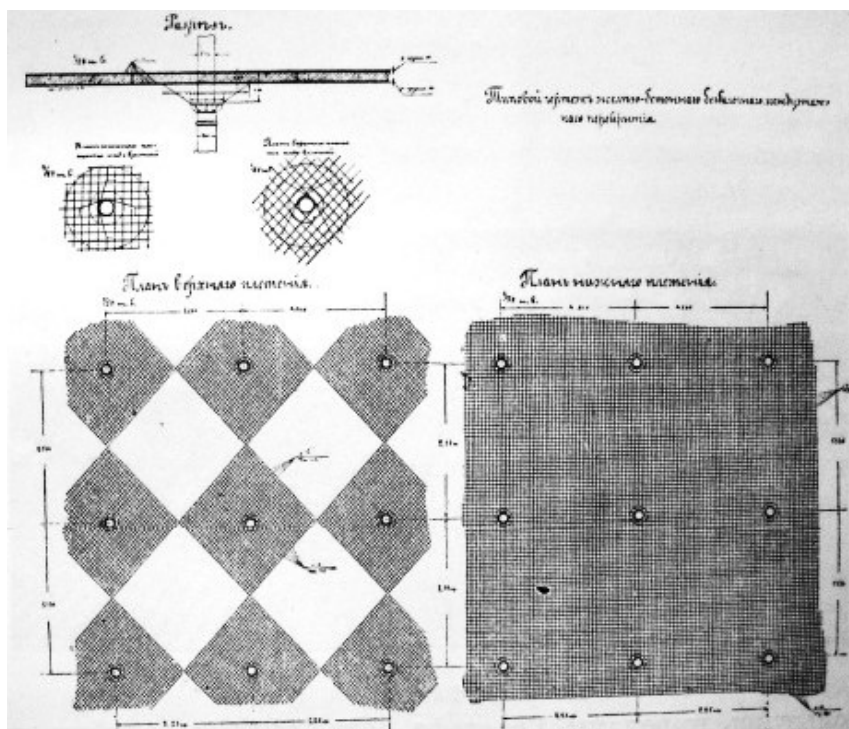


Рисунок 3 – Безбалочное перекрытие А. Ф. Лолейта 1-й вариант, 1912 [6]

В 1915 году А. Ф. Лолейт разработал второй вариант армирования безбалочных плит как системы пологих парусных оболочек. Такое решение позволило сократить расход стали, но снизило надежность конструкции из-за отсутствия сквозной арматуры в нижней части плиты. Так же А. Ф. Лолейтом был предложен свой способ расчета перекрытий, основанный на опытных данных и формулах Ф. Грасгофа.

Одновременно с А. Ф. Лолейтом конструкция безбалочного перекрытия с двухпутным армированием была разработана швейцарским инженером Роберт Майллартом. В 1909 он провел испытания безбалочного перекрытия пролетом 4 м, толщиной 8 см, опирающегося на колонны восьмиугольного сечения размером 24 см с капителями высотой 26 см. На этом основании Майлларт разработал номограммы для определения размеров конструкции и предложил способ ее расчета. Способ расчета перекрытий, разработанный Майллартом, предусматривал гибкую систему коэффициентов и позволял уменьшать моменты в середине пролета за счет увеличения моментов в створах колонн.

В 1910 г. Р. Майлларт закончил работу над своим первым безбалочным перекрытием, которое принадлежало складскому помещению в Цюрихе. Схема армирования перекрытия состояла из нижней арматуры, установленной по всей площади плиты и верхней арматуры, установленной в створах колонн в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Конструкция безбалочных перекрытий, разработанная Р. Майллартом, получила широкое распространение в Швейцарии, Англии, Франции, Германии, Италии и России.

Первые теоритически обоснованные методы расчета перекрытий. Расчет безбалочных перекрытий на основе теории упругости был разработан Д. Лева [9]. Он рассматривал перекрытие как пластину, нагруженную сверху равномерно распределенной нагрузкой, а снизу опорными реакциями, равномерно распределенными по площади капителей колонн. Далее Д. Лева раскладывал функцию распределения усилий, действующих на плиту в двойной тригонометрический ряд. Такой метод расчета требовал большого количества вычислений, кроме того его применение осложнялось плохой сходимостью ряда. Поэтому Б. Г. Галеркин предложил раскладывать функцию распределения усилий в бигармонический ряд, который сходился значительно быстрее [10]. Так же обоими авторами были составлены таблицы, позволяющие быстро получать результаты расчета для наиболее часто встречаемых на практике случаев. Несмотря на эти методы Д. Лева с использованием тригонометрических рядов и Б. Г. Галеркина с применением бигармонических рядов, большого распространения на практике не получили.

