

## CURRENT STATUS OF METHODS FOR THE CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES TO THE ACTION OF DYNAMIC LOADS

Nashiraliyev Z.T.<sup>1</sup>, Kusbekova M.B.<sup>2</sup>, Zhusupova Zh.<sup>3</sup> (Republic of Kazakhstan),  
Permyakov M.B.<sup>4</sup> (Russian Federation) Email: Nashiraliyev328@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Nashiraliyev Zhankeldy Turtemirovich - Associate Professor, Ph.D;

<sup>2</sup>Kusbekova Maruan Balabekovna - Associate Professor, Ph.D;

<sup>3</sup>Zhusupova Zhadira Nurbolovna – undergraduate,

DEPARTMENT OF BUILDING,

KAZAKH NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY OF K. I. SATPAYEV, ALMATY, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN;

<sup>4</sup>Permyakov Mikhail Borisovich - Associate Professor, Dr. PhD, Director,

INSTITUTE OF CONSTRUCTION, ARCHITECTURE AND ART, CHAIR;

DEPARTMENT OF BUILDING PRODUCTION,

NOSOV MAGNITOGORSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MAGNITOGORSK

**Abstract:** analyzes the methods of calculation of reinforced concrete structures of various constructive schemes and its implementation in the short-term dynamic loading, which allows a comprehensive assessment of the construction work at various stages of deformation and to ensure, through the calculation of reliability in operation. Due to the continuous development of chemical, oil, gas and other industries increases the probability of occurrence and impact on the design of buildings and structures short-term random dynamic loading of an emergency nature. The basic requirement for buildings and structures, is that they have to withstand without collapse a single exposure short-term dynamic loads.

**Keywords:** reinforced concrete structures, dynamic load, calculation methods.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Наширалиев Ж.Т.<sup>1</sup>, Кусбекова М.Б.<sup>2</sup>, Жусупова Ж.Н.<sup>3</sup> (Республика Казахстан),  
Пермяков М.Б.<sup>4</sup> (Российская Федерация)

<sup>1</sup>Наширалиев Жанкелди Туртемирович - кандидат технических наук, доцент;

<sup>2</sup>Кусбекова Маруан Балабековна - кандидат технических наук, доцент;

<sup>3</sup>Жусупова Жадыра Нурболовна - магистрант,

кафедра строительства,

Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева,

г. Алматы, (Республика Казахстан);

<sup>4</sup>Пермяков Михаил Борисович - доцент, кандидат технических наук, доктор PhD,

директор,

Институт строительства, архитектуры и искусства,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск,

**Аннотация:** анализируются методы расчета железобетонных конструкций различной конструктивной схемы и его реализации при кратковременном динамическом нагружении, позволяющего всесторонне оценить работу конструкций на различных стадиях деформирования и обеспечить расчетным путем их надежность при эксплуатации. Вследствие непрерывного развития химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности увеличивается вероятность возникновения и воздействия на конструкции зданий и сооружений случайных кратковременных динамических нагрузок аварийного характера. Основное требование, предъявляемое к зданиям и сооружениям, состоит в том, что они должны выдержать без обрушения однократное воздействие кратковременной динамической нагрузки.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, динамические нагрузки, методы расчета

УДК 624.012.35.042

Вследствие непрерывного развития химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности увеличивается вероятность возникновения и воздействия на конструкции зданий и сооружений случайных кратковременных динамических нагрузок аварийного характера. Основное требование, предъявляемое к зданиям и сооружениям, состоит в том, что они должны выдержать без обрушения однократное воздействие кратковременной динамической нагрузки. Многие железобетонные конструкции могут воспринимать интенсивные динамические нагрузки, вызванные аварийными или производственными взрывами, сейсмическими воздействиями, порывами ветра, малоцикловыми

перегрузками и т.п. При действии внезапно приложенных импульсных нагрузок в элементах конструкций возникают напряжения и деформации большие, чем при статическом их приложении. Однако и прочностные показатели бетона и арматуры при восприятии динамических нагрузок оказываются более высокими, чем при статическом нагружении. Поэтому проектирование конструкций, подверженных таким воздействиям, требует всесторонней оценки как параметров нагрузки, так и механических свойств материалов. Несущая способность конструкций при статическом действии нагрузок при допущении пластических деформаций многократно возрастает при расчете на динамические нагрузки, так как при этом необходимо учитывать не только прочностные, но и деформационные свойства материалов. Случайные ударные нагрузки в строительстве в основном воспринимают элементы перекрытий и покрытий зданий и сооружений, из них чаще других такие нагрузки приходится на железобетонные балочные конструкции. Методы расчета железобетонных конструкций на динамические нагрузки все совершенствуются, так как с течением времени ужесточаются требования к надежности и экономичности конструкций по мере усложнения объектов строительства. С другой стороны стремительно развиваются компьютерные технологии проектирования на фоне быстрого старения нормативной литературы. Возникает острая необходимость в развитии методов расчета железобетонных конструкций в автоматизированных программах проектирования.

