МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



## В.Н. КУХТИН, И.В. БУЛАЕВ, И.С. БАРАНОВ

# ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА SOFISTIK ДЛЯ РАСЧЕТА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

> В.Н. КУХТИН, И.В. БУЛАЕВ, И.С. БАРАНОВ

## ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА SOFISTIK ДЛЯ РАСЧЕТА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Утверждено в качестве учебного пособия редсоветом МАДИ

МОСКВА МАДИ 2015 Рецензенты:

канд. техн. наук, проф. *Агеев В.Д.* (МАДИ), д-р техн. наук, проф. *Овчинников И.Г.* (СГТУ им. Гагарина Ю.А.)

#### Кухтин, В.Н.

К957 Применение расчетного комплекса SOFiSTiK для расчета мостовых конструкций: учебное пособие / В.Н. Кухтин, И.В. Булаев, И.С. Баранов. – М.: МАДИ, 2015. – 136 с.

ISBN 978-5-7962-0193-0

В учебном пособии содержится основная информация, необходимая начинающему для работы с программным обеспечением SOFiSTiK, для выполнения расчетов мостовых конструкций.

Учебное пособие содержит примеры практического применения программного обеспечения SOFiSTiK при выполнении расчетов сооружений с указанием основных расчетных параметров конструкций и их элементов.

Учебное пособие предназначено для студентов, бакалавров и магистров (Мосты и тоннели), а так же может использоваться аспирантами, преподавателями и инженерами-проектировщиками при решении научно-исследовательских и практических задач.

УДК 624.21 ББК 39.112.2

Учебное издание

## КУХТИН Валерий Николаевич БУЛАЕВ Игорь Викторович БАРАНОВ Илья Сергеевич

## ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА SOFISTIK ДЛЯ РАСЧЕТА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

## Редактор В.В. Виноградова

Подписано в печать 25.05.2015 г. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 8,5. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 280 руб. МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, 64.

ISBN 978-5-7962-0193-0

© МАДИ, 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введени	e	4
Глава 1.	Общие сведения о расчетном комплексе SOFiSTiK	5
	1.1. Структура SOFiSTiK	5
	1.2. Создание нового проекта SOFiSTiK	9
	Вопросы к главе 1	12
Глава 2.	Основы параметрического ввода в расчетном комплексе SOFiSTiK	12
	21 Запуск релактора	12
	22 Команды	14
		15
		18
	2.5. Обдавлание воромощицу	10
		20
		20
		21
		22
	2.9. Определения предельного момента ж/о оалки	00
	при помощи параметрического ввода	23
	2.10. Организация итерационного процесса	~~
	при помощи условного оператора	26
	2.11. Определение блоков	27
	Вопросы к главе 2	31
I лава 3.	Работа с препроцессорами SOFISTIK	32
	3.1. Создание материалов и поперечных сечений	32
	3.2. Создание параметрической модели тонкостенного	
	сечения при помощи переменных	40
	3.3. Создание расчетной схемы при параметрическом вводе	41
	3.4. Генерация элементов в препроцессорах sofimha и sofimshc	42
	3.5. Пример задания объемного элемента	43
	3.6. Параметрическое создание расчетной схемы	
	при помощи модуля sofimshc	45
	3.7. Генерация металлической двутавровой балки	47
	3.8. Циклы и условные операторы при генерации	
	расчетной схемы в sofimshc	49
	3.9. Создание нагрузки при помощи модуля sofiload	55
	3.10. Модель временной нагрузки АК в соответствии	
	со СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы»	61
	3.11. Модель временной подвижной нагрузки	
	в соответствии с ОДН 218.0.032-2003	68
	Вопросы к главе 3	77
Глава 4.	Работа с процессорами SOFiSTiK	77
	4.1. Процессор ASE	77
	4.2. Процессор STAR	79
	4.3. Процессор TALPA	82
	4.4. Процессор DYNA	87
	Вопросы к главе 4	91
Глава 5.	Основы работы с постпроцессорами SOFiSTiK	91
	5.1. Работа с базой данных SOFiSTiK	91
	5.2. Формирование графической части отчета	95
	5.3. Формирование текстового файла отчета 1	02
	Вопросы к главе 5 1	03
Глава 6.	Применение расчетного комплекса SOFiSTiK	
	для решения реальных задач 1	04
	6.1. Определение класса пролетного строения	
	ПО Грузоподъемности	04
	Задания для самостоятельной работы 1	35
Литерат	ypa1	36
1		

#### ВВЕДЕНИЕ

В пособии рассматривается создание моделей конструкций из плитных и балочных элементов как в плоской, так и в пространственной постановке, описание материалов (в том числе и грунтов). Приводится методика анализа конструкций при линейной и нелинейной работе материалов, учета начального несовершенства и изменения геометрии модели в процессе нагружения. Даны примеры с подробными комментариями решения на статическую и подвижную нагрузку, устойчивость, контактное взаимодействие.

Для настраивания комплекса «под себя» при решении повторяющихся задач при изменении части данных (особенно при решении задач оптимизации) следует осваивать второй способ – «текстовый ввод», допускающий создание параметрических моделей конструкций, нагрузок, граничных условий и тому подобное с использованием всех возможностей комплекса. Этому и посвящено пособие. Коллектив авторов постарался сделать более доступными для начального освоения положения фирменной документации, поставляемой с комплексом.

Авторы исходили из того, что читатель знаком с основами работы в среде Windows. Также априори механика деформируемых тел для него не является Terra incognita.

Пособие предполагает последовательное изучение, поскольку описание команд и приемов разъясняются в примерах при первом упоминании, кроме того некоторые примеры, встречающиеся в разных главах, являются логическим продолжением друг друга.

Пакет SOFiSTiK имеет локализацию на русском языке. Стандартная поставка бесплатных «студенческих» версий (после регистрации на сайте http://www.sofistik.com и предоставления копии студенческого билета в формате PDF) позволяет выбрать только английский или немецкий языки. Поэтому за основу была взята английская версия, в необходимых случаях выполнен перевод содержимого окон, хотя в большинстве случаев достаточно пояснений того, что произойдет при выборе той или иной кнопки, т.е., к тексту на кнопке следует относиться, как графической пиктограмме, если пользователь не владеет иностранным языком.

В качестве примера взяты мостовые конструкции. Однако изложенный инструментарий применим для решения инженерных задач и в других областях, не только в мостостроении. Пособие рассчитано на студентов бакалавриата, специалитета, магистрантов. Материал будет полезен инженерам и конструкторам-расчетчикам.

## ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАСЧЕТНОМ КОМПЛЕКСЕ SOFISTIK

## 1.1. Структура SOFiSTiK

Метод конечных элементов (МКЭ) фактически является общепризнанным стандартом анализа различных объектов и явлений из-за своей универсальности.

Препроцессоры		Постпроцессоры
AQUA	Ваза данных (ВД)	AQUP
материалы, сечения и пр.	SPEISTIK	чертежи сечения
GENF,SOFIMSHA	SUPISIIN	DBPRIN
конечные элементы	*,CDB	вывод результатов на
SOFIMSHB		печать
структурные элементы		DBMERG
SOFIMSHC		СЛИЯНИЕ БОЗ ДАННЫХ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ	Процессоры	SIR
GEOS(-P,-B)		рассечение расчетных схем
предварительное		PRUI
	SOFILOAD (-W,-WH)	
	нагрузки на расчетную Схему	Animator (UpenGL)
	НОС.	
ГЕЛИЦИИ ГЕОМЕТРИЯ ПРЕДНОПРЯЖЕНИЯ	21 геотехнические задачи	
	SEPP	DBVIeW
	Решение плоских задач	просмотр результатов в БД
	STAR2	
TEDDY	стержневые 3D системы	
текотовыя редактор CADINP	HASE	TIDOEKTNDORGHNE
	расчет эпрэгого основания	
	DYNA	BEMESS
	динамические расчеты	армирование пластин
	DYNR	AQB (-S)
	спектры отклика	проверка сечения стержнея
	HYDRA	VIST
	теплопередача, фильтрация	ПОДПОРНЫЕ СТЕНЫ
	ELLA	
	MAXIMA	
	Расчетные сочетания Усилий	
	ССМИСССС	
	Поотадиинии Раскет	

Puc. 1.1.1. Структура расчетного комплекса SOFiSTiK в базовой комплектации

Тепловые процессы, фильтрация, гидрогазодинамика, сейсмика и динамика, не говоря уже о статических расчетах конструкций – все обрабатывается единым способом. Противоречие между простотой использования и сложностью решаемых задач привело к созданию прикладных пакетов различными фирмами. Все пакеты можно условно разделить на две большие группы. Первая группа – встраиваемые в известные пакеты САПР для автоматизации графических работ. Встраиваемые решатели просты, не требовательны к ресурсам. Взаимодействие осуществляется на уровне меню, действия пользователю интуитивно понятны. Это основное достоинство таких программных комплексов. Однако, не для всех сложных задач в этих средах могут быть построены модели. Вторая группа – комплексы, имеющие в своем составе инструменты для создания конечно-элементной модели любой сложности с учетом особенностей различных видов расчетов. Кроме собственных препроцессоров для создания модели, такие программы имеют механизмы импорта/экспорта геометрических моделей в другие САПР. К этой группе относится и SOFiSTiK. Большой выбор как классических, так и специальных конечных элементов ставит его в один ряд с такими известными продуктами, как ANSYS и NASTRAN. Взаимодействие SOFiSTiK с популярными RHINOCEROS, семейством REVIT и AUTOCAD позволяет легко создавать модели начинающему пользователю (так называемый «графический ввод»).

Программный комплекс SOFiSTiK состоит из набора программ (модулей). Среди модулей SOFiSTiK можно выделить три<sup>1</sup> основных класса программ по предназначению – препроцессоры (для подготовки исходных данных), процессоры (непосредственно выполняющие расчет), постпроцессоры (отображение результатов расчета в графическом и текстовом форматах). Структура расчетного комплекса представлена на рис. 1.1.1. Описание модулей представлено в табл. 1.1.1.

Таблица 1.1.1

ПРЕПРОЦЕССОРЫ		
	Параметрический ввод данных.	
TEDDY	Позволяет создавать параметрические наборы данных для любого	
модуля SOFiSTiK на языке макросов		
SOFiPLUS	Графический интерактивный ввод геометрии в среде AutoCAD	
SOEIMSHA	Моделирование, экспорт и импорт конечных элементов из	
	различных препроцессоров	
	Моделирование, импорт и экспорт структурных элементов из	
SOFIMSHC	различных препроцессоров. Автоматическая генерация сетки	
	конечных элементов	
	ПРОЦЕССОРЫ	
	Материалы и поперечные сечения.	
AQUA	Вычисляет геометрические и жесткостные характеристики	
	поперечных сечений любой формы и из любого материала.	
	Генератор нагрузок на структурные и конечные элементы	
SOFiLOAD	конструкции.	
	Создает загружения, которые доступны для всех модулей	
	Управление стадиями возведения конструкций.	
CSM/CSG	Решение задач описания последовательности стадий возведения	
	конструкций и проблем анализа ползучести	

Описание модулей расчетного комплекса SOFiSTiK

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Программы, относящиеся к проектированию сечений, в данном пособии не рассматриваются в связи с ориентированностью данных модулей под Европейские нормы.

	Решатель 3D-систем КЭ.
	Линейный расчет 3D-систем КЭ. Автоматическое формирование
	РСУ, проверки по нормам ж/б оболочечных систем, а также ж/б и
ASE	стальных стержневых сечений (EN 1992 с NADs DIN, OEN, BS, NF;
	I-DM 2008; EN 1993; DIN 1045-1,2008, 18800, DIN-Fbs; SIA 262, 263;
	BS 8110 5400 5950 FHE CHuI ACL AASHTO a $\sigma$
	Лополнительный Решатель 3D-систем КЭ в пинейной постановке
	Лополнительный пакет для пинейных расчетов 3D-систем КЭ: учет
	сталий возвеления, преднапряжение для КЭ оболочек (необходима
ASE 1	
	Иптегрирование во времени Пополнитори и и Вошатори 2D систом КЭ в ноличейней
	дополнительный Решатель ЗО-систем КЗ в нелинейной
	дополнительный пакет для нелинейных расчетов 3D-систем КЭ.
	теория 2-го порядка для стержневых систем, учет нелинеиных
ASE 2	своиств опор и пружин (растрескивание), пользовательские законы
	работы пружин и шарниров, функционал модуля PFAHL,
	нелинейное полупространство (необходима лицензия модуля
	HASE), физическая нелинейность для стержневых элементов
	(текучесть, наклеп, необходим модуль AQB)
	Дополнительный Решатель 3D-систем КЭ с учетом геометрической
	нелинейности.
	Дополнительный пакет для нелинейных расчетов 3D-систем КЭ:
	учет больших деформаций (теория 3-го порядка) для всех типов
ASE 3	элементов (стержней, оболочек, канатов). Расчет общей
	устойчивости, устойчивости с учетом бокового выпучивание с
	кручением, итерационный расчет по предельной нагрузке,
	мембраны, определение форм деформации (криволинейные), учет
	провисания троса
	Дополнительный Решатель КЭ 3D-систем с учетом физической
	нелинейности.
	Дополнительный пакет для нелинейных расчетов 3D-систем КЭ:
ASE 4	учет физической нелинейности для КЭ оболочек и объемных КЭ.
	Бетон с трещинами (текучесть, упрочнение, шаблоны
	трещинообразования), пластичность металла и нелинейные
	модели грунтового основания. Возможности модуля TALPA
	3D-динамика.
	Динамический и сейсмический анализ 3D-систем: КЭ стержней и
DYNA	оболочек, собственные частоты, демпфирование, возбуждение по
	спектрам в соответствии с различными стандартами (EN 1998, DIN
	4149, I-DM, SIA, UBC, SNIP a.o.), РСУ: SRSS, SRS1, CQC, CQC1
	Статический линейный и нелинейный (геометрическая, физическая
TALPA	и конструктивная нелинейности) расчет геомеханических моделей
	3D-анализ пространственных рамных структур.
	Обеспечивает вычисление внутренних усилий в любой
STAR	пространственной стержневой системе на основе теории
	прочности второго и третьего порядков, учитывая деформацию
	сдвига и физическую нелинейность

	2D-полупространство грунта.
HASE-2D	Расчет деформаций многослойного полупространства в
	соответствии с методом коэффициента жесткости; решение задач
	взаимодействию грунт-сооружение для фундаментных плит
	3D-полупространство грунта.
	Расчет деформаций и напряжений многослойного
	полупространства в соответствии с методом коэффициента
HASE-3D	жесткости; комбинированное плитно-свайное основание (учет 3D-
	работы свай), решение пространственных задач взаимодействия
	грунт-сооружение
	Мультифизика 3D (Лапласс/Пуассон).
	Расчет фильтрации воды (дамбы, колодцы, инженерные сети),
	тепловые потоки (гидратация, огнестойкость) применяя метод КЭ,
	стационарные и нестационарные потоки
	2D-анализ фильтрации.
HYDRA-S	Расчет 2D-задач стационарных и нестационарных потоков.
Indivio	Подходит для задач фильтрации через плотины и давления
	(понижения уровня) грунтовых вод
	Термический анализ 2D.
HYDRA-T	Расчет 2D температурных профилей (стационарные и
	нестационарные). Подходит для определения тепловых потоков
	внутри произвольных сечений балок для проверки на огнестойкость
	Расчетные сочетания усилий.
MAXIMA	Определение экстремальных значений внутренних усилий,
	напряжений, перемещений и опорных реакций
	ПОСТПРОЦЕССОРЫ
AQB	Конструктивный расчет, проектирование и анализ прокатных,
	преднапряженных и композитных поперечных сечений
	Конструктивный расчет, проектирование и анализ пластин и
BEMESS	оболочек. Используется для расчета армирования или
22200	определения экстремальных напряжений в соответствии с
	линейной теории упругости
ANIMATO	Анимация деформации расчетных схем под нагрузкой
R	
	Графический вывод данных.
WinGRAF	Изооражение геометрии, информации об исходных данных и
	результатах конечно-элементного анализа и конструктивного
	расчета, построение эпюр и изополеи деформации и усилий
URSULA	Автоматизированное формирование отчетов по результатам
	расчета, включая графические, табличные и текстовые данные

## Примечание:

По желанию пользователя базовый комплект может быть расширен специализированными модулями, например DOLFYN, применяемый для вычисления газо- и гидродинамики.

В данном методическом руководстве будут рассмотрены следующие модули:

1. Препроцессоры: AQUA, SOFIMHC, TEDDY;

2. Процессоры: ASE, TALPA, STAR2, DYNA;

3. Постпроцессоры: WinGRAF, URSULA;

4. Модуль, отвечающий за шаблоны: TEMPLATE.

Выбор перечисленных выше модулей обусловлен задачами, которые должны быть решены в ходе проектирования транспортных сооружений.

## 1.2. Создание нового проекта SOFiSTiK

Запуск программы осуществляется либо из панели ПУСК -> все программы -> SOFiSTiK -> SSD, либо с рабочего стола по иконке SSD. После запуска перед пользователем появляется следующее рабочее окно (рис. 1.2.1 – рабочее окно представлено не полностью).



Рис. 1.2.1. Создание нового проекта

🇇 SOFiSTiK: System Information	x		
Project			
Title:	1		
Database:	2 🗳		
Directory: C:\sofidata	3 🔽 🗃		
Design Code SNIP 52.101-2003 (2004) SNIP SNIP S2101 RU Altitude [m Zones: Wind: III Category: B Snow: IV	4 0.0 Earthquake: 7		
System 5	Calculation 6		
3D Frame	Orientation of Deadload: Negative Z-Axis		
2D Frame     2D Wall     2D Circler Surface     2D Slab	Type of Calculation: Plane Stress System 🖵		
2D Gander System 2D Stab	Module:		
Groups © Fixed Group Divisor: 10000 O Automatic Factor group base: 10000			
Units: Standard units (m, kN, sec with some historic deviations) Language: English			
Preprocessing			
Kind of Preprocessing:	SOFIPLUS(-X) - Graphical Preprocessing		
🗹 Groups on Separate Layers	Coordinate System Drawing Units		
Initial Workspace [m]: 20	SOFISTIK © m ⓒ World ○ cm ○ User ○ mm 7		
	OK Cancel Help		

Рис. 1.2.2. Окно свойств нового проекта

Создание нового проекта может осуществляться как через иконку New Project, так и через меню File -> New Project. По нажатию на данную иконку появляется окно свойств нового проекта (рис. 1.2.2).

1. Заголовок проекта (содержит ключевую информацию о проекте расчета, допустимо написание на кириллице).

2. Название базы данных, где будет храниться вся информация о проекте (не поддерживает кириллических символов!!!).

3. Директория хранения проекта (не поддерживает кириллических символов в адресе расположения базы данных!!!).

## Примечание:

Допустимый адрес: C:\sofidata\proverka

Недопустимый адрес: С:\Мои документы\proverka

4. Выбор нормативной базы проекта, указание ветровой, снеговой зон с выбором типа местности и зоны по сейсмической активности (Для РФ доступны следующие нормативные базы: СП 52101, СНиП 2.03.01-84, СНиП 2.23.81-89, СНиП РК 5.03.33).

5. Выбор типа системы расчета:

а. 3D FRAME – расчет пространственных стержневых конструкций.

b. 2D FRAME – расчет плоских стержневых конструкций.

с. 2D Girder system – плоская стержневая конструкция для расчета балочных ростверков.

d. **3D FEA** – расчет пространственных конструкций (наиболее предпочтительный вариант системы).

е. 2D WALL – расчет плоских пластинчатых элементов (предпочтителен для решения плоских геотехнических задач).

f. **2D SLAB** – расчет плоских пластинчатых плитных элементов (предпочтителен для расчета плит на упругом основании).

g. 2D PRESTRESSED SLAB – расчет плоских преднапряженных плит.

6. Выбор направления учета собственного веса (Orientation of dead load), выбор типа расчета (Type of calculation) и выбор модуля для расчета (доступно не в каждой системе).

7. Выбор способа создания расчетной схемы (текстовой, графический), выбор системы координат и выбор единиц измерения (в случае применения графического способа создания расчетной схемы, единицы измерения соответствуют единицам измерения графического го редактора, т.е. если указаны метры, то все размеры в графическом редакторе должны быть указаны в метрах).

## Примечание:

Основная поставка – диалоговые окна, файлы справки на немецком и английском языках. Имеется локализация на национальных языках, в том числе и на русском. В данном пособии рассматривается английская версия, которая является наиболее распространенной. По завершению задания начальных параметров и нажатию на кнопку ОК появляется окно, основные зоны которого показаны на рис. 1.2.3.

🧇 SOFiSTiK Structural Desktop - [C	:\sofidata\proverka.sofistik *] - [Animator]	X
File Loadcase View Selection E	ixtras SOFISTIK Help	- 8 ×
i 🗅 🚅 💋 🔍 🖬 🖹 💺 🤺	● □ □ □ 〒 🞇 ▼録 ▼録 ▼録 → 魯 🚇 魯 🖳 → 🕺 🗄 → 🕬 →	
🔨 🕂 🎝 🕐 System	🚽 🐎 🦜 🖺 🤴 🥙 🐨 🔍 🗇 🔍 🕀 🔍 🗛 🏢 🖓 🔹 🖉 🥥 🕶	
Navigation X	ControlPanel 🖉 🗙	
🛱 Project		3
E System	Animation Settings	
5ystem Information		
- 1 B 20 (SNIP 2.03.01-8	Ampitude [-] 0,00 kil	
Cross Sections	Amplitude Speed [%] 30	
👕 1 B/H = 100 / 3 cm		
Interpolated sections	Rotation Speed [%]	
🎇 Text Editor (Teddy)		
···溦Text Editor (Teddy)		
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
	Load cases Load Distribution Area	
	System	
	LC 2 variable load	
	2	
	N <sup>24</sup> Geometry <u>40<sup>27</sup></u> Loads L <sup>44</sup> <sub>10</sub> Results	🚮 Update 🗙
	Project:	<u> </u>
	User: Адиниктратор	_
	Accessed: Вт 29. ний 21:18:30 2012, Адиненстратор	4
4 III +	Code: SNIP 20301	-
🛃 Documentation 6	Project Nodes Beams Trusses Cables Continuous Beams Elements Solid Elements Springs Groups	
📱 📰 💱 Animator		_
		5

Рис. 1.2.3. Рабочая область SOFiSTiK

1. Дерево проекта содержит информацию о типе расчетной системы, выбранной нормативной базе, материалах, поперечных сечениях, используемых модулях и т.д.

2. Окно настроек Animator'a, отвечающее за параметры отображения расчетной схемы (графическое отображение результатов расчета): увеличение-уменьшение масштаба амплитуды деформаций конструкции, скорость вращения, скорость анимации деформации конструкции, выбор загружения для отображения (закладка Loadcases).

3. Окно Animator'a, содержащее результат визуализации (отображение) расчетной схемы в среде SSD.

4. Окно проекта содержит общие сведения о проекте, информацию о нагрузках, прикладываемых к конструкции (закладка Loads), информацию о расчетной схеме (координаты узлов, координаты балок и т.д. (закладка Geometry), информацию об опорных реакциях (закладка Results, доступно только после расчета).

5. Окно закладок предназначено для более удобной навигации между используемыми модулями (в случае использования нескольких задач в текстовом редакторе).

6. Вызов документации по модулям (на сегодняшний день документация доступна на английском и немецком языках).

## Вопросы к главе 1

1. Какие препроцессоры SOFiSTiK Вы знаете?

2. Какие процессоры SOFiSTiK Вы знаете?

3. Какие постпроцессоры SOFiSTiK Вы знаете?

4. При помощи какого модуля создаются шаблоны?

5. Приведите пример правильной директории для хранения данных проекта.

6. В меню создания нового проекта при выборе препроцессора укажите TEDDY. Что изменилось в дереве проекта по сравнению с тем случаем, когда выбран SOFiPLUS?

7. В чем отличие между координатными системами WORLD и SOFiSTiK?

## ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВВОДА В РАСЧЕТНОМ КОМПЛЕКСЕ SOFISTIK

## 2.1. Запуск редактора

TEDDY – текстовой редактор, который полностью поддерживает язык CADINP. Язык CADINP – внутренний язык программирования в среде SOFiSTiK.

В модуле TEDDY существует встроенная справочная система, в строке состояния которой перечислены все применимые команды. Нажатием F1 вызывается раздел руководства (PDF-файл), соответствующий команде на экране. При этом параллельно работает редактор. Нажатием клавиши ESC окно справки можно закрыть.

Данный модуль может быть добавлен в рабочий проект как дополнительная задача. Дополнительная задача вызывается кликом правой кнопки мыши по окну - дереву проекта. В появившемся выпадающем меню необходимо выбрать Insert Task (рис. 2.1.1). Также можно добавить новую задачу при помощи иконки на панели SSD (рис. 2.1.2). Появляется список задач, доступных для добавления в существующий проект, в предоставленном перечне следует найти Text Editor (Teddy), установить курсор на данную задачу и нажать ОК (рис. 2.1.3).



Рис. 2.1.1. Меню добавления новой задачи



Рис. 2.1.2. Добавление новой задачи через панель SSD

Additional Modules	
🗤 Interactive Graphic	Interactive graphics are created and added to the project data.
🟊 Earthquake	Calculation Earthquake
🔁 CSM	Construction Stage Manager
🔨 Eigenvalues	Calculation Eigen-values and forms (natural frequencies)
🔷 Buckling Eigenvalues	Calculation buckling Eigenvalues
Halfspace Calculation	Halfspace: soil-structure interaction using Stiffness Coefficient Method
🎤 Design RC section	Design for reinforced concrete section under biaxial bending with axial forces
🔟 User Text	Additional text with pictures for the report
Summary of Masses	Summary of masses, lengths, reinforcements, etc.
📥 Foundation	Analyse of reinforced concrete foundations
🞇 Text Editor (Teddy)	Blank text editor for any user input

Рис. 2.1.3. Окно выбора дополнительных задач

После добавления необходимой задачи двойной клик по пиктограмме в дереве проекта открывает окно текстового редактора в программе (рис. 2.1.4).

Navigation ×
🛱 Project
System
System Information
E. Cross Sections
1 B/H = 10 / 10 cm
Interpolated sections
🔀 GUI for Model Creation (SOFil
🎇 Text Editor (Teddy)
🞇 Text Editor (Teddy)

Рис. 2.1.4. Вид рабочей области текстового редактора Teddy

🞇 Color Palettes		
Desired Color Palettes		
User defined Palette	OK	
White Palette		
Blue Palette	Cancel	
Gray Palette		
Black Palette		
Ria's Palette		
	Copy Pallete	
	Change Colors	
	±.	