Метод упругих сеток. Г. Маркус предложил рассматривать плиту перекрытия как систему ортогональных пересекающихся нитей, которые к каждой точке пересечения должны находиться в равновесии с внешними силами [11]. До приложения нагрузки эта система, называемая “упругая сетка”, располагается на координатной плоскости. Под действием внешней нагрузки точки пересечения нитей перемещаются вниз, а под действием реакций опор вверх относительно начальной координатной плоскости. Сумма перемещений определяют прогибы и изгибающие моменты. Метод упругой сетки Маркуса был включен в нормы по бетону в Германии в 1925 г. DIN, а впоследствии — в первые нормы Англии BS.

Метод заменяющих рам. Метод упругой сетки не позволял учитывать жесткость соединения перекрытий с колоннами, поэтому в некоторых работах, посвященных безбалочным перекрытиям, например в работе [12] авторов Ф. В. Тэйлора, С. Э. Томпсона, и Э. Смульского, плита перекрытия рассматривалась не как отдельная опирающаяся на капители конструкция, а как элемент, работающий совместно с колоннами. Таким образом, “упругая сетка” преобразовалась в систему плоских перекрестных рам. Расчетная ширина рамы принималась равной полусумме смежных пролетов. Каждая рама в обоих направлениях рассчитывалась на полную приходящуюся на нее нагрузку. Найденные в результате статического расчета внутренние усилия распределялись по всей ширине ригеля. Такой подход получил название метода заменяющей рамы. Значительный объем исследований в этом направлении был выполнен комитетом, работающим над Калифорнийскими строительными нормами. И в 1933 г. метод заменяющей рамы был включен в Калифорнийский выпуск единых строительных норм UBC. В 1941 г. этот метод стал частью норм Американского института железобетона ACI и с тех пор входит

в большинство строительных норм.

Метод предельного равновесия. В 1931 г. в Москве под руководством А. А. Гвоздева на территории лаборатории ЦНИПС было проведено испытание безбалочного перекрытия пролетом 3,5 x 3,5 м, толщиной 9 см, опирающегося на 16 колонн сечением 30x30см с капителями 140 x 140 см [13]. Испытание было прекращено, когда нагрузка на перекрытие в 2,75 раза превысила расчетную (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** а). В 1932 г. в Баку под руководством М. С. Боришанского при строительстве мясокомбината было проведено испытание перекрытия пролетом 5 x 5 м толщиной 16 см, опирающегося на колонны сечением 55x55 см и 55x45 см с капителями 165x165 см [14]. Перекрытие было циклически поэтапно загружено до полезной нагрузки 1 940 кг/м², что соответствовало общей приведенной нагрузки в 2 440 кг/м². Схема образования трещин при этом приведена на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** б).

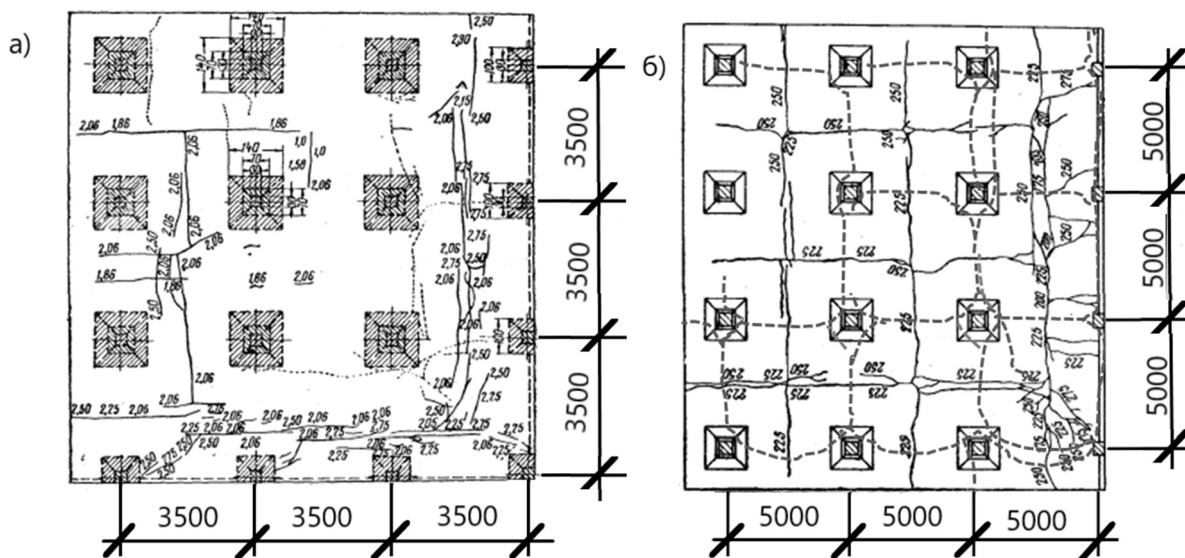


Рисунок *Ошибка! Источник ссылки не найден.* –
Трещины в плите опытных безбалочных перекрытий
 ————— трещины на нижней поверхности плиты ;
 - - - - - трещины на верхней поверхности плиты [13];
 а) плита перекрытия испытанная в 1931 г. в Москве;
 б) плита перекрытия испытания в 1932 г. в Баку [14].