Методы расчета железобетонных конструкций на кратковременные динамические нагрузки на основе полных диаграмм деформирования бетона и арматуры интенсивно развиваются в последние годы. Эти методы динамического расчета разработаны для анализа напряженно-деформированного состояния изгибаемых и сжато-изгибаемых стержневых и балочных конструкций.

Процесс развития и совершенствования теории расчета железобетона характеризуется тремя основными этапами. На первом этапе до 1938 г. расчет производили по методу допускаемых напряжений, с 1938 — 1955 гг. — методом расчета по разрушающим усилиям и с 1955 г. по настоящее время — методом расчета по предельным состояниям.

В основу метода расчета по допускаемым напряжениям была положена II стадия напряженно-деформированного состояния и при расчете прочности принимались следующие допущения: бетон рассматривался как упругий однородный материал; в сжатой зоне принималась треугольная эпюра напряжений; в растянутой зоне работа бетона не учитывалась, а все растягивающие усилия воспринимались арматурой; считалась справедливой гипотеза плоских сечений и закон Гука, а модуль упругости сжатого бетона принимался постоянным, не зависящим от величины напряжения. В расчет вместо действительного железобетонного сечения вводилось приведенное, в котором арматура заменялась эквивалентным сечением бетона с помощью постоянного коэффициента приведения  $\alpha = E_s/E_b$ . В таком приведенном сечении методом сопротивления материалов определялись напряжения в бетоне и арматуре от эксплуатационных нагрузок и сравнивались с допускаемыми напряжениями, которые назначались как доля предела прочности  $\sigma_b = R/\gamma$ , где  $\gamma$  — обобщенный коэффициент запаса.

Метод расчета по допускаемым напряжениям не учитывает пластических свойств бетона, не позволяет определять действительных напряжений в бетоне и арматуре, находить разрушающую нагрузку, правильно назначать коэффициент запаса и т. п. Поэтому был разработан новый метод расчета — расчет по разрушающим усилиям. Основанный на больших экспериментах данный метод учитывал упругопластические свойства железобетона и позволял достаточно точно определять несущую способность элемента. При получении расчетных зависимостей предполагалось, что напряжения в бетоне и арматуре достигают предельных значений одновременно (принцип Лолейта). Гипотеза плоских сечений и закон Гука не использовались. Усилие, допускаемое при эксплуатации, определялось делением разрушающего усилия на обобщенный коэффициент запаса.

Метод расчета по разрушающим усилиям дает более правильное представление о действительной работе железобетона, позволяет более правильно использовать прочностные и деформативные свойства материалов и конструкций и в ряде случаев позволяет получить более экономичные конструктивные решения.

Общим недостатком методов расчета по допускаемым напряжениям и разрушающим усилиям является использование единого коэффициента запаса, весьма приближенно учитывающего многообразие факторов, влияющих на работу конструкции. Кроме того, метод расчета по разрушающим усилиям позволял определять только прочность конструкции, не давая возможности оценить ее работу при эксплуатационных нагрузках. Когда применялись сталь и бетон относительно низкой прочности, конструкции имели развитые сечения, трещины в бетоне и прогибы от эксплуатационных нагрузок были невелики и не препятствовали нормальной работе конструкции. С появлением бетонов и арматуры более высокой прочности поперечные сечения элементов уменьшались, снижалась их жесткость, вследствие чего прогибы конструкции и ширина раскрытия трещин от расчетных нагрузок оказывались значительными и могли нарушить нормальную эксплуатацию. В связи с этим был разработан новый метод расчета железобетонных конструкций, включенный в нормы в 1955 г.

Проведенный анализ методов расчета железобетонных конструкции позволил разделить данные исследования на две группы:

К первой группе относятся методы расчета, основанные на исследовании работы железобетонных конструкции в предельных состояниях: в момент трещинообразования и в момент разрушения. Эти методы позволяют учесть упругую и пластическую стадию работы материала, вертикальное смещение опор, являются достаточно простыми и экспериментально проверены.

Ко второй группе относятся методы расчета, основанные на использовании нелинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры, адекватно учитывающие особенности деформирования железобетона: деформирование бетона в условиях плоского напряженного состояния, образование и развитие трещин, работу полос бетона между трещинами и т.д. Данные методы позволяют судить о напряженно-деформированном состоянии на всех участках балки и на всех этапах ее деформирования.

