

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет
путей сообщения»

Кафедра «Мосты»

А. Ю. Клюкин

Построение линий влияния и нелинейный расчёт
МОСТОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом
университета в качестве методических указаний

для студентов специальности
«Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

Москва – 2013

УДК 624.21

К 52

Клюкин А. Ю. Построение линий влияния и нелинейный расчёт мостов: Методические указания. – М.: МИИТ, 2013. –35 с.

В методических указаниях приведены примеры расчёта мостовых конструкций в конечноэлементном комплексе MSC.Marc.

Методические указания предназначены для студентов по специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

1. НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЁТ. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ

1.1. Общие сведения о линиях влияния

Для расчёта сооружений на подвижную нагрузку используется аппарат линий влияния.

Линия влияния это график, в котором отражена зависимость какого-то искомого фактора от положения нагрузки на сооружении. Под искомым фактором подразумеваются усилия, напряжения, перемещения, углы поворота и т.д. Под положением нагрузки – в направлении вдоль или поперёк моста.

В качестве нагрузки для построения линии влияния принимается единичная сила. Впоследствии полученная линия влияния загружается реальной нагрузкой. Сосредоточенные силы умножаются на ординаты линии влияния под ними, а интенсивность распределённых нагрузок на соответствующие площади участков этих графиков.

Формально для применения аппарата линий влияния необходимо соблюдение нескольких условий. Рассматриваемая система должна быть линейной и консервативной, значений графика не должны зависеть от пути загрузки конструкции и от величины усилия. В реальных системах это трудно выполнимо, так как всегда существует трение в опорных частях, местные пластические деформации и т.д. Но всё же в большинстве мостовых конструкций такие допущения правомерны.

В тех же случаях, когда нельзя пользоваться линиями влияния (например, висячие системы), необходимо проводить нелинейный расчёт, прикладывая усилие итерациями. Такой расчёт представлен во второй части этой работы.

1.2. Подготовка модели

Все расчёты будем выполнять в модели из методички «Определение усилий от постоянных нагрузок в мостовых конструкциях» с необходимыми добавлениями и изменениями.

ПАНЕЛЬ ВИДОВ
FILE

OPEN (выбор файла, например f1)

OK

SAVE AS (указать новое расположение и имя, например f2)

OK

FILL

Теперь необходимо добавить файл, содержащий информацию о подвижной нагрузке для построения линий влияния

Так как построение линий влияния является специфической задачей в расчёте конструкций, система не способна решить её напрямую. Для решения этой задачи прокатим условно единичную силу по узлам грузового пояса с помощью опций нелинейного расчёта. Для этого последовательно расположим на этих узлах силы с привязанным к ним графиком включения в работу. Чтобы не составлять каждый раз новые графики для сил, воспользуемся файлом, содержащим эти силы вместе с их графиками. Создание такого файла подробно рассмотрено в III части настоящей методички «Создание комплекса сил и графиков для построения линий влияния». При выполнении лабораторных работ такой файл будет выдаваться преподавателем.

ПАНЕЛЬ ВИДОВ

FILE

MERGE (выбор файла, sil)

OK

Теперь в модель добавились новые силы с графиками. Следующим шагом необходимо их приложить к модели.

1.3. Расстановка сил на грузовом поясе

Заходим в **BOUNDARY CONDITIONS** и выбираем силу номер «0». Для этого можно, как и раньше, использовать клавиши **PREV**, **NEXT** или найти силу в списке **EDIT**. Перед расстановкой сил удобно включить режим **ID BOUNDARY CONDS**, чтобы видеть все приложенные к модели силы.

BOUNDARY CONDITIONS

ID BOUNDARY CONDS

Также можно удалить нагрузку под именем «sila» с помощью кнопки **REM** вверху панели, предварительно выбрав эту нагрузку,

Следует отметить, что комплекс отображает только первые 30 сил разными цветами, остальные отображаются розовым цветом по умолчанию.

Так же для ферм, если расчёт ведётся по плоской схеме, нельзя устанавливать силу на пояс фермы. В этом случае силы должны ставиться только в створе подвесок или стоек. Это связано с тем, что нагрузка перемещается по проезжей части, а не по поясу фермы и он не должен работать на изгиб от давления нагрузки.

Теперь можно расставить новые силы.

BOUNDARY CONDITIONS

MECHANICAL (выбираем силу 0)

NODES ADD (Выбираем первый узел грузового пояса, см. рисунок 1. То есть либо крайний слева или справа, в зависимости от того, с какой стороны движется нагрузка. После выбора нужного узла, нажать правую кнопку мыши).

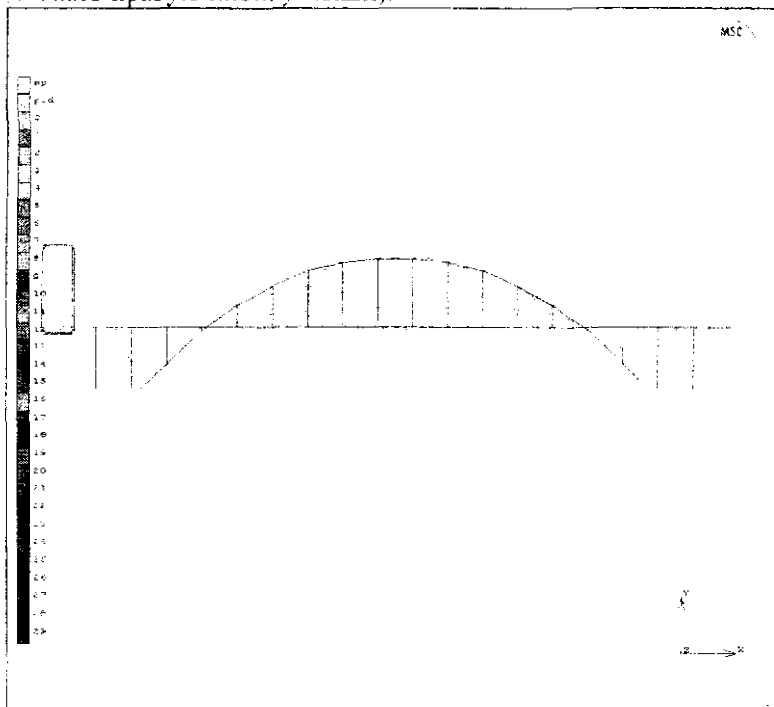


Рисунок 1. Установка силы «0» в первый узел грузового пояса.