Рис. 2.1.5. Перечень доступных вариантов цветовых гамм

Возможно также изменение цветовой гаммы текстового редактора Extras -> Colors. Полный перечень вариантов цветовой гаммы тек-

13

стового редактора представлен на рис. 2.1.5. Также есть возможность создания индивидуальной цветовой гаммы.

#### 2.2. Команды

Наиболее важные функции вызываются функциональными клавишами, перечень которых представлен в табл. 2.2.1.

Таблица 2.2.1

F1	Справка по текущей введенной записи (отмена при помощи клавиши ESC)
F2	Поиск
F3	Новый поиск
F4	Поиск и замена
F5	Отметить начало или окончание блока
F6	Копировать отмеченный блок
F7	Переместить отмеченный блок
F8	Сделать копию текущей строки
F9	Окно изменений
F12	Запуск расчета

Перечень функциональных клавиш

Кроме этого, имеется множество оперативных клавиш. Они работают через одновременное нажатие сочетания клавиш Alt, Ctrl и оперативной клавиши. Данные сочетания будут особенно полезны тем, кто предпочитает работать через клавиатуру. Основные сочетания представлены в табл. 2.2.2.

Таблица 2.2.2

Alt+L	Выделение нескольких строк
Alt+B	Выделение нескольких столбцов
Alt+H	Удаление маркеров блоков
Alt+R	Прочтение файла как блока
Alt+W	Запись отмеченного блока в файл
Alt+Z	Копирование отмеченного блока
Ctrl+A	Выделение всего текста программы
Ctrl+C	Копирование отмеченного блока
Ctrl+V	Вставка отмеченного блока
Ctrl+X	Вырезать отмеченный блок
Ctrl+S	Сохранение блока
Ctrl+Y	Удаление строки
Ctrl+Z	Отмена действия

Сочетания клавиш

Сведения по дополнительным комбинация можно получить при помощи нажатий сочетаний Ctrl+K, Ctrl+Q, Ctrl+O, Ctrl+M (рис. 2.2.1).



Рис. 2.2.1. Дополнительные сочетания клавиш

## 2.3. Ввод данных

Любая программа SOFiSTiK рассчитана на ввод данных. Данные сохраняются в текстовых файлах. Они заносятся в определенной последовательности, чтобы каждая программа могла найти собственные. Строка ввода начинается с зарезервированного идентификатора PROG и имени программы, для которой вводятся данные. Ввод может осуществляться для любого необходимого количества модулей, например:

> PROG SOFIMSHC Данные для программы SOFIMSHC PROG ASE Данные для программы ASE

TEDDY распознает файл, как входной по структуре первой строки. Например, строки могут быть следующими:

> PROG программа +PROG программа -PROG программа \$PROG программа

"+" и "-" – включение и выключение соответственно модуля из проверки программой;

"\$" – задание параметров.

## Примечание:

Организацию кода программы желательно выполнять в соответствии с очередностью Препроцессор -> Процессор -> Постпроцессор (AQUA -> ASE -> WinGRAF). По умолчанию программа TEDDY воспринимает любой файл с расширением .DAT как входной файл SOFiSTiK. Наряду с этим можно указать другие расширения, выбрав Extras -> File type (Дополнительно -> Тип файла).

Для использования возможности работы с блоками необходимо осуществить переключение режима выделения элементов при помощи пиктограммы (рис. 2.3.1). Также возможно использование сочетания Ctrl+K, которое вызывает диалоговое окно (рис. 2.2.1), в появившемся окне следует нажать N.



Рис. 2.3.1. Переключение режима для работы с блоками данных

После того как осуществлен переход на режим работы с блоками, можно выделять столбец с данными, по нажатию сочетания клавиш Ctrl+Z открывается диалоговое окно (рис. 2.3.2). Теперь можно выполнять множество различных операций со значениями столбцов, например, создание последовательностей или расчет суммы значений.

Generate First Value: 2	OK Cancel
Increment: 1	Sort
<ul> <li>Add Value:</li> <li>Subtract 1</li> <li>Muliply</li> </ul>	<ul><li>Upwards</li><li>Downwards</li></ul>
Divide	Alphabetic     Numeric
Sum:     Maximum:     Minimum:	9 Case Sensitive

Рис. 2.3.2. Окно работы со столбцами данных

При составлении текстового файла следует знать, что каждая строка данных может содержать до 255 символов (одна строка на экране). Логически связанные данные объединяются в записи. Запись

имеет свое имя. Значения внутри записи отделяются пробелами (одним или более). Числа могут быть записаны со своим знаком как с фиксированной, так и с плавающей точкой. Для чисел с плавающей точкой в десятичной системе исчисления используется символ Е. Заметим, что если какая-то программа ожидает целочисленный ввод, а в записи содержится действительное число, то это не диагностируется как ошибка, а значение будет округлено до ближайшего целого. При работе с индексами массивов дробный индекс дает два целочисленных – при округлении с недостатком и округлении с избытком. Выходное значение получается интерполяцией значений массива с полученными целочисленными индексами.

Текстовые строки представляют произвольный набор символов, заключенный в апострофы. Подчеркивание используется в тексте вместо пробелов.

Символы \$, ! и // прерывают запись – оставшаяся часть строки игнорируется программой, обычно она используется для комментария пользователя.

Пример 2.3.1.

```
NODE 1 0 0.5 $Создаем узел 1 с координатами (0;0.5)
NODE 2 1 0.5 !Создаем узел 2 с координатами (1;0.5)
NODE 3 2 0.5 //Создаем узел 3 с координатами (2;0.5)
```

**Примечание:** TEDDY поддерживает цветовую идентификацию операторов, в случае с комментариями – текст, следующий за символом, и сам символ будут выделены зеленым цветом.

В одной строке можно располагать несколько записей. В этом случае символ-разделитель – точка с запятой (;).

#### Пример 2.3.2.

NODE 1 0 0.5; NODE 2 1 0.5; NODE 3 2 0.5 *\$Создание узлов \$1, 2, 3* 

Группа символов \$\$ указывает на продолжение записи на следующей строке, при этом часть строки от \$\$ и до 255 позиции может быть использована под комментарий.

#### Пример 2.3.3.

NODE 1 \$\$Перенос строки, программа будет читать как \$единую строку (NODE 1 0 0.5) 0 0.5

При вводе ++ или -- (двойной плюс или двойной минус) на месте значения данных используются значения предыдущей записи с приращением 1 или -1, соответственно.

#### Пример 2.3.4.

```
NODE 1 0 0.5 $Координаты 1ого узла (0;0.5)
NODE 2 0 -- $Координаты 2ого узла (0;-0.5)
NODE 3 ++ ++ $Координаты Зего узла (1.0;0.5)
```

Большие возможности автоматического генерирования записей предоставляют первичная и вторичная порождающие инструкции. Число записей, которые необходимо сформировать, указывается в первичной инструкции, которая одна и имеет вид (Начальное\_значение Конечное\_значение Инкремент). Вторичные порождающие инструкции могут быть указаны для каждого параметра и имеют вид (Начальное значение Инкремент).

## Пример 2.3.5.

NODE (1 5 1) 0 (0.5 -0.1)

Данная функция порождает узлы под номерами от 1 до 5 с шагом 1, первая координата 0, вторая координата изменяется от 0.5 с шагом -0.1.

NODE 100.5NODE 200.4NODE 300.3NODE 400.2NODE 500.1

## 2.4. Арифметические выражения

Таблица 2.4.1

Перечень арифметических и логических операторов

Допустимые операторы	Значение		
+ - Сложение, вычитание			
* /	Умножение, деление		
** ИЛИ ^	Возведение в степень		
== <>	Условие равенства или неравенства		
>= <=	Операторы отношения		
	Оператор отношения, результатом мо-		
	жет быть: истина (1.0) или ложь (0.0)		
	Побитовые логические операции И и		
	ИЛИ над целочисленной частью		

## Примечание:

Если оператор отсутствует, то выполняется умножение. Предшествование операций соответствует математическим правилам.

Таблица 2.4.2

Допустимые выражения Значение		
SIN(x), COS(x), TAN(x)	Тригонометрические функции	
ATN(x), ATN( $y$ , x)	Арктангенс х или у/х	
ARC(x)	Арккосинус	
SQR(x)	Квадратный корень	
ABS (x)	Абсолютное значение	
EXP(x)	Экспонента е	

#### Перечень математических функций

Продолжение табл. 2.4.2

Допустимые выражения	Значение	
LOG(X)	Натуральный логарифм	
LGT(x)	Логарифм по основанию 10	
DIV(x,y) xDIVy DIV(x/y)	Целочисленная часть от деления х/у	
MOD $(x, y)$ xMODy MOD $(x/y)$ Остаток от деления x/y		
	Минимальная или максимальная	
$\min(x, y, \ldots), \max(x, y, \ldots)$	величина	
	Случайное значение на отрезке 0-1	
RANDOM(X)	(значение х=0 реинициализирует	
	выборку)	
	возвращает значение val1, если	
<pre>IIF(expr,val1,val2)</pre>	выражение expr не равно нулю,	
	и значение val2, если ехрг равно нулю	

#### Примечание:

Во всех тригонометрических функциях в качестве второго параметра может быть указана единица измерения; SIN(30,DEG), TAN(3.14,RAD). Такие определения останутся в силе для всех последующих выражений в качестве значения по умолчанию.

Общее значение по умолчанию – DEG (градусы).

#### Примечание:

Арифметические выражения могут также стоять внутри списка значений или порождающих инструкций. Функции DEG и RAD могут стоять перед любым аргументом, но отделяются от него запятой. Определения сохраняются, пока не будет дано новое определение.

#### Пример 2.4.1.

```
SIN(30.)+3*COS(45.) или SIN30+3COS45
SIN(RAD(2.435))
100.+MOD(354,32) или 100+354MOD32
120.+12.
3(5.0+4.0)
COS(#1)
SIN#1
345*#11+##12
```

#### Примечание:

Записи с символом # рассмотрены ниже.

## 2.5. Объявление переменных

Перед некоторым блоком записей можно определить переменные, которые будут использоваться в последующих записях. Такие переменные обозначаются символом # и именем длиной до 16 алфавитно-цифровых символов (1-й символ должен быть буквой), и факультативным индексом или только положительным числом. Переменные можно затем использовать вместо величин. Присваивание значения переменной выполняется с помощью инструкций LET# (локальная переменная) или STO# (глобальная переменная). За инструкцией без разделительного знака следует имя переменной. Имена переменных не должны содержать специальных символов и конфликтовать с зарезервированными последовательностями символов, например, SIN, COS или SQR. На месте числового значения можно ввести список значений, первичную порождающую инструкцию или литерал (символьное обозначение). Если используется именованная переменная, то таким образом задается массив.

Таблица 2.5.1

Присваивание	Значение		
LET#TXT 'My Text' STO#TXT 'My Text'	Присвоение литерала		
LET#11 4,5,6 STO#11 4,5,6	Значения 4, 5, 6 присваиваются переменным 11, 12, 13		
LET#A 4,5,6 STO#A 4,5,6	Значения 4, 5, 6 присваиваются элементам массива А[0:2]		
LET#A(2) 5.1 STO#A(2) 5.1	Присваивание значения отдельному элементу массива (в данном случае, последнему из трех)		
LET#1 #(A+1) STO#1 #(A+1)	Присваивание переменной с именем 1 значения второго элемента массива А		
LET# #10 12.50 STO# #10 12.50	Значение 12.50 присваивается переменной, которая хранится в переменной 10 (индексирование)		
LET#4 ##10 STO#4 ##10	Значение переменной, номер которой хранится в переменной 10, присваивается переменной 4		
LET#F(100) 0 STO#F(100) 0 LET#F 1,2,3,4,5,6,7 \$\$ 11,12,13,14,15,16,17\$\$ STO#F 1,2,3,4,5,6,7 \$\$ 11,12,13,14,15,16,17\$\$	Объявление элемента массива под номером 100 равным 0; Объявление массива и заполнение его значениями списка, расположенного в последовательно идущих строках		

#### Примеры выражений присваивания

#### Примечание:

Через параметр LET осуществляется присвоение переменной локального значения. Это значение возможно запросить только в пределах того модуля, в котором выполнено присвоение. Через параметр STO присваивается глобальное значение, запрос переменной может осуществляться в любом месте алгоритма программы.

## 2.6. Задание параметров

Объявление переменных должно предшествовать их использованию. Объявление делается с помощью инструкции #define текст=имя\_переменной. Имя переменной может состоять не более чем из 10 знаков без использования знака \$. Первым знаком имени переменной должна быть буква. Значением переменной является текст переменной длины. Параметры внутри инструкции не вычисляются до момента подстановки текста. Переопределение переменной возможно. На параметр во входных данных или блоке можно ссылаться, используя синтаксис \$(имя). Пробелы между символами \$ и (не допускаются. Программа не чувствительна к регистру данных. Подстановка может быть рекурсивной. Определения вида \$(A\$(INDEX)) допустимы.

## Пример 2.6.1.

```
+PROG
#define LENGTH=3.70
PROG SOFIMSHC
SYST GIRD
NODE 1 0.0 0.0 FIX PP
NODE 2 $(LENGTH)/2 0.0
NODE 3 $(LENGTH)
BEAM 1 1 2 1
BEAM 2 2 3 1
END
```

В отличие от CADINP переменных #(), переменные \$() заменяются строками, поэтому мы можем вносить литералы или генерирующие макросы. Существуют два параметра по умолчанию: это \$(NAME), который содержит имя выходного файла, и \$(PROJECT), который содержит имя проекта. Эти параметры могут пригодиться, особенно для команды SYS.

## 2.7. Операторы цикла

Цикл открывается оператором LOOP и заканчивается оператором ENDLOOP. Цикл выполняется количество раз, указанное в параметре, следующем за оператором LOOP (цикл со счетчиком). Цикл также заканчивается, если выражение, следующее за оператором ENDLOOP, становится отрицательным или равным нулю (цикл с постусловием). Уровней вложения циклов может быть до 32, и каждый может содержать любое количество входных данных. Если за инструкцией LOOP не стоит число, то цикл будет выполняться самое большее 9999 раз. Любая конструкция цикла не должна превышать 255 строк. Но в одной строке можно вводить несколько записей (разделенных ;). Если требуется больше 256 строк, то перед первым оператором LOOP следует указать LET#LOOPSIZE количество\_строк

Можно сохранять счетчик цикла в переменной, если его имя указано после ключевого слова LOOP. Значения счетчика начинаются с нуля. Переменную можно изменять внутри цикла, но будет восстановлена после проверки условия прекращения цикла. Способы задания циклов:

1. Цикл на определенное количество повторений с внешним счетчиком, начиная с 1.

Пример 2.7.1.

LET#A 0 LOOP 4 LET#A #A+1 ENDLOOP

Результат работы цикла: Тело цикла будет выполнено 4 раза. Значение переменной #А внутри цикла меняется последовательно на 1, 2, 3 и 4.

2. Цикл на определенное количество повторений с внутренним счетчиком, начиная с 0. #1 – переменная, отвечающая за счетчик циклов, начинающийся с 0.

Пример 2.7.2.

LOOP#1 4 LET#A #1 ENDLOOP

#### 2.8. Условные операторы

Условные операторы являются важным элементом любого языка программирования. Выполнение переходов с помощью инструкции до to невозможно в CADINP, поскольку доказано, что любую задачу можно выполнить без использования этого оператора. Условный блок выполняется, если выражение, следующее за оператором IF, больше нуля. В качестве такого выражения можно использовать логические выражения.

Конструкция условного оператора.

IF... ELSEIF... ENDIF

Пример использования условного оператора:

1. Если полученное расчетом значение переменной k меньше переменной р, то переменной k присваивается значение р. Если условие не выполняется, то переменной k присваивается значение переменной m.

#### Пример 2.8.1.

STO#p 0.05 STO#m 0.4 IF #k<#p STO#k #p ELSE STO#k #m ENDIF 2. Если полученное значение переменной f равно 3 или значение переменной n равно 5, то переменной w присваивается значение 10.

Пример 2.8.2. IF #f==3 STO#w 10 ELSEIF #n==5 STO#w 10 ENDIF

# 2.9. Определения предельного момента ж/б балки при помощи параметрического ввода

Реализация алгоритма будет рассмотрена на примере железобетонной балки типового проекта 56Д с длиною пролета 11.36 м. Армирование балки принято в соответствии с типовым проектом, под временные нагрузки H-18 и HK-80. Поперечное сечение балки и армирование представлены на рис. 2.9.1.



Рис. 2.9.1. Поперечное сечение железобетонной балки в соответствии с типовым проектом 56Д, армирование под временные нагрузки H-18 и HK-80

## Примечание:

Программа предназначена для определения предельного изгибающего момента для *существующих* балок. Таким образом, высота сжатой зоны заведомо меньше предельного значения и больше толщины защитного слоя сжатой арматуры. Соответствующие проверки алгоритмом не предусмотрены.

Код шаблона программы для определения предельного момента сечения Т-образной балки приведен ниже:

## Пример 2.9.1.

```
+PROG TEMPLATE
LET#Rb 11.75*1000 $Pacyethoe сопротивление бетона осевому $cжатию, \kappa H/M^2
```

LET#Rsn 300\*1000 \$Нормативное сопротивление растянутой \$арматуры, кH/м<sup>2</sup> LET#Rsnc 300\*1000 \$Нормативное сопротивление сжатой \$арматуры, кН/м<sup>2</sup> LET#m koef 0.95 \$Коэффициент условия работы, \$учитывающий \$длительность эксплуатации (по ВСН 51-88) LET#gamf 1.13 \$Коэффициент надежности по арматуре LET#Rs (#Rsn\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$растянутой ненапрягаемой арматуры LET#Rsc (#Rsnc\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$сжатой ненапрягаемой арматуры LET#b bal 1.3 \$Ширина плиты балки пролетного строения LET#h f 0.15 \$Приведенная высота наиболее сжатого пояса \$таврового сечения LET#h 0.8 \$Высота балки LET#bf bal 0.19 \$Ширина ребра \$Задание армирования сечения \$Растянутая арматура LET#k riad 4 \$Количество рядов арматуры \$Создание массивов данных об армировании \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n st 2,2,2,2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в каждом ряду LET#D st 0.032,0.032,0.032,0.032 \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rast 0.045,0.079,0.113,0.147 \$Расчет площади растянутой арматуры LET#As 0 loop#1 #k riad LET#As #As+#pi\*(#D st(#1)^2)/4\*#n st(#1) \$Площадь \$ненапрягаемой растянутой арматуры ENDLOOP \$Сжатая арматура LET#k riadc 1 \$Количество рядов арматуры \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n stc 2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в ряду LET#D stc 0.032 \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rastc 0.745 \$Расчет площади сжатой арматуры

```
LET#Asc 0
loop#1 #k riadc
LET#Asc #Asc+#pi*(#D stc(#1)^2)/4*#n stc(#1)$Площадь
$ненапрягаемой сжатой арматуры
ENDLOOP
$Расчет предельного момента сечения
$Определение расстояния от центра тяжести растянутой
$ненапрягаемой арматуры до ближней грани
LET#a s1 0
LET#a s2 0
LOOP#1 #k riad
LET#a s1 #a s1+#rast(#1)*(#D st(#1)^2)
LET#a s2 #a s2+(#D st(#1)^2)
ENDLOOP
LET#a s #a s1/#a s2
$Определение высоты сжатой зоны
IF (#As*#Rs-#Asc*#Rsc) <= #h f*#b bal*#Rb</pre>
STO#Bx #b bal
ELSE
STO#Bx #bf bal
ENDIF
LET#Xr #h f-(#b bal*#h f-(#As*#Rs-#Asc*#Rsc)/#Rb)/#Bx
LET#Mpred (#b bal*#h f*(#h-#h f/2)+#Bx*(#Xr-#h f)*(#h-
(#h f+#Xr)/2))*#Rb
$Расчет коэффициентов условия работы для учета
$положения арматуры в сечении
$Условие для определения коэффициента таб для арматуры
$при ее расположении выше, чем 1/5 высоты растянутой зоны
$ (в соответствии с п.3.42* СНиП 2.05.03-84* "Мосты и
$трубы").
LOOP#1 #k riad
IF #rast(#1) <= (#h-#Xr) /5
LET#ma6 1
else
LET#ma6 1.1-0.5*#rast(#1)/(#h-#Xr)
ENDIF
STO#Mpred #Mpred-
#pi*(#D st(#1)^2)/4*#Rs*#rast(#1)*#ma6*#n st(#1)
endloop
LOOP#1 #k riadc
$Определение предельного момента
STO#Mpred
#Mpred+#pi*(#D stc(#1)^2)/4*#Rsc*#rastc(#1)*#n st(#1)
ENDLOOP
```

#### 26

#### Результат работы алгоритма.

Исходные данные:

Класс бетона В22.5

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию 11750.00 кH/м<sup>2</sup> Класс арматуры А-II

Нормативное сопротивление арматуры 300000 кН/м<sup>2</sup>

Высота балки h=0.80 м

Ширина ребра b=0.19 м

Приведенная высота наиболее сжатого пояса таврового сечения  $h_f\!=\!0.15\;\text{м}$ 

Ширина плиты балки пролетного строения b<sub>f</sub>=1.3 м Коэффициент условия работы (по ВСН 51-88) 0.95

Растянутое армирование			
Количество		Расстояние от центра тяжести	
стержней	диаметр, мм	до нижней грани, мм	
2	32	45	
2	32	79	
2	32	113	
2	32	147	
Растянутое армирование			
Количество		Расстояние от центра тяжести	
стержней	диаметр, мм	до нижней грани, мм	
2	32	745	

## Результаты расчета:

Площадь растянутой арматуры 0.0064 м<sup>2</sup>

Расчетное сопротивление арматуры 252212 кH/м<sup>2</sup>

Высота сжатой зоны 0.0797 м

Площадь растянутой арматуры в 4 ряду уменьшена на 0.20% Предельный момент сечения М<sub>пред</sub> = 1071.726 кН\*м

# 2.10. Организация итерационного процесса при помощи условного оператора

При помощи встроенного языка программирования CADINP, SOFiSTiK позволяет организовать итерационный процесс между модулями программы, до выполнения или невыполнения условия. Конструкция итерационного алгоритма приведена ниже:

> +PROG SOFIMSHC iter 999 ....(текст модуля) +PROG SOFILOAD iter 999 ....(текст модуля) +PROG ASE iter 999 ....(текст модуля) +PROG TEMPLATE iter 999

Принцип работы данного процесса представлен на блок схеме (рис. 2.10.1).



Рис. 2.10.1. Блок схема работы итерационного процесса

## 2.11. Определение блоков

САDINP позволяет формировать блоки программы, что упрощает процесс повторного использования повторяющего кода программы. Программно допускается наличие 256 блоков. В каждом блоке может содержаться до 32 уровней вложения.

Команды работы с блоками:

1. #DEFINE имя – объявление начала блока (блоку присваивается имя).

2. #ENDDEF – объявление конца блока.

3. #UNDEF имя – удаление определенного блока.

4. #INCLUDE имя – обращение к объявленному ранее блоку программы (включение блока в код программы).

## Примечание:

Обращение к блоку должно осуществлять после его описания в коде программы. В качестве блока также может выступать .dat файл, содержащий какой-то код программы.

## Пример 2.11.1.

Взяв за основу данные примера 2.9.1, рассмотрим работу с блоками. В данной задаче необходимо осуществить расчет для второй аналогичной балки, с той разницей, что величина ширины плиты главной балки будет равна 1.5 м. Текст программы приведен ниже: +PROG TEMPLATE LET#Rb 11.75\*1000 \$Расчетное сопротивление бетона осевому \$сжатию, кН/м2 LET#Rsn 300\*1000 \$Нормативное сопротивление растянутой \$арматуры, кН/м2 LET#Rsnc 300\*1000 \$Нормативное сопротивление сжатой \$арматуры, кH/м<sup>2</sup> LET#m koef 0.95 \$Коэффициент условия работы, учитывающий \$длительность эксплуатации (по ВСН 51-88) LET#gamf 1.13 \$Коэффициент надежности по арматуре LET#Rs (#Rsn\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$растянутой ненапрягаемой арматуры LET#Rsc (#Rsnc\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$сжатой ненапрягаемой арматуры #DEFINE CROSS \$Объявление начала блока, для повторного \$использования кода программы LET#h f 0.15 \$Приведенная высота наиболее сжатого пояса \$таврового сечения LET#h 0.8 \$Высота балки LET#bf bal 0.19 *\$Ширина ребра* \$Задание армирования сечения \$Растянутая арматура LET#k riad 4 \$Количество рядов арматуры \$Создание массивов данных об армировании \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n st 2,2,2,2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в каждом ряду LET#D st 0.032,0.032,0.032,0.032 \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rast 0.045,0.079,0.113,0.147

\$Расчет площади растянутой арматуры LET#As 0 loop#1 #k riad LET#As #As+#pi\*(#D st(#1)^2)/4\*#n st(#1) \$Площадь \$ненапрягаемой растянутой арматуры ENDLOOP \$Сжатая арматура LET#k riadc 1 \$Количество рядов арматуры \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n stc 2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в ряду LET#D stc 0.032 \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rastc 0.745 \$Расчет площади сжатой арматуры LET#Asc 0 loop#1 #k riadc LET#Asc #Asc+#pi\*(#D stc(#1)^2)/4\*#n stc(#1)\$Площадь \$ненапрягаемой сжатой арматуры ENDLOOP \$Расчет предельного момента сечения \$Определение расстояния от центра тяжести растянутой \$ненапрягаемой арматуры до ближней грани LET#a s1 0 LET#a s2 0 LOOP#1 #k riad LET#a s1 #a s1+#rast(#1)\*(#D st(#1)^2) LET#a s2 #a s2+(#D st(#1)^2) ENDLOOP LET#a s #a s1/#a s2 \$Определение высоты сжатой зоны IF (#As\*#Rs-#Asc\*#Rsc)<=#h f\*#b bal\*#Rb</pre> STO#Bx #b bal ELSE STO#Bx #bf bal ENDIF LET#Xr #h f-(#b bal\*#h f-(#As\*#Rs-#Asc\*#Rsc)/#Rb)/#Bx LET#Mpred(#sect) (#b bal\*#h f\*(#h-#h f/2)+#Bx\*(#Xr-#h f)\*(#h-(#h f+#Xr)/2))\*#Rb \$Расчет коэффициентов условия работы для учета положения \$арматуры в сечении \$Условие для определения коэффициента таб для арматуры \$при ее расположении выше, чем 1/5 высоты растянутой зоны

\$ (в соответствии с п.3.42\* СНиП 2.05.03-84\* "Мосты и \$трубы"). LOOP#1 #k riad IF #rast(#1) <= (#h-#Xr) /5 LET#ma6 1 else LET#ma6 1.1-0.5\*#rast(#1)/(#h-#Xr) ENDIF #Mpred(#sect) -STO#Mpred(#sect) #pi\*(#D st(#1)^2)/4\*#Rs\*#rast(#1)\*#ma6\*#n st(#1) endloop LOOP#1 #k riadc \$Определение предельного момента STO#Mpred(#sect) #Mpred(#sect) +#pi\*(#D stc(#1)^2)/4\*#Rsc\*#rastc(#1)\*#n st(#1) ENDLOOP #ENDDEF \$Объявление конца блока CROSS LET#b bal 1.3 \$Ширина плиты балки №1 пролетного \$строения LET#sect 1 \$Индекс для балки №1 #INCLUDE CROSS \$Добавление блока в текст программы LET#b bal 1.5 \$Ширина плиты балки №2 пролетного \$строения LET#sect 2 \$Индекс для балки №2 #INCLUDE CROSS \$Добавление блока в текст программы

#### Результат работы алгоритма.

Исходные данные:

Класс бетона В22.5

Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию 11750.00 кH/м<sup>2</sup> Класс арматуры А-II

Нормативное сопротивление арматуры 300000 кН/м<sup>2</sup>

Балка №1

Высота балки h=0.80 м

Ширина ребра b=0.19 м

Приведенная высота наиболее сжатого пояса таврового сечения h<sub>f</sub>=0.15 м

Ширина плиты балки пролетного строения b<sub>f</sub>=1.3 м Коэффициент условия работы (по ВСН 51-88) 0.95

Растянутое армирование			
Количество стержней Диаметр, мм		Расстояние от центра тяжести до нижней грани, мм	
2	32	45	
2	32	79	
2	32	113	
2	32	147	

Растянутое армирование		
Количество стержней Диаметр, мм		Расстояние от центра тяжести до нижней грани, мм
2 32 745		745

Балка №2

Высота балки h=0.80 м

Ширина ребра b=0.19 м

Приведенная высота наиболее сжатого пояса таврового сечения h<sub>f</sub>=0.15 м

Ширина плиты балки пролетного строения b<sub>f</sub>=1.5 м Коэффициент условия работы (по ВСН 51-88) 0.95

Растянутое армирование			
	Диаметр, мм	Расстояние от центра тяжести	
количество стержней		до нижней грани, мм	
2	32	45	
2	32	79	
2	32	113	
2	32	147	
Растянутое армирование			
		Расстояние от центра тяжести	
количество стержней	диаметр, мм	до нижней грани, мм	
2 32		745	

## Результаты расчета:

Расчетное сопротивление арматуры 252212 кН/м<sup>2</sup> Площадь растянутой арматуры 0.0064 м<sup>2</sup> Балка №1 Высота сжатой зоны 0.0797 м Площадь растянутой арматуры в 4-ом ряду уменьшена на 0.20% Предельный момент сечения М<sub>пред</sub> = 1071.726 кН\*м Балка №2 Высота сжатой зоны 0.0691 м Площадь растянутой арматуры в 4-ом ряду уменьшена на 0.06% Предельный момент сечения М<sub>пред</sub> = 1078.102 кН\*м

## Вопросы к главе 2

1. С какого зарезервированного идентификатора начинается работа с модулем?

