

**Игнатюк В.И.**

## О РАЗРАБОТКЕ УЧЕБНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ «СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА» В БГТУ

Строительная механика, кратко, – это наука и дисциплина о расчете сооружений на прочность, жесткость и устойчивость.

Одной из основных задач расчета сооружений в строительной механике является определение напряженно-деформированного состояния сооружений и их элементов, то есть построение эпюр внутренних усилий и определение перемещений точек (и соответственно деформаций) сооружений. Для решения этих задач используются различные методы расчета, выбор которых зависит от структуры сооружений и условий их работы (от степеней статической и кинематической неопределимости; от вида сооружений – балки, фермы, рамы, арки, комбинированные системы и т.д.), то есть суть применяемых методов расчета непосредственно связана с работой сооружений и имеет соответствующие физический смысл и физические представления и понятия. При этом при расчете сооружений часто приходится решать системы уравнений больших порядков, определять большое число коэффициентов этих уравнений, и использовать при этом как простые математические вычисления, так и дифференцирование, вычисления интегралов, решение дифференциальных уравнений. Получаемые в результате расчетов величины – это также не просто набор чисел, а величины, отражающие состояние и поведение сооружения при заданных условиях, которые оцениваются и анализируются с физических позиций работы сооружений.

Выше приведенные рассуждения направлены на то, чтобы показать, что в процессе реализации методов расчета сооружений можно увидеть и выделить две стороны, одна из которых представляет суть и физические основы методов расчета и работы сооружений, а вторая связана с математической реализацией методов расчета и большими (в той или иной степени) объемами вычислений.

В современных условиях решение математической стороны рассматриваемых задач, естественно, требует применения современных ЭВМ (ПЭВМ), чтобы облегчить математические вычисления, избавить студента от больших объемов однородных расчетов. При этом следует иметь в виду, что учебные программы для ЭВМ должны строиться совсем на других принципах, чем программы производственного (в том числе и проектно-конструкторского) назначения, в которых после ввода исходных данных выполняется расчет и в том или ином виде получают окончательные результаты решения задачи, и которые, таким образом, не обладают никакими обучающими свойствами и не способствуют познанию методов расчета.

Учебные программы должны уменьшать объем ручных вычислений, облегчать трудоемкие вычислительные процессы, не затмевая при этом сущности и принципов методов расчета, должны способствовать изучению этих методов, их физической сути и физических основ работы сооружений, должны представлять также возможности исследования поведения и работы сооружений при изменении их характеристик и параметров, и таким образом должны представлять собой обучающе-исследовательскую систему. Главная сложность при составлении таких программ – найти то соотношение двух сторон в задаче, методе расчета, которое позволяло бы, с од-

ной стороны, максимально облегчить математические вычисления, максимально уменьшить объем ручного счета, а с другой стороны, максимально сохранить сущностно-физическую сторону задач и методов расчета. Решение этой проблемы требует глубокого анализа методов расчета, которые при их реализации в учебных программах следует разделить на две части. Одна из них, менее трудоемкая с вычислительной точки зрения, но несущая в себе суть и физические основы метода и способствующая его изучению и познанию, должна выполняться вручную. Вторая, менее информативная, но более трудоемкая, должна передаваться компьютерной программе. Следует заметить, что это разделение в разных методах расчета может быть совершенно разным, что зависит от процедур методов, а в одном методе расчета на разных его этапах эти части могут взаимно переплетаться друг с другом.

Следует сказать и том, что современные компьютерная техника (ПЭВМ) и системы программирования достигли высокого уровня, который представляет большие возможности для создания эффективных обучающих программ. И эти возможности следует использовать в полной мере. К ним, например, относятся:

- возможность создания удобного и эстетичного интерфейса, особенно при создании программ под Windows;
- диалоговый режим ввода исходной информации, обработки и анализа промежуточных и окончательных результатов решения задачи;
- графическое представление данных и результатов расчета на всех этапах решения задачи;
- большие возможности цветового и звукового оформления всех этапов работы в программе;
- создание разветвленной помощи (Help, контекстных меню и т. п.) как для работы непосредственно в программах, так и по разъяснению сути методов расчета, их использования и реализации.

