

## О РАЗВИТИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Проанализовано питання про методи просторового розрахунку пролётних будов різної конструкції. Показана можливість застосування спрощених методів розрахунку, які дозволяють урахувати як пружні, так і нелінійні деформації, а також оцінити інші фактори, що впливають на НДС системи без шкоди для точності отриманих результатів.

Проанализирован вопрос о методах пространственного расчета пролетных строений различной конструкции. Показана возможность применения упрощенных методов расчета, позволяющих учесть как упругие, так и нелинейные деформации, а также оценить другие факторы, влияющие на НДС системы, без ущерба для точности получаемых результатов.

The problem of methods of spatial computation of spans of different structures has been considered. The possibility of application of simplified computation methods allowing to take into account both resilient and non-linear deformations as well as to estimate other factors affecting the stressed-and-strained state of a system without accuracy loss for results obtained has been presented.

Вопросу распределительной способности пролетных строений мостов посвящено десятки и даже сотни работ. В рамках данной статьи невозможно перечислить все эти работы. Уже в середине 50-х годов прошлого столетия на смену простейшим методам расчета пришли методы, позволяющие с достаточной для практики точностью определить напряженно-деформированное состояние (НДС) пролетных строений при воздействии на них временных нагрузок. Из многочисленных методов расчета этого периода следует выделить методы Б. Е. Улицкого [1], Л. В. Семенца [2], И. А. Трифонова [3]. Сложнейший в математическом отношении метод Б. Е. Улицкого считался точным и был реализован в виде программы расчета, которая использовалась проектантами всего Советского Союза. В дальнейшем метод развивался самим Б. Е. Улицким и его учениками и был перенесен на расчет практически всех балочных мостов (прямых, консольных, косых, кривых, плитных) как с учетом упругих свойств материалов, так и с учетом нелинейных деформаций.

Однако И. А. Трофимов подчеркивает, что модель Б. Е. Улицкого может дать при расчете в упругой стадии достаточно точные решения только при удержании большого числа членов ряда. При расчете железобетонных пролетных строений (когда следует учесть влияния трещин и других факторов) этот метод может дать весьма приближенные результаты. Он показал, что и другие точные методы, не учитывающие этих факторов, могут дать результаты, далекие от истины.

Естественно, в последующие годы ученые изыскивали более простые модели расчета. Так, Л. В. Семенец впервые в Советском Союзе разработал энергетический метод расчета пролет-

ных строений мостов балочной конструкции, выполняемых из железобетона или металла. Метод был более простым, чем метод Б. Е. Улицкого, понятен инженерам, и поэтому широко использовался в практике проектирования. Следует подчеркнуть, что он учитывал только упругие деформации материала пролетных строений и не был разработан для сборных плитных мостов и мостов других конструкций.

И. А. Трофимову удалось, значительно упростив решения, учесть при расчетах процесс трещинообразования и влияние других факторов. Для ряда пролетных строений он применял двухпараметрическую модель П. Л. Пастернака, разработанную для расчета фундаментов с учетом их совместной работы с грунтом. И. А. Трофимов, кроме упрощения расчетов пролетных строений, применив модель П. Л. Пастернака, показал (что на наш взгляд, является главным) общность расчетов, казалось бы, далеких по назначению и функциональным особенностям конструкции (фундаментов и пролетных строений).

По пути упрощения пространственных расчетов пролетных строений пошли и другие выдающиеся ученые: М. Е. Гибшман [4], Г. Н. Азизов [5], М. М. Онищенко [6], В. Г. Кваша и А. Ф. Яременко [7]. Например, М. Е. Гибшман разработал обобщенный метод внецентренного сжатия с учетом крутящихся моментов, расчет сборных плитных мостов, рассматривая их в поперечном направлении как шарнирную цепь, расчет кривых в плане мостов, составил обширные таблицы для определения внутренних усилий и деформаций всех типов балочных мостов. Однако, его методы не позволяют рассматривать пролетные строения других конструкций (рамных, арочных, комбинированных).

Г. Н. Азизов разработал обобщенный метод расчета, позволяющий учитывать процесс трещинообразования при сравнительно несложных в математическом плане решениях.

В. Г. Кваша и А. Ф. Яременко вернулись к использованию модели в виде перекрестных элементов, но применили при расчете смешанный методов строительной механики.