2. Какой оператор отвечает за создание циклов в CADINP?

3. В чем разница между глобальными и локальными переменными?

4. Как осуществляется объявление глобальных и локальных переменных?

5. Как осуществляется обращение к переменной?

6. Как осуществляется объявление параметра?

7. Каким образом осуществляется обращение к параметрам?

8. При помощи какого оператора создается итерационный процесс?

## ГЛАВА 3. РАБОТА С ПРЕПРОЦЕССОРАМИ SOFISTIK

#### 3.1. Создание материалов и поперечных сечений

Модуль AQUA – препроцессор, отвечающий за создание материалов и поперечных сечений. Материалы могут быть выбраны из библиотеки существующих материалов, или созданы самостоятельно. Создание нового материала осуществляется двумя способами:

1. При помощи диалоговых окон программы (рис. 3.1.1).

2. При помощи параметрического ввода.

Создание при помощи диалоговых окон (клик правой кнопкой мыши по строчке Materials в дереве проекта -> New):



Рис. 3.1.1. Создание нового материала при помощи диалоговых окон

При создании нового материала появляется следующее диалоговое окно (рис. 3.1.2).

SOFiSTiK: Ma	terial		×
Number: [ Material Defin Design Code: Type: Classification:	Title: itions Russian Standard (SNIP) Standard Concrete 25	B 25 (SNIP 2.03.01-84)  Properties Strength Bedding Stress Strain	···
	OK	Special Cancel Help	

Рис. 3.1.2. Окно создания нового материала

1. Number – задание номера материала (присваивается автоматически, но возможно ручное задание).

2. Title – название материала.

3. Туре – тип материала, для норм РФ доступны следующие типы материалов (рис. 3.1.3):



Рис. 3.1.3. Окно выбора материала в соответствии с назначенным нормативным документом

(SNIP) Standard Concrete – тяжелый бетон;

(SNIP) Light weight Concrete – легкий бетон;

(SNIP) Reinforcing Steel – арматура;

(SNIP) Prestressing Steel – преднапрягаемая арматура;

(GOST) Structural Steel – структурная сталь (прокатная).

4. Design Code – возможность выбора материала (рис. 3.1.4) в соответствии с принятой ранее нормативной базой, кроме этого существует возможность моделирования пользовательских как слоистых материалов, так и однородных (помимо стали и бетона).

Design Code:	Russian Standard 🛛 💌		
	Generic Mechanics		
Туре:	Russian Standard		
	Layered Material		
Classification:	25 🗸		

Рис. 3.1.4. Окно выбора типа материала

5. Generic mechanics – позволяет моделировать однородные материалы (рис. 3.1.5). В базе данных программы уже содержится информация о некоторых материалах, в частности, в программе заложены заранее заготовленные модели грунта (Мор-Кулон, Друкер-Прагер и т.д. (рис. 3.1.6).

SOFISTIK: Ma	terial		×
Number: [ Material Defin Design Code: Type:	3 Title: titions Generic Mechanics Unspecified Material	×	Properties Strength Bedding
	OK	Cancel	Special Help

Рис. 3.1.5. Окно создания «пользовательского» материала



Рис. 3.1.6. Перечень доступных моделей грунта и библиотечных нетиповых материалов

Библиотека материалов доступна в закладке Туре.

Закладка Properties (рис. 3.1.7) позволяет задавать линейные характеристики изотропного/анизотропного материала, такие как модуль Юнга (модуль упругости, модуль деформации), удельный вес материала, удельный вес материала во взвешенном состоянии, коэффициент температурного расширения, коэффициент Пуассона и т.д.).

SOFISTIK: Material Sta	tic Propertie	s :	×
Self weight [kN/m3] Self weight with buyoncy Temperature coeff. [-]	25 0 1e-005		Anisotropy
Elastic Modulus [MPa]	30000	Elastic modulus 90	30000
Poissons ratio [-]	0.2	Poissons ratio 90 [-]	0.2
Shear modulus [MPa]	12500	Euler angle I [*]	0
Compression modulus	16666.7	Euler angle II [°]	0
	ОК	Cancel	Help

Рис. 3.1.7. Окно задания/редактирования линейных характеристик материала (изотропные/анизотропные)

34

Закладка Strength (рис. 3.1.8) позволяет задавать прочностные характеристики материала (предел прочности на разрыв (ult.Strength), номинальное напряжение (nominal strength), эффективное напряжение (effective strength), расчетный предел прочности на разрыв (calc strength).

SOFiSTiK: Unspecified Ma	aterial :			
Effective Strength [MPa]		Nominal stre	ngth [MPa]	0
calc strength fy [MPa]	0	ult. strength	ít [MPa]	0
		OK	Cancel	Help

Рис. 3.1.8. Окно задания/редактирования прочностных характеристик материала

Закладка Bedding (рис. 3.1.9) позволяет задавать характеристики контактной поверхности (коэффициенты сжатия, сцепление, делатацию, предел прочности на разрыв).

SOFiSTiK: Bedding :		E	×
🖌 Activate	Initialize	)	
Bedding Coefficient [kN/m3	0		
Tangential Bedding [kN/m3]		0	
Rupture Stress [MPa] Yield Stress [MPa]			]
Friction coefficient Cohesion [MPa]			]
Dilatancy coeff.		0	
Mass of Bedding [t/m2]		0	
OK Cano	:el	Help	)

Рис. 3.1.9. Окно задания/редактирования характеристик контактной поверхности материала

## Пример 3.1.1.

Задание стандартного бетона В30 при помощи параметрическо-го ввода:
+PROG AQUA head NORM SNIP 20301 *\$Задание материала под номером 1* CONC 1 SNIP 30

# Пример 3.1.2.

Задание стали марки C235 при помощи параметрического ввода: +PROG AQUA head NORM SNIP 20301 *\$Задание материала под номером 1* STEE 1 C 235

# Пример 3.1.3.

Задание грунта при помощи параметрического ввода:

+PROG AQUA

head

\$Задание материала под номером 1

MAT 1 E 7000 MUE 0.2 GAM 21.0 TITL '9'

NMAT 1 MOHR P1 13.04 P2 0.010

BMAT 1 MREF 1 H 0.05 COH 0.0 MUE 0.5 CRAC 0.0

МАТ – линейно-упругие характеристики материала;

Е – модуль упругости/деформации материала [кН/м<sup>2</sup>];

MUE – коэффициент Пуассона;

GAM – удельный вес материала [кН/м<sup>3</sup>];

TITL – наименование материала;

NMAT – нелинейные характеристики материала;

МОНR – модель Мора-Кулона;

Р1 – угол внутреннего трения;

Р2 – сцепление [МПа];

ВМАТ – характеристики контактной поверхности материала;

MREF – номер материала, к которому будут привязаны указанные характеристики контактной поверхности;

Н – толщина элемента, по которой высчитывается жесткость контактной поверхности (принято принимать как половину толщины элемента, с которым будет создана контактная поверхность);

СОН – сцепление [МПа];

MUE – коэффициент Пуассона для контактного элемента;

CRAC – максимальное растягивающее напряжение, допустимое в контактной поверхности.

# Примечание:

Контактная поверхность – особая зона на границе соприкосновения грунта и конструкции. Конечные элементы этой зоны в литературе иногда называются «интерфейсы». AQUA вычисляет геометрические характеристики поперечных сечений из любого материала и формы. Представлены геометрические характеристики, необходимые как для статического расчета, так и для вычислений нормальных и касательных напряжений. Сечения должны быть заданы перед построением расчетной системы.

Заданные сечения в AQUA могут быть графически показаны с помощью модуля AQUP или же при помощи параметрического ввода.

Представлено четыре вида сечений в зависимости от сложности задачи проектирования – стандартные и три вида пользовательских.

Виды сечений:

1. Стандартные сечения:

Сечения прокатных профилей, прямоугольные, тавровые, кольцевые сечения, ванты.

2. Пользовательские сечения:

а. Тонкостенные.

b. Массивные.

с. Конечно-элементные.

Дополнительные возможности:

1. Описание сечений блоком с помощью языка CADINP, который может быть использован в дальнейшем.

2. Линейное интерполирование между двумя сечениями.

3. Задание шаблона поперечного сечения с учетом нескольких конструктивных точек, к которым привязываются остальные точки.

4. Генерация новых сечений за счет изменения ранее заданных конструктивных точек. Описание расположения конструктивных точек 3D моделью криволинейными линиями.

Создание при помощи диалоговых окон (рис. 3.1.10) (клик правой кнопкой мыши по строчке Cross Sections в дереве проекта -> New):

General Cross-Section	ns X
Number:	2
Cross-section-values Plate Rectangle T-Beam section Circle / annular section Tube Cable section Rolled steel	
ОК Са	ancel Help

Рис. 3.1.10. Окно выбора стандартного типа поперечного сечения

Cross-section-value – задание сечения его жесткостными и геометрическими характеристиками;

Plate – сечение плит;

Rectangle – прямоугольное сечение;

T-beam section – сечение Т-образных балок;

Circle/annular section – создание круглых сечений;

Tube – сечение труб (выбор из библиотеки, заранее сформированной разработчиками программы, в зависимости от выбранной нормативной базы);

Cable section – сечение кабеля (выбор из библиотеки, заранее сформированной разработчиками программы, в зависимости от выбранной нормативной базы);

Rolled steel – прокатная сталь (выбор из библиотеки, заранее сформированной разработчиками программы, в зависимости от выбранной нормативной базы).

# Примечание:

Также есть возможность создания произвольных тонкостенных и толстостенных сечений (рис. 3.1.11).



Рис. 3.1.11. Окно выбора типа поперечного сечения

Создание тонкостенных или толстостенных сечений осуществляется при помощи интегрированного в AUTOCAD модуля, позволяющего легко создавать требуемое поперечное сечение в графической форме.

# Пример 3.1.4.

Создание при помощи параметрического ввода, задание стандартного сечения:

```
+PROG AQUA
head
NORM SNIP 20301
$Задание материала, бетон В30 под номером 1
CONC 1 SNIP 30
$Прямоугольное сечение №1 со сторонами Н=0.4 [м] и
B=0.6 $[м]. Сечение выполнено из материала под
$номером 1.
```

```
SREC 1 Н 0.40 В 0.60 МNО 1
$Круглое сечение №2 диаметром D=0.4 [м]. Сечение
$выполнено из материала под номером 1.
SCIT 2 D 0.40 MNO 1
$Сечение Т-образной балки №3 высота балки H=1 [м],
$толщина ребра B=0.2 [м], толщина плиты HO=0.2 [м],
$ширина плиты балки BO=1 [м]. Сечение выполнено из
$материала под номером 1.
SREC 3 H 1 B 0.2 HO 0.2 BO 1 MNO 1
```

#### Пример 3.1.5.

Создание при помощи параметрического ввода, задание стандартного сечения:

+PROG AQUA head NORM SNIP 20301 \$Задание материала, стали марки C235 под номером 1 STEE 1 C 235 \$Сечение трубы №3 диаметром D=400 [мм] и толщиной стенки \$t=20 [мм] из материала под номером 1. TUBE 3 D 400 T 20 MNO 1 \$Сечение Двутавр №27 по ГОСТ под номером 5. Сечение \$выполнено из материала под номером 1. SECT 5 MNO 1 PROF '' TYPE 'GOST' Z1 27 MNO 1

#### Пример 3.1.6.

Создание при помощи параметрического ввода, задание толстостенного сечения (рис. 3.1.12):

```
+PROG AQUA
head
NORM SNIP 20301
$Задание материала, бетон B30 под номером 1
CONC 1 SNIP 30
SECT 1 $Указание номера сечения
$Симметричное сечение относительно оси z
POLY OPZ
VERT
$Прямоугольное сечение толщина сечения 0.18 [м], высота
$0.75 [м].
$Указание 2 точек при помощи координат. Остальные точки
$будут зеркально отображены относительно оси Z
1 0.09 0
2 0.09 0.75
```



Рис. 3.1.12. Толстостенное поперечное сечение, созданное при помощи параметрического ввода

# 3.2. Создание параметрической модели тонкостенного сечения при помощи переменных

На рисунке 3.2.1 представлена общая схема металлического сварного двутавра. Данную модель необходимо реализовать при помощи параметрического ввода.



Рис. 3.2.1. Параметрическая схема поперечного сечения металлического двутавра

+PROG AQUA НЕАD 'Поперечное сечение' NORM SNIP \$Указание нормативного документа СНиП STEE 3 C 235 \$Задание материала № 3. Сталь марки C235 SECT 1 MNO 3 \$Задание сечения №1 из материала №3. STO#h 560.00 \$Задание высоты балки

STO#b1 37.33 \$Задание ширины верхнего пояса STO#b2 37.33 \$Задание ширины нижнего пояса STO#t1 8 \$Задание толщины верхнего пояса STO#t2 8 \$Задание толщины нижнего пояса STO#t3 8 \$Задание толщины стенки \$Стенка PLAT YB 0 ZB #h/2-#t2/2 YE 0 ZE -#h/2+#t1/2 T #t3 \$Нижний пояс PLAT YB #b2/2 ZB #h/2-#t2/2 YE 0 ZE #h/2-#t2/2 T #t2 PLAT YB 0 ZB #h/2-#t2/2 YE -#b2/2 ZE #h/2-#t2/2 T #t2 \$Верхний пояс PLAT YB #b1/2 ZB -#h/2+#t1/2 YE 0 ZE -#h/2+#t1/2 T #t1 PLAT YB 0 ZB -#h/2+#t1/2 YE -#b1/2 ZE -#h/2+#t1/2 T #t1 PLAT – задание тонкостенной пластинки; YB, ZB – координаты начала тонкостенной пластинки; YE, ZE – координаты конца тонкостенной пластинки; Т – толщина тонкостенной пластинки.

# В среде SOFiSTiK существует два препроцессора для создания расчетной схемы:

3.3. Создание расчетной схемы при параметрическом вводе

1. Sofimsha – создание расчетной схемы из конечных элементов.

2. Sofimshc – создание расчетной схемы из структурных элементов.

Структурные элементы ссылаются на геометрию. Каждый структурный элемент ограничен в пространстве, так структурная линия ограничивается структурными точками, а структурная область ограничена периметром из структурных линий. Данные объекты перед расчетом необходимо разбивать на конечные элементы.

В настоящее время наиболее оптимальным является препроцессор sofimshc. Данный препроцессор позволяет работать со сложными криволинейными поверхностями, создавать интерфейсы (геотехнические задачи), а также осуществлять генерацию объемных элементов.

Выбор препроцессора зависит от сложности расчетной схемы, а также типов используемых элементов.

Основные отличия:

1. При создании расчетной схемы при помощи препроцессора sofimsha необходимо заранее знать, какие элементы будут использоваться (балка, кабель). В зависимости от типа элемента будет определено количество степеней свободы в его узлах.

2. При создании расчетной схемы при помощи sofimshc программа автоматически назначает максимальное количество степеней свободы. 3. В sofimsha создание объемных элементов осуществляется прямым указанием восьми узлов, что делает достаточно проблематичным создание сложных элементов. Основное преимущество этого метода – обеспечение разбивки на правильные гексаэдры. Недостаток – стыковка элементов и обеспечение их совместной работы (разбивка осуществляется ручным способом).

4. В sofimshc создание объемных элементов осуществляется путем выдавливания поверхности в элемент, а также формированием объемных элементов в пространстве, ограниченном областями. Преимущество – автоматическое разбиение на гексаэдры и тетраэдры, упрощение стыковки элементов. Недостаток – при выдавливании ортотропных элементов возникают проблемы стыковки из-за несоразмерности толщин и высот элемента.

Таблица 3.3.1

Наименование элемента	Sofimsha	Sofimhsc
Узел	NODE	SPT
Линия	BEAM, TRUS, CABLE	SLN
Область	QUAD	SAR
Объемный элемент (Solid)	BRIC	SVO

Основные операторы, отвечающие за создание элементов

# 3.4. Генерация элементов в препроцессорах sofimha и sofimshc

Требуется сгенерировать узел с координатами (0;0;0) и наложить на данный узел граничные условия в виде запрета линейного перемещения по оси х.

Таблица 3.4.1

Генерация точек в препроцессорах

Sofimsha	Sofimhsc
NODE NO 1 X 0.0 Y 0.0 Z	SPT NO 1 X 0.0 Y 0.0 Z
0.0 FIX PX	0.0 FIX PX

по – номер узла (SOFiSTiK поддерживает до 99999 узлов, созданных вручную, и до 999999 узлов, созданных автоматически);

х, у, z – координаты узла;

fix – фиксирование степеней свободы (граничные условия).

Обозначение степеней свободы в глобальной системе координат:

РХ – линейное перемещение по оси Х;

РҮ – линейное перемещение по оси Ү;

PZ – линейное перемещение по оси Z;

МХ – поворот относительно оси Х;

# МҮ – поворот относительно оси Ү;

MZ – поворот относительно оси Z.

# Таблица 3.4.2

Генерация стержневых элементов в препроцессорах

Sofimsha	Sofimhsc
BEAM(TRUS,CABLE) NO 1 NA 1 NE 2 NCS 1	SLN NO 1 NPA 1 NPE 2 SNO 1

### no – номер элемента;

na (npa),ne (npe) – номер начального и конечного узла; ncs (sno) – номер поперечного сечения, назначаемого элементу. Таблица 3.4.3

Генерация областей (пластин) в препроцессорах

Sofimsha	Sofimhsc
QUAD NO 1 N1 1 N2 2 N3 3 N4 4 MNO 1 T 0.1	SAR NO 1 MNO 1 T 0.1 SARB TYPE OUT NL 1,2,3,4
	SAR NO 1 MNO 1 T 0.1 SARB TYPE OUT NP 1,2,3,4

N1, N2, N3, N4 – номера узлов области (задаются либо по часовой, либо против часовой стрелки);

MNO – номер материала, назначаемого элементу;

Т – толщина области;

SARB – дополнительный параметр области, в нем указывается тип заполнения (внутри контура (out) или снаружи от контура (in));

NL, NP – задание контура области, можно задавать как линиями, так и узлами (задаются либо по часовой, либо против часовой стрелки).

# Примечание:

Указание номеров линий (точек) должно быть через запятую и без пробелов между запятой и номером линии (точки).

# 3.5. Пример задания объемного элемента

Таблица 3.5.1

Генерация объемных элементов в препроцессорах

Sofimsha	Sofimhsc
BRIC NO 1 N1 N2 N3 N4 N5	SVO NO 1 MNO 1 TYPE BRIC
N6 N7 N8 MNO 1	SVOS NAR 1 ACT EXTR T 0.2
	SVO NO 1 MNO 1 TYPE BMAT
	SVOS NAR 1 ACT EXTR T 0.2
	SVO NO 1 MNO 1 TYPE MAT SVOS NAR 1 ACT EXTR T 0 2
	SVO NO 1 MNO 3 SVOS NAR 1 AC3

N1, N2, N3, N4, ..., N8 – номера узлов объемного элемента (задаются либо по часовой, либо против часовой стрелки);

NO – номер элемента;

MNO – номер материала, назначаемого элементу;

ТҮРЕ – тип объемного элемента.

Возможные типы:

1. BRIC – объемный элемент.

2. ВМАТ – интерфейс (пружинчатые элементы).

3. МАТ – упругое основание (пружинчатые элементы).

SVOS – оператор дополнительных характеристик объемного элемента;

NAR – номер поверхности, из которой будет производиться формирование объемного элемента;

АСТ – способ создания объемного элемента.

Способы создания:

1. SURF – создание объемного элемента из поверхности.

2. QGRP – создание объемного элемента из группы областей.

3. EXTR – выдавливание поверхности на определенную длину вдоль оси.

4. ROTA – создание объемного элемента из поверхности вращения.

5. MESH – задание размера элемента для разбивки на тетраэдры.

6. BGRP – создание поверхности путем указания контура.

Т – параметр задания толщины разбивки объемного элемента по длине.

# Примечание:

Для генерации объемного элемента методом экструзии (выдавливания) необходимым условием является создание оси, по которой будет осуществляться формирование элемента.

# Пример 3.5.1.

Генерация оси

GAX ID A1 TYPE AXIS TYPC AXIS

GAXB X1 0.0 Y1 0.0 Z1 0.0 X2 0.0 Y2 10.0 Z2 0.0

GAX – параметр, отвечающий за создание оси;

ID – идентификация оси (задание имени, возможно как буквенное обозначение, так и цифровое, так и буквенно-цифровое);

ТҮРЕ – тип оси.

Возможные типы:

1. AXIS – ось.

2. LANE – линия движения транспортного потока.

3. BGEO – линия геометрии пролетного строения.

4. DEL – удаление оси.

# Примечание:

Сгенерированная ось хранится в базе данных на протяжении всего проекта (даже в том случае, если алгоритм создания оси был

удален из параметрической схемы). Если возникла необходимость в ее устранении, то необходимо повторить запись с указанием ID оси и параметром TYPE DEL.

ТҮРС – задание геометрии оси.

Возможные варианты геометрического очертания оси:

- 1. AXIS 2D ось.
- 2. ARC окружность в плоскости.
- 3. SPLI кривая в плоскости.
- 4. NURB кривая в пространстве.

# 3.6. Параметрическое создание расчетной схемы при помощи модуля sofimshc

После непосредственного вызова модуля, в случае генерации системы, необходимо указать параметры, используемые для расчета системы, а также указать элементы, которые будут применяться, и обозначить размер конечного элемента.

Пример задания параметров системы:

Пример 3.6.1.

+PROG SOFIMSHC SYST SPAC GDIR NEGZ GDIR 10000 CTRL MESH 2 CTRL HMIN VAL 0.3 V2 0.3

В данном примере, функция SYST отвечает за тип системы. Типы системы в SOFiSTiK:

SPAC – 3D пространственная расчетная схема (универсальная для всех элементов);

FRAM – плоская рама;

PAIN – система для расчета плоско деформированных конструкций;

PESS – плоско напряженные конструкции;

АХІА – плоские симметричные схемы;

GIRD – схема для расчета плоских балочных ростверков;

PGIR – схема для расчета плоских преднапряженных плит;

REST – сохранение расчетной схемы (в случае взаимодействия графического (SOFIPLUS) и текстового ввода (TEDDY)).

Оператор GDIR (gravity direction) отвечает за указание направления учета собственного веса.

Типы указания направления:

NEGZ, NEGY, NEGX – вектор веса против направления оси;

POSZ, POSY, POSX – вектор веса по направлению оси.

Оператор GDIV (group divisor) отвечает за количество элементов в одной группе. (Максимальное количество элементов в группе 999999). Формирование групп элементов эффективно при использовании структурных элементов. Данное преимущество рассмотрим на примере структурной области. Если структурная область (Structural area) относится к группе, то после разбиения на конечные элементы (QUAD) все QUAD элементы будут в начале номера иметь идентификатор группы. Это значит, если GDIV 10000, а номер группы 2, то номера пластинчатых конечных элементов будут начинаться с 20001. Также разбиение на группы удобно при выводе результатов и выполнении расчетов, где необходимо учитывать стадийность возведения.

Функция CTRL (control of analysis) позволяет задавать дополнительные параметры системы (величину разбивки конечных элементов, параметры слияния узлов, оптимизацию нумерации элементов).

При помощи оператора MESH указывается тип структурных элементов, который будет разбиваться на конечные элементы.

Доступно разбиение следующих типов элементов:

1. Разбиение стрежней.

2. Разбиение стержней и пластин.

3. Разбиение стержней, пластин и объемных элементов (solid).

HMIN – оператор, в котором задаются размеры конечных элементов.

Основные используемые параметры данного оператора:

Val – отвечает за максимальный размер конечного элемента;

V2 – параметр, отвечающий за сгущение сеток конечных элементов в узлах структуры (или же наоборот).