Изложенные подходы и возможности мы пытались реализовать при составлении учебных программ для ПЭВМ по дисциплине «Строительная механика» в Брестском государственном техническом университете, где на кафедре строительной механики этими вопросами мы занимаемся давно [1–5]. Разработаны следующие учебные программы для ПЭВМ, используемые студентами при выполнении расчетно-проектировочных заданий и в самостоятельной работе:

- “ARKATR” – Расчет трехшарнирных арок на статические нагрузки;
- “METSIL” – Расчет статически неопределимых рам методом сил [4];
- “ARKA2” – Расчет двухшарнирных арок с затяжкой на вертикальные нагрузки;
- “ARKBES” – Расчет бесшарнирных арок на вертикальные нагрузки;
- “SIRIUS” – Расчет усилий в плоских стержневых системах при действии статических нагрузок (на базе метода конечных элементов)[3];
- “UPROS” – Расчет балки на упругом основании.

Рассмотрим, например, реализацию рассмотренных выше принципов при составлении программы для расчета на верти-

*Игнатюк Валерий Иванович, к.т.н., зав. каф. строительной механики Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

кальные нагрузки двухшарнирных арок – программы “Arka2”. Расчет двухшарнирной арки выполняется студентами в курсе строительной механики при выполнении курсовой работы «Расчет составной статически неопределимой системы», где двухшарнирная арка с затяжкой представляет один из вариантов перекрытия большепролетного сооружения (вторым вариантом является ферма). На эту арку в работе действуют как внешние вертикальные статические нагрузки (сосредоточенные и распределенные), так и на уровне опор горизонтальная сила  $P_x$ , представляющая внутреннее усилие в составной раме, элементом которой является двухшарнирная арка. Расчет арки, имеющей одну “лишнюю” связь, выполняется методом сил. Основная система метода сил получается путем разрезания затяжки. Неизвестное метода сил (усилие в затяжке) определяется из уравнения

$$\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0, \quad (1)$$

в котором коэффициенты  $\delta_{11}$  и  $\Delta_{1P}$  представляют собой перемещения в направлении отброшенной связи (взаимное расхождение точек в месте разрезания затяжки) от действия соответственно единичного значения неизвестного  $X_1$  и внешних нагрузок и определяются по формулам [1]:

$$\delta_{11} = \int_0^s \frac{\bar{M}_1^2 ds}{EJ} + \int_0^s \frac{\bar{Q}_1^2 ds}{GA} + \int_0^s \frac{\bar{N}_1^2 ds}{EA} + \frac{\bar{N}_{1зам}^2 L}{EA_{зам}}; \quad (2)$$

$$\Delta_{1P} = \int_0^s \frac{\bar{M}_1 M_P ds}{EJ} + \int_0^s \frac{\bar{Q}_1 Q_P ds}{GA} + \int_0^s \frac{\bar{N}_1 N_P ds}{EA}, \quad (3)$$

где  $\bar{M}_1 = -y$ ;  $\bar{Q}_1 = -\sin \varphi$ ;  $\bar{N}_1 = -\cos \varphi$  – законы изменения эпюр внутренних усилий (изгибающих моментов, поперечных и продольных сил), построенных от единичного значения неизвестного ( $X_1=1$ );  $\bar{N}_{1зам} = 1$  – усилие в затяжке от  $X_1=1$ ;  $ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$ ,  $ds$ ,  $dx$  – бесконечно малые участ-

ки дуги и пролета арки;  $EJ = EJ(x)$ ,  $GA = GA(x)$ ,  $EA = EA(x)$  – зависимости для жесткостей арки соответственно при изгибе, сдвиге и растяжении-сжатии;  $EA_{зам}$  – продольная жесткость затяжки;  $y = y(x)$  – закон изменений оси арки;  $\varphi$  – угол наклона касательной к оси арки, определяемый из зависимости  $tg \varphi = \frac{dy}{dx}$ ;  $M_P$ ,  $Q_P$ ,  $N_P$  – законы изменения внутренних усилий в основной системе метода сил от действия внешних нагрузок;  $L$  – пролет арки;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечения при изгибе.