Большой вклад в развитие методов расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям внесли работы, выполненные в НИИЖБ под руководством А.А. Гвоздева [1] и остающиеся актуальными сегодня. В развитии современных методов расчета можно выделить несколько направлений:

- построение диаграммной методики расчета стержневых конструкций по той и иной группе предельных состояний [2; 3];

- построение физических соотношений в приращениях для слабоитерационных и безитерационных методов расчета железобетонных конструкций с учетом трещинообразования приобретаемой неоднородности и анизотропии и разработка конечно-элементных методов расчета плоскостных и массивных конструкций с учетом трещинообразования, физической и приобретаемой вследствие его анизотропии (балок-стенок, плит, различных фундаментов и т.д.), а также развитие критериев прочности при объемном и плоском напряженном состоянии;

- развитие теории ползучести и долговременной прочности бетона для расчета деформаций и прочности конструкций при длительном действии нагрузок, позволяющих учитывать влияние факторов деградации свойств материалов. В современных методах расчета конструкций по двум предельным состояниям влияние разных факторов на долговечность конструкций учитывается интегрально

- при помощи коэффициентов условий работы, снижающих прочностные характеристики материалов, что явно недостаточно. Это отмечалось еще в работах О.Я. Берга и его учеников, а также школы В.М. Москвина. Так, в работе В.Н. Ярмаковского был предложен первый проект метода расчета железобетонных конструкций по новому предельному состоянию, а именно по долговечности.

Анализ накопленного опыта экспериментальных исследований сопротивления железобетонных элементов при действии поперечных сил показал необходимость совершенствования методов расчета [5].

В настоящее время почти во всех указаниях по расчету и проектированию железобетонных конструкций в большей или меньшей степени допускается учитывать явления перераспределения усилий. Расширению применения новых методов способствует то обстоятельство, что в существующих международных документах рекомендуется принимать во внимание изменение в распределении усилий, вызванное возникновением трещин и пластическими свойствами конструкциями.

Пластические свойства железобетонных конструкций в расчетах учитывают уже много лет. Различные приближенные методы оценки перераспределения усилий в конструкции по сравнению с ее упругой работой основаны на знании того обстоятельства, что можно допустить определенные отклонения от теоретического распределения, которые не будут неблагоприятно влиять на надежность конструкции [10].

Эффективным инструментом, позволяющим решать данные типы задач, являются программные комплексы, реализующие метод конечных элементов (МКЭ). К ним относятся хорошо известные в нашей стране программы NASTRAN, ANSYS, COSMOS (США), DIANA (Голландия), ROBOT (Франция), STARK (Россия), ЛИРА, SCAD (Украина). Постепенно набирает распространение программный комплекс COMSOL (Швеция), являющийся мощной интерактивной средой для моделирования и расчетов научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных.

Проведенный обзор выполненных исследований и их анализ позволяет сделать следующие выводы:

- 1) Исследование воздействия случайных ударных нагрузок аварийного характера на железобетонные конструкции является актуальной проблемой.

- 2) Достаточно подробно исследовано влияние высокопрочной арматуры на работу железобетонных конструкций при динамических нагрузках.

- 3) Существующие точные методы расчета конструкций на однократные удары являются достаточно трудоемкими и сложными.

#### *Список литературы / References*

1. *Гвоздев А.А.* Задачи и перспективы развития теории железобетона // *Строительная механика и расчет сооружений*, 1981. № 6. С. 14–17.
2. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н.* О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // *Бетон и железобетон*, 2012. № 6. С. 20–27.
3. *Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В.* Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // *ПГС–Промышленное и гражданское строительство*, 2013. № 1. С. 28–30.
4. *Пермяков М.Б., Веселов А.В., Токарев А.А., Пермякова А.М.* Исследование технологии погружения забивных свай различных конструкций // *Архитектура. Строительство. Образование*, 2015. № 1 (5). С. 12-17.
5. *Пермяков М.Б., Пермякова А.М.* Архитектурно-строительному факультету - 70 // *Архитектура. Строительство. Образование*, –2012..№ 1. С. 9-17.
6. *Пермяков М.Б., Чернышова Э.П. и др.* Архитектурно-строительный факультет: 1942-2012 гг.: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 102 с.
7. *Permyakov M.B.* Building residual life calculation at hazardous production facilities // *Advances in Environmental Biology*. Volume 8, Number 7, 2014. Pp. 1969-1973.
8. *Chernyshova E., Permyakov M., Chernyshov E., Galimshina A.* Sustainable living in Sweden – passive house approach // *Архитектура. Строительство. Образование*, 2016. № 1 (7). С. 142-146.
9. *Чернышова Э.П., Пермяков М.Б., Григорьев А.Д.* Первый квартал города Магнитогорска как историческое архитектурное наследие. *Научные труды SWorld.*, 2013. Т. 49. № 3. С. 85-88.
10. *Пермяков М.Б.* Анализ аварий производственных зданий и сооружений // *Архитектура. Строительство. Образование*. - 2014. - № 1 (3). - С. 264-270.
11. *Пермяков М.Б., Чернышова Э.П., Пермякова А.М.* Предотвращение аварий эксплуатируемых зданий и сооружений // *Сборник научных трудов Sworld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития».* Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. Т. 50. № 3. С. 38-43.