Ключевой шаг в методе конечных элементов – создание сетки. Это процесс разделения модели на небольшие части (конечные элементы). Сеть узлов и элементов называется сеткой



Рис. 3.6.1. Типы сеток конечных элементов в SOFiSTiK

Классификация сеток конечных элементов по способу создания:

1. Нерегулярная.

2. Регулярная.

Классификация сеток конечных элементов по типу используемых элементов:

1. Триангулярная.

2. Четырехугольная.

На рисуке 3.6.1 представлены следующие типы сеток:

1. Нерегулярная, четырехугольная сетка.

- 2. Регулярная, четырехугольная сетка.
- 3. Регулярная, триангулярная сетка.
- 4. Нерегулярная, триангулярная сетка.

# 3.7. Генерация металлической двутавровой балки

# Пример 3.7.1.

Исходные данные:

Двутавровая балка, основные размеры представлены на рис. 3.7.1. Марка стали 16Д в соответствии с СП 35.13330.2011. Длина пролета 33 м.

# Примечание:

Для удобства восприятия материала генерации выполнены в развернутом виде. Циклы или генерирующие записи не применялись. Пример использования циклов рассмотрен в разделе 3.8.



Рис. 3.7.1. Двутавровая балка (на схеме указана нумерация узлов)

Высота балки в первом приближении принята равной l/20\*33=1.65 м. Ширина верхнего пояса равна высоте нижнего пояса и равна 1.2 м. Начальные толщины стенки и поясов равны 8 мм. Текст программы:

+PROG SOFIMSHC HEAD \$Задание параметров системы SYST SPAC GDIR NEGZ GDIV 10000 CTRL MESH 2 CTRL HMIN 0.3 0.3 \$Объявление переменных STO#b1 1.2 \$Ширина верхнего пояса STO#b2 #b1 \$Ширина нижнего пояса STO#t1 0.008 \$Толщина нижнего пояса STO#t2 0.008 \$Толщина верхнего пояса STO#t3 0.008 \$Толщина стенки балки STO#1 33 \$Пролет балки STO#h #1/20 \$Высота балки \$Генерация узлов нижнего пояса Y SPT NO X Ζ 1 0 0 0 2 #b1/2 0 0 3 #b1/2 #1 0 4 0 #1 0 5 #b1 0 0 #b1 #1 0 6 \$Генерация линий контура нижнего пояса SLN NO NPA NPE FIX 2 1 1 PXPZPYMZ 2 2 3 3 3 4 PXPZMZ 4 4 1 5 PXPZPYMZ 5 2 6 5 6 6 3 PXPZMZ 7 \$Генерация области нижнего пояса SAR 1 MNO 3 T #t1 GRP 1 SARB OUT NL 1,2,3,4 SAR 2 MNO 3 T #t1 GRP 1 SARB out nl 2,5,6,7 \$Генерация узлов верхнего пояса SPT NO Х Y 7 0 #h-#t1/2-#t2/2 8 0 9 #b2/2 0 #h-#t1/2-#t2/2 10 #b2/2 #l #h-#t1/2-#t2/2 11 0 #l #h-#t1/2-#t2/2 12 #b2 0 #h-#t1/2-#t2/2 13 #b2 #l #h-#t1/2-#t2/2 \$Генерация линий контура верхнего пояса SLN NO NPA NPE 8 9 8 9 9 10 10 10 11 11 11 8 12 9 12 13 12 13 14 13 10

```
$Генерация области верхнего пояса
SAR 3 MNO
           3 T #t2
                   GRP 2
SARB OUT NL 8,9,10,11
SAR 4 MNO 3 T #t2 GRP 2
SARB OUT NL 9,12,13,14
$Генерация линий стенки балки
SLN NO NPA NPE
   15
        9
            2
    16
            3
        10
$Генерация области стенки балки
SAR 5 MNO 3 T #t3
                     GRP 3
SARB OUT NL 15,9,16,2
```



Рис. 3.7.2. Визуальный контроль расчетной схемы при помощи модуля Animator

# 3.8. Циклы и условные операторы при генерации расчетной схемы в sofimshc

Возможность использования циклов и условных операторов рассмотрим на примере создания расчетной модели пролетного строения. Пролетное строение состоит из шести главных балок. Главные балки выполнены в соответствии с типовым проектом 56Д. Расчетный пролет 11.1 м. Компоновка габарита проезжей части представлена на рис. 3.8.1. Размеры даны по результатам натурных измерений. Расчетную схему будем генерировать с учетом индивидуальных особенностей пролетного строения и мостового полотна.





Рис. 3.8.1. Поперечное сечение пролетного строения





Расчетную схему пролетного строения реализуем при помощи работы с массивами данных.

Текст программы приведен ниже: \$Объявление переменных +PROG TEMPLATE LET#toch 3 \$Количество точек по длине пролета (1-начало, \$2- середина пролета, 3- конец пролета)

50

LET#kolt 13 \$Количество линий точек в поперечном \$направлении, см. рис. 3.8.2 б) STO#1 11.1 \$Расчетный пролет STO#n 6 \$Количество балок в поперечном сечении \$Создание массива толщин плит главных балок. В поперечном \$направлении количество участков плит равно \$(kolt-1). STO#tol 0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15 \$\$ 0.15,0.15,0.15,0.15,0.15,0.15 \$Создание массива номеров материалов для плит главных \$балок. Разбиение на участки в соответствие с рис. 3.8.2 \$б) В общем случае (при уширении) материалы могут \$различаться. STO#mat 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6 \$Создание массива номеров групп для плит главных балок. \$Разбиение на участки в соответствии с рис. 3.8.2 б) STO#grp 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6 \$Создание массива номеров групп для главных балок. \$Разбиение на участки в соответствии с рис. 3.8.2 а) STO#grpb 1,1 \$\$ *группа* №1 2,2 \$\$ группа №2 3,3 \$\$ группа №3 4,4 \$\$ группа №4 5,5 \$\$ группа №5 6,6 \$ группа №6 \$Создание массива ординат Z центров тяжести ребер главных \$балок STO#zek -0.348,-0.348,-0.348,-0.348,-0.348,-0.348 \$Создание массива ординат Х по длине пролета для каждой \$линии точек STO#A 0,5.55,11.1 \$Создание массива ординат У для точек 1-13 в соответствии \$с рис. 3.8.2 а) STO#Bp 0,-0.75,-1.555,-2.36,-3.2705,-4.055,-4.8825,\$\$ -5.71, -6.5875, -7.465, -8.3025, -9.14, -9.89 \$Создание массива ординат У главных балок в соответствии \$с рис. 3.8.2 а) LOOP#1 #n STO#rastbalk(#1) #Bp(1+2\*#1) ENDLOOP \$Создание массива номеров поперечных сечений главных \$балок STO#s ech 1,1,1,1,1,1 \$Параметрическая модель расчетной схемы

+PROG SOFIMSHC

HEAD Расчетная схема \$Задание параметров системы (spac- 3D пространственная \$cxema, GDIV - group divisor, максимальное количество \$элементов в группе 100000, GDIR- gravity direction, \$neqZ направление учета собственного веса относительно \$отрицательной оси Z) SYST spac GDIV 100000 GDIR negZ \$Разбиение пластинчатых элементов CTRL MESH 2 \$Задание размеров конечного элемента val, v2- размер \$конечного элемента в узлах CTRL HMIN VAL 0.3 V2 0.3 \$Задание количества строк в содержании цикла \$(1024 строки) STO#loopsize 1024 \$Задание начальных значений для счетчиков \$(#per - начальный номер узла. Номер узла может быть \$любым положительным числом)

LET#per 1 \$Первый номер узла

\$Цикл генерации узлов плит главных балок. Принцип работы \$алгоритма схематично показан на рис. 3.8.3.



Рис. 3.8.3. Принцип работы алгоритма генерации узлов плит главных балок

```
LOOP#m #kolt*#toch
LET#f div(#m/#toch)
```

SPT NO X Y Z FIX #per+#f\*(90-#toch)+#m #A(#m-#toch\*div(#m/#toch)) \$\$ #Bp(#f) 0 ENDLOOP \$Цикл генерации узлов главных балок. Результат генерации \$узлов приведен на рис. 3.8.4.

5491 <sup>+</sup>	5492 <sup>+</sup>	5493 <sup>+</sup>
5581 <sup>+</sup>	5582 <sup>+</sup>	5583 <sup>+</sup>
5671 <sup>+</sup>	5672 <sup>+</sup>	5673 <sup>+</sup>
5761 <sup>+</sup>	5762 <sup>+</sup>	5763 <sup>+</sup>
5851 <sup>+</sup>	5852 <sup>+</sup>	5853 <sup>+</sup>

5941 <sup>+</sup>	5942 <sup>+</sup>

Рис. 3.8.4. Нумерация узлов главных балок в соответствии с алгоритмом

 $5943^{+}$ 

```
LET#per 1830*3+1
LOOP#m #n*#toch
let#f div(#m/#toch)
LET#zak ' '
                       $Свобода всех перемещений
IF MOD(\#m/\#toch) == 0
LET#zak 'pypzmz' $Шарнирно-подвижная опорная часть
ENDIF
IF DIV(#m/(#toch-1+#toch*#f)) ==1
LET#zak 'pxpypzmz' $Шарнирно-неподвижная опорная часть
ENDIF
SPT NO X Y Z FIX
#per+#f*(90-#toch)+#m #A(#m-#toch*div(#m/#toch))
#rastbalk(#f)$$ #zek(#f) #zak
ENDLOOP
$Цикл генерации поперечных линий для формирования
$контуров плит пролетного строения.
```

LOOP#1 #toch LOOP#2 #kolt-1 SLN NO NPA NPE GRP 1+#2\*90+#1 91+#2\*90+#1 1+#2+#1\*90 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации продольных линий для формирования \$контуров плит пролетного строения. LOOP#1 #kolt LOOP#2 #toch-1 SLN NO NPA NPE 5000+#2+#1\*90 1+#2+#1\*90 2+#2+#1\*90 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации главных балок и назначение на них \$соответствующего сечения при обработке массива номеров \$поперечных сечений для ребер главных балок. Объединение \$ребер главных балок с плитой в совместную работу (при \$помощи совместных перемещений) LET#nb -1 LOOP#1 #n LOOP#2 #toch-1 LET#nb #nb+1 LET#b s ech(#nb) \$Назначить переменную, отвечающую за \$номер поперечного сечения SLN NO NPA NPE SNO GRP 10000+#2+#1\*90 5490+1+#2+#1\*90 5490+2+#2+#1\*90 \$\$ #b #grpb(#nb) \$Объединение ребер главной балки (стержня) с линией, \$принадлежащей плите, и объявление совместных перемещений \$по всем степеням свободы при помощи каманды fix SLNS GRP 50 FIX PXPYPZMYMZMX REF 5090+#2+(#1)\*180 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации плит главных балок в соответствии с рис. \$3.8.2 б). LOOP#1 #toch-1 LOOP#2 #kolt-1 SAR 1+#1+#2\*90 MNO #mat(#2) T #tol(#2) GRP #grp(#2) SARB OUT NL 5000+#1+#2\*90,1+#1\*90+#2,5090+#1+#2\*90,91+#1\*90+#2 **ENDLOOP** ENDLOOP END

54



Рис. 3.8.5. Визуализация расчетной схемы в Aminator

# 3.9. Создание нагрузки при помощи модуля sofiload

Загружение конструкции осуществляется посредством вызова модуля sofiload.

Основные виды нагрузок, реализованные в SOFiSTiK:

- 1. G (dead load) постоянная нагрузка (собственный вес).
- 2. Q (variable load) временная нагрузка.
- 3. L (live loading) подвижная нагрузка.
- 4. S (snow load) снеговая нагрузка.
- 5. Т (temperature) температурная нагрузка.
- 6. W (wind) ветровая нагрузка.
- 7. R (earth pressure) давление грунта.
- 8. Р (prestressing) преднапряжение.
- 9. А (impact loading) ударная нагрузка.
- 10. В (construction stage loading) стадия монтажа.
- 11. Е (earthquake) землетрясение.

Основные типы нагрузок:

- 1. Свободные нагрузки:
- а. POIN свободная нагрузка на точку.
- b. LINE свободная нагрузка на линию.
- с. AREA свободная нагрузка на область (нагрузка задается по точкам по часовой стрелке или против).
  - 2. Нагрузки, приходящиеся на элемент:
  - а. NODE нагрузка на узел.

b. BEAM, CABLE, TRUS – нагрузка на балку, кабель или элемент фермы.

с. QUAD – нагрузка на пластинчатый элемент.

# Примечание:

Пример 3.9.1.

Свободные нагрузки не привязаны к элементу и могут находиться в любом месте пространства. Точка (структурная точка) определяется в пространстве при помощи трех координат. Линия (структурная линия) определяется в пространстве путем указания начальной и конечной структурных точек. Область (структурная область) определяется в пространстве путем указания линий, описывающих контур, или же указанием вершин будущей области.

Name	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Value	(s)	
load Case	1 - Loadcase 1	P=	10.0000	[kN/m]
Class	Load	▼ P2=	10.0000	[kN/m]
Type	PG - load in gravity direction		oution	
Reference	Automatic	- O U	niform	
Numbers/Groups	*ANY*	- N	on-Uniform	
Direction of Projection	Projected in Element (ELEM)	•		P
Range of Application	0.0000	[m]		

Рис. 3.9.1. Окно создания загружения

Свободной нагрузке можно задать привязку к элементам. В случае со свободной линейной нагрузкой доступны следующие варианты привязки:

🚸 SOFiSTiK: Free Line	Load	
General		
Name		Value(s)
Load Case	1 - Loadcase 1 🔹 🛄	P= [kN/m]
Class	Load	P2= 10.0000 [kN/m]
Туре	PG - load in gravity direction 🔹	Distribution
Reference	Automatic	Output
Numbers/Groups	Automatic	Non-Uniform
Direction of Projection	Load Distribution Area (LAR) Structural Area (GAR)	P
Range of Application	Beam Element Group	
	Area Element Group	
	Structural Line (GLN)	
🖹 🗑 💰 😒 🔮	1 selecter	d 🔲 Add Elements 🛛 OK 🔹 Apply Cancel

Рис. 3.9.2. Окно выбора привязки нагрузки

1. Automatic – автоматическая привязка, программа сама определяет тип элемента, к которому привязана нагрузка.

2. Load Distribution Area (LAR) – программа привязывает внешнюю нагрузку к грузовой области.

3. Structural Area (GAR) – привязка свободной узловой нагрузки к структурной области.

4. Beam Element Group – привязка нагрузки к группе балочных элементов.

5. Area Element Group – привязка к группе пластинчатых элементов.

6. Structural Line (GLN) – привязка к номеру структурной линии.

Рассмотрим возможность привязки нагрузки к элементам конструкции. Для этого создадим простую 2-х этажную раму. Нагрузка приложена к верхнему ярусу (рис. 3.9.3). После расчета, можно увидеть каким образом была приложена данная нагрузка к конечным элементам (рис. 3.9.4).



Рис. 3.9.3. Расчетная схема приложения нагрузки



Рис. 3.9.4. Преобразованная нагрузка на конечные элементы

Следующий пример – разместим внешнюю нагрузку на произвольном расстоянии (рис. 3.9.6), а в reference укажем тип Beam Element Group и номер группы верхнего яруса (рис. 3.9.5).

lame		Value(s)
.oad Case	1 - Loadcase 1 🔹 📖	P= 10.0000 [kN/m]
Class	Load 🗸	P2= 10.0000 [kN/m]
Гуре	PG - load in gravity direction 👻	Distribution
Reference	Beam Element Group 🔹	Output
Numbers/Groups	1	Non-Uniform
Direction of Projection	Projected in Element (ELEM)	P
Range of Application	0.0000 [m]	

Рис. 3.9.5. Задание привязки нагрузки и номера группы элементов



Рис. 3.9.6. Схема нагрузки

После расчета можно увидеть, каким образом была приложена данная нагрузка к конечным элементам (рис. 3.9.7).



Рис. 3.9.7. Преобразованная нагрузка на конечные элементы второго яруса

Таким образом, свободная нагрузка была приложена в соответствии с правилом переноса нагрузки (с добавлением распределенного момента p\*e). Если указать номер группы первого яруса, то получится следующее (рис. 3.9.8).



Рис. 3.9.8. Преобразованная нагрузка на конечные элементы первого яруса

Также возможен перенос нагрузки на первый и второй ярусы одновременно, путем указания групп (рис. 3.9.9).



Рис. 3.9.9. Преобразованная нагрузка на конечные элементы на первый и второй ярусы

Заметим, что если при описании модели некоторые элементы явно не были приписаны к некоторой группе, они будут занесены в группу «0». По умолчанию, группа «0» не будет нагружена, если, например, нагрузка типа LINE не будет соприкасаться с соответствующей структурной линией или конечными элементами.

60

Пример создания загружения при помощи модуля SOFILOAD:
Пример 3.9.1.
+PROG SOFILOAD
HEAD
LC 1 TYPE Q
\$Свободная нагрузка на точку
POIN TYPE PG P 100 X 0 Y 0 Z 0
\$Свободная нагрузка на линию
LINE TYPE PG P1 100 X1 0 Y1 0 Z1 0 P2 100 X2 0 Y2 10
Z2 0
\$Свободная нагрузка на область
AREA TYPE PG P1 100 X1 0 Y1 0 Z1 0 P2 100 X2 0 Y2 10
\$\$ Z2 0 P3 100 X3 10 Y3 10 Z3 0 P4 100 X4 0 Y4 10 Z4 0
\$Нагрузка на узел
NODE 1 TYPE PG P 100
\$Нагрузка на балку (кабель, элемент фермы)
BEAM GRP 1 TYPE PG P 100
\$Нагрузка на конечный элемент пластину
QUAD GRP 1 TYPE PG P 100

ТҮРЕ – тип нагрузки (направление);

Р, Р1 ... Р4 – величина прикладываемой нагрузки;

Х, Ү, Z, X1, Ү1, Z1, ..., Х4, Ү4, Z4 – координаты точки приложения нагрузки;

GRP – группа, в которой находятся элементы;

1 – номер узла.

Таблица 3.9.1

Аббревиатура	Расшифровка
PG	Нагрузка направлена к центру тяжести Земли
	(в большинстве случаев противоположна положительному
	направлению оси Z) в глобальных осях
PXX	Нагрузка направлена по направлению глобальной оси Х
PYY	Нагрузка направлена по направлению глобальной оси Ү
PZZ	Нагрузка направлена по направлению глобальной оси Z
MXX	Изгибающий момент, вращающий относительно
	глобальной оси Х
MYY	Изгибающий момент, вращающий относительно
	глобальной оси Ү
MZZ	Изгибающий момент, вращающий относительно
	глобальной оси Z
PX	Нагрузка направлена по направлению локальной оси Х
PY	Нагрузка направлена по направлению локальной оси Ү
PZ	Нагрузка направлена по направлению локальной оси Z
MX	Изгибающий момент, вращающий относительно
	локальной оси Х

Основные типы нагрузок

Аббревиатура	Расшифровка
MY	Изгибающий момент, вращающий относительно
M7	Изгибающий момент, вращающий относительно
	локальной оси Z
MB	Крутящий момент
WXX	Перемещения относительно глобальной оси Х
WYY	Перемещения относительно глобальной оси Ү
WZZ	Перемещения относительно глобальной оси Z
DXX	Поворот на угол относительно глобальной оси Х
DYY	Поворот на угол относительно глобальной оси Ү
DZZ	Поворот на угол относительно глобальной оси Z

### Примечание:

Глобальная система координат – система координат, соответствующая выбранной в свойствах проекта SOFiSTiK. Локальная система координат – система координат отдельного элемента расчетной схемы (направление осей привязано к очередности задания узлов элемента).



Рис. 3.9.10. Глобальные и локальные оси: а) структурная линия: начальная точка – 1, конечная – 2; б) структурная линия: начальная точка – 2, конечная – 1

# 3.10. Модель временной нагрузки АК в соответствии со СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»

В расчетном комплексе SOFiSTiK модели временных нагрузок типа АК и НК из библиотеке можно использовать только при использовании стержневых систем. Данную проблему для нашей пространственной задачи легко решить, создав эти нагрузки один раз при помощи параметрического ввода. Далее полученные блоки можно свободно использовать в любых задачах пользователя. Ниже будет приведен пример блока временной нагрузки АК для разрезных пролетных строений, который благодаря параметризации позволяет с минимумом трудозатрат выполнять загружение при произвольном значении габарита проезжей части.

Исходные данные: модель пролетного строения – пример в п. 3.8. Компоновка габарита проезжей части представлена на рис. 3.10.2.

Для данной расчетной схемы создадим блок нагрузки АК при К=11. В рассматриваемом блоке будет осуществляться «пробежка» (терминология SOFiSTiK) временной нагрузки с заданным шагом в поперечном направлении.



Рис. 3.10.1. Схема нагрузки АК

# Примечание:

Блок дан в учебных целях с упрощениями:

1. Нагрузка в виде двух колонн заведомо размещается в пределах проезжей части.

2. Первая колонна слева вызывает наибольшие возмущения и является основной. Коэффициент полосности s=0.6 применяется к нагрузкам от второй колонны.

3. Варианты, когда нагрузка порождается одной колонной или двумя, но основной является вторая, в данной части алгоритма не рассматриваются.



Рис. 3.10.2. Компоновка габарита пролетного строения

#### Пример 3.10.1.

\$Объявление переменных, необходимых для создания \$временной нагрузки +PROG TEMPLATE \$Ширина перильного ограждения слева STO#po 1 0.08 STO#po p 0.08 \$Ширина перильного ограждения справа STO#T lev 0.83 *\$Ширина тротуара слева* STO#T prav 1.1 *\$Ширина тротуара справа* STO#bar 1 0.25 \$Ширина барьерного ограждения слева STO#bar p 0.26 \$Ширина барьерного ограждения справа STO#sveslt 0.72 *\$Ширина свеса тротуара слева* STO#gabarit 8.92 *\$Габарит проезжей части* STO#pb 1 0.93 \$Ширина полосы безопасности слева STO#pb p 0.98 *\$Ширина полосы безопасности справа* STO#svespt 0.91 *\$Ширина свеса тротуара справа* STO#B #Bp(#kolt-1) \$Общая ширина плиты проезжей части \$пролетного строения. Определяется как последний член \$массива поперечных расстояний (см п. 3.8) STO#klass AK 11 \$Задание класса нагрузки АК STO#a1AK 0.2 \$Отпечаток колеса АК вдоль оси моста STO#blak 0.6 \$Отпечаток колеса АК поперек оси моста STO#mue AK MAX(1,1+(45-#1)/135) \$Вычисление \$динамического коэффициента для тележки А11 STO#mue AKt MAX(1,1+(45-#1)/135) \$Вычисление \$динамического коэффициента для полосовой нагрузки А11. \$Введение этой переменной позволяет при необходимости \$переходить на расчеты по СП 35.13330.2011 без \$существенного изменения кода STO#gam AKt MAX(1.2,1.5-0.3\*#1/30) \$Вычисление \$коэффициента надежности для тележки А11 STO#gam AKp 1.2 \$Вычисление коэффициента надежности для \$полосовой нагрузки А11 \$Расчетная нагрузка \$Расчетное давление на отпечаток от колеса ведущей \$тележки STO#Akkol (#klass AK\*5\*#mue AK\*#gam AKt)/(#a1AK\*#b1AK) \$Расчетное давление на отпечаток от колеса 2-ой тележки STO#Akkol2 (#klass AK\*5\*#mue AK\*#gam AKt)/(#alAK\*#blAK) \$Расчетное давление от полосовой нагрузки ведущей Śтележки STO#polos (#klass AK\*#mue AKt\*#gam AKp)/(2\*#b1AK) \$Расчетное давление полосовой нагрузки 2-ой тележки STO#polos2 #polos\*0.6 STO#polosh 8 \$Количество положений нагрузки в

\$поперечном направлении STO#lev zap #po l+#T lev-#sveslt+#pb l+#bar l+0.55 \$Левая зона запрета для тележки АК STO#x1 #1/2 \$Ордината середины пролета \$Генерация временной нагрузки +PROG SOFILOAD \$Определение шага нагрузки в поперечном направлении LET#shaq \$\$ (#gabarit-#pb l-#pb p-1.9-0.55\*2-1.1-1.9)/#polosh \$Цикл генерации "пробежки" временной нагрузки АК LOOP#1 #polosh LC 1200+#1 TYPE Q TITL 'AK osn 2 tel 1/2' \$Тележка №1 \$Отпечаток колеса №1 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y1 -(#lev zap+#shag\*#1-#b1AK/2)Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y2 -(#lev zap+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2 \$\$ -(#lev zap+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ YЗ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y4 - (#lev zap+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 \$Отпечаток колеса №2 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y1 -(#lev zap+1.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y2 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y3 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y4 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 \$Отпечаток колеса №3 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y1 -(#lev zap+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y2 - (#lev zap+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ -(#lev zap+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ YЗ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y4 - (#lev zap+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 \$Отпечаток колеса №4

AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y1 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y2 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y3 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y4 - (#lev zap+1.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 \$Тележка 2 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y1 - (#lev zap+3+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y2 - (#lev zap+3+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y3 - (#lev zap+3+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2 \$\$ -(# lev zap+3+# shaq\*#1-#b1AK/2) Z4 0 Y4 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y1 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2 \$\$ Y2 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y3 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2 \$\$ Y4 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y1 - (#lev zap+3+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y2 -(#lev zap+3+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y3 - (#lev zap+3+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y4 - (#lev zap+3+#shag\*#1-#b1AK/2) Z4 0 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y1 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1-#b1AK/2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2+1.5 \$\$ Y2 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5 \$\$ Y3 - (#lev zap+4.9+#shag\*#1+#b1AK/2) Z3 0 \$\$

```
P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5
                                $$
Y4 - (#lev zap+4.9+#shag*#1-#b1AK/2) Z4 0
$Генерация полосовой нагрузки А11
$Колонна 1
AREA REF AUTO TYPE PG
                         $$
P1 #polos X1 0
                  $$
Y1 -(#lev zap+#shag*#1-#b1AK/2) Z1 0
                                      $$
P2 #polos X2 0 $$
Y2 - (#lev zap+#shag*#1+#b1AK/2) z2 0
                                      $$
P3 #polos
           X3 #1
                    $$
Y3 - (#lev zap+#shag*#1+#b1AK/2) Z3 0
                                      $$
P4 #polos X4 #l
                   $$
Y4 - (#lev zap+#shag*#1-#b1AK/2) Z4 0
AREA REF AUTO TYPE PG
                         $$
P1 #polos X1 0
                   $$
Y1 -(#lev zap+1.9+#shag*#1-#b1AK/2) Z1 0 $$
P2 #polos
          X2 0 $$
Y2 -(#lev zap+1.9+#shag*#1+#b1AK/2) Z2 0 $$
P3 #polos X3 #1
                    $$
Y3 - (#lev zap+1.9+#shag*#1+#b1AK/2) Z3 0 $$
P4 #polos
          X4 #l
                   $$
Y4 - (#lev zap+1.9+#shag*#1-#b1AK/2) Z4 0
$Колонна 2
AREA REF AUTO TYPE PG
                        $$
                    $$
P1 #polos2 X1 0
Y1 - (#lev zap+3+#shag*#1-#b1AK/2) Z1 0
                                        $$
P2 #polos2
            X2 0
                   $$
Y2 - (#lev zap+3+#shag*#1+#b1AK/2) Z2 0
                                        $$
P3 #polos2
            XЗ
                #1
                    $$
Y3 - (#lev zap+3+#shag*#1+#b1AK/2) Z3 0
                                        $$
P4 #polos2
            X4
                #1
                    $$
Y4 - (#lev zap+3+#shag*#1-#b1AK/2) Z4 0
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #polos2 X1 0
                       $$
Y1 - (#lev zap+4.9+#shag*#1-#b1AK/2) Z1 0 $$
P2 #polos2 X2
               0 $$
Y2 -(#lev zap+4.9+#shag*#1+#b1AK/2) Z2 0 $$
P3 #polos2
            XЗ
                #1
                    $$
Y3 -(#lev zap+4.9+#shag*#1+#b1AK/2) Z3 0 $$
P4 #polos2 X4
                #1
                    $$
Y4 - (#lev zap+4.9+#shag*#1-#b1AK/2) Z4 0
endloop
```

Результат работы данного алгоритма приведен на рис. 3.10.3, 3.10.4.