Окончательные эпюры усилий в арке строятся по формулам:

$$M = \bar{M}_1 X_1 + M_P \cos \varphi = M_P^0 - (X_1 + P_x) y;$$

$$Q = \bar{Q}_1 X_1 + Q_P = Q_P^0 \cos \varphi - (X_1 + P_x) \sin \varphi; \quad (4)$$

$$N = \bar{N}_1 X_1 + N_P = -[Q_P^0 \sin \varphi + (X_1 + P_x) \cos \varphi],$$

где:  $M_P^0$  и  $Q_P^0$  – балочные эпюры от действия вертикальных внешних нагрузок.

Вычисление интегралов в (2) и (3) в большинстве случаев не является простым делом, и поэтому непосредственное интегрирование их чаще всего заменяют численным суммированием при разбивке пролета арки на конечное число участков. В результате ось арки  $y = y(x)$  заменяется ломаной линией. Все величины, входящие в формулы (2) и (3), при этом должны вычисляться в средних точках участков разбивки. Точность расчета будет, естественно, тем выше, чем на большее число участков будет разбит пролет арки. Указанные вычисления величин  $\delta_{11}$  и  $\Delta_{1P}$ , таким образом, представляют довольно трудоемкое дело.

Расчет геометрических характеристик сечений и усилий в

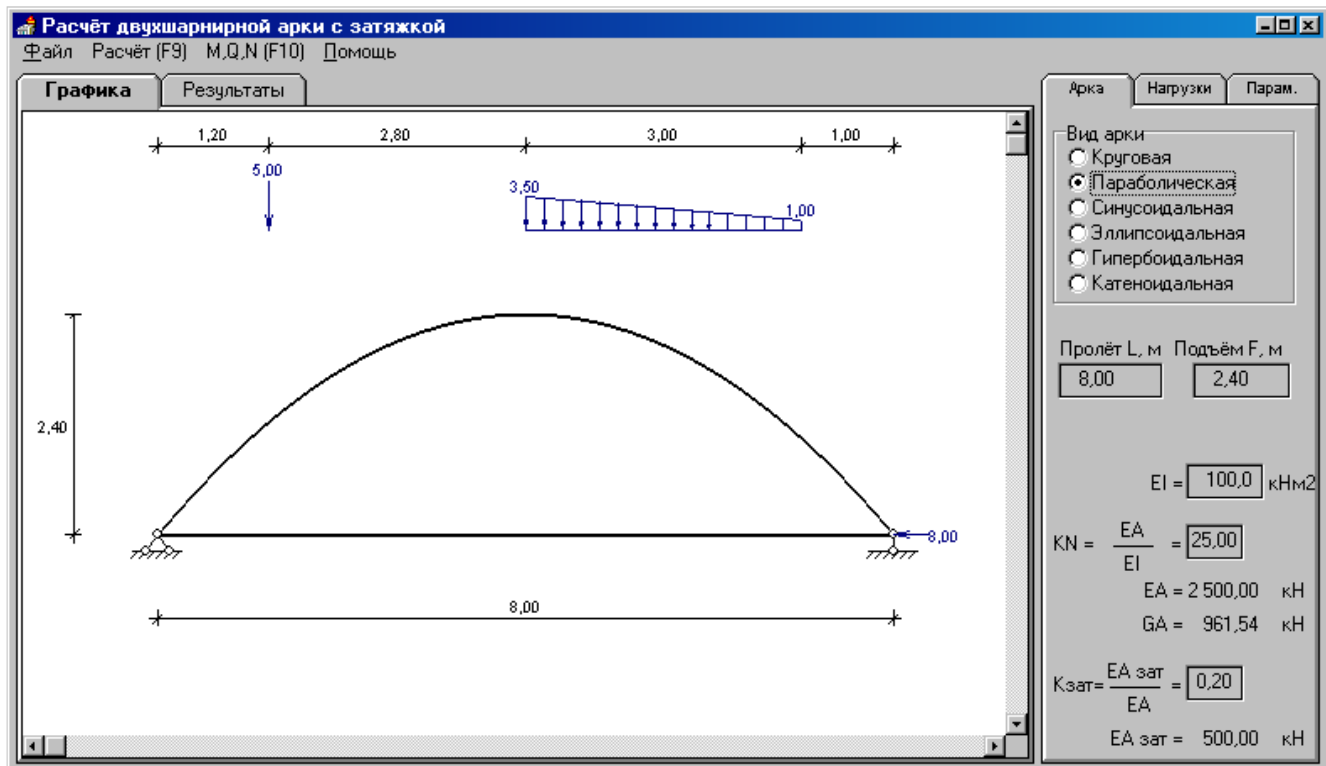


Рис. 1. Основное рабочее окно программы “Arka2”

них (от единичного неизвестного метода сил и от внешних нагрузок в О.С.), а также окончательных усилий по формулам (4) представляет собой однородные (повторяющиеся) вычисления для каждого из сечений. Поэтому естественно передать все эти расчеты и вычисления компьютеру, что и сделано в программе "ARKA2", основное рабочее окно которой представлено на рис. 1.

Программа составлена в среде программирования Delphi, имеет удобный интерфейс для работы с ней, графическое представление и исходных данных, и результатов расчета.

При реализации программы выполнено следующее выделение двух сторон метода расчета. Вручную студент должен вычислить геометрические характеристики ( $y$ ,  $\varphi$ ,  $\sin \varphi$ ,  $\cos \varphi$ ) для одного (заданного) сечения, выявить общие закономерности изменения единичных ( $\bar{M}_1$ ,  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{N}_1$ ) и грузовых ( $M_P$ ,  $Q_P$ ,  $N_P$ ) эпюр усилий и вычислить их значения в заданном сечении. Эти величины являются контрольными и вводятся после запуска программы на расчет в окне контрольных величин, представленном на рис. 2.