NEXT (выбираем силу под именем «1» и устанавливаем её на следующий узел грузового пояса, см. рисунок 2)

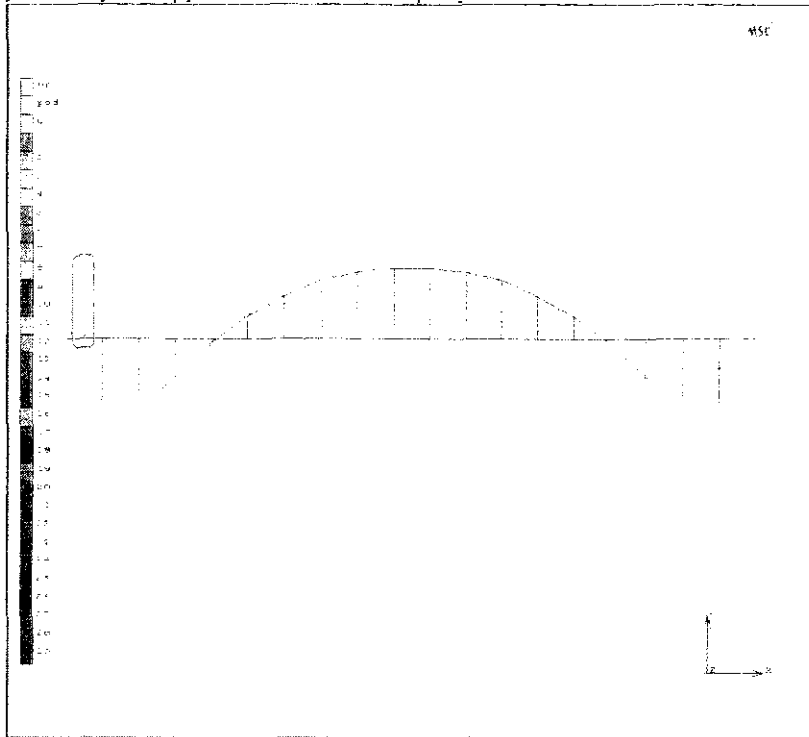


Рисунок 2. Установка силы «1» во второй узел.

NEXT (выбираем силу под именем «2» и устанавливаем её на следующий узел грузового пояса. И так далее до конца грузового пояса)

В конце должна получиться следующая картина – рисунок 3.

Перед переходом к расчёту необходимо запомнить количество приложенных к модели сил. В нашем случае это силы с 0 до 38.

Перейдём к сочетанию нагрузок.

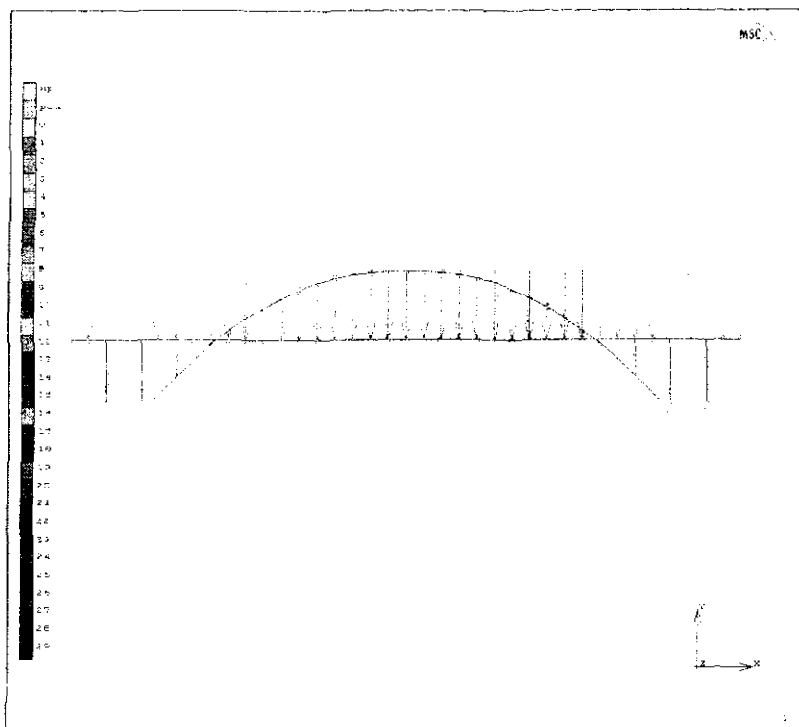


Рисунок 3. Вид модели со всеми расставленными силами.

1. 4. Новое сочетание нагрузок

В пункте основного меню **LOADCASES** создадим новое сочетание нагрузок для расчёта.

NEW

NAME (r1, ENTER)

MECHANICAL

STATIC

LOADS

Очистим меню силы с помощью кнопки **CLEAR** (рисунок 4).

SELECT LOADS

APPLIED LOADS

<input type="checkbox"/> np	fixed_displacement
<input type="checkbox"/> pod	fixed_displacement
<input type="checkbox"/> 0	point_load
<input type="checkbox"/> 1	point_load
<input type="checkbox"/> 2	point_load
<input type="checkbox"/> 3	point_load
<input type="checkbox"/> 4	point_load
<input type="checkbox"/> 5	point_load
<input type="checkbox"/> 6	point_load
<input type="checkbox"/> 7	point_load
<input type="checkbox"/> 8	point_load
<input type="checkbox"/> 9	point_load
<input type="checkbox"/> 10	point_load
<input type="checkbox"/> 11	point_load
<input type="checkbox"/> 12	point_load

GRADUALLY RELEASED LOADS

CLEAR

OK

Рис. 4. Вид меню SELECT LOAD.

CLEAR

И выберем только те силы, которые приложены к модели. В нашем случае это закрепления пр, rod и подвижные нагрузки с 0 до 38.

OK

Сочетание нагрузок сформировано. Переходим к опциям расчёта.

Изменим общее «время» расчёта и количество итераций. Силы приложены таким образом, что действуют через 0,1 единицу условного времени, одна за другой. То есть в момент 0 – действует сила 0, а в момент 3,8 – сила с именем 38. Сделаем так, чтобы итерации совпадали с приложением сил.

Для этого введём в графу **TOTAL LOAD CASE TIME** – 3,8 (номер последней силы /10), а в графу **#STPEPS** – 38. Тогда каждый шаг по итерации будет равен 0,1 при 38 итерациях (рисунок 5).

MECHANICAL STATIC PARAMETERS

LOADS

INERTIA RELIEF

SOLUTION CONTROL

CONVERGENCE TESTING

NUMERICAL PREFERENCES

TOTAL LOADCASE TIME: 3.8

TERMINATE

STEPPING PROCEDURE

<input type="checkbox"/> FIXED	<input checked="" type="checkbox"/> CONSTANT TIME STEP	0.1	<input type="checkbox"/> # STEPS	38
<input type="checkbox"/> ADAPTIVE	<input type="checkbox"/> MULTI-CRITERIA			
	<input type="checkbox"/> ARC LENGTH			
	<input type="checkbox"/> TEMPERATURE			

Рисунок 5. Изменение итераций.

После чего переходим к опциям расчёта.

1.5. Опции расчёта

В пункте основного меню **JOBS** изменим предыдущий расчёт под именем **gasc**.

JOBS

MECHANICAL

В меню **LOADCASES** необходимо убрать из левой части старое сочетание нагрузок и перенести туда новое, как показано на следующем рисунке 6.