Рис. 3.10.3. Первое положение двух тележек А11 и полосовой нагрузки на пролетном строении



Рис. 3.10.4. Последнее положение двух тележек А11 и полосовой нагрузки на пролетном строении

# 3.11. Модель временной подвижной нагрузки в соответствии с ОДН 218.0.032-2003

На эксплуатируемых сооружениях для принятия решения об установке знаков с учетом имеющихся повреждений необходимо не только оценить грузоподъемность, но и определить максимальную допустимую массу транспортного средства для схем, отличающихся от принятых при проектировании. В соответствии с ОДН 218.0.032-2003 для определения предельной массы транспортного средства необходимо рассчитать конструкцию на следующие схемы (табл. 3.11.1) временной нагрузки.

Характерная особенность данной задачи заключается в том, что необходимо обеспечить расположение данной нагрузки на пролете в наиболее невыгодном положении, при этом общая база транспортных средств может превышать расчетную длину пролета, в связи с этим какие-то оси не будут размещены на пролетном строении. Либо наоборот, на пролетном строении может быть размещена часть осей от нескольких автомобилей в колонне.

Цель алгоритма:

1. Найти наиболее невыгодное положение для каждой схемы нагрузки на пролетном строении (в продольном направлении).

2. С учетом этого положения обеспечить «пробежку» нагрузки в поперечном направлении.

В данном примере рассмотрим алгоритм для генерации загружения временной нагрузкой в соответствии с ОДН 218.0.032-2003 для 3-хосного автотранспортного средства.

За основу примера будет взята расчетная схема из п. 3.8. Расчетный пролет составляет 11.1 м. Текст программы приведен ниже.

Таблица 3.11.1

Наименование схемы	Схемы эталонных транспортных средств	Общая база, м	Расст. между тс, м
Схема 2-хосных автомобилей		4	10
Схема 3-хосных автомобилей	0,6P P P 4 1,4	5,4	12
Схема 4-хосных автомобилей	0,6P P P P	10,4	18

Схемы эталонных транспортных средств (тс)

Наименование схемы	Схемы эталонных транспортных средств	Общая база, м	Расст. между тс, м
Схема 5-тиосных автомобилей	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	12,8	22
Схема 6-тиосных автомобилей	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	14,2	22
Схема 7-миосных авто- мобилей	0,6P P P P P P P P P P P P P P P P P P P	16,6	22

Продолжение табл. 3.11.1

Наихудшее положение грузов подразумевает под собой достижение максимального изгибающего момента в балке пролетного строения от внешней нагрузки. Для этих целей необходимо реализовать построение линии влияния изгибающего момента для произвольного сечения (в частном случае – для сечения в середине пролета) и загружение этой линии влияния временной нагрузкой. Программный код должен быть выполнен несколько раз для определения окончательного результата, ввиду наличия множества локальных максимумов из-за переменного количества попадающих на линию влияния осей от колонн. Общий вид линии влияния изгибающего момента представлен на рис. 3.11.1.



Рис. 3.11.1. Построение линии влияния изгибающего момента в разрезной балке Уравнения для получения ординат линии влияния:

$$\begin{cases} M_a = \frac{(I-a)^*x}{I}, \text{ при } 0 < x < a; \\ M_a = \frac{a^*(I-x)}{I}, \text{ при } a < x < I. \end{cases}$$

Необходимое (но недостаточное) условие локального максимума – положение одного из системы грузов над вершиной полигональной линии влияния. Таким образом необходимо проанализировать варианты размещения осей тележки непосредственно над вершиной с учетом того, что по ОДН схема нагрузки подразумевает под собой наличие нескольких единиц транспортных средств по длине пролета, а колонна «бесконечная». В общем случае количество и порядок размещения осей могут дать несколько схем, требующих проверки на экстремум.



Рис. 3.11.2. Первое расположение тележек на пролетном строении

#### Пример 3.11.1.

```
+PROG TEMPLATE urs:13.1
HEAD
STO#1 11.1 $Задание величины пролета
STO#x #1/2 $Задание координаты рассматриваемого сечения,
$в данном примере это середина пролета
STO#gruz 3 $Задание количества осей транспортного
$средства
STO#sxema 4,1.4,12 $Задание схемы транспортного средства
$в соответствии с табл.й 3.11.1 в виде массива данных
$ (последнее число - дистанция между автомобилями)
STO#p 0.6,1,1 $Задание массива коэффициентов к нагрузке
$на ось в соответствии с табл.й 3.11.1
STO#f(0) #x $Задание привязки к рассматриваемому сечению
$при размещении осей автомобилей на левой половине
$пролета
STO#fo(0) #x $Задание привязки к рассматриваемому
$сечению при размещении осей автомобилей на правой
$половине пролета
$Расчет расстояния между первыми парами колес 2х
$автомобилей в колонне
STO#a 0
```

LOOP#1 #gruz STO#a #a+#sxema(#1) \$Для этого примера конечное значение \$(((0+4)+1.4)+12) ENDLOOP \$Задание счетчиков для учета смещения тележек вдоль \$пролета STO#fk -1 STO#dx2 0 STO#schet 0 \$Блок программы, отвечающий за размещение транспортных \$средств на пролетном строении. В данной задаче \$используется итерационный подход для нахождения \$положений грузов. За создание итерационного процесса \$отвечает команда ITER. Принцип работы итерационного \$процесса описан в п. 2.10 +PROG TEMPLATE ITER 999 urs:19.5 LET#kol tel (div(#1/#a)+1) \$Определение количества \$тележек, которые могут разместиться на пролетном \$строении (если на пролетное строение попадает хотя бы \$одна ось транспортного средства, то тележка считается \$установленной. Например, в случае размещения на \$пролетном строении автомобиля и по одной оси от \$транспортных средств, находящихся спереди и сзади, \$количество тележек равно 3) STO#k2 0 \$Счетчик осей, попадающих на пролетное \$строение LOOP#1 #gruz\*#kol tel LET#k1 #1-div(#1/#gruz) \*#gruz \$Указатель номера ОСИ \$автомобиля. В данном случае #k1 всегда будет изменяться \$от 0 до 2 (в соответствии с количеством грузов) STO#f(#1+1) #f(#1)-#sxema(#k1) \$Размещение грузов на \$пролетном строении (на левой половине) IF #f(#1)>=0 \$Запоминание ординат осей и коэффициентов STO#k2 #k2+1 STO#coor(#k2) #f(#1) STO#nagr(#k2) #p(#k1) ENDIF ENDLOOP \$Аналогичный алгоритм для определения положения осей \$транспортного средства с правой стороны LOOP#1 #gruz\*#kol tel LET#k3 abs(#1-div(#1/#gruz) \* #gruz - #gruz + 1) STO#fo(#1+1) #fo(#1)+#sxema(#k3)
```
IF #fo(#1+1)<=#1
STO#k2 #k2+1
STO#coor(#k2) #fo(#1+1)
STO#nagr(#k2) #p(#k3)
ENDIF
$Задание начальных значений переменных для последующего
$coxpaнeния в них суммы значений
LET#sum1 0
LET#sum2 0
LET#sum2 0
LET#sum3 0
LET#sum4 0
LOOP#1 #k2
```

#### Примечание:

Тангенс угла наклона левой прямой линии влияния имеет положительное значение, правой – отрицательное. Условно это можно учесть знаком ординат в сумме – ординаты, находящиеся с левой стороны от расчетного сечения учитываются со знаком «+», а с правой стороны – со знаком «-». Ордината груза, располагающаяся прямо над рассматриваемым сечением, учитывается дважды: для суммы слева – как положительная, для суммы справа – как отрицательная. \$Сумма слева

```
IF #coor(#1+1)<=#x $Если координата оси меньше или
$равна координате рассматриваемого сечения
STO#sum1 #sum1+#nagr(#1+1)*(#x*(#1-#x)/#1)/#x
Pi^{tq}(a), tq(a) = x/y, воспользуемся рис. 3.11.1 и
$уравнением для определения ординат л.вл.
ELSEIF \#coor(\#1+1)>\#x $Если координата больше, то
STO\#sum2 \#sum2-\#nagr(\#1+1) * (\#x*(\#1-\#x)/\#1)/(\#1-\#x)
Pi^{t}(b), tg(b) = (1-x)/y
ENDIF
ENDLOOP
STO\#S1 \#sum1+\#sum2 \%CyMMa(Pi*tq(a))+CyMMa(Pi*tq(b))
$Аналогично расчет суммы справа
LOOP#1 #k2
IF #coor(#1+1)<#x
STO#sum3 #sum3+#nagr(#1+1)*(#x*(#l-#x)/#l)/#x
ELSEIF #coor(#1+1)>=#x
STO#sum4 #sum4-#nagr(#1+1) * (#x*(#1-#x)/#1)/(#1-#x)
ENDIF
ENDLOOP
STO#S2 #sum3+#sum4
$Блок программы отвчающий за поиск максимума
+PROG TEMPLATE ITER 999
$Проверка расчитанных "сумм слева и сумм справа" для
```

\$поиска максимума \$Если сумма слева или сумма справа равны 0 или сумма \$слева больше 0 и сумма справа меньше 0 или сумма слева \$меньше 0 и сумма справа больше 0 или сумма слева больше \$0 и сумма справа больше 0, то запишем положение этой \$тележки и перейдем на следующий шаг итерации IF (#s1==0) | (#s2==0) | ((#s1>0) & (#s2<0)) | \$\$ ((#s2>0)&(#s1<0))|((#s1>0)&(#s2>0))STO#schet #schet+1 \$Счетчик вариантов, удовлетворяющих \$требованию STO#k(#schet) #k2 \$Массив количества грузов в \$конкретном варианте LOOP#1 #k2 \$Цикл сохранения координат и коэффициентов \$грузов для конкретного варианта STO#x1(#1) #coor(#1+1) \$Сохранение координат грузов \$в массив STO#ng1(#1) #nagr(#1+1) *\$Сохранение коэффициентов для* \$осей в массив ENDLOOP LOOP#1 #k2 \$Расчет изгибающего момента от грузов, для конкретного \$варианта в соответствии с рис. 3.11.1 IF #x1(#1) <= #xSTO#Ma(#1) (#1-#x)\*#x1(#1)/#1 ELSE STO#Ma(#1) #x\*(#1-#x1(#1))/#1 ENDIF ENDLOOP STO#M(#schet) 0 LOOP#1 #k2 STO#M(#schet) #M(#schet)+#Ma(#1)\*#ng1(#1) \$Расчет \$суммарного изгибающего момента от грузов STO#xo(#1+100\*#schet) #x1(#1) \$Создание одномерного \$массива с положениями грузов по вариантам для \$дальнейшего анализа STO#go(#1+100\*#schet) #ng1(#1) \$Создание \$соответствующего одномерного массива коэффициентов для \$осей ENDLOOP \$Смещение нагрузки на расстояние между осями \$ (в соответствии со схемой транспортного средства) STO#fk #fk+1 STO#dx2 #dx2+#sxema(#fk-div((#schet-1)/#gruz)\*#gruz) STO#f(0) #x+#dx2

```
STO#fo(0) #x+#dx2
ENDIF
$Если первое условие не выполняется, то если сумма слева
$и сумма справа меньше 0, то аналогично считаем моменты
$и заканчиваем итерационный процесс
IF ((#s1<0)&(#s2<0))
STO#schet #schet+1
STO#k(#schet) #k2
LOOP#1 #k2
STO#x1(#1) #coor(#1+1)
STO#ng1(#1) #nagr(#1+1)
ENDLOOP
LOOP#1 #k2
IF #x1(#1)<=#x
STO#Ma(#1) (#1-#x)*#x1(#1)/#1
ELSE
STO#Ma(#1) #x*(#1-#x1(#1))/#1
ENDIF
ENDLOOP
STO#M(#schet) 0
LOOP#1 #k2
STO#M(#schet) #M(#schet)+#Ma(#1)*#ng1(#1)
STO#xo(#1+100*#schet) #x1(#1)
STO#go(#1+100*#schet) #ng1(#1)
ENDLOOP
EXIT ITERATION
                   $Конец итерационного процесса
ENDIF
$Блок для проверки максимальных моментов и поиска
$наихудшего положения тележки
+PROG TEMPLATE
STO#maxM #M(1)
                $Записывем в переменную тахМ 2ое
$значение ячейки массива моментов М
LOOP#1 #schet-1
IF #maxM<=#M(#1+2)
                    $Сравнение тахМ со следующим (Зим)
$значением массива моментов М
STO\#maxM \#M(\#1+2)
                    $Если условие выполняется, то
$присваиваем переменной maxM значение Зей ячейки массива
$моментов М
STO#kk #k(#1+2) $Присвоение переменной количества
$грузов на линии влияния в соответствии с вариантом
STO#nkb #1+2 $Счетчик для обращения к одномерным
$массивам координат грузов и коэффициентам в
$соответствии с вариантом
LOOP#2 #kk
```

STO#x1(#2) #xo(#2+100\*#nkb) \$Массив координат грузов с \$максимальным моментом STO#ng1(#2) #go(#2+100\*#nkb) \$Массив коэффициентов к \$грузам с максимальным моментом ENDLOOP ENDIF ENDLOOP \$Операции, аналогичные указанным выше, в случае если \$рассматриваемых вариантов расположения грузов всего 1 IF #schet==1 STO#maxM #M(1) STO#kk #k(1) STO#nkb 1 LOOP#2 #kk STO#x1(#2) #xo(#2+100) STO#ng1(#2) #go(#2+100) ENDLOOP ENDTE

Таблица 3.11.2

Результат работы блока программы

Координата х вдоль пролета для размещения груза, м	Коэффициент для нагрузки в соответствии с табл. 3.11.1
9.55	0.6
5.55	1.0
4.15	1.0

\$Результаты работы блока программы можно использовать \$для генерации загружения. +PROG SOFILOAD LET#lev\_zap #po\_l+#T\_lev-#sveslt+#pb\_l+#bar\_l+0.55 \$Левая зона запрета для транспортного средства LET#shag \$\$ (#gabarit-#pb\_l-#pb\_p-1.9-0.55\*2-1.1-1.9)/#polosh \$Цикл генерации "пробежки" 3-хосного транспортного \$средства LOOP#1 #polosh LC 1200+#1 TYPE Q TITL 'ODN osn 1/2' \$Генерация транспортных средств. В данном примере при \$помощи циклов будут сгенерированы одновременно 2 \$колонны в поперечном направлении loop#3 2 \$Количество колонн в поперечном направлении

```
loop#2 #kk $Количество осей, попадающих на пролетное
$строение
AREA REF AUTO TYPE PG
                       $$
P1 #Akkol*#ng1(#2) X1 #x1(#2)-#a1AK/2 $$
Y1 - (#lev zap+#shag*#1-#b1AK/2+3*#3) Z1 0 $$
P2 #Akkol*#ng1(#2) X2 #x1(#2)-#a1AK/2 $$
   -(#lev zap+#shag*#1+#b1AK/2+3*#3) Z2 0
Υ2
                                             $$
P3 #Akkol*#ng1(#2) X3 #x1(#2)+#a1AK/2 $$
   -(#lev zap+#shag*#1+#b1AK/2+3*#3) Z3 0
                                             $$
Y3
P4 #Akkol*#ng1(#2) X4 #x1(#2)+#a1AK/2 $$
    -(#lev zap+#shag*#1-#b1AK/2+3*#3) Z4 0
Υ4
AREA REF AUTO TYPE PG
                      $$
P1 #Akkol*#ng1(#2) X1 #x1(#2)-#a1AK/2 $$
Y1 - (#lev zap+1.9+#shag*#1-#b1AK/2+3*#3) Z1 0 $$
P2 #Akkol*#ng1(#2) X2 #x1(#2)-#a1AK/2 $$
   -(#lev zap+1.9+#shag*#1+#b1AK/2+3*#3) Z2 0
Y2
                                                 $$
P3 #Akkol*#ng1(#2) X3 #x1(#2)+#a1AK/2 $$
    -(#lev zap+1.9+#shag*#1+#b1AK/2+3*#3) Z3 0
Y3
                                                 $$
P4 #Akkol*#ng1(#2) X4 #x1(#2)+#a1AK/2 $$
    -(#lev zap+1.9+#shag*#1-#b1AK/2+3*#3) Z4 0
Υ4
ENDLOOP
ENDLOOP
ENDLOOP
```



Рис. 3.11.3. Первое положение транспортных средств на пролетном строении



Рис. 3.11.4. Последнее положение транспортного средства на пролетном строении

## Вопросы к главе 3

1. Какой модуль отвечает за создание поперечных сечений и материалов?

2. Какой модуль отвечает за создание расчетной схемы?

3. Какой модуль отвечает за создание нагрузки на расчетную схему?

4. В чем отличие локальных и глобальных осей координат?

5. В чем отличие регулярной сетки конечных элементов от нерегулярной?

6. За что отвечает функция reference при создании свободной нагрузки?

# ГЛАВА 4. РАБОТА С ПРОЦЕССОРАМИ SOFISTIK

# 4.1. Процессор ASE

Модуль ASE вычисляет статические и динамические составляющие загружений и учитывает их для любого вида конструкций. Перед началом расчета пользователь разбивает конструкцию на ряд элементов, соединенных в узлах (конечно-элементный метод). Доступные типы элементов: стержни с усилением, пружины, ванты, элементы ферм, плоские тре- и четырехугольные оболочки и трехмерные (solid). Граничные условия: жесткие или упругие связи. Упругие связи могут быть заданы сосредоточенными (в узлах) или распределенными (по линии или поверхности). Также могут быть учтены жесткие вставки или наклонные связи.

ASE вычисляет воздействие узловых, распределенных и комбинированных нагрузок. Нагрузки могут быть заданы вне зависимости от выбранного разбиения на конечные элементы. Возможность генерации нагрузок, вычисляемых от напряжений начального загружения, позволяет учесть стадии монтажа, перераспределение усилий и ползучесть материала. Нелинейный расчет разрешает пользователю учесть разрушение определенных элементов: отрыв (поднятие) элементов, моделирующих граничные условия, начальное несовершенство конструкции, трение или разрушение для пружин и оснований. Для объемных элементов (solid) и оболочек возможен учет нелинейных законов работы материалов (физическая нелинейность). Геометрическая нелинейность реализована как учет второго и третьего порядка точности для вант, стержней и оболочек.

Проверка результатов выполняется аппроксимированными инженерными вычислениями.

Базовая версия ASE выполняет линейный расчет балок, вант, элементов ферм, плоских и объемных конструкций.

Функционал расширенной версии ASE:

- 1. Поверхности влияния.
- 2. Нелинейный расчет.

3. Элементы свай с линейным/параболическим распределением коэффициентов пастели.

4. Ползучесть и усадка.

5. Усилия заданной стадии монтажа.

- 6. Модальный анализ, пошаговый метод.
- 7. Физическая нелинейность.
- 8. Геометрическая нелинейность.
- 9. Расчет мембран.

10. Вычисление разрушающей нагрузки.

11. Нелинейная динамика.

## Пример 4.1.1.

Алгоритм расчета в модуле ASE рассмотрим на примере 3.8.1. В данном примере было создано загружение временной нагрузкой A11. Задача данного примера – осуществить расчет пролетного строения на временную нагрузку и собственный вес. Из примера 3.10.1 загружение с нагрузкой A11 имеет начальный номер 1200, который привязан к количеству повторений #so2 в зависимости от габарита. Текст блока приведен ниже.

+PROG ASE HEAD Pacyer \$Задание типа расчета SYST PROB LINE \$Цикл формирования комбинации загружений собственным \$весом и временной нагрузкой A11 LOOP#1 #so2 LC 1+#1 DLZ 1.0 LCC 1200+#1 FACT 1.0 ENDLOOP

SYST PROB – оператор указания типа расчета.

Возможные варианты:

1. LINE – расчет в упругой стадии.

2. NONL – расчет с учетом физической нелинейностью материала.

3. TH2 – расчет в соответствии с теорией 2 порядка из Еврокода. Данный расчет подразумевает под собой учет физической нелинейности и учет первичного несовершенства конструкции, приводящего к возникновению вторичного момента. Данный расчет применяется в случае расчета ферменных элементов или колон (стоек опоры).

4. ТНЗ – расчет, позволяющий учесть физическую и геометрическую нелинейность. Данный тип расчета применяется при расчете кабельных элементов, висячих кабельных и вантовых систем.

LC – номер загружения, который будет храниться в базе данных.

DLZ – учет собственного веса относительно оси Z (отрицательное направление) на 100% (1.0). Также возможны варианты учета по осям X и Y (DLX, DLY).

LCC – добавление загружения в уже созданное загружение.

FACT – коэффициент учета дополнительной нагрузки в загружении. Если была использована нормативная нагрузка, то при помощи данной функции можно учесть коэффициенты надежности и получить в итоге расчетные нагрузки (в случае нагрузки АК ее необходимо разбить на составляющие – тележка и полосовая нагрузка. Это обусловлено различием в учете коэффициента полосности, динамических коэффициентов и коэффициентов надежности по нагрузке по разным документам (СНиП или СП)).

# 4.2. Процессор STAR

Семейство модулей STAR обеспечивает вычисление внутренних усилий в любой пространственной стержневой системе на основе теории точности второго и третьего порядков, учитывая деформацию сдвига и физическую нелинейность. Модуль ASE также позволяет осуществлять подобные расчеты, но имеет более широкий спектр применения и универсальность. Основные преимущества модуля STAR – экономия времени расчета в связи с узкой направленностью данного модуля. STAR1 – 3D версия без проектрования, STAR2 – 2D версия с проектированием, STAR3 – 3D версия с проектированием.

Расчетная система должна быть описана пользователем конечно-элементным методом.

Доступны следующие элементы:

1. Стержневой элемент-балка с прямолинейной осью и произвольным поперечным сечением. Расчет по теории точности второго порядка с учетом деформации сдвига. Учет физической нелинейности материала с помощью проведения итераций.

2. Пружина, подобно опоре-пружине и связи-пружины. Учет нелинейных эффектов, включая проскальзывание, разрушение, течение и трение.

3. Элементы ферм с учетом преднапряжения.

4. Вантовые элементы с учетом преднапряжения (возможно только растяжение).

5. Распределенный элемент связи для моделирования упругой опоры стержней.

6. Связи в случае специальных эффектов (связи стержней с учетом эксцентриситета, жесткие связи между узлами и др.).

Диски и пластины, а также объемные конечные элементы не могут быть рассчитаны с помощью модуля STAR2. Также модуль STAR2 не имеет возможности по расчету свайных фундаментов.

В узлах могут быть учтены усилия и моменты, в опорах – перемещения или повороты. К стержневым элементам могут быть приложены сосредоточенные нагрузки в любом месте стержня (силы, моменты, перемещения или повороты) с учетом эксцентриситета и линейно изменяющиеся нагрузки в виде сил, моментов, деформаций, в том числе температурных деформаций.

Случайные эксцентриситеты линейной, квадратичной и кубической вариации могут быть учтены в расчете на основе теории точности второго порядка. В дополнение, деформации ползучести и случайные эксцентриситеты могут быть вычислены от уже учтенных нагрузок.

## Пример 4.2.1.

Необходимо рассчитать металлическую стойку, выполненную из двутавра №27, на действие внешних нагрузок с учетом дополнительного эксцентриситета от действующих нагрузок. Основные размеры стойки приведены на рис. 4.2.1.

```
PROG AQUA
```

```
NORM SNIP II-23-81 $СНиП металлические конструкции
STEE 1 C 235 $Сталь марки C235
SECT 1 MNO 1
PROF '' TYPE 'GOST' Z1 27 MNO 1 $Двутавр №27
```

END PROG SOFIMSHC SYST 2D GDIR NEGX GDIV 10000 \$Плоская схема. Учет \$собственного веса по отрицательному направлению оси Х. CTRL MESH 1 \$Разбивка стержневых элементов CTRL HMIN 0.3 \$Размер конечного элемента \$Задание узлов стержня SPT NO X Y FIX 1 0 0 рхрургтхтутг \$Узел с координатами (0;0) (заделка) 2 0 8 \$Задание структурной линии и назначение на нее сечения \$под номером №1 SLN NO NPA NPE SNO 1 1 2 1 END PROG SOFILOAD HEAD Нагрузка LC 1 \$ Загружение под №1 NODE 2 TYPE PYY 35 \$Нагрузка на точку №2 NODE 2 TYPE PXX -450 PROG STAR2 НЕАD Расчет по 2 теории CTRL II 2 \$Pacчет по 2 теории. В расчете осуществляется \$2 итерации LC 1 1.0 \$Расчет загружения №1 с коэффициентом 1. END



Рис. 4.2.1. Расчетная схема металлической стойки



Рис. 4.2.2. Визуализация результатов расчета

# 4.3. Процессор TALPA

Модуль TALPA предлагает две задачи, которые могут быть заданы с помощью языка CADINP:

1. CSG – менеджер стадий монтажа в задачах геотехники позволяет обеспечить автоматическую генерацию последовательности расчета, основанную на интуитивном описании стадий монтажа.