Рис. 2. Окно ввода контрольных величин

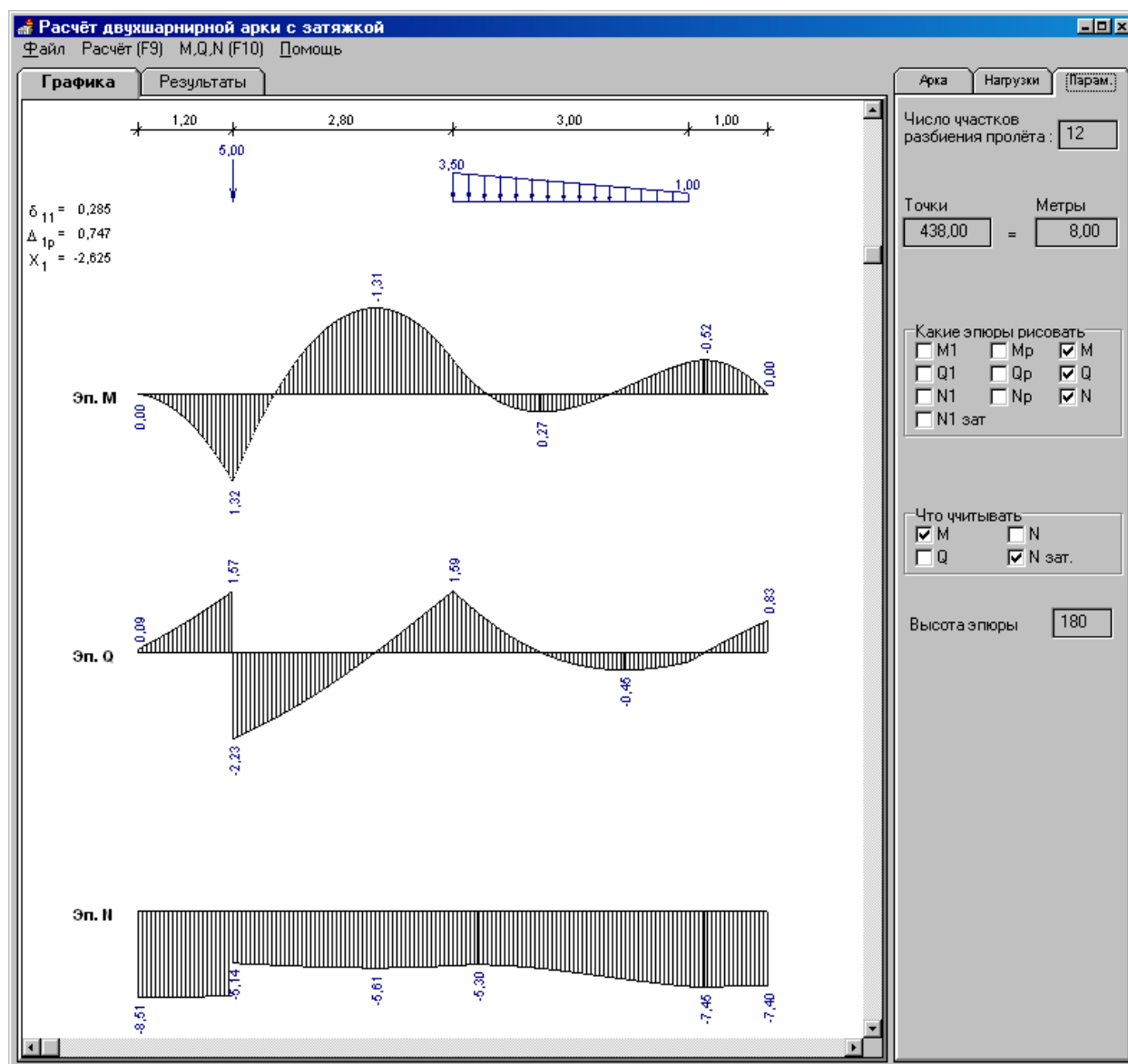


Рис. 3. Окно графических результатов расчета арки

Если контрольные величины верны, то программа вычисляет геометрические характеристики и внутренние усилия (единичные и грузовые) во всех сечениях арки, коэффициенты  $\delta_{11}$  и  $\Delta_{1P}$ , и из уравнения (1) неизвестное метода сил  $X_1$  – усилие в затяжке, значение которого отражается в окне контрольных величин (рис. 2). После этого студент для того же заданного сечения должен вычислить по формулам (4) окончательные значения ординат внутренних усилий  $M$ ,  $Q$  и  $N$  и ввести их в окно контрольных величин. После проверки правильности их нахождения студентом программа продолжает расчет системы и вычисляет соответствующие ординаты усилий во всех сечениях арки в соответствии с заданным числом участков разбивки, включая и все характерные точки (под сосредоточенными силами, на опорах). Если какая-то из контрольных величин вычислена неверно, то выдается сообщение об ошибке, и студент должен выполнить перерасчет указанной величины. Результаты расчета арки представляются как в табличном виде для всех сечений, так и в графическом виде – показываются эпюры внутренних усилий  $M$ ,  $Q$  и  $N$  в арке (рис. 3).