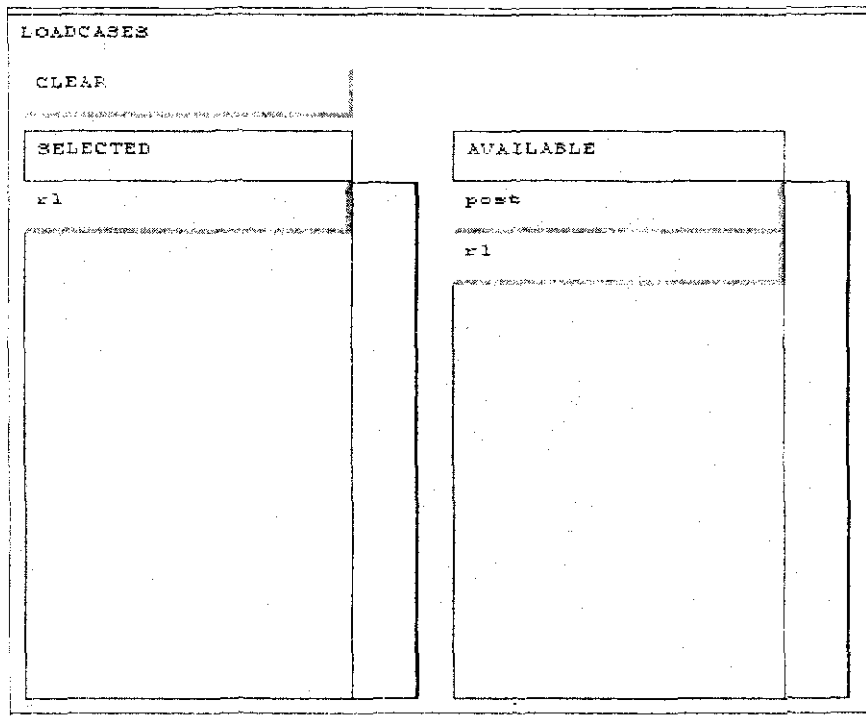


Рисунок 6. Новое расчётное сочетание нагрузок.

В пункте **INITIAL LOADS**, определяющем, какие силы и закрепления действуют в нулевой момент времени, оставим только закрепления **pr** и **rod**, далее **OK** (рисунок 7).

Все остальные опции расчёта оставим без изменений OK.

JOBS

CHECK

RENUMBER ALL

Следующим этапом – собственно сам расчёт. Не забудьте сохранить модель перед расчётом.

JOBS

RUN

SUBMIT (1) (запускаем расчёт)

MONITOR (отображение хода расчёта)

Если расчёт произведён верно, появится надпись **COMPLETE**.

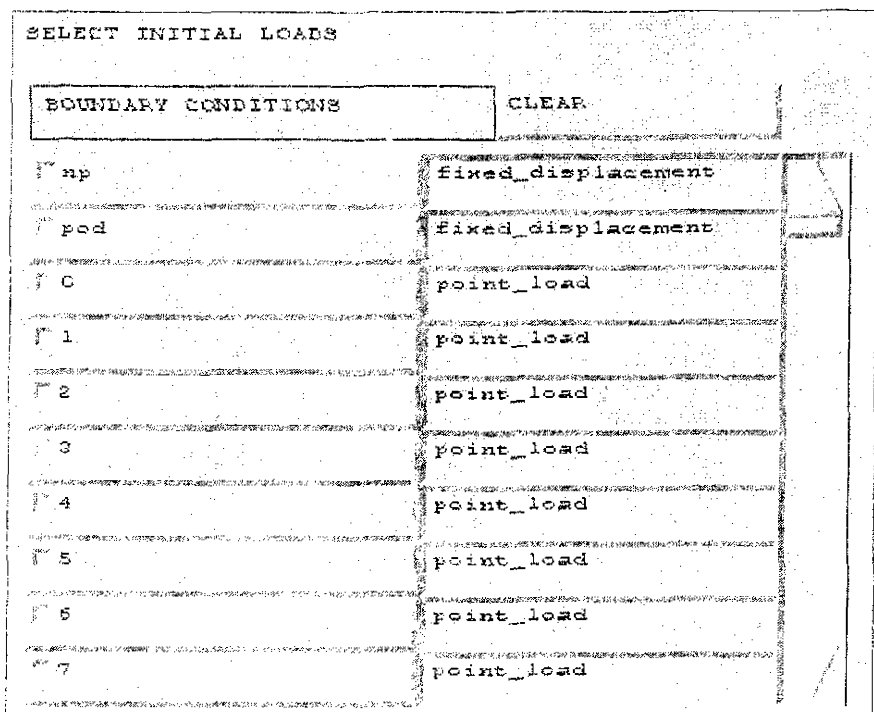


Рисунок 7. Выбранные силы и закрепления в INITIAL LOADS.

1.6. Результаты расчёта, сбор данных по узлам для построения диаграммы

Открываем результаты расчёта как и в предыдущем разделе с помощью кнопки **OPEN POST FILE (RESULT MENU)** в меню **RUN**, или через основное меню –

RESULTS

OPEN DEFAULT

Клавишами **PREV**, **NEXT**, **MONITOR** и т.д. проматываем итерации расчёта. Для удобного отображения необходимо установить нужный масштаб, как это описано в предыдущем разделе.

Если всё сделано верно, получим изменения в модели по итерациям с видимым перемещением усилия по узлам.

Построим график изменения усилия в подвеске арки при прокатке нагрузки.

HISTORY PLOT>

SET NODES (выбрать необходимый узел или узлы, далее нажать правую кнопку мыши)

COLLECT GLOBAL DATA (собрать всю информацию по выбранным узлам)

NODES/VARIABLES> (перейти в меню для построения диаграмм)

В открывшемся меню выбираем вид диаграммы

ADD 1-NODE CURVE

В следующем меню **NODES** номер необходимого узла.

В меню **GLOBAL VARIABLES – TIME** (в зависимости от времени).

В меню **VARIABLES AT NODES** – параметр, который мы хотим исследовать. Например, осевое усилие – **BEAM AXIAL FORGE**.

Для того, чтобы увидеть всю диаграмму, необходимо на верхней панели нажать **FIT**.

Как мы видим на рисунке 8, линия влияния в подвеске нашей системы это не упрощённый треугольник с ординатой в 1, а более сложная фигура.