2. FEA Конечно-элементный расчет – пошаговый расчет (стадий возведения) конечно-элементным методом.

Менеджер стадий монтажа (CSG).

С помощью CSG модуль TALPA поддерживает автоматическую генерацию последовательности расчета, основанную на интуитивном описании стадий монтажа. Сам расчет реализован в FEA.

Описание стадий монтажа основано на группах элементов и философии, что учитываются только изменения в отношении к предыдущей стадии (например, монтаж, демонтаж, изменение свойств групп элементов).

Конечно-элементный анализ (FEA).

Задача FEA модуля TALPA дает пользователю возможность линейного и нелинейного расчета напряжений и деформаций для плоских систем любой формы, загруженных в плане, а также в осесимметричных 3D конструкциях с помощью метода конечных элементов.

Для работы модулю TALPA необходима разбитая на конечные элементы система, которая хранится в базе данных.

Реализованы следующие элементы: балочные элементы, пружины, ванты, элементы фермы, а также 3-х и 4-х узловые плоские элементы.

Модуль работает с конструкциями на жестком и упругом основаниях. Упругие связи могут быть заданы как линейно распределенными, так и узловыми. В дополнение, могут быть учтены жесткие вставки и наклонные связи.

Модуль TALPA рассчитывает систему на воздействие от узловых, распределенных, объемных и температурных нагрузок. Также реализована возможность генерации нагрузок от стадий монтажа или главных напряженных состояний.

Поддерживается обширное количество нелинейных моделей материала (например, упругопластические, вязкопластические), граничные условия с нелинейностями, такими как, трение, проскальзывание.

Контроль постановки задачи осуществляется посредством реализации тестового ввода данных, позволяющего параметризацию и различные возможности по генерации данных.

В качестве результатов представлены: узловые деформации, напряжения в центре тяжести элементов и узлов, а также реакции в дополнение к исходным данным. Для модуля TALPA доступны следующие типы расчетных схем: PESS/PAIN/AXIA.

#### Пример 4.3.1.

В данном примере будет рассмотрена типовая геотехническая задача, связанная с расчетом ограждения котлована в виде стены в грунте при его откопке. Расчетная схема приведена на рис. 4.3.1. На рис. 4.3.2 представлена визуализация расчетной схемы в среде SOFiSTiK на последнем этапе откопки.



Рис. 4.3.1. Расчетная схема котлована

+PROG TEMPLATE HEAD Объявление глобальных переменных STO#T 11.0 *\$Глубина заложения пяты ограждения* STO#T1 2.0 \$Отметка откопки грунта на 1 стадии STO#T2 4.0 \$Отметка откопки грунта на 2 стадии STO#T3 6.0 \$Отметка откопки грунта на 3 стадии \$Размеры грунтового массива STO#W 25.0 \$Ширина грунтового массива STO#H 20.0 \$Высота грунтового массива STO#W TRENCH 6.0 \$Ширина котлована STO#X1 TLOAD 9.0 \$Нагрузка с левой стороны от \$котлована STO#X2 TLOAD 15.0 \$Нагрузка с правой стороны от \$котлована \$Задание распорки котлована STO#Y STRUT 1.5 \$Расстояния от поверхности грунта до \$распорки STO#C STRUT 1.5E6 \$Жесткость распорки кН/м END +PROG AQUA urs:2 HEAD Материалы NORM SNIP 20301 \$Нормативный документ СНиП 20301-84\* CONC 1 SNIP 'B30' \$Задание материала №1 бетон B30 SREC 1 H 0.8 B 1.00 MNO 1 \$Прямоугольное сечение \$h=0.8 м, b=1 м стены в грунте. let#phi 27.5 \$Задание угла внутреннего трения грунта \$через переменную let#coh 10.0 \$Задание сцепления грунта через переменную  $S\kappa H/M^2$ \$Задание характеристик грунта и указание упругой модели \$работы грунта по Мору-Кулону MAT 2 E 30000 MUE 0.3 GAM 20 GAMA 19 TITL 'TPyht' NMAT 2 MOHR P1 #phi P2 #coh P3 0 P4 0.0 \$Задание материала контактной поверхности (интерфейса) 22 E 30000 MUE 0.3 GAM 20 GAMA 19 \$\$ MAT TITL 'Интерфейс' BMAT 22 MREF 22 H 0.4 MUE tan(2/3\*#phi) \$\$ COH #coh CRAC 0.0 +PROG SOFIMSHC HEAD Расчетная схема SYST PAIN GDIV 10000 GDIR POSY CTRL MESH 2 \$Разбивка пластинчатых элементов CTRL HMIN 0.7 \$Величина конечного элемента \$Создание узлов грунтового массива

Х SPT NO Y 1 0.0 0.0 2 #W 0.0 3 #W #H 4 0.0 #H \$Создание линий контура грунтового массива NPE SLN NO NPA FIX 1 1 2 2 1 4 РΧ 3 2 3 РΧ 4 3 4 ΡY \$Создание области грунтового массива MNO 2 GRP 1 H1 0.7 \$Область с разбивкой 0.7 SAR 1 SARB OUT NL 1,2,3,4 \$Создание точек для формирования грунта откопки SPT 102 X #W TRENCH Y 0.0 SPT 201 X 0.0 Y #T1 SPT 202 X #W TRENCH Y #T1 SPT 301 X 0.0 Y #T2 SPT 302 X #W TRENCH Y #T2 SPT 401 X 0.0 Y #T3 SPT 402 X #W TRENCH Y #T3 SPT 502 X #W TRENCH Y #T \$Создание областей откопки с указанием точек областей \$грунта откопки SAR PROP GRP 11 MNO 2 \$Первая область откопки SARB OUT NA 1 102 SARB OUT NA 102 202 SARB OUT NA 202 201 SARB OUT NA 201 1 SAR PROP GRP 12 MNO 2 \$Вторая область откопки SARB OUT NA 201 202 SARB OUT NA 202 302 SARB OUT NA 302 301 SARB OUT NA 301 201 SAR PROP GRP 13 MNO 2 \$Третья область откопки SARB OUT NA 301 302 SARB OUT NA 302 402 SARB OUT NA 402 401 SARB OUT NA 401 301 \$Задание стены в грунте SLN 11 102 502 GRP 20 SNO 1 SDIV 0.15 SLNS GRP 21 REFT \*SAR MNO 22 D 0.05 \$Создание контактной поверхности

85

\$Задание распорки при помощи пружины с заданной \$жесткостью SPT 1002 X #W TRENCH Y #Y STRUT SX -1.0 SPTP CX VAL #C STRUT GRP 51 END +PROG SOFILOAD НЕАD Задание нагрузки на сооружение LC 101 TITL 'Постоянная нагрузка' TYPE PYY P1 10 0 0 P2 10 #W 0 T, TNE LC 102 TITL 'Временная нагрузка' LINE TYPE PYY P1 50 #X1 TLOAD 0 P2 50 #X2 TLOAD 0 END +PROG TALPA HEAD Pacчет стадийности возведения конструкции CSYS PROB NONL \$Задание нелинейного расчета CCRL ITER 30 0.005 \$Задание 30 итераций расчета и \$задание параметра сходимости решения 0.005 CCRL WARN 7 \$Деактивация узловой нагрузки в месте \$откопки котлована CS NO 1 TITL 'Коренная порода' \$Задание первой стадии \$расчета. Массив грунта в естественных условиях. НW 9999 \$Уровень грунтовых вод располагается CGW \$ниже массива грунта NO 1,11,12,13 ACT SITU К 0.5 \$Стадия расчета CGRP \$массива грунта в естественном залегании. Коэффициент \$бокового давления 0.5 CGRP NO 21 ACT IN ACT2 LINE \$Учет контактных \$элементов в грунтовом массиве (линейная работа) CS NO 2 TITL 'Стена в грунте' *\$Стадия №2. Установка* \$стены в грунте. NO 21 ACT MODI ACT2 FULL \$Учет контактных CGRP \$элементов в грунтовом массиве (нелинейная работа) NO 20 ACT IN \$Установка стены в массив грунта CGRP CS NO 3 TITL 'Внешняя нагрузка' \$Стадия №3. Учет внешней \$нагрузки CLOA 101,102 ОРТ АСТ \$Добавление в расчет загружений \$под номерами 101 и 102. TITL '1ый этап откопки котлована' CS NO 4 \$Стадия №4. CGRP NO 11 ACT EX \$Деактивация группы 11 CS NO 5 TITL '20й этап откопки котлована' \$Стадия №5. CCRL STEP 3 SAVE 0 \$Создание 3 промежуточных \$результатов расчета. Шаг увеличения нагрузки 0 CGRP NO 12 АСТ ЕХ *\$Деактивация группы 12* 

FACS 1.0 *\$Установка распорки* CGRP NO 51 ACT IN CS NO 6 TITL 'З этап откопки котлована' \$Стадия №5 CCRL STEP 3 SAVE 0 \$Создание 3 промежуточных \$результатов расчета. Шаг увеличения нагрузки 0 CGRP NO 13 ACT EX \$Деактивация группы 13 END +apply \$(NAME) csg.dat \$Данная строчка обязательна для \$запуска стадийного расчета. При работе данного \$алгоритма будет создан отдельный файл, в котором \$содержится информация о стадийности возведения \$конструкции, и на данный файл программа будет ссылаться \$при ее расчете.



Рис. 4.3.2. Визуализация расчетной схемы в Animator на третьей стадии откопки котлована

# 4.4. Процессор DYNA

Модуль DYNA может быть применен для статических расчетов и, в основном, для динамических расчетов пространственных конструкций.

Могут быть решены следующие задачи:

1. Статический расчет нагрузок, действующих на пространственные, плоские и осесимметричные конструкции.

2. Статический расчет нагрузок для теории точности второго порядка.

3. Вычисление собственных частот пространственных конструкций.

4. Вычисление собственных чисел пространственных конструкций.

5. Простая интеграция формул движения для конструкций пошаговым методом с демпфированием от ветровых нагрузок и от поездов.

6. Интеграция уравнений движения за счет суперпозиции форм потери устойчивости.

7. Незатухающие колебания и возбуждение через спектр.

После генерации статической системы, например модулями SOFiMSHA, SOFiMSHB или SOFiPLUS, она сохраняется в базе данных.

Следующие элементы могут быть посчитаны в модуле DYNA:

1. Массы.

2. Пространственные призматические изгибаемые балки с учетом кручения.

3. Элементы ферм и ванты.

4. Пружины, элементы, моделирующие граничные условия и FLEX-элементы.

5. Демпфирующие элементы.

6. Элементы оболочек.

7. 3D-solid элементы.

8. Сваи.

Результаты динамического анализа, включая формы мод, как перемещения и напряжения с номером загружения, сохраняются в базе данных.

Формы мод больших конструкций после выполнения расчета в модуле ASE также могут быть сохранены в базе данных.

Ограничения:

Максимальное количество нагрузок – 99999. Максимальное количество узлов – 99999. Размер задачи ограничивается размером свободной памяти.

Пример 4.4.1.

Для балки из п. 4.2 необходимо рассчитать критическую нагрузку, при которой в конструкции наступит потеря устойчивости. Расчетная схема представлена на рис. 4.4.1. Результаты расчета коэффициента потери устойчивости представлены в табл. 4.4.1.



Рис. 4.4.1. Расчетная схема

Текст программы приведен ниже: PROG AOUA NORM SNIP II-23-81 \$СНиП металлические конструкции STEE 1 С 235 *\$Сталь марки С235* SECT 1 MNO 1 \$Сечение №1, с номером материала 1 PROF '' TYPE 'GOST' Z1 27 MNO 1 \$Двутавр №27 END PROG SOFIMSHC SYST 2D GDIR NEGy GDIV 10000 \$Плоская схема. Учет \$собственного веса по отрицательному направлению оси Y. CTRL MESH 1 *\$Разбивка стержневых элементов* CTRL HMIN 0.3 \$Размер конечного элемента \$Задание узлов стержня SPT NO X Y FIX 1 0 0 рхрургтхтутг \$Узел с координатами (0;0) (заделка) 2 0 8 \$Задание структурной линии и назначение на нее \$сечения под номером №1 SLN NO NPA NPE SNO 1 2 1 1 END \$Создание внешней сжимающей нагрузки на стержень PROG SOFILOAD HEAD Нагрузка LC 1 *\$Загружение* №1 NODE 2 ТҮРЕ РҮҮ -450 \$Нагрузка на точку №2 PROG STAR2 НЕАD Расчет по упругой стадии LC 1 1.0 \$Расчет загружения №1 с коэффициентом 1. END \$Первичное задание загружения, для которого будет \$определяться критическая нагрузка. PROG DYNA LC 1 END \$Расчет форм потери устойчивости +PROG DYNA НЕАD Потеря устойчивости CTRL BETA -1 \$Не фиксируется участок потери \$устойчивоскти CTRL PLC 1 \$Номер загружения, от которого будет \$считаться потеря устойчивости CTRL WARP 0 \$Учет кручения при определении потери \$устойчивости (0- не учитывается, 1- учитывается) EIGE 5 BUCK LC 101 \$Задание расчета 5 форм потери \$устойчивости. BUCK -указание на модуль для расчета

\$потери устойчивости. LC 101- номер, в котором будут \$храниться данные о формах потери устойчивости. END

Таблица 4.4.1

№ загружения	Форма потери	Коэффициент потери
	устойчивости	устойчивости
LC 101	1	0.880
LC 102	2	7.727
LC 103	3	20.449
LC 104	4	37.387
LC 105	5	56.641

#### Коэффициент потери устойчивости

Для получения критического усилия необходимо умножить введенную нагрузку на полученный коэффициент. Для первой формы потери устойчивости критическая сила будет равна

Проверим первую форму потери устойчивости при помощи классической формулы определения критического усилия по Эйлеру:

$$\mathsf{F}_{\mathsf{kp}} = \frac{\pi^2 * \mathsf{E}^* \mathsf{I}}{(\mathsf{u}^* \mathsf{I})^2};$$

E = 206000 МПа – модуль упругости материала, из которого выполнен стержень; I =  $5.003 \times 10^{-5}$  м<sup>4</sup> – момент инерции сечения стойки;  $\mu$  = 2 –

коэффициент приведенной длины (для заделки со свободным концом равен 2); I = 8 м – длина стойки.



Рис. 4.4.2. Геометрические характеристики сечения стойки

0.000

0.000

79231

1.278E-07 1.593E-03 2.714E-06

$$\mathsf{F}_{\mathsf{kp}} = \frac{3.14^2 * 20600000 * 5.003 * 10^{-5}}{\left(2^* 8\right)^2} = 396.93 \text{ kH}.$$

Погрешность вычисления составляет менее 1%, что является достаточным для выполнения инженерных расчетов.

# Вопросы к главе 4

1. Для расчета каких конструкций предназначен модуль STAR2?

2. Какого основное предназначение расчетного модуля TALPA?

3. Возможен ли расчет собственных частот в расчетном комплексе DYNA?

# ГЛАВА 5. ОСНОВЫ РАБОТЫ С ПОСТПРОЦЕССОРАМИ SOFISTIK

## 5.1. Работа с базой данных SOFiSTiK

В данном разделе будут рассмотрены два примера:

1. Получение деформаций в элементах конструкции.

2. Получение напряжений в элементах конструкции.

Команды доступа к данным, хранящиеся в базе данных, описаны в файле cdbase.chm.

@KEY KWH KWL [SEL1 SEL2 SEL3 SEL4 SEL5 SEL6 IERR]

Выбирает индекс доступа KWH/KWL в соответствии с описанием cdbase.chm.

KWH – это 8-символьный идентификатор;

KWL – это факультативное число (например, номер нагрузки или номер разреза/раздела).

Значения KWL и диапазон свойств, задающийся при помощи оператора «SEL1-SEL6», предустановленны автоматически.

В особых случаях можно указать факультативное правило для фильтра, представляющее собой ключевые значения диапазона SEL1-SEL6, состоящие из шести целых чисел или четырех символов (в том числе литералы). На местах ключевых значений, которые не имеют важности или будут определены в функции доступа, должно стоять значение 1. Ключи соответствуют целочисленным позициям в базе данных. В базе данных должен существовать индекс записей. Иначе произойдет ошибка. Позиция считывания устанавливается в начале индекса. Если указан номер переменной для IERR (например, 999), то ее значение будет положительной величиной, если данный ключ существует. Если определена переменная #CDB\_IER, то в ней будет содержаться то же число.

Доступ к записи осуществляется с помощью арифметической функции @(), как особого вида арифметического выражения:

@(позиция+смещение) или @(номер,позиция+смещение).

Из базы считывается следующая запись, в результате передается фильтр @KEY, который во втором случае изменяется параметром «номер» по позиции последнего определенного KEYi. Значение выражения – это сохраненные данные под именем «позиция» или, если позиция – это число, значение в позиции относительно последнего выбранного значения фильтра. Значения 0 и отрицательные значения возвращают целочисленные значения выбранных ключей. Доступ к индексу массива осуществляется через параметр «смещение». Функция доступа начинает с текущей позиции. Если осуществляется доступ к той же или меньшей позиции, CDBASE прочитает следующую запись. При достижении символа конца файла возникает ошибка, если используется форма @(позиция), а при использовании формы @(номер,позиция) запускается новый цикл, и функция переходит к началу.

Также можно указать две переменные состояния. Если эти переменные определены как неотрицательные, результирующие значения будут помещаться в них, и не будет выводиться значений об ошибке.

CDB\_LEN – длина записи;

CDB\_IER – признак ошибки;

(0=ok, 1=слишком короткая запись, 2=конец\_файла, 3=ключ\_не\_ определен). Это необходимо для того, чтобы программа не вошла в бесконечный цикл.

1. Алгоритм получения максимальных деформаций в элементах конструкции (пластина):

а. Запрос из базы данных расчета начального и конечного номера элементов группы, в которой необходимо запросить деформации;

b. Запрос номеров узлов всех конечных элементов;

с. Для каждого узла запрашиваются деформации, относительно глобальной оси z;

d. Определение узла с максимальной деформацией.

Пример 5.1.1.

Код программы, позволяющий получить максимальный прогиб в пластинчатом элементе.

+PROG TEMPLATE urs:18.1

HEAD

@KEY KWH GRP KWL 0 SEL1 4 SEL2 200

\$Присвоение минимального и максимального номера

\$переменным для определения числа конечных элементов в \$запрашиваемой группе

STO#minnomer @MIN

STO#maxnomer @MAX

LET#schet #maxnomer-#minnomer+1

LOOP#1 (#maxnomer-#minnomer+1)

@KEY QUAD

\$Присвоение переменным номеров узлов конечного элемента STO#npl(#1) @((#minnomer+#1),node)

STO#np1(#schet+#1) @((#minnomer+#1), node+1)

STO#np1(#schet\*2+#1) @(((#minnomer+#1), node+2)

STO#np1(#schet\*3+#1) @(((#minnomer+#1), node+3)

ENDLOOP

LOOP#1 (#maxnomer-#minnomer+1)\*4

@KEY N\_DISP 1

\$Присвоение переменным перемещений узлов относительно \$оси z

STO#p disp(#1) @(#np1(#1),uz)

ENDLOOP

LET#N disp #p disp(0)

LOOP#1 (#maxnomer-#minnomer+1)\*4-1 \$Поиск максимального прогиба среди всех узлов IF ABS(#N\_disp)<=ABS(#p\_disp(#1+1))

LET#N\_disp #p\_disp(#1+1)

ENDIF

ENDLOOP

ENDLOOP

LET#max\_disp #N\_disp

@KEY KWH GRP KWL 0 – запрос к базе данных для получения информации по группам элементов;

SEL1 4 – указание номера группы;

SEL2 200 — тип запрашиваемых элементов: 200-пластины, 100-стержни, 0-узлы;

@KEY QUAD – запрос данных по пластинчатым элементам;

@KEY N\_DISP – запрос перемещений узлов по номеру загружения.

2. Алгоритм получения максимальных и минимальных напряжений в элементах конструкции (пластина):

а. Запрос из базы данных расчета начального и конечного номеров элементов группы, в которой необходимо определить напряжения.

b. Запрос толщины элемента.

с. Запрос усилий, возникающих в данном элементе. К сожалению, в SOFiSTiK невозможно напрямую запросить напряжения по каждому элементу, поэтому в соответствии с предлагаемым разработчиками алгоритмом их можно рассчитать.

d. Расчет напряжений.

е. Поиск минимальных и максимальных напряжений.

## Пример 5.1.2.

Код программы, позволяющий получить максимальные и минимальные напряжения в пластинчатом элементе.

+PROG TEMPLATE

@KEY KWH GRP KWL 0 SEL1 2 SEL2 200

\$Присвоение минимального и максимального номера

\$переменным для определения числа конечных элементов в \$запрашиваемой группе

LET#proba @NUM

LET#probal @MIN

LET#proba2 @MAX

STO#cikl #proba2-#proba1+1

LOOPO#nr #cikl \$Определение номеров элементов, которые принадлежат \$выбранной группе, для последующего запроса усилий в этих \$элементах STO#noerob #probal+#nr \$Запрос толщины каждого из элемента, принадлежащего \$группе **@KEY QUAD** LET#hp 0 LET#hp @(#noerob, THICK) if #hp>0 \$Запрос усилий по каждому элементу **@KEY QUAD FOR 1** \$Запрос изгибающего момента относительно локальной \$оси х LET#mxx(#nr) @(#noerob,mxx) \$Запрос изгибающего момента относительно локальной \$оси у LET#myy(#nr) @(#noerob, myy) \$Запрос крутящего момента LET#mxy(#nr) @(#noerob, mxy) \$Запрос мембранной продольной силы относительно локальной \$оси х LET#nx(#nr) @(#noerob,nx) \$Запрос мембранной продольной силы относительно локальной \$оси у LET#ny(#nr) @(#noerob,ny) \$Запрос мембранной сдвиговой силы LET#nxy(#nr) @(#noerob, nxy) \$Расчет момента инерции элемента (расчет на 1 п.м.) LET#i(#nr) 1.\*#hp\*#hp/12 \$Расстояние от центра тяжести сечения до верхней кромки \$сечения LET#zt(#nr) -1\*#hp/2 \$Расстояние от центра тяжести сечения до нижней кромки \$сечения LET#zb(#nr) +1\*#hp/2 \$Расчет напряжений на уровне центра тяжести LET#zx(#nr) 0\$Расчет нормальных напряжений относительно локальной \$оси х LET#sigx(#nr) (#nx(#nr)/#hp+#mxx(#nr)/#i(#nr)\*#zx(#nr))/1000 \$Расчет нормальных напряжений относительно локальной

```
$оси у
LET#siqv(#nr)
(#ny(#nr)/#hp+#myy(#nr)/#i(#nr)*#zx(#nr))/1000
$Расчет касательных напряжений
LET#tauxy(#nr) #nxy(#nr)/#hp/1000
ENDIF
ENDLOOP
$Поиск максимальных и минимальных напряжений
STO#maxsigx #sigx(0)
STO#maxsigy #sigy(0)
STO#maxtauxy #tauxy(0)
STO#minsigx #sigx(0)
STO#minsigy #sigy(0)
STO#mintauxy #tauxy(0)
LOOP#1 #cikl-1
IF (\# sigx(\#1+1)) >= (\# maxsigx)
STO#maxsigx #sigx(#1+1)
ENDIF
IF (\#siqv(\#1+1)) >= (\#maxsiqv)
STO#maxsigy #sigy(#1+1)
ENDIF
IF (\# tauxy(\#1+1)) >= (\# maxtauxy)
STO#maxtauxy #tauxy(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
LOOP#1 #cikl-1
IF (#siqx(#1+1)) <= (#minsiqx)</pre>
STO#minsigx #sigx(#1+1)
ENDIF
IF (#sigy(#1+1)) <= (#minsigy)</pre>
STO#minsigy #sigy(#1+1)
ENDIF
IF (#tauxy(#1+1)) <= (#mintauxy)</pre>
STO#mintauxy #tauxy(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
```

## 5.2. Формирование графической части отчета

Модуль WinGRAF – графический постпроцессор для отображения результатов КЭ-решателей и других модулей SOFiSTiK при работе с базой данных CDBASE (например, SEPP, TALPA, ASE, STAR2, MAXIMA, BEMESS, AQB, DYNA, PFAHL, HASE или HYDRA). Модуль позволяет графически представить практически всю информацию, сохраненную в базе данных. В частности: 1. Конструкции:

а. Элементы и узлы с/без нумерации.

b. Граничные условия.

с. Упругие основания.

d. Поперечные сечения и их геометрические характеристики.

е. Характеристики материалов.

f. Локальные координатные оси.

2. Результаты:

а. Главные напряжения и моменты, а также нормальные напряжения (для плоских конструкций в соответствии с масштабом и направлением).

b. Нагрузки узловые и на элементы.

с. Напряжения, деформации и ширина трещин при нелинейной постановке задачи.

d. Векторы ускорений.

е. Деформированное состояние конструкций.

f. Изгибные формы конструкции.

g. Внутренние усилия и деформации для стержневых и балочных конструкций.

h. Линии влияния.

і. Нагрузки на стержни.

ј. Жесткости стержней.

к. Максимальные напряжения.

I. Армирование.

3. Графическое отображение результатов может быть исполнено в различной форме в зависимости от способа вывода результатов:

а. Линии, вектора с заданной длиной.

b. Цифровое отображение.

с. Символы.

d. Линии – для стержневых и балочных конструкций.

е. Изолинии.

f. Шаблоны отображения изолиниями или изополями.

Чертежи состоят из листов, картинок и слоев. Каждый слой содержит такие элементы чертежа, как вектора, линии, текст и т.п. Картинка может включать один и более слоев, которые могут накладываться друг на друга. Лист включает в себя одну или более картинок.