Опыты показали, что расчет безбалочных плит перекрытия по методу заменяющей рамы дает излишне большие запасы прочности 23-26%. Этот факт был обусловлен, прежде всего, расчетом конструкций в упругой стадии без учета образования трещин и пластических деформаций.

В 1936 на базе теории пластичности и теории расчета железобетонных конструкций по стадиям разрушения А. А. Гвоздевым был теоретически и экспериментально обоснован расчет по методу предельного равновесия [15]. Данный метод предназначен для определения нагрузок, при которых конструкция разрушается или начинает чрезмерно деформироваться. Он отличается высокой универсальностью, простым математическим опоротом и учитывает развитие как упругих, так и пластических деформаций в конструкции. А. Гвоздев обосновал два способа расчета: статический, позволяющий определять внутреннюю границу несущей способности конструкции, и кинематический, определяющий внешнюю границу несущей способности. Для расчета безбалочных перекрытий обычно используется кинематический способ расчета. Наиболее сложным этапам расчета является выбор расчетной схемы излома конструкции. Методика построения схем излома не была разработана. В научных публикациях расчетная схема обычно назначается исходя из опытных данных [16, 17, 19, 19] или, несколько реже, из интуиции инженера [20]. Такой подход затрудняет применение метода для перекрытий с нерегулярным расположением опор. Это привело к тому, что наиболее распространенным методом

расчета безбалочных перекрытий стал метод конечных элементов.

Метод конечных элементов. Сущность метода [21, 22] заключается в разбиении конструкции на ряд элементов простой конфигурации. Размеры этих элементов малы, в сравнении с размерами конструкции, но имеют конечное значение, потому могут описываться системой алгебраических уравнений, не требуя дифференцирования. Метод впервые применен в 1944 г. профессором Штутгартского университета Й. Аргирисом для расчета авиамоделей. При решении задач строительной механики метод конечных элементов может быть реализован в форме метода сил (за основные неизвестные принимаются узловые усилия) или в форме метода перемещений (за основные неизвестные принимаются перемещения узловых точек). Последняя форма используется чаще, поскольку имеет более простую алгоритмическую и физическую интерпретацию. Решение нелинейных задач методом конечных элементов сводится к решению ряда линейных задач. Основными преимуществами метода являются универсальность и наличие множества компьютерных программ, его реализующих (LIRA, МОНОМАХ, STARK ES, SCAD, МИРАЖ, РОБОТ, и т.д.). Недостатками метода являются: неопределённость в выборе способа разбиения конструкции на конечные элементы; недостаточно разработанный механизм для расчета конструкций плит в неупругой стадии; большой объем вычислений при решении задач, особенно в их нелинейной постановке. На практике расчет безбалочных перекрытий часто производится только в упругой стадии, без технико-экономического анализа, обосновывающего выбор конструктивных параметров перекрытия.

В настоящее время метод конечных элементов часто комбинируют с другими методами расчета. Метод эквивалентной заменяющей рамы использует конечно-элементарный анализ конструкции для построения расчетной модели, дальнейший расчет ведется по методу простой заменяющей рамы [23], [24]. Фирма Ramsay Maunder Associates в Великобритании разработала программу "Equilibrium Finite Elements", позволяющую, используя метод конечных элементов, строить линейные пластические шарниры для расчета плит по методу предельного равновесия [25]. Комбинированные методы позволяют получать более точные и обоснованные решения, но не уменьшают значительного объема вычислений, которые ограничивают проведение технико-экономического сравнения большого числа возможных решений.

Заключение

Первые железобетонные безбалочные плиты появились в начале XX века и применялись в основном для перекрытия складских помещений. Схемы армирования и геометрические параметры этих конструкций в разных странах были различным, а для расчета во всех случаях использовался эмпирический подход.

Первый теоретически обоснованный метод расчета безбалочных перекрытий был разработан Д. Леве на основе теории упругости. Метод обладал громоздким математическим аппаратом и широкого распространения на практике не имел.

Первым вошедшим в нормативные документы методом расчета безбалочных перекрытий был метод упругих сеток Г. Маркуса. Позже на основе этого метода был разработан метод заменяющих рам, который используется до сих пор. Основным недостатком этих методов является расчет конструкции в упругой стадии без учета образования трещин и пластических деформаций, что дает излишние большие запасы прочности 23-26%.