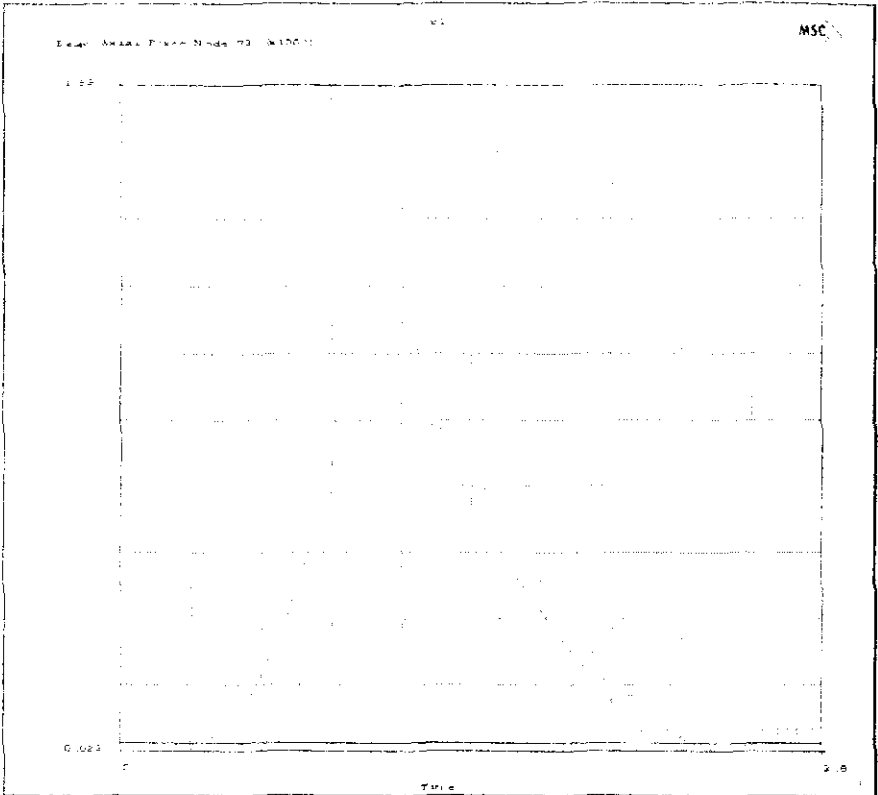


Рисунок 8. Линия влияния усилия в подвеске.

Диаграмму можно сохранить в виде текстового файла в предыдущем меню кнопкой **SAVE>** (рисунок 9).

Чтобы вновь отобразить модель необходимо в пункте **SHOW HISTORY** выбрать **SHOW MODEL** (рисунок 9).

Следует отметить, что на самом деле мы двигаем по мосту силу не в 1 кг, а в 5000кг. Это необходимо, чтобы избежать погрешности округления, которая неизбежно возникает при таких ничтожных нагрузках. Чтобы из полученного графика получить полноценную линию влияния, необходимо, открыв её в Excel, все ординаты разделить на 5000, а по оси «х» отложить реальные расстояния между узлами грузового пояса.

HISTORY PLOT	
POST FILE	
REWIND	PREV
NEXT	LAST
SKIP TO INC	SKIP INCS
MONITOR	SCAN
PRESETS	COLLECT GLOBAL DATA
SET NODES	COLLECT DATA
NODES/VARIABLES	
REMOVE CURVE	CLEAR CURVES
SHOW HISTORY	LEGEND
FILLED	CURVES
SHOW IDS	1
LIMITS	FIT
XMIN	0
XMAX	1
YMIN	-29260.5
YMAX	-15792.5
XSTEP	10
YSTEP	10
GENERALIZED XY PLOT	COPY TO
TABLES	COPY TO
CLIPBOARD	COPY TO
SAVE	FUNCTION

Рисунок 9. Меню HISTORY PLOT.

II. НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЁТ. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОПОРЫ И СОБСТВЕННЫЙ ВЕС

II. 1. Подготовка модели

Все расчёты выполняются в модели из предыдущего расчёта с необходимыми добавлениями и изменениями. Откроем и пересохраним первую модель под новым именем.

ПАНЕЛЬ ВИДОВ

FILE

OPEN (выбор файла. F1)

OK

SAVE AS (указать новое расположение, и имя F3)

OK

FILL

II. 2. Перемещение опоры (BOUNDARY CONDITIONS)

Заходим в пункт **BOUNDARY CONDITIONS** основного меню. Зададим перемещение одной опоры. Например, смещение на 50см вниз правой арочной пяты.

NEW

NAME (perem, ENTER)

MECHANICAL

FIXED DISPLACEMENT

DISPLACEMENT X (запрещаем

перемещения по x)

DISPLACEMENT Y (= - 50, ENTER).

DISPLACEMENT Z (запрещаем

перемещения по z)

При желании можно запретить и углы поворота, выбрав соответствующие пункты **ROTATION**.

OK

NODES ADD (выбрать необходимые узлы и по окончании нажать на правую кнопку мыши, рисунок 10).

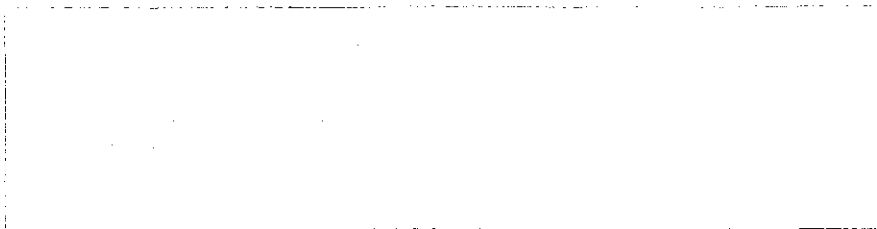


Рисунок 10. Выбранный узел для перемещения (отмечен стрелкой)

Теперь нужно модифицировать предыдущие закрепления. Так закрепление **пр** (неподвижные опорные части) запрещало перемещения нашего узла по оси **y**. Теперь же, как раз это перемещение нам и понадобилось.

С помощью кнопок **PREV** и **NEXT** выбираем закрепления **пр** и убираем из набора узлов, к которым это закрепление приложено, наш узел с помощью кнопки **REM**. Тогда это закрепление (**пр**) будет приложено только к левой пяте арки (рисунок 11).

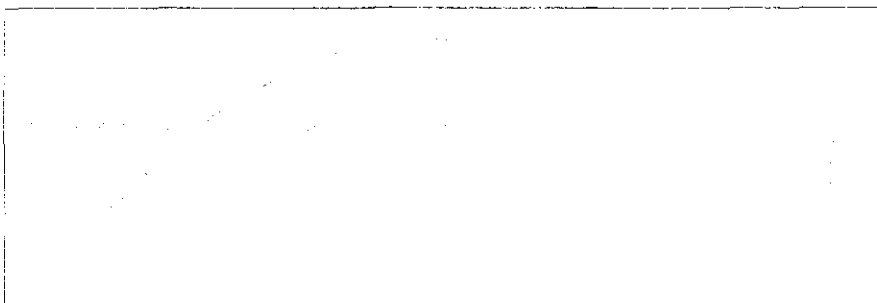


Рисунок 11. Узлы, закреплённые в пункте **пр**.

Теперь, если мы выполним расчёт только на это перемещение, результат будет следующим, см. рисунок 12.