## Пример 5.2.1.

Формирование графического отчета рассмотрим на примере задачи 3.8.1. Предварительно выполнен расчет пролетного строения на временную нагрузку A11. В графический отчет включаем два положения нагрузки (первый и последний), эпюры изгибающего момента в ребрах главных балок и поперечной силы, а также изополя изгибающего момента в плите балок пролетного строения. +PROG WING

HEAD Результаты -LP 50 SLEG 1.0 SPLI 2x1 \$Задание формата печати SIZE \$для лазерного принтера с масштабом 50%. Высота, \$зарезервированная под легенду 1 см. Количество \$размещаемых эпюр на листе 2. \$Задание плоского вида для отображения VIEW EGXY \$нагрузки LC 1200 \$Вывод в отчет загружения с первым положением \$нагрузки LOAD SCHH 0.25 \$Размер шрифта для отображения числовых \$значений 0.25 см LC 1200+#so2-1 \$Вывод в отчет загружения с последним \$положением нагрузки LOAD SCHH 0.25 \$Размер шрифта для отображения числовых \$значений 0.25 см view EG3 \$Задание пространственного вида для \$отображения результатов LC 1 \$Указание номера первого загружения для получения \$эпюр BEAM MY SCHH 0.25 STYP BEAM FILL VERT \$Bubog momenta \$для балочных элементов. Размер шрифта числовых значений \$0.25 см. Тип элементов балочный. Вертикальная заливка \$градиентом. LC 1+#so2-1 \$Указание номера первого загружения для \$получения эпюр BEAM MY SCHH 0.25 STYP BEAM FILL VERT \$Вывод момента \$для балочных элементов. Размер шрифта числовых значений \$0.25 см. Тип элементов балочный. Вертикальная заливка \$градиентом \$Указание номера первого загружения для получения LC 1 \$эпюр BEAM VZ SCHH 0.25 STYP BEAM FILL VERT \$Вывод поперечной \$силы для балочных элементов. Размер шрифта числовых \$значений 0.25 см. Тип элементов балочный. Вертикальная \$заливка градиентом LC 1 + # so 2 - 1\$Указание номера первого загружения для \$получения эпюр BEAM VZ SCHH 0.25 STYP BEAM FILL VERT \$Вывод поперечной \$силы для балочных элементов. Размер шрифта числовых \$значений 0.25 см. Тип элементов балочный. Вертикальная \$заливка градиентом LC 1 \$Указание номера первого загружения для получения \$эпюр

QUAD TYPE MY FILL AREA SCHH 0.25 REPR DISO STYP QUAD \$Вывод изгибающего момента для ж/б плиты. Размер шрифта \$0.25 см. Тип элементов пластинчатые. Заливка градиентом. LC 1+#so2-1 \$Указание номера первого загружения для \$получения эпюр

QUAD TYPE MY FILL AREA SCHH 0.25 REPR DISO STYP QUAD \$Вывод изгибающего момента для ж/б плиты. Размер шрифта \$0.25 см. Тип элементов пластинчатые. Заливка градиентом.

Результаты работы алгоритма представлены на рис. 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4.



Рис. 5.2.1. Вывод загружений



Рис. 5.2.2. Эпюры изгибающего момента в главных балках











## Рис. 5.2.4. Эпюры изгибающего момента в ж/б плите пролетного строения

## 5.3. Формирование текстового файла отчета

Любой поясняющий текст может быть добавлен к блоку ввода инструкциями ТХВ и ТХЕ, как перед анализом (ТХВ), так и после него (ТХЕ). Число строк неограниченно. Для обеих этих инструкций можно вставить более крупные фрагменты текста между инструкциями <TEXT>...</TEXT>, а также картинки между инструкциями <PICT> и </PICT>. Вставка доступна для растровых картинок форматов .bmp и .jpg. Однако картинка недопустима внутри блока <TEXT>...</TEXT>. Строки TXB/TXE не должны вводиться в апострофах. Внутри текста переменные вида #(переменная, dd) будут заменены их текущими значениями с использованием формата dd.

НТМL компоненты могут быть использованы внутри текста. Компонент начинается со знака <, за которым не следует знак пробела или другой знак <. Известные компоненты будут интерпретированы, а неизвестные – пропущены. Программа SOFiSTiK знает следующие компоненты:

<FF> Новая страница

<LF> Пустая строка

**<b>....</b>** Жирный шрифт

<i>....</i>Курсив

<u>....</u> Подчеркнутый шрифт

## Пример 5.3.1.

Для примера 3.8.1. Осуществим вывод основных данных при помощи параметрического ввода.

```
ТХВ <b>Исходные данные</b>
```

```
ТХВ Ширина левого перильного ограждения #(#po 1,.2) м
ТХВ Ширина правого перильного ограждения #(#po p,.2)м
ТХВ Ширина левого барьерного ограждения #(#bar 1,.2)м
ТХВ Ширина правого барьерного ограждения #(#bar p,.2)м
TXB Ширина левого тротуара #(#sveslT+#levT,.2) м
TXB Ширина правого тротуара #(#svespT+#pravT,.2) м
ТХВ Габарит проезжей части #(#qabarit,.2) м
ТХВ Ширина левой полосы безопасности #(#pb 1,.2) м
ТХВ Ширина правой полосы безопасности
                                       #(#pb р,.2) м
ТХВ <b>Конструкция дорожной одежды на тротуарах</b>
TXB Выравнивающий слой h=#(#vbiravt,.2) м
TXB Гидроизоляционный слой h=#(#qidroizolt,.2) м
TXB Защитный слой h=#(#zawitt,.2) м
TXB Асфальтобетонное покрытие h=#(#asfalitt,.2) м
ТХВ Конструкция дорожной одежды на проезжей части
ТХВ Выравнивающий слой h=#(#vbirav,.2) м
ТХВ Гидроизоляционный слой h=#(#gidroizol,.2) м
```

ТХВ Защитный слой h=#(#zawit,.2) м TXB Асфальтобетонное покрытие h=#(#asfalit,.2) м ТХВ <b>Нагрузки</b> ТХВ Расчет с коэффициентами по СНиП 2.05.03-84\* TXB Нормативная тротуарная нагрузка: #(#tratn,.2) кН/м^2 TXB Расчетная тротуарная нагрузка: #(#trat,.2) кH/м^2 ТХВ Нормативная нагрузка от барьерного ограждения: #(#bariern,.2) кН/м ТХВ Расчетная нагрузка от барьерного ограждения: #(#barier,.2) кН/м ТХВ Нормативная нагрузка от перильного ограждения: #(#perilan,.2) кH/м ТХВ Расчетная нагрузка от перильного ограждения: #(#perila,.2) кH/м ТХВ Нормативная нагрузка от тротуарного блока #(#PlevT n,.2) кH/м^2 ТХВ Расчетная нагрузка от тротуарного блока #(#PlevT p,.2) кH/м^2 TXB ТХВ <b>Коэффициенты надежности по нагрузке</b> ТХВ Коэффициент надежности для тележки нагрузки АК: #(#gam AKt, .2) ТХВ Коэффициент надежности для полосовой нагрузки АК: #(#gam AKp, .2) ТХВ Коэффициент надежности для тротуарной нагрузки: #(#gam t, .2)ТХВ Коэффициент надежности для тележек (ОДН 218.0.032-2003): #(#gam AKt ТХВ Коэффициент полосности для полосовой нагрузки АК: 0.6 ТХВ <b>Динамические коэффициенты</b> ТХВ Динамический коэффициент для тележек (ОДН 218.0.032-2003): #(#mue A ТХВ Динамический коэффициент для тележки АК: #(#mue AK,.2) ТХВ Динамический коэффициент для полосовой нагрузки АК: #(#mue AKt, .2)

#### Вопросы к главе 5

1. Какой модуль отвечает за графическое представление информации о результатах расчета?

2. Какой модуль отвечает за вывод и распечатку отчетов?

# ГЛАВА 6. ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА SOFISTIK ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

# 6.1. Определение класса пролетного строения по грузоподъемности

Данный пример является компиляцией материала, рассмотренного в разделах, размещенных выше. В качестве примера рассмотрим программу определения класса сооружения по грузоподъемности. Данный пример представлен для самостоятельного ознакомления и не содержит пояснительных комментариев.

Поперечное сечение пролетного строения представлено на рис. 6.1.1. Пролетное строение состоит из 6 главных балок, выполненных по типовому проекту 56Д, расчетный пролет 11.1 м. Год строительства сооружения 1968. Нормативные нагрузки Н-30 и НК-80. Расчетные нагрузки АК и НК. Схема нумерации главных балок представлена на рис. 6.1.2.



Рис. 6.1.1. Поперечное сечение пролетного строения



Рис. 6.1.2. Схема нумерации главных балок

В соответствии с ВСН 55-81 «Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов» грузоподъемность определяется как минимальное значение из множества классов элементов

 $K = min\{K_i\}$ .

Для элемента «i» (в данном случае главные балки пролетного строения) вычисляются по формуле

$$\mathsf{K}_{\mathsf{i}} = \frac{[\mathsf{S}]_{\mathsf{i}} - \mathsf{S}_{\mathsf{i}\sum \mathsf{q}} - \mathsf{S}_{\mathsf{is}}}{\overline{\mathsf{S}_{\mathsf{ie}}}},$$

где К<sub>i</sub> – класс элемента «i»; [S]<sub>i</sub> – предельное обобщенное усилие, воспринимаемое сечением элемента «i»; S<sub>i∑q</sub> – усилие от первой и второй частей постоянных нагрузок; S<sub>is</sub> – усилие от сопутствующей нагрузки (для нагрузки АК это толпа, для НК нагрузка не предусмотрена); S<sub>ie</sub> – усилие от эталонной нагрузки.

В соответствии с данной методикой класс временных нагрузок в данном примере будет задан 1.

Так как вопрос определения грузоподъемности встает при обследовании существующих пролетных строений, то в расчете также необходимо учитывать дефекты, которые приводят к снижению грузоподъемности, в данном примере таким дефектом является коррозия рабочей арматуры главных балок. Коррозия арматуры составляет 1 мм по диаметру каждого стержня.

Пример 6.1.1.

#### Блок программы на языке CADINP.

+PROG AQUA urs:1 NORM SNIP 20301 CONC 1 SNIP 'B20' SECT 1 MNO 1 TITL "56D 11.36" POLY TYPE O MNO 1 \$Параметрическое описание сечения ребра главной балки \$выпуска 56Д VERT '0100' Y 95/1000 Z 650/1000 EXP 1 VERT '0101' Y -95/1000 Z 650/1000 EXP 1 VERT '0102' Y -137.5000/1000 Z 30/1000 EXP 1 VERT '0103' Y -167.5000/1000 Z 0/1000 EXP 1 VERT '0104' Y 167.5000/1000 Z 0/1000 EXP 1 VERT '0105' Y 137.5000/1000 Z 30/1000 EXP 1 VERT '0100' Y 95/1000 Z 650/1000 EXP 1 LET#Rb 11.75\*1000 \$Расчетное сопротивление бетона осевому \$сжатию, кН/м2 LET#Rsn 300\*1000 \$Нормативное сопротивление растянутой \$арматуры, кН/м2 LET#Rsnc 300\*1000 \$Нормативное сопротивление сжатой \$арматуры, кН/м2 LET#m koef 0.95 \$Коэффициент условия работы, учитывающий \$длительность эксплуатации (по ВСН 51-88) LET#gamf 1.13 \$Коэффициент надежности по арматуре LET#Rs (#Rsn\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$растянутой ненапрягаемой арматуры LET#Rsc (#Rsnc\*#m koef)/#gamf \$Pacчетное сопротивление \$сжатой ненапрягаемой арматуры #DEFINE cross \$Объявление начала блока cross с целью

\$упрощения дублирования информации о сечениях, в данный \$блок попадает информация идентичная для остальных \$балок LET#h f 0.27 \$Приведенная высота наиболее сжатого пояса \$таврового сечения LET#h 0.8 \$Высота балки LET#bf bal 0.19 \$Ширина ребра \$Величина коррозии рабочей арматуры по LET#kor 0.001 \$диаметру [м] LET#k riad 4 \$Количество рядов арматуры ТХВ Класс бетона В22,5 ТХВ Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию #(#Rb,.2) кH/м^2 TXB ТХВ Класс арматуры A-II TXB Pacyethoe conpotublehue арматуры #(#Rs, .2)  $\kappa H/m^2$ TXB ТХВ Высота балки h= #(#h,.2) м TXB Ширина ребра b= #(#bf bal,.2) м ТХВ Приведенная высота наиболее сжатого пояса таврового сечения hf= #(#h f,.2) м ТХВ Ширина плиты балки пролетного строения bf= #(#b bal,.2) м TXB \$Создание массивов данных об армировании \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n st 2,2,2,2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в каждом ряду LET#D st 0.032-#kor,0.032-#kor,0.032-#kor,0.032-#kor \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rast 0.045,0.079,0.113,0.147 \$Расчет площади растянутой арматуры LET#As 0 loop#1 #k riad LET#As #As+#pi\*(#D st(#1)^2)/4\*#n st(#1) \$Площадь ненапрягаемой растянутой арматуры ENDLOOP ТХВ Коэффициент условия работы (по BCH 51-88) #(#m koef,.4) ТХВ Площадь растянутой арматуры #(#As,.4) м^2 TXB Армирование ͲХΒ Растянутое армирование TXB Количество Диаметр, Расстояние от ц. TXB стержней MM тяжести

TXB до нижней грани, мм LOOP#1 #k riad TXB #(#n st(#1),5) #(#D st(#1)\*1000,10) #(#rast(#1)\*1000,20)ENDLOOP \$Сжатая арматура LET#k riadc 1 \$Количество рядов арматуры \$Количество стержней арматуры в одном ряду LET#n stc 2 \$Диаметр [м] стержней арматуры в ряду LET#D stc 0.032-#kor \$Расстояние [м] от нижней грани сечения до центра \$тяжести арматурного ряда LET#rastc 0.745 \$Расчет площади сжатой арматуры LET#Asc 0 loop#1 #k riadc LET#Asc #Asc+#pi\*(#D stc(#1)^2)/4\*#n stc(#1) \$Площадь \$ненапрягаемой сжатой арматуры ENDLOOP TXB Армирование TXB Сжатое армирование ТХВ Количество Расстояние от ц. Диаметр, TXB стержней MM тяжести TXB до нижней грани, мм LOOP#1 #k riadc TXB #(#n stc(#1),5) #(#D stc(#1)\*1000,10) \$\$ #(#rastc(#1)\*1000,20) ENDLOOP \$Расчет предельного момента сечения \$Определение расстояния от центра тяжести растянутой \$ненапрягаемой арматуры до ближней грани LET#a s1 0 LET#a s2 0 LOOP#1 #k riad LET#a s1 #a s1+#rast(#1)\*(#D st(#1)^2) LET#a s2 #a s2+(#D st(#1)^2) ENDLOOP LET#a s #a s1/#a s2 \$Определение высоты сжатой зоны IF (#As\*#Rs-#Asc\*#Rsc) <= #h f\*#b bal\*#Rb</pre> STO#Bx #b bal ELSE STO#Bx #bf bal
LET#Xr #h f-(#b bal\*#h f-(#As\*#Rs-#Asc\*#Rsc)/#Rb)/#Bx LET#Mpred(#sect) (#b bal\*#h f\*(#h-#h f/2)+#Bx\*\$\$ (#Xr-#h f)\*(#h-(#h f+#Xr)/2))\*#Rb \$Расчет коэффициентов условия работы для учета положения \$арматуры в сечении \$Условие для определения коэффициента таб для арматуры \$при ее расположении выше, чем 1/5 высоты растянутой зоны \$ (в соответствии с п.3.42\* СНиП 2.05.03-84\* "Мосты и \$трубы"). LOOP#1 #k riad IF #rast(#1) <= (#h-#Xr) /5 LET#ma6 1 ELSE LET#ma6 1.1-0.5\*#rast(#1)/(#h-#Xr) ENDIF STO#Mpred(#sect) #Mpred(#sect)-#pi\*(#D st(#1)^2)/4\*\$\$ #Rs\*#rast(#1) \*#ma6\*#n st(#1) ENDLOOP LOOP#1 #k riadc \$Определение предельного момента STO#Mpred(#sect) #Mpred(#sect)+#pi\*(#D stc(#1)^2)/4\*#Rsc\*#rastc(#1)\*\$\$ #n st(#1) ENDLOOP ТХВ Предельный момент сечения \$\$ Мпред= #(#Mpred(#sect),.2) кH\*м TXB Коррозия арматуры по диаметру #(#kor,.3) мм ТΧВ TXB #ENDDEF \$Конец блока cross ТХВ Балка № 1 STO#b bal(0) 1.57 \$Ширина плиты балки №1 пролетного \$строения LET#sect 1 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross ТХВ Балка № 2 STO#b bal(1) 1.66 \$Ширина плиты балки №2 пролетного \$строения LET#sect 2 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross ТХВ Балка № 3 STO#b bal(2) 1.67 \$Ширина плиты балки №3 пролетного \$строения

ENDIF

LET#sect 3 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross ТХВ Балка № 4 STO#b bal(3) 1.675 \$Ширина плиты балки №4 пролетного \$строения LET#sect 4 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross ТХВ Балка № 5 STO#b bal(4) 1.67 \$Ширина плиты балки №5 пролетного \$строения LET#sect 5 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross ТХВ Балка № 6 STO#b bal(5) 1.575 \$Ширина плиты балки №6 пролетного \$строения LET#sect 6 \$Индекс номера балки #INCLUDE cross \$Объявление переменных +PROG TEMPLATE urs:2 STO#toch 3 \$Количество точек по длине пролета (1-начало, \$2- середина пролета, 3- конец пролета) STO#kolt 13 \$Количество линий точек в поперечном \$направлении STO#1 11.1 \$Pacчетная длина пролета STO#n 6 \$Количество балок в поперечном сечении \$Создание массива толщин плиты главных балок. В \$поперечном направлении количество участков плит равно \$(kolt-1). STO#tol 0.27,0.27,0.27,0.27,0.27,0.27 \$\$ 0.27,0.27,0.27,0.27,0.27,0.27 \$Создание массива номеров материалов для плит главных \$балок. STO#mat 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 \$Создание массива номеров групп для плит главных балок. STO#grp 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6 \$Создание массива номеров групп для главных балок. STO#grpb 1,1 \$\$ группа №1 2,2 \$\$ группа №2 3,3 \$\$ группа №3 4,4 \$\$ группа №4 5,5 \$\$ группа №5 6,6 \$ группа №6 \$Создание массива ординат Z центров тяжести ребер главных

\$балок

109

STO#zek -0.438,-0.438,-0.438,-0.438,-0.438,-0.438 \$Создание массива ординат Х по длине пролета для каждой \$линии точек STO#A 0,5.55,11.1 \$Создание массива ординат Ү STO#Bp 0,-0.75,-1.57,-2.39,-3.23,-4.07,-4.9,-5.73,\$\$ -6.575, -7.42, -8.245, -9.07, -9.82 \$Создание массива ординат У главных балок LOOP#1 #n STO#rastbalk(#1) #Bp(1+2\*#1) ENDLOOP \$Создание массива номеров поперечных сечений главных \$балок STO#s ech 1,1 \$\$ балка 1 1,1 \$\$ балка 2 1,1 \$\$ балка 3 1,1 \$\$ балка 4 1,1 \$\$ балка 5 1,1 \$ балка б \$Параметрическая модель расчетной схемы urs:3 PROG SOFIMSHC HEAD Расчетная схема \$Задание параметров системы (spac- 3D пространственная \$cxema, GDIV - group divisor, максимальное количество \$элементов в группе 100000, GDIR- gravity direction, \$neqZ на-правление учета собственного веса относительно \$отрицательной оси Z) SYST spac GDIV 100000 GDIR negZ \$Разбиение пластинчатых элементов CTRL MESH 2 \$Задание размеров конечного элемента val, v2- размер \$конечного элемента в узлах CTRL HMIN VAL 0.3 V2 0.3 \$Задание количества строк в содержании цикла \$(1024 строки) STO#loopsize 1024 \$Задание начальных значений для счетчиков (#per -\$начальный номер узла. Номер узла мо-жет быть любым \$положительным числом) LET#per 1 \$Первый номер узла \$Цикл генерации узлов плит главных балок. LOOP#m #kolt\*#toch LET#f div(#m/#toch) SPT NO X Y Z FIX

#per+#f\*(90-#toch)+#m #A(#m-#toch\*#f) #Bp(#f) 0 ENDLOOP \$Цикл генерации узлов главных балок. LET#per 1830\*3+1 LOOP#m #n\*#toch let#f div(#m/#toch) LET#zak ' ' \$Свобода всех перемещений IF MOD(#m/#toch) == 0LET#zak 'pypzmz' \$Шарнирно-подвижная опорная часть ENDIF IF div(#m/(#toch-1+#toch\*#f))==1 LET#zak 'pxpypzmz' \$Шарнирно-неподвижная опорная часть ENDIF SPT NO X Y Z FIX #per+#f\*(90-#toch)+#m #A(#m-#toch\*div(#m/#toch)) #rastbalk(#f) #zek(#f) #zak ENDLOOP \$Цикл генерации поперечных линий для формирования \$контуров плит пролетного строения. LOOP#1 #toch LOOP#2 #kolt-1 SLN NO NPA NPE GRP 1+#2+#1\*90 1+#2\*90+#1 91+#2\*90+#1 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации продольных линий для формирования \$контуров плит пролетного строения. LOOP#1 #kolt LOOP#2 #toch-1 SLN NO NPA NPE 1+#2+#1\*90 2+#2+#1\*90 5000+#2+#1\*90 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации главных балок и назначение на них \$соответствующего сечения при обработке массива номеров \$поперечных сечений для ребер главных балок. Объединение \$ребер главных балок с плитой в совместную работу (при \$помощи совместных перемещений) LET#nb -1 LOOP#1 #n LOOP#2 #toch-1 LET#nb #nb+1 let#b #s ech(#nb) SNO GRP SLN NO NPA NPE

10000+#2+#1\*90 5490+1+#2+#1\*90 5490+2+#2+#1\*90 \$\$ #b #arpb(#nb) \$Объединение ребра главной балки (стержня) с линией, \$принадлежащей плите, и объявление совместных перемещений \$по всем степеням свободы при помощи каманды fix SLNS GRP 50 FIX PXPYPZMYMZMX REF 5090+#2+(#1)\*180 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл генерации плит главных балок LOOP#1 #toch-1 LOOP#2 #kolt-1 SAR 1+#1+#2\*90 MNO #mat(#2) T #tol(#2) GRP #grp(#2) SARB OUT NL 5000+#1+#2\*90,1+#1\*90+#2,5090+#1+#2\*90,91+#1\*90+#2 ENDLOOP ENDLOOP END +PROG TEMPLATE urs:4 STO#po 1 0.12 \$Ширина перильного ограждения слева STO#po p 0.1 *\$Ширина перильного ограждения справа* STO#T lev 1.0 \$Ширина тротуара слева STO#T prav 1.1 *\$Ширина тротуара справа* STO#bar 1 0.25 \$Ширина барьерного ограждения слева STO#bar p 0.25 *\$Ширина барьерного ограждения справа* STO#sveslt 0.46 \$Ширина свеса тротуара слева STO#qabarit 8.0 *\$Габарит проезжей части* STO#pb 1 0.85 \$Ширина полосы безопасности слева STO#pb p 0.95 *\$Ширина полосы безопасности справа* STO#svespt 0.46 \$Ширина свеса тротуара справа STO#asfalit 0.12 \$Толщина асфальтобетона на проезжей *\$части* STO#zawit 0.05 \$Толщина защитного слоя на проезжей \$части STO#gidroizol 0.01 \$Толщина гидроизоляции на проезжей \$части STO#vbirav 0.04 \$Толщина выравнивающего слоя на проезжей \$части STO#asfalitt 0 \$Толщина асфальтобетона на тротуарах STO#zawitt 0 \$Толщина защитного слоя на тротуарах STO#gidroizolt 0.01 \$Толщина гидроизоляции на тротуарах STO#vbiravt 0 \$Толщина выравнивающего слоя на тротуарах STO#B #Bp(#kolt-1) *\$Общая ширина плиты проезжей части* \$пролетного строения. Определяется как последний член \$массива поперечных расстояний

STO#klass AK 1 \$Задание класса нагрузки АК STO#a1AK 0.2 \$Отпечаток колеса АК вдоль оси моста STO#b1AK 0.6 \$Отпечаток колеса АК поперек оси моста STO#mue AK MAX(1,1+(45-#1)/135) \$Вычисление динамического \$коэффициента для тележки А1 STO#mue AKt MAX(1,1+(45-#1)/135) \$Вычисление \$динамического коэффициента для полосовой нагрузки A1. \$Введение этой переменной позволяет при необходимости \$переходить на расчеты по СП 35.13330.2011 без \$существенного изменения кода STO#gam AKt MAX(1.2,1.5-0.3\*#1/30) *\$Вычисление* \$коэффициента надежности для тележки А1 STO#gam AKp 1.2 \$Вычисление коэффициента надежности для \$полосовой нагрузки А1 \$Расчетная нагрузка \$Расчетное давление на отпечаток от колеса ведущей \$тележки STO#Akkol (#klass AK\*5\*#mue AK\*#gam AKt)/(#a1AK\*#b1AK) \$Расчетное давление на отпечаток от колеса 2-ой тележки STO#Akkol2 (#klass AK\*5\*#mue AK\*#gam AKt)/(#alAK\*#blAK) \$Расчетное давление от полосовой нагрузки ведущей *Śтележки* STO#polos (#klass AK\*#mue AKt\*#gam AKp)/(2\*#b1AK) \$Расчетное давление полосовой нагрузки 2-ой тележки #polos\*0.6 STO#polos2 \$Задание нагрузки НК STO#klass NK 1 \$Задание класса нагрузки НК STO#a1NK 0.2 \$Отпечаток колеса НК вдоль оси моста STO#b1NK 0.8 \$Отпечаток колеса НК поперек оси моста STO#mue NK 1.1 \$Динамический коэффициент для тележки НК STO#gam NK 1.0 \$Коэффициент надежности для тележки НК \$Расчетная нагрузка \$Расчетное давление на отпечаток от колеса ведущей \$тележки STO#NK 9\*#klass NK\*#gam NK\*#mue NK/(#a1NK\*#b1NK) \$Задание тротуарной нагрузки STO#gam t 1.2 \$Коэффициент надежности для нагрузки от \$толпы \$Расчетная нагрузка от толпы кН/м^2 STO#trat (3.92-0.0196\*#1)\*#gam t \$Задание нагрузки от 2 части постоянной нагрузки на \$тротуарах sto#chast2t #vbiravt\*1.3\*24+#gidroizolt\*1.3\*15+\$\$ #zawitt\*1.3\*25+#asfalitt\*1.5\*23