Для создания ресурсосберегающей конструкции безбалочных перекрытий наиболее целесообразным является использование расчета методом предельного равновесия, разработанный А. А. Гвоздевым на базе теории пластичности и теории расчета железобетонных конструкций по стадиям разрушения. Этот метод позволяет обеспечить минимальный расход стали, учитывая работу конструкции в пластической стадии, и дает широкие возможности для сравнения вариантов с различными конструктивными параметрами, используя простой математический аппарат.

ЛИТЕРАТУРА

1. United States Patent Office. Orlando W. Norcross, of Worcester, Massachusetts. Flooring for Buildings. Specification forming part of Letters Patent No 698,542, dated April 29, 1902 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US698542>. - Дата доступа: 20.02.2013.

2. Meghan Elliott, Meyer Borgman Johnson. Square buildings and round bars: C.A.P. Turner and the Minneapolis warehouse district/ Construction History Society of America/ Issue No 13. October 142

2010

3. United States Patent Office. Claude. A. P. Turner, of Minneapolis, Minnesota. Steel skeleton concrete construction. Specification forming part of Letters Patent No 985,119, dated Forbore 21, 1911 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US985119>. - Дата доступа: 20.02.2013.

4. Elliott M., Johnson M. B. Square buildings and round bars: C.A.P. Turner and the Minneapolis warehouse district//Construction History Society of America/Issue No 13, October 2010

5. Лопатто, А. Э. Артур Фердинандович Лолейт. К истории отечественного железобетона / А. Э. Лопатто. - М. : Стройиздат, 1969. - 104 с.

6. Труды XIV-го съезда русских техников и заводчиков по цементному, бетонному и железобетонному делу в Москве, 11, 12, 13, 14 и 15 марта 1912 года: материалы временных коллективов. - СПб: Тип.-литогр. Пентковского, 1912. - 475 с.

7. Roš M. & Eichinger A., "Résultats de mesures de déformations et de tensions sur dalles champignons", Actes du Premier Congrès International du Béton et du Béton Armé, 1930 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://dev.library.ethz.ch/de/Ressourcen/Digitale-Kollektionen/Virtuelle-Ausstellungen/Robert-Maillart/Mushroom-Slabs/Geometrical-pattern>. - Дата доступа: 20.02.2013.

8. Gesellschaft für Ingenieurbaukunst (Hrsg.). «Robert Maillart - Betonvirtuose», vdf Hochschulverlag AG, 2007 - 80p

9. Леве, Д. Безбалочные перекрытия: пер. с нем. / Д. Леве. - М.: Макиз, 1927.

10. Галеркин, Б. Г. Упругие тонкие плиты / Б. Г. Галеркин. - М.: Госстройиздат, 1933. - 371с.

11. Маркус, Г. Теория упругой сетки и ее применение к расчету плит и безбалочных перекрытий / Г. Маркус. - ОНТИ, 1936. - 444 с.

12. F. W. Taylor, S. E. Thompson, and E. Smulski, Concrete: Plain and Reinforced, Vol. 1, Theory and Design of Concrete and Reinforced Concrete Structures, 4th ed.. Wiley. New York. 1925. - 963p

13. Гвоздев, А. А. Испытание безбалочных перекрытий до разрушения // Строительная промышленность / А. А. Гвоздев. - М: 1931. - № 11 - 12 с.

14. Штаерман, М. Я. Безбалочные перекрытия / М. Я. Штаерман, А.М. Ивянский. - М: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. - 1953. - 336 с.

15. Гвоздев, А. А. Расчет несущей способности конструкции по методу предельного равновесия / А. А. Гвоздев. - М.: Стройиздат, 1949. - 143 с.

16. НИИЖБ. Инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. - М.: Госстройиздат, 1961 - 111 с.

17. Крыльницкий, А. А. Расчет статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий / А. А. Крыльницкий. - М.: Стройиздат, 1970.

18. Дорфман, А. Э. Проектирование безбалочных перекрытий / А. Э. Дорфман, Л. Н. Левонтин. - М: Сройиздат, 1975. - 124 с.

19. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции: Общий курс: учеб. для вузов. - 5-е изд., перераб. п доп. / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. - М.: Стройиздат, 1991-767с.

20. Kennedy G., Goodchild C. H. Practical Yield Line Design - Surrey, The Concrete Center, 2004 -171p

21. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии) // А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Д. А. Городецкий, М. В.

22. Метод конечных элементов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>. - Дата доступа: 24.11.2011.

23. Alami B.O. Structural modeling and analysis of concrete floor slabs // Concrete International, Decembe 2005. pp. 39 - 43.

24. Starosolski, W. Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002, том II. Warszawa. 2003. 422 pp

25. Finite Element Specialists and Engineering Consultants: Ramsay Mauder associates // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ramsay-mauder.co.uk/>. - Дата обращения: 20.02.2013.