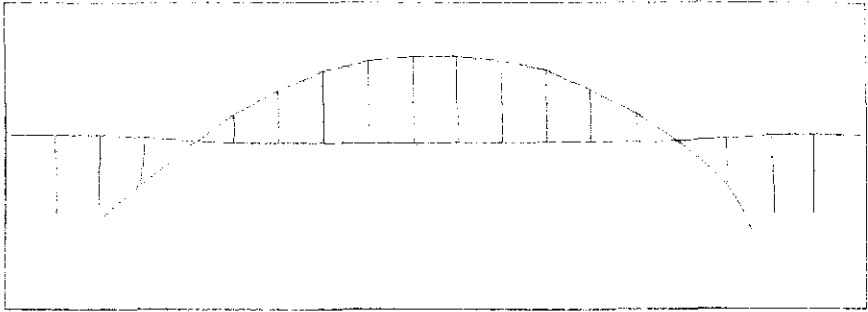


Рисунок 12. Деформированный вид модели после расчёта на перемещения опоры (масштаб увеличен).

11.3. Приложение собственного веса (MATERIAL PROPERTIES, BOUNDARY CONDITIONS)

Добавим к свойствам материала значения плотности. Для стали это $0.00785/981 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/см}^3$ (981 см/с^2 – ускорение свободного падения).

```

MATERIAL PROPERTIES
MATERIAL PROPERTIES
ISOTROPIC
MASS DENSITY (=8e-6, ENTER)
OK

```

Теперь приложим к системе ускорение свободного падения.

```

BOUNDARY CONDITIONS
NEW
NAME (sv_ves, ENTER)
MECHANICAL
GRAVITI LOAD
ACCELERATION Y (= - 981, ENTER)
OK

```

```

NODES ADD
EXIST. (таким образом выбираем все узлы модели)

```

Так программа, исходя из площади поперечного сечения и длины элементов, рассчитает их вес и приложит его к модели. То есть это первая часть постоянной нагрузки, рассчитанная исходя из геометрии системы.

Если сделать расчёт только на этот вид нагрузки, с оставленной правой опорой, результат будет следующим, рисунок 13.

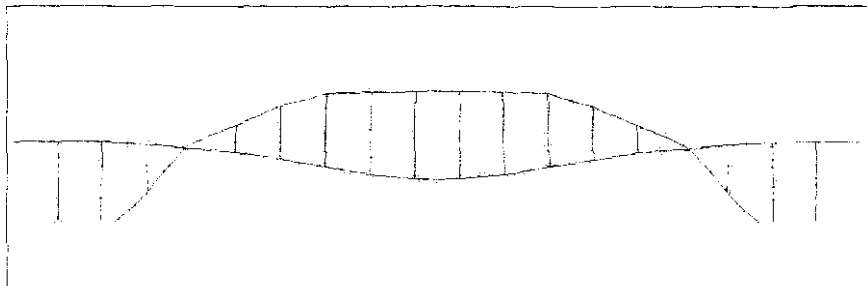


Рисунок 13. Деформированный вид модели после расчёта на собственный вес (масштаб увеличен).

Следует отметить, что в меню **BOUNDARY CONDITIONS** есть отдельный пункт, посвящённый заданию ускорения — **FIXED ACCELERATION**. В нем нужно выбирать не узлы, а элементы. Если мы зададим ускорение в этом пункте, то вся наша схема начнёт смещаться вниз с постоянным ускорением, игнорируя опорные закрепления. Этот пункт необходим для задач кинематики и динамики.

II. 4. Задание порядка действия сил

Теперь назначим порядок, по которому эти воздействия прикладываются к модели.

К примеру, сначала действует сила тяжести, приложенная в полном объёме, а затем постепенно начинается перемещение опоры.

Зададим для расчёта 10 итераций.

На 3-ей итерации начинается перемещение опоры, на 10-ой оно полностью произошло.

Для этого процесса создадим график, описывающий перемещения.

BOUNDARY CONDITIONS

TABLES> (это пункт построение графиков, он есть во всех остальных меню в **MATERIAL PROPERTIES**, **GEOMETRIC PROPERTIES** и тд)

NEW (создание новой диаграммы)
I INDEPENDENT VARIABLE (одна переменная)
NAME (p1. ENTER)
TYPE>
time

Мы создали переменную в зависимости от времени. Теперь необходимо присвоить ей значения.

Если она описывает перемещения опоры, и полное расчётное время равно единице, то тогда в нулевой момент и в момент $t = 0.3$ эта переменная должна быть равной нулю. В момент времени $t=1$, переменная $p1$ должна быть равной 1 (полное перемещение на 50см).

В программе есть два способа задания диаграмм – с помощью формулы (**FORMULA**) и с помощью характерных точек (**DATA POINT**). В нашем случае удобно воспользоваться вторым способом.

Вводим

ADD (добавить точку)
0, ENTER (координата времени)
0, ENTER (значение переменной)

Первая точка добавлена, далее координаты для следующих точек. Обратите внимание на командную строку.

0.3, ENTER
0, ENTER

(и последняя точка)

1, ENTER
1, ENTER

График готов. Если всё сделано правильно, на экране должно появиться изображение как на рисунке 14.

(Если вы хотите воспользоваться формульным вводом, учтите, что переменная в него вводится под именем $v1$. Так если хотите ввести график x^2 , то для этого необходимо в окне для формулы написать $v1^2$. Последующие переменные будут $v2$, $v3$ и т.д.)

Выйдем в предыдущее меню (нажать правую кнопку мыши над основным меню) и отобразим модель.

SHOW TABLE
SHOW MODEL

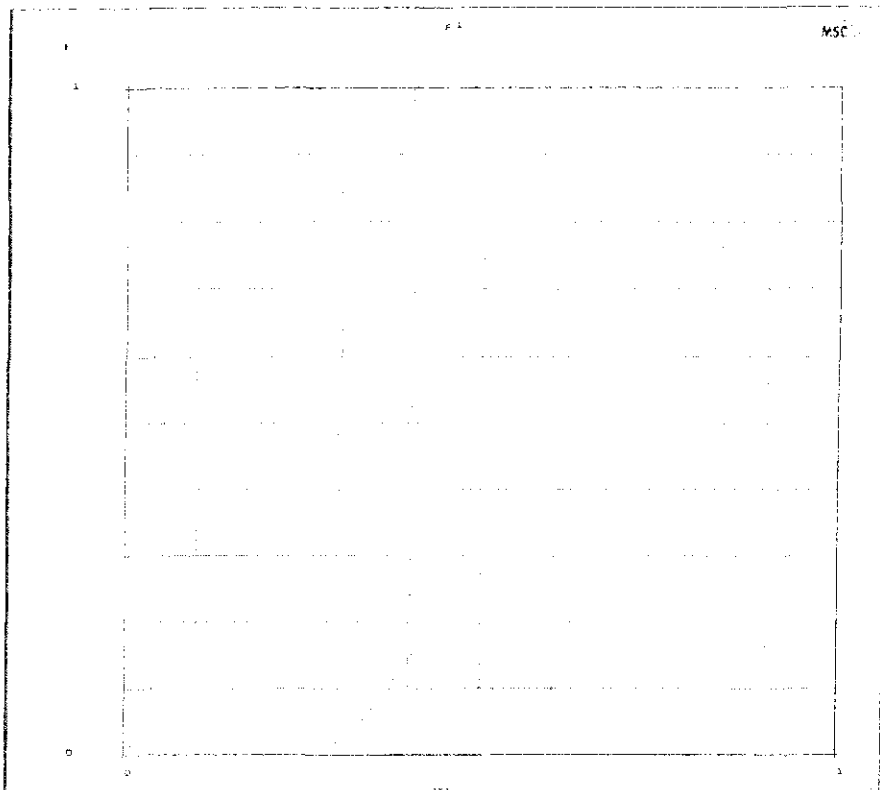


Рисунок 14. Видовое окно с графиком.