С развитием вычислительной техники снова были предложены сложнейшие модели расчета пролетных строений, часто базирующиеся на применении метода конечных элементов (МКЭ) [8, 9]. В Украине на основе МКЭ составлен комплекс «Лира». Развитие методов по пути их усложнения понятно, т.к. МКЭ дает возможность при расчете учесть много факторов, характеризующих свойства материалов, конструктивные особенности и способы возведения пролетных строений.

Однако, на наш взгляд, не стоит обожествлять и считать панацеей от всех неприятностей использование сложнейших моделей с применением МКЭ. Недостатки методов с применением МКЭ четко определил Г. Н. Азизов, обратив внимание на сложность подбора формы и количества конечных элементов при расчете пролетных строений разных конструкций, на неустойчивость решения системы с большим количеством неизвестных, на практическую невозможность контроля промежуточных расчетов и на большие затраты машинного времени, что удорожает процесс проектирования мостов.

В связи с этим следует приветствовать и в дальнейшем разработку более простых методов расчета пролетных строений, позволяющих с достаточной для практических целей точностью оценить НДС системы. В этом плане перспективным, на наш взгляд, является разработанный нами метод расчета, в котором пролетное строение разрезается на продольные элементы (балки, рамы, арки) и поперечные элементы, которые рассчитываются смешанным методом строительной механики [10, 11]. Во многих наших работах, перечень которых в данной статье сделать невозможно, доказано, что предложенный метод позволяет рассчитывать любые по конструкции пролетные строения, любой нерегулярной схемы, при продольных элементах, выполненных из разных материалов. При реконструкции мостов разные продольные элементы одного и того же пролетного строения могут иметь разные по величине пролеты, что не вызывает затруднений при расчете. Метод позволяет учесть нелинейность работы или ползучесть материала, дефекты элементов и оценить их влияние на распределительную способность пролетного строе-

ния. И, наконец, программные расчеты на ЭВМ не представляют трудностей, т.к. задача сводится к решению системы канонических уравнений, в которых количество неизвестных составляет в худшем случае всего несколько десятков. Все это позволяет (без ущерба для точности расчетов) значительно уменьшить затраты машинного времени при расчете пролетных строений.

Кроме того, предложенный метод расчета позволяет определить НДС плоских и ребристых плит при любых условиях их опирания по контуру и плит с точечным опиранием на опоры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Улицкий Б. Е. Вопросы пространственного расчета балочных мостов. – М.: Автотрансиздат, 1956. – 60 с.
2. Семенец Л. В. Пространственный расчет мостов с учетом кручения // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, 1959. – № 5. – С. 55-63.
3. Трифонов И. А. Практический метод расчета железобетонных большепролетных балочных мостов переменной жесткости // Сб. тр. МИСИ. – Вып. 17. – М.: МИСИ, 1957. – С. 69-85.
4. Гибшман М. Е. Проектирование транспортных сооружений: Учебник для вузов. – 2-е изд., перер. и доп. / М. Е. Гибшман, В. И. Попов. – М.: Транспорт, 1988. – 447 с.
5. Азизов Г. Н. Пространственный расчет железобетонных пролетных строений мостов // Дороги і мости. – Т. 1, Вип. 7. – К.: ДерждорНДІ, 2007. – С. 8-21.
6. Онищенко М. М. Про деякі спрощення просторових розрахунків прогінних будов мостів / М. М. Онищенко, Н. М. Хвоциньська, В. М. Леонтьева // Автом. дороги і дор. буд-во. – Вип. 42. – К.: Будівельник, 1988. – С. 84-87.
7. Кваша В. Г. Расчет однопролетных и неразрезных строений железобетонных автодорожных мостов / В. Г. Кваша, А. Ф. Яременко, О. В. Фомин // Автом. дороги і дор. буд-во. – Вип. 69. – К.: Будівельник, 2004. – С. 81-87.
8. Лантух-Лященко А. И. ЛИРА. Программный комплекс расчета и проектирования конструкций «Фаст». – М.-К., 2001. – 359 с.
9. Cheung Y. I. Finite strip analysis of slab and box girter bridges // Hong-Kong // Eng., 1985. – Vol. 19, № 6. – P. 31-41.
10. Кожушко В. П. Расчет пролетных строений балочных мостов разрезной системы // Сопrotивление материалов и теория сооружений. – Вип. 36. – К.: Будівельник, 1980. – С. 118-127.
11. Кожушко В. П. До розрахунку балочно-консольних прогінних будов на тимчасове навантаження // Автом. дороги і дор. буд-во. – Вип. 37. – К.: Будівельник, 1989. – С. 56-60.

Надійшла до редколегії 23.10.2007.