В выполняемой студентами работе на арку, как уже указывалось, наряду с вертикальными нагрузками действует и горизонтальная сила  $P_x$  на уровне опор (затяжки). И при таком нагружении арки программа требует ввода контрольных величин в заданном сечении. Однако программа имеет возможность расчета арки и без ввода и проверки контрольных величин. Эта возможность реализуется при действии на арку только вертикальных нагрузок (при отсутствии силы  $P_x$ ), и позволяет студенту выполнить исследование влияния на напряженно-деформированное состояние арок ряда факторов и характеристик, которые можно изменять в программе:

- закона изменения оси арки (круговой, параболический, синусоидальный, катеноидальный, эллипсоидальный, гиперболический);
- относительного подъема арок ( $f/L$ , где  $f$  – стрела подъема арки), характеризующего пологость или крутизну арок;

УДК 004

*Хведчук В.И.*

## ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВ

В настоящее время возрастают объемы информации по каждой из дисциплин, увеличивается частота обновления содержимого дисциплины. Все это находит отражение в смене рабочих и учебных программ, учебных планов специальностей, методического обеспечения. При этом возможно появление новых дисциплин, как по названию, так и по содержанию. Особенно сильно это проявляется в дисциплинах, связанных с использованием вычислительной техники. Практически каждые два года происходит полное обновление дисциплины.

Важную роль в подготовке новых методических материалов играют библиотечные ресурсы. Хотя, и возрастает роль электронных источников информации, в учебном процессе по-прежнему немалую роль играют обычные книги. Во многом элементы их библиографического описания могут быть использованы для построения методических материалов в электронном виде. Поэтому становится возможной и необходимой задача развития средств автоматизации разработки

- учета-неучета различных видов деформации (изгибной, продольной, поперечной);
- числа участков разбивки арок.

Изложенные принципы создания учебных программ, с нашей точки зрения, создают условия и базу для более глубокого изучения методов расчета и понимания физических основ работы сооружений, способствуют интенсификации и активизации учебного процесса, индивидуализации познавательной деятельности, развитию творческого и инженерного мышления будущих специалистов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Игнатюк В.И. Некоторые аспекты применения ЭВМ при выполнении расчетно-проектировочных заданий по строительной механике // Методические материалы по применению ТСО и ЭВМ в учебном процессе по сопротивлению материалов и строительной механике / Респ. учебно-методич. кабинет. – Мн., 1989. – С. 12–16.
2. Игнатюк В.И. О принципах и подходах к созданию учебных компьютерных программ для курса строительной механики на базе современных ЭВМ // Материалы научно-технич. конф., посв. 30-летию института / Брест. политех. ин-т. – Брест, 1996. – Ч. II. – С. 133.
3. Игнатюк В.И., Гойшик И.М. Об автоматизации расчета усилий в плоских стержневых системах на современных ПЭВМ на базе МКЭ // Проблемы и перспективы современных строительных конструкций и технологий: Труды 25 научно-технич. конф. проф.-препод. состава, аспирантов и студентов / Брест. политех. ин-т. – Брест, 1998. – С. 99–102.
4. Игнатюк В.И., Богомолов Д.В. О принципах разработки учебной компьютерной программы по расчету статически неопределимых рам методом сил // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сб. тр. VII Межд. научно-методич. семинара. – Брест, БГТУ, 2001. – С. 508–512.
5. Игнатюк В.И. Создание учебных компьютерных программ для курса строительной механики // Вышэйшая школа. – 2001. – № 6. – С. 35–38.

обучающих и контролирующих курсов. При наличии электронных каталогизированных ресурсов данная задача становится еще более насущной. Возникает также задача каталогизации и поиска электронных ресурсов.

### 1. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Построение обучающего курса ведется в виде

$$OK = \{U, M, Ru, Rm, M\},$$

где  $U$  – множество утверждений,  $Ru$  – множество отношений, заданное на множестве утверждений  $U$ ,  $M$  – множество мультимедийных подсказок,  $Rm$  – множество соответствий элементов множества подсказок  $M$  элементам множества  $U$ .

Для контролирующего курса используется описание

$$KK = \{V, M, R, L, Rv, Rmv, Ra, RI, A\},$$

где  $V$  – множество вопросов,  $Rv$  – множество отношений,

*Хведчук Владимир Иванович, доцент кафедры информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*