С помощью кнопок **PREV** и **NEXT** выбираем закрепления регем.

FIXED DISPLACEMENT

В строке **FIXED DISPLACEMENT Y** выбираем

TABLE

И в открывшемся меню выбираем наш созданный график р1 (рисунок 15).

OK

FIXED DISPLACEMENT	
METHOD	REFERENCE POSITION
ENTERED VALUES	POSITION AT ACTIVATION OF BC
USER SUB. FORCOT	POSITION AT START OF ANALYSIS
<input type="checkbox"/> DISPLACEMENT X	<input type="checkbox"/> TABLE
<input type="checkbox"/> DISPLACEMENT Y	<input type="checkbox"/> TABLE
<input type="checkbox"/> DISPLACEMENT Z	<input type="checkbox"/> TABLE
<input type="checkbox"/> ROTATION X	
<input type="checkbox"/> ROTATION Y	
<input type="checkbox"/> ROTATION Z	
CLEAR	OK

Рисунок 15. Перемещение по направлению y , на 50см вниз по графику $p1$.

Создадим новое сочетание нагрузок.

II. 5. Новое сочетание нагрузок

В пункте основного меню **LOADCASES** создадим новое сочетание нагрузок для расчёта.

NEW

NAME (r2. ENTER)

MECHANICAL

STATIC

LOADS (выбрать всё кроме постоянных нагрузок из предыдущего расчёта - sila)

STEPS (10, ENTER, задаём десять итераций расчёта вместо 50)

OK

Сочетание нагрузок сформировано. Переходим к опциям расчёта.

II. 6. Опции расчёта

В пункте основного меню **JOBS** изменим предыдущий расчёт под именем **case**.

JOBS

MECHANICAL

В меню **LOADCASES** необходимо убрать из левой части старое сочетание нагрузок и перенести туда новое, как показано на рисунке 16.

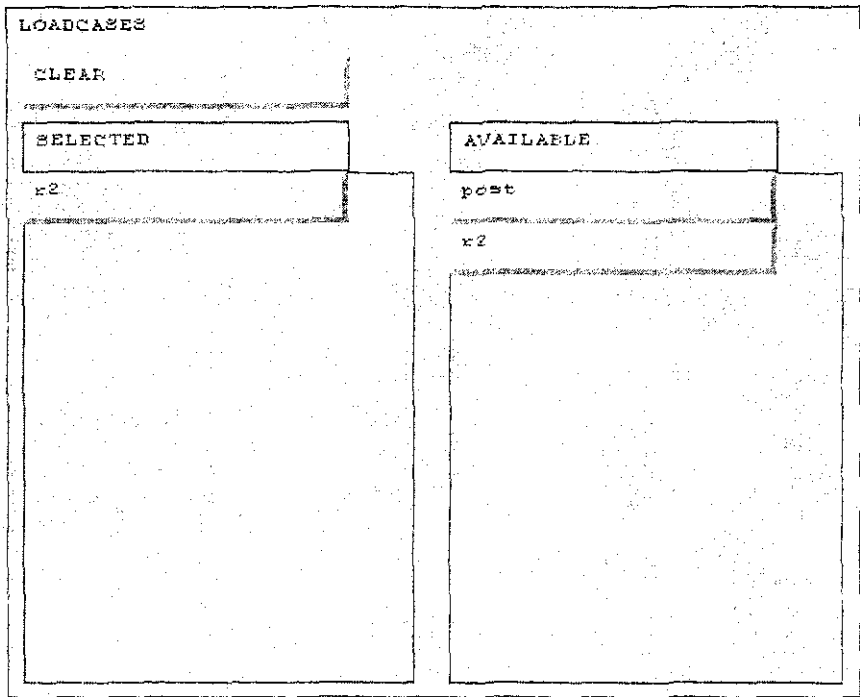


Рисунок 16. Новое расчётное сочетание нагрузок.

В пункте **INITIAL LOADS** выбираем все силы и закрепления кроме старого **сила**, как это показано на рисунке 2.8. далее **OK**.

Все остальные опции расчёта оставим без изменений. **OK**.

JOBS

CHECK

RENUMBER ALL

Следующим этапом следует собственно сам расчёт. Не забудьте сохранить модель перед расчётом.

JOBS

RUN

SUBMIT (1) (запускаем расчёт)

MONITOR (отображение хода расчёта)

Если расчёт произведён верно, появится надпись COMPLETE.

SELECT INITIAL LOADS

BOUNDARY CONDITIONS	CLEAR
<input checked="" type="checkbox"/> top	<input checked="" type="checkbox"/> fixed_displacement
<input checked="" type="checkbox"/> pod	<input checked="" type="checkbox"/> fixed_displacement
<input checked="" type="checkbox"/> s1a	<input checked="" type="checkbox"/> print_load
<input checked="" type="checkbox"/> param	<input checked="" type="checkbox"/> fixed_displacement
<input checked="" type="checkbox"/> bot_new	<input checked="" type="checkbox"/> gravity_load

INITIAL CONDITIONS CLEAR

OR

Рисунок 17. Выбранные силы и закрепления в INITIAL LOADS.

II. 7. Результаты расчёта, сбор данных по узлам для построения диаграммы

Открываем результаты расчёта как и в предыдущем разделе с помощью кнопки **OPEN POST FILE (RESULT MENU)** в меню **RUN**, или через основное меню –

RESULTS

OPEN DEFAULT

Клавишами **PREV**, **NEXT**, **MONITOR** и т.д. проматываем итерации расчёта. Для удобного отображения необходимо установить нужный масштаб, как это описано в предыдущем разделе.

Если всё сделано верно, получим изменения в модели по итерациям (рисунки 18 - 19).

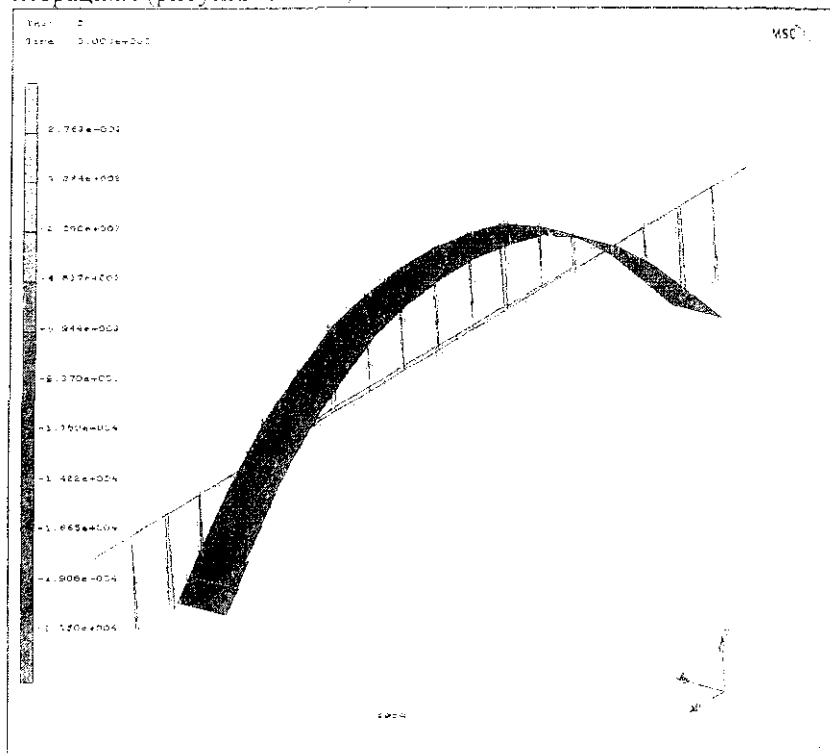


Рисунок 18. Первая итерация в расчёте.

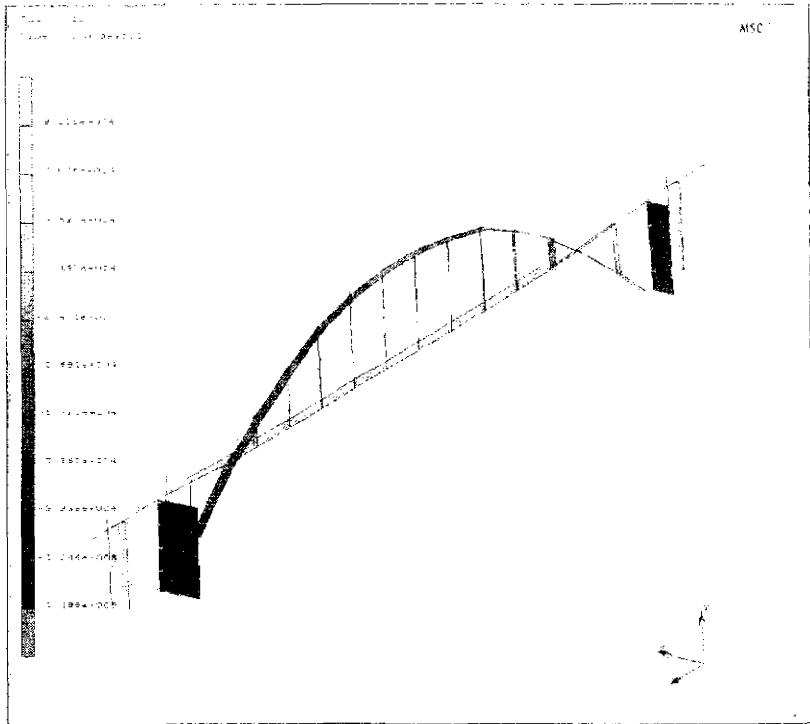


Рисунок 19. Последняя итерация в расчёте.

Построим график изменения усилия в трети арки при просадке опоры.

HISTORI PLOT>

SET NODES (выбрать необходимый узел или узлы)

COLLECT GLOBAL DATA (собрать всю информацию по выбранным узлам)

NODES/VARIABLES> (перейти в меню для построения диаграмм)

В открывшемся меню выбираем вид диаграммы

ADD 1-NODE CURVE

В следующем меню **NODES** номер необходимого узла.

В меню **GLOBAL VARIABLES – TIME** (в зависимости от времени).

В меню **VARIABLES AT NODES** – параметр, который мы хотим исследовать. Например, осевое усилие – **BEAM AXIAL FORCE**.

Для того, чтобы увидеть всю диаграмму необходимо на верхней панели нажать **FIT**.

Как мы видим, арка при таком проседании опоры разгружается.

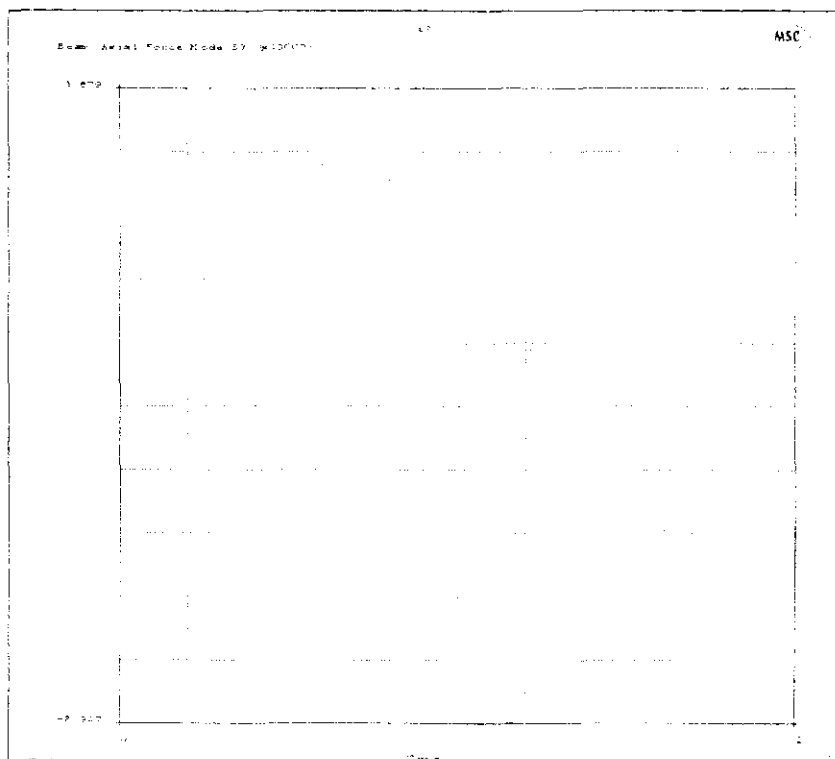


Рисунок 20. Падение усилия в арке.

Диаграмму можно сохранить в виде текстового файла в предыдущем меню кнопкой **SAVE>** (рисунок. 2.11).

HISTORY PLOT	
POST FILE	
REWIND	PREV
NEXT	LAST
SKIP TO INC	SKIP INCS
MONITOR	SCAN
PRESETS	COLLECT GLOEAL DATA
SET NODES	COLLECT DATA
NODES/VARIABLES	
REMOVE CURVE	CLEAR CURVES
SHOW HISTORY	LEGEND
FILLED	CURVES
SHOW IDS	1
LIMITS	
	FIT
XMIN	0
XMAX	1
YMIN	-28968.6
YMAX	-18782.6
XSTEP	10
YSTEP	10
GENERALIZED XY PLOT	COPY TO
TABLER	COPY TO
CLIPBOARD	COPY TO
SAVE	FUNCTION

Рисунок 21. Меню HISTORY PLOT.

Чтобы вновь отобразить модель, необходимо в пункте **SHOW HISTORY** выбрать **SHOW MODEL** (рисунок. 2.12).

III. ПРИЛОЖЕНИЕ

III. 1. Создание комплекта сил и графиков для построения линий влияния

Выше мы строили линии влияния, воспользовавшись уже имеющимся файлом, который содержал специально настроенный набор сил. Рассмотрим процесс создания такого файла.

Сначала создадим необходимые графики.

BOUNDARY CONDITIONS

TABLES>

NEW (создание новой диаграммы)

I INDEPENDENT VARIABLE (одна переменная)

NAME («0», ENTER)

TYPE>

time

Это график для силы, которая действует в момент 0.

Введём его значения

DATA POINTS (убедиться, что включена).

ADD (добавить узловые точки)

Вводим значения по x и по y: 0 (Enter), 1 (Enter), 0.1 (Enter), 0 (Enter). На экране отобразится следующий график – рис. 22.

Таким же образом создаём график для силы «1».

NEW (создание новой диаграммы)

I INDEPENDENT VARIABLE (одна переменная)

NAME («1», ENTER)

TYPE>

time

ADD 0 (Enter), 0 (Enter), 0.1 (Enter), 1 (Enter), 0.2 (Enter), 0 (Enter).

Следующие графики можно получить копированием предыдущих. Получим таким образом график «2», скопировав и сдвинув график «1» на 0.1 по оси x.

COPY (в верхней части экрана).

NAME («2», ENTER)

SHIFT (0.1 (ENTER), 0 (ENTER))

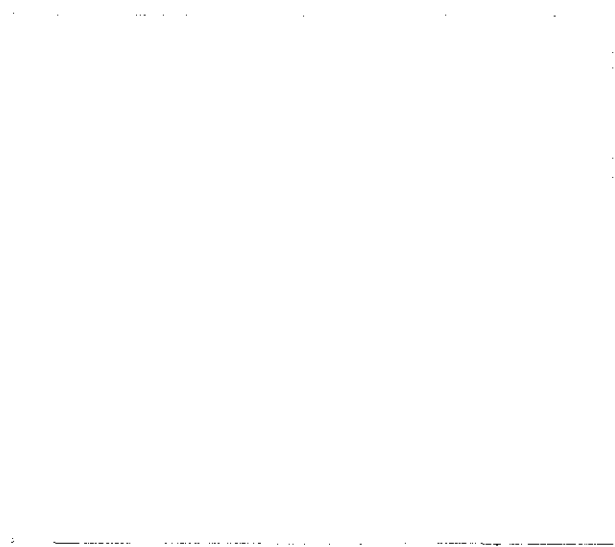


Рисунок 22. График для силы «0».

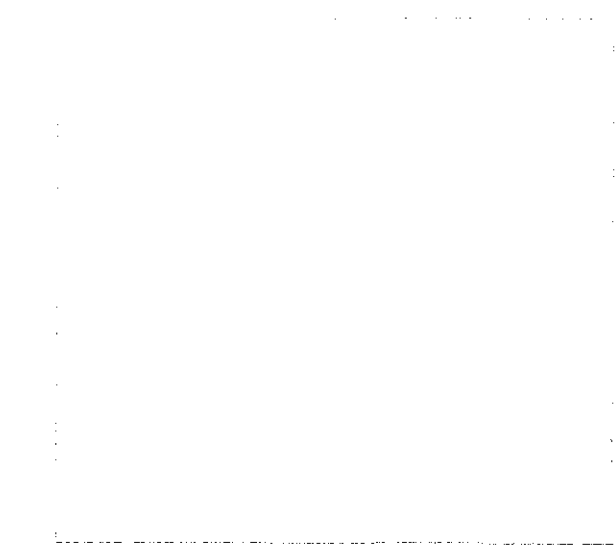


Рисунок 23. График для силы «1».

Также получаем и остальные графики в необходимом количестве.

Далее прикладываем эти графики к соответствующим силам.

BOUNDARY CONDITIONS

NEW

NAME («0»)

POINT LOAD

FORCE Y (-5000), table (выбрать график «0»).

Собрав необходимое количество таких сил, можно строить линии влияния по описанному выше алгоритму.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. MSC.Marc® and MSC.Marc® Mentat® 2005 r3 Release Guide. MSC.Software, U.S.A. 2006. 80 стр.
2. MSC.SuperForm User's Guide, Version 2005, MSC.Software, U.S.A. 2006. 812 стр.
3. MSC.Marc® Volume A: Theory and User Information. MSC.Software, U.S.A. 2006. 890 стр.
4. MSC.Marc® Volume B: Element Library. MSC.Software, U.S.A. 2006, 879 стр.
5. MSC.Marc® Volume C: Program Input. MSC.Software, U.S.A. 2006. 2068 стр.
6. MSC.Marc® Volume D: User Subroutines and Special Routines. MSC.Software, U.S.A. 2006, 642 стр.
7. MSC.Marc® Volume E: Demonstration Problems. MSC.Software, U.S.A. 2006. 2601 стр.
8. Осипов В.О., Храпов В.Г., Бобриков Б.В. и др. Мосты и тоннели на железных дорогах: Учеб. для вузов. Под ред. В.О. Осипова. М.: Транспорт, 1988. 376 с.
9. СНиП 2.05.03-84* (актуализированный). Мосты и трубы / Минрегион России. М.: ГП ЦНИ, 2012. – 338 с.

Оглавление

I. НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЁТ. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ	3
I. 1. Общие сведения о линиях влияния.....	3
I. 2. Подготовка модели.....	3
I. 3. Расстановка сил на грузовом поясе	4
I. 4. Новое сочетание нагрузок	7
I. 5. Опции расчёта.....	10
I. 6. Результаты расчёта, сбор данных по узлам для построения диаграммы.....	12
II. НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЁТ. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОПОРЫ И СОБСТВЕННЫЙ ВЕС	15
II. 1. Подготовка модели	15
II. 2. Перемещение опоры (BOUNDARY CONDITIONS).....	15
II. 3. Приложение собственного веса (MATERIAL PROPERTIES, BOUNDARY CONDITIONS).....	17
II. 4. Задание порядка действия сил	18
II. 5. Новое сочетание нагрузок	21
II. 6. Опции расчёта	22
II. 7. Результаты расчёта, сбор данных по узлам для построения диаграммы.....	24
III. ПРИЛОЖЕНИЕ	28
III. 1. Создание комплекта сил и графиков для построения линий влияния	28
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	31