\$Задание нагрузки от 2 части постоянной нагрузки на \$проезжей части sto#chast2 #vbirav\*1.3\*24+#gidroizol\*1.3\*15+\$\$ #zawit\*1.3\*25+#asfalit\*1.5\*23 STO#polosh 8 \$Количество положений нагрузки в \$поперечном направлении STO#lev zapAKo #po l+#T lev-#sveslt+#pb l+#bar l+0.55 \$Левая зона запрета для тележки АК (Основное \$загружение) STO#prav zapAKo #po p+#T prav-#svespt+#pb p+#bar p+0.55 \$Правая зона запрета для \$тележки АК (Основное загружение) STO#lev zapAKav #po l+#T lev-#sveslt+#bar l+0.55 \$Левая \$зона запрета для тележки АК (Аварийное загружение) STO#prav zapAKav #po p+#T prav-#svespt+#bar p+0.55 \$Правая зона запрета для тележки АК (Аварийное \$загружение) STO#lev zapNK #po l+#T lev-#sveslt+#pb l+#bar l+0.4 \$Левая зона запрета для тележки НК STO#prav zapNK #po p+#T prav-#svespt+#pb p+#bar p+0.4 \$Правая зона запрета для тележки НК STO#x1 #1/2 \$Ордината середины пролета +PROG SOFILOAD urs:5 \$Определение шага нагрузки в поперечном направлении для \$загружения А1 основное LET#shqos (#qabarit-#pb l-#pb p-1.9-0.55\*2-1.1-\$\$ 1.9)/#polosh \$Определение шага нагрузки в поперечном направлении для \$загружения А1 аварийное LET#shgav (#gabarit-1.9-0.55\*2-1.1-1.9)/#polosh \$Определение шага нагрузки в поперечном направлении для \$загружения Н1 LET#shagNK (#gabarit-#pb l-#pb p-2.7-0.4\*2)/#polosh \$Цикл генерации "пробежки" временной нагрузки АК 1 \$тележка ведущая LOOP#1 #polosh LC 1200+#1 TYPE Q TITL 'AK osn 2 tel 1/2' LOOP#2 2LOOP#3 2\$Тележка №1 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y1 - (#lev zapAKo+#shgos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$

Y2 - (#lev zapAKo+#shqos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y3 - (#lev zapAKo+#shgos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ -(#lev zapAKo+#shgos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 Υ4 ENDLOOP ENDLOOP \$Тележка 2 LOOP#2 2LOOP#3 2AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y1 -(#lev zapAKo+3+#shqos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y2 - (#lev zapAKo+3+#shqos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y3 - (#lev zapAKo+3+#shqos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ -(#lev zapAKo+3+#shqos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 Υ4 ENDLOOP ENDLOOP \$Генерация полосовой нагрузки АК \$Колонна 1 LOOP#2 2AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #polos X1 0 \$\$ Y1 -(#lev zapAKo+#shgos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #polos X2 0 \$\$ Y2 - (#lev zapAKo+#shgos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) z2 0 \$\$ P3 #polos X3 #1 \$\$ Y3 - (#lev zapAKo+#shgos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #polos X4 #1 \$\$ Y4 -(#lev zapAKo+#shgos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 \$Колонна 2 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #polos2 X1 0 \$\$ Y1 - (#lev zapAKo+3+#shqos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #polos2 X2 0 \$\$ Y2 - (#lev zapAKo+3+#shqos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z2 0 \$\$ P3 #polos2 X3 #1 \$\$ Y3 - (#lev zapAKo+3+#shgos\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #polos2 X4 #1 \$\$ Y4 - (#lev zapAKo+3+#shqos\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 ENDLOOP

```
$Цикл генерации "пробежки" временной
$нагрузки АК 2
$тележка ведущая
$ (основное загружение)
LC 1200+#polosh+#1 TYPE Q TITL 'AK osn 2 tel 1/2'
LOOP#2 2
LOOP#3 2
$Тележка №1
AREA REF AUTO TYPE PG
                       ŚŚ
P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y1 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0 $$
P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y2 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z2 0 $$
P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y3 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0 $$
P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y4 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
ENDLOOP
ENDLOOP
$Тележка 2
LOOP#2 2
LOOP#3 2
AREA REF AUTO TYPE PG
                       $$
P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y1 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0
                                                    $$
P2 #Akkol2
           X2 #x1-#a1AK/2+1.5*#3
                                    $$
Y2 #B+(#prav zapAKo+3+#shqos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z2 0
                                                    $$
P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y3 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0
                                                    $$
P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5*#3
                                   $$
Y4 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
ENDLOOP
ENDLOOP
$Генерация полосовой
$нагрузки АК
$Колонна 1
LOOP#2 2
AREA REF AUTO TYPE PG
                        $$
                   $$
P1 #polos X1 0
Y1 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0
                                                    $$
           X2 0 $$
P2 #polos
Y2 #B+(#prav zapAKo+#shgos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) z2 0
                                                    $$
P3 #polos
            X3 #1
                    $$
                                                    $$
Y3 #B+(#prav zapAKo+#shgos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0
```

```
P4 #polos X4 #1 $$
Y4 #B+(#prav zapAKo+#shqos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
$Колонна 2
AREA REF AUTO TYPE PG
                        $$
          X1 0
                    $$
P1 #polos2
Y1 #B+(#prav zapAKo+3+#shqos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0
                                                     $$
                    $$
P2 #polos2
             X2
                0
Y2 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z2 0
                                                     $$
P3 #polos2 X3
                 #1
                     $$
Y3 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0
                                                     $$
P4 #polos2 X4
                #1
                     $$
Y4 #B+(#prav zapAKo+3+#shgos*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
ENDLOOP
$Цикл генерации "пробежки"
$временной нагрузки
$AK 1
$тележка ведущая
$ (авайриное загружение)
LC 1400+#1 TYPE Q TITL 'AK avar 2 tel 1/2'
LOOP#2 2
LOOP#3 2
$Тележка №1
AREA REF AUTO TYPE PG
                       $$
P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y1 - (#lev zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0 $$
P2 #Akkol X2
              #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y2 - (#lev zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z2 0 $$
P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5*#3 $$
  -(#lev zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0 $$
Y3
P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5*#3 $$
  -(#lev zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
Y4
ENDLOOP
ENDLOOP
$Тележка 2
LOOP#2 2
LOOP#3 2
AREA REF AUTO TYPE PG
                       $$
P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y1 - (#lev zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+3+1.9*#2) Z1 0
                                                    $$
P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y2 - (#lev zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z2 0
                                                    $$
P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y3 - (#lev zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z3 0
                                                     $$
P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5*#3 $$
```

Y4 -(#lev zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+3+1.9\*#2) Z4 0 ENDLOOP ENDLOOP \$Генерация полосовой нагрузки АК \$Колонна 1 LOOP#2 2\$\$ AREA REF AUTO TYPE PG P1 #polos X1 0 \$\$ Y1 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #polos X2 0 \$\$ Y2 - (# lev zapAKav + # shgav \* # 1 + # b 1 AK / 2 + 1.9 \* # 2) z2 0\$\$ P3 #polos X3 #1 \$\$ Y3 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #polos Х4 #1 \$\$ Y4 - (#lev zapAKav+#shqav\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 \$Колонна 2 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #polos2 X1 0 \$\$ Y1 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+3+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ 0 \$\$ P2 #polos2 X2 \$\$ Y2 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1+#b1AK/2+3+1.9\*#2) Z2 0 P3 #polos2 XЗ #1 \$\$ Y3 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1+#b1AK/2+3+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #polos2 X4 #1 \$\$ Y4 - (#lev zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+3+1.9\*#2) Z4 0 ENDLOOP \$Цикл генерации "пробежки" временной нагрузки АК 2 \$тележка ведущая (авайриное загружение) LC 1400+#polosh+#1 TYPE Q TITL 'AK avar 2 tel 1/2' LOOP#2 2LOOP#3 2 \$ Тележка №1 AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #Akkol X1 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y1 #B+(#prav zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z1 0 \$\$ P2 #Akkol X2 #x1-#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y2 #B+(#prav zapAKav+#shgav\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z2 0 \$\$ P3 #Akkol X3 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y3 #B+(#prav zapAKav+#shqav\*#1+#b1AK/2+1.9\*#2) Z3 0 \$\$ P4 #Akkol X4 #x1+#a1AK/2+1.5\*#3 \$\$ Y4 #B+(#prav zapAKav+#shgav\*#1-#b1AK/2+1.9\*#2) Z4 0 ENDLOOP ENDLOOP \$Тележка 2

```
LOOP#2 2
LOOP#3 2
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #Akkol2 X1 #x1-#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y1 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+3+1.9*#2) Z1 0
                                                     $$
P2 #Akkol2 X2 #x1-#a1AK/2+1.5*#3 $$
Y2 #B+(#prav zapAKav+#shqav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z2 0
                                                     $$
P3 #Akkol2 X3 #x1+#a1AK/2+1.5*#3
                                  $$
Y3 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z3 0
                                                     $$
P4 #Akkol2 X4 #x1+#a1AK/2+1.5*#3
                                   $$
Y4 \#B+(\#prav zapAKav+\#shgav*\#1-\#b1AK/2+3+1.9*\#2) Z4 0
ENDLOOP
ENDLOOP
$Генерация полосовой нагрузки АК
$Колонна 1
LOOP#2 2
                        $$
AREA REF AUTO TYPE PG
P1 #polos X1 0
                   $$
Y1 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z1 0
                                                     $$
P2 #polos X2 0 $$
Y2 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+1.9*#2) z2 0
                                                     $$
               #1
P3 #polos
           XЗ
                    $$
Y3 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+1.9*#2) Z3 0
                                                     $$
P4 #polos
           X4 #l
                    $$
Y4 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+1.9*#2) Z4 0
$Колонна 2
                        $$
AREA REF AUTO TYPE PG
P1 #polos2 X1 0
                    $$
Y1 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+3+1.9*#2) Z1 0
                                                     $$
P2 #polos2
            Х2
                0
                    $$
Y2 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z2 0
                                                     $$
P3 #polos2
            XЗ
                #1
                    $$
Y3 #B+(#prav zapAKav+#shqav*#1+#b1AK/2+3+1.9*#2) Z3 0
                                                     $$
            Χ4
                #1
                     $$
P4 #polos2
Y4 #B+(#prav zapAKav+#shgav*#1-#b1AK/2+3+1.9*#2) Z4 0
ENDLOOP
$Цикл генерации "пробежки" временной нагрузки НК
LC 1600+#1 TYPE Q TITL 'NK 2 tel 1/2'
LOOP#2 2
LOOP#3 4
$ Тележка №1
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #NK X1 #x1-#a1NK/2-1.2+1.2*#3 $$
Y1 - (#lev zapNK+#shagNK*#1-#b1NK/2+2.7*#2) Z1 0 $$
```

P2 #NK X2 #x1-#a1NK/2-1.2+1.2\*#3 \$\$ Υ2 -(#lev zapNK+#shaqNK\*#1+#b1NK/2+2.7\*#2) Z2 0 \$\$ P3 #NK X3 #x1+#a1NK/2-1.2+1.2\*#3 \$\$ -(#lev zapNK+#shaqNK\*#1+#b1NK/2+2.7\*#2) Z3 0 \$\$ Y3 X4 #x1+#a1NK/2-1.2+1.2\*#3 \$\$ P4 #NK Y4 - (#lev zapNK+#shaqNK\*#1-#b1NK/2+2.7\*#2) Z4 0 ENDLOOP ENDLOOP ENDLOOP STO#barier 0.6\*1.1 STO#perila 0.4\*1.1 LC 2 TYPE Q titl '2 chast ras' \$Нагрузка от барьерного ограждения LINE REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #barier X1 0 Y1 -#T lev+#sveslt-#po l+#bar 1/2 Z1 0 \$\$ P2 #barier X2 #1 Y2 -#T lev+#sveslt-#po l+#bar 1/2 Z2 0 LINE REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #barier X1 0 Y1 #b+#T prav-#svespt+#po p-#bar p/2 \$\$ Z1 0 \$\$ P2 #barier X2 #1 Y2 #b+#T prav-#svespt+#po p-#bar p/2 \$\$ Z2 0 \$Нагрузка от перильного ограждения слева LINE REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #perila X1 0 Y1 0 Z1 0 \$\$ P2 #perila X2 #1 Y2 0 Z2 0 \$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на \$пролетное строение LINE REF AUTO TYPE MXX \$\$ P1 -#perila\*#svespt X1 0 Y1 0 Z1 0 \$\$ P2 -#perila\*#svespt X2 #1 Y2 0 Z2 0 \$Нагрузка от перильного ограждения справа LINE REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #perila X1 0 Y1 #b Z1 0 \$\$ P2 #perila X2 #1 Y2 #b z2 0 \$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на \$пролетное строение LINE REF AUTO TYPE MXX \$\$ P1 #perila\*#sveslt X1 0 Y1 #b Z1 0 \$\$ P2 #perila\*#sveslt X2 #1 Y2 #b Z2 0 \$Нагрузка от 2 части постоянной нагрузки левый тротуар AREA REF AUTO TYPE PG \$\$ P1 #chast2t X1 0 Y1 -#po 1 Z1 0 \$\$ P2 #chast2t X2 0 Y2 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar 1/2 Z2 0 \$\$

```
P3 #chast2t X3 #l Y3 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar 1/2
Z3 0 $$
P4 #chast2t X4 #l Y4 -#po l Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #chast2t*(#sveslT-#po l)/(#T lev-#sveslt) X1 0 $$
Y1 -#po l Z1 0 $$
P2 #chast2t*(#sveslT-#po l)/(#T lev-#sveslt) X2 0 $$
Y2 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar 1/2 Z2 0
                                        $$
P3 #chast2t*(#sveslT-#po l)/(#T lev-#sveslt) X3 #1 $$
Y3 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar 1/2 Z3 0
                                        $$
P4 #chast2t*(#sveslT-#po l)/(#T lev-#sveslt) X4 #l $$
Y4 -#po l Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
LINE REF AUTO TYPE MXX $$
P1 -#chast2t*(#sveslT-#po l)*(#sveslT-#po l)/2 $$
X1 0 Y1 0 Z1 0 $$
P2 -#chast2t*(#sveslT-#po l)*(#sveslT-#po l)/2 $$
X2 #1 Y2 0 Z2 0
$Нагрузка от 2 части постоянной нагрузки правый тротуар
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #chast2t
              $$
X1 0 Y1 #b+#po p Z1 0
                       $$
P2 #chast2t $$
X2 0 Y2 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p/2 Z2 0
                                                  $$
             $$
P3 #chast2t
X3 #1 Y3 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p/2 Z3 0
                                                  $$
P4 #chast2t X4 #l Y4 #b+#po p Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #chast2t*(#svespT-#po p)/(#T prav-#svespt) $$
X1 0 Y1 #b+#po p Z1 0 $$
P2 #chast2t*(#svespT-#po p)/(#T prav-#svespt) X2 0 $$
Y2 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p/2 Z2 0 $$
P3 #chast2t*(#svespT-#po p)/(#T prav-#svespt) X3 #l $$
Y3 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p/2 Z3 0 $$
P4 #chast2t*(#svespT-#po p)/(#T prav-#svespt) X4 #l $$
Y4 #b+#po p Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
LINE REF AUTO TYPE MXX $$
```

```
P1 #chast2t*(#svespT-#po p)*(#svespT-#po p)/2 $$
X1 0 Y1 #b Z1 0 $$
P2 #chast2t*(#svespT-#po p)*(#svespT-#po p)/2 $$
X2 #1 Y2 #b Z2 0
$Нагрузка от 2 части постоянной нагрузки на проезжей
$части
AREA REF AUTO TYPE PG $$
                $$
P1 #chast2
X1 0 Y1 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar l Z1 0
                                              $$
P2 #chast2
                $$
X2 0 Y2 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p Z2 0
                                                $$
P3 #chast2
                $$
X3 #l Y3 #b+#T prav-#svespt+#po p+#bar p Z3 0
                                                $$
P4 #chast2 X4 #l Y4 -#T lev+#sveslt-#po l-#bar l Z4 0
$Нагрузка от толпы на левом тротуаре
LC 60000 TYPE Q AREA REF QGRP TYPE PG $$
P1 #trat X1 0 Y1 -#po l Z1 0
                              $$
P2 #trat X2 #1 Y2 -#po 1 Z2 0 $$
P3 #trat X3 #1 Y3 -#po l-#T lev+#sveslt+#bar 1/2 Z3 0 $$
P4 #trat X4 0 Y4 - #po l- #T lev+ #sveslt+ #bar 1/2 Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #trat*#sveslT/(#T lev-#sveslt)
                                    $$
X1 0 Y1 -#po l Z1 0 $$
P2 #trat*#sveslT/(#T lev-#sveslt)
                                    $$
X2 #1 Y2 -#po 1 Z2 0 $$
P3 #trat*#sveslT/(#T lev-#sveslt)
                                     $$
X3 #1 Y3 -#po l-#T lev+#sveslt-#bar 1/2 Z3 0 $$
P4 #trat*#sveslT/(#T lev-#sveslt)
                                     $$
X4 0 Y4 -#po_l-#T_lev+#sveslt-#bar 1/2 Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
LINE REF AUTO TYPE MXX $$
P1 -#trat*#sveslT*#sveslT/2 X1 0 Y1 0 Z1 0 $$
P2 -#trat*#sveslT*#sveslT/2 X2 #1 Y2 0 Z2 0 $$
$Нагрузка от толпы на правом тротуаре
LC 60001 TYPE Q AREA REF QGRP TYPE PG $$
P1 #trat X1 0 Y1 #b+#po p Z1 0
                                $$
P2 #trat X2 #1 Y2 #b+#po p Z2 0 $$
P3 #trat X3 #l Y3 #b+#po_p+#T_prav-#svespt-#bar_p/2 $$
Z3 0 $$
P4 #trat X4 0 Y4 #b+#po p+#T prav-#svespt-#bar p/2 Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
```

```
$пролетное строение
AREA REF AUTO TYPE PG $$
P1 #trat*#svespT/(#T prav-#svespt) X1 0 $$
Y1 #b+#po p Z1 0 $$
P2 #trat*#svespT/(#T prav-#svespt) X2 #1 $$
Y2 #b+#po p Z2 0 $$
P3 #trat*#svespT/(#T prav-#svespt) X3 #1 $$
Y3 #b+#po p+#T prav-#svespt+#bar p/2 Z3 0 $$
P4 #trat*#svespT/(#T prav-#svespt)
                                   X4 0 $$
Υ4
   #b+#po p+#T prav-#svespt+#bar p/2 Z4 0
$Учет момента от переноса нагрузки со свеса тротуара на
$пролетное строение
LINE REF AUTO TYPE MXX $$
P1 -#trat*#svespT*#svespT/2 X1 0 Y1 #b Z1 0 $$
P2 -#trat*#svespT*#svespT/2 X2 #1 Y2 #b Z2 0
$Расчет пролетного строения
+PROG ASE urs:6
HEAD
$Загружение собственным весом коэффициент надежности по
$материалу 1.1
LC 1 DLZ 1.1
$Загружение 2 частью постоянной нагрузки
LC 2 FACT 1.0
$Цикл расчета загружений временной нагрузки
LOOP#1 #polosh
$Загружение нагрузкой АК ведущая тележка 1 основное
$загружение
LC 1200+#1 FACT 1.0
$Загружение нагрузкой АК ведущая тележка 2 основное
$загружение
LC 1200+#1+#polosh FACT 1.0
$Загружение нагрузкой АК ведущая тележка 1 аварийное
$загружение
LC 1400+#1 FACT 1.0
$Загружение нагрузкой АК ведущая тележка 1 аварийное
$загружение
LC 1400+#1+#polosh FACT 1.0
$Загружение нагрузкой НК
LC 1600+#1 FACT 1.0
ENDLOOP
$Загружение левого тротуара нагрузкой от толпы
LC 60000 FACT 1.0
$Загружение правого тротуара нагрузкой от толпы
LC 60001 FACT 1.0
```

```
$Обработка результатов расчета и получение класса
$сооружения по главным балкам пролетного строения
+PROG TEMPLATE urs:7
ТХВ <b>Исходные данные</b>
TXB
ТХВ Ширина левого перильного ограждения #(#po 1,.2) м
ТХВ Ширина правого перильного ограждения #(#po p,.2) м
ТХВ Ширина левого барьерного ограждения #(#bar 1,.2) м
ТХВ Ширина правого барьерного ограждения #(#bar p,.2) м
ТХВ Ширина левого тротуара #(#T lev,.2) м
ТХВ Ширина правого тротуара #(#T prav,.2) м
ТХВ Габарит проезжей части #(#gabarit,.2) м
ТХВ Ширина левой полосы безопасности #(#pb l,.2) м
ТХВ Ширина левой полосы безопасности #(#pb p,.2) м
ТХВ <b>Конструкция дорожной одежды на тротуарах</b>
ТХВ Выравнивающий слой h=#(#vbiravt,.2) м
TXB Гидроизоляционный слой h=#(#gidroizolt,.2) м
ТХВ Защитный слой h=#(#zawitt,.2) м
TXB Асфальтобетонное покрытие h=#(#asfalitt,.2) м
ТХВ <b>Конструкция дорожной одежды на проезжей части</b>
ТХВ Выравнивающий слой h=#(#vbirav,.2) м
ТХВ Гидроизоляционный слой h=#(#qidroizol,.2) м
ТХВ Защитный слой h=#(#zawit,.2) м
TXB Асфальтобетонное покрытие h=#(#asfalit,.2) м
TXB <b>Harpyзки</b>
ТХВ Расчет с коэффициентами по СНиП 2.05.03-84*
TXB Расчетная тротуарная нагрузка: #(#trat,.2) кH/м^2
ТХВ Расчетная нагрузка от барьерного ограждения:
#(#barier,.2) кH/м
ТХВ Расчетная нагрузка от перильного ограждения:
#(#perila,.2) кH/м
ТХВ <b> Динамические коэффициенты к временным
нагрузкам</b>
ТХВ Динамический коэффициент для тележки АК:
#(#mue AK, .2)
ТХВ Динамический коэффициент для полосовой нагрузки АК:
#(#mue AKt, .2)
ТХВ Динамический коэффициент для нагрузки НК:
#(#mue NK,.2)
ТХВ <b>Коэффициенты надежности по нагрузке</b>
ТХВ Коэффициент надежности для тележки нагрузки АК:
#(#gam AKt, .2)
ТХВ Коэффициент надежности для полосовой нагрузки АК:
#(#gam AKp,.2)
```

ТХВ Коэффициент надежности для нагрузки НК: #(#gam NK, .2) ТХВ Коэффициент надежности для тротуарной нагрузки: #(#gam t, .2)ТХВ Коэффициент полосности для полосовой нагрузки АК: 0.6 \$Цикл обращения к базе данных для определения \$максимального и минимального номера балочного элемента \$ (каждое ребро главной балки принадлежит отдельной группе \$и разбивается на балочные элементы) LOOP#1 #n @KEY KWH GRP KWL 0 SEL1 #1+1 SEL2 100 STO#minnomer(#1) @MIN STO#maxnomer(#1) @MAX ENDLOOP STO#zk 0 \$ Счетчик LOOP#1 #n \$Обращение к базе данных для определения номеров узлов, \$принадлежащих балочным элементам **@KEY BEAM** LOOP#2 #maxnomer(#1)-#minnomer(#1)+1 STO#zk #zk+1 STO#bal uzel(#zk) @(#minnomer(#1)+#2, node) STO#nomerb(#zk) #minnomer(#1)+#2 ENDLOOP ENDLOOP \$Цикл сохранения номеров балочных элементов, номера узлов \$которых соответствуют расчетному сечению STO#k1 0 LOOP#2 #n LOOP#1 #zk \$Условие сохранения номера балочного элемента IF #bal uzel(#1) == 1830\*3+2+90\*#2 STO#k1 #k1+1 STO#balo1(#k1) #nomerb(#1+1) ENDIF ENDLOOP ENDLOOP \$В данном цикле осуществляется распределение балочных \$элементов по группам LOOP#1 #n IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==1 STO#baloch1(1) #balo1(#1+1) ENDIF

```
IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==2
STO#baloch1(2) #balo1(#1+1)
ENDIF
IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==3
STO#baloch1(3) #balo1(#1+1)
ENDIF
IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==4
STO#baloch1(4) #balo1(#1+1)
ENDIF
IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==5
STO#baloch1(5) #balo1(#1+1)
ENDIF
IF DIV(#balo1(#1+1)/100000)==6
STO#baloch1(6) #balo1(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
$Определение класса сооружения.
```

# Примечание:

В связи с использованием пластинчато стержневой расчетной схемы, суммарный изгибающий момент в главной балке пролетного строения получается путем интегрирования усилий. Суммарный изгибающий момент в расчетном сечении будет равен

где М<sub>бал</sub> – изгибающий момент в балочном элементе в данном сечении; М<sub>плит</sub> – изгибающий момент в плите пролетного строения в данном сечении. Принимается как осредненное значение по трем точкам (консоль, над ребром, консоль) на ширину плиты главной балки; N<sub>бал</sub> – продольное усилие, возникающее в балочном элементе от внешней нагрузки; е – расстояние между центром тяжести ребра главной балки и плиты проезжей части.

ТХВ Сечение на расстоянии x=#(#x1,.2)м от начала пролетного строения

ТХВ Сводная табл. расчетных усилий по балкам (кН\*м) и определение класса

ТХВ

TXB	Номер М от А1		М от с.в.  М от 2	части			
TXB	балки осн. загр.		NOCT.	нагрузки	М от толпы	Класс	I
TXB	2 колонны						I
TXB			I		Ι		

\$Расчет услий в балках пролетного строения LOOP#2 #n \$Задание узлов плиты пролетного строения (на каждую балку \$по 3 узла)

```
LET#plt 1 2+#2*180
LET#plt 2 92+#2*180
LET#plt 3 182+#2*180
LOOP#1 #polosh*2
$Обращение к базе данных для запроса изгибающего момента
$в плите пролетного строения по узлам от временной
$нагрузки АК основное загружение
@KEY QUAD NFO 1200+#1 #2+1
STO#momentvpln1(#1) @(#plt 1,mxx)
STO#momentvpln2(#1) @(#plt 2,mxx)
STO#momentvpln3(#1) @(#plt 3,mxx)
$Расчет среднего значения изгибающего момента в плите
STO#Mvpltn2(#1)
(#momentvpln1(#1)+#momentvpln2(#1)+#momentvpln3(#1))*#b
bal(#2)/3
$Обращение к базе данных для запроса изгибающего момента
$и продольного усилия в балочном элементе от временной
$нагрузки АК основное знагружение
@KEY BEAM FOR 1200+#1
STO#moment1(#1) @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normal1(#1) @(#baloch1(#2+1),n)
$Расчет изгибающего момента в главной балке по каждому
$загружению (положению нагрузки АК)
STO#mom1(#1)
#moment1(#1)+#normal1(#1)*abs(#zek(#2))+#Mvpltn2(#1)
ENDLOOP
$Поиск максимального момента, возникающего в балке от
$временной нагрузке
STO#MaxM #mom1(0)
LOOP#1 #polosh*2-1
IF abs(#MaxM) <= abs(#mom1(#1+1))</pre>
STO#MaxM #moml(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
$Аналогичные операции для расчета изгибающего момента в
$балке в расчетном сечении от собственного веса
@KEY QUAD NFO 1 #2+1
STO#montvplsvn1 @(#plt 1, mxx)
STO#montvplsvn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvplsvn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvpltsvn2
(#montvplsvn1+#montvplsvn2+#montvplsvn3) * #b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR
               1
```

```
STO#momentsv1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normalsv1 @(#baloch1(#2+1),n)
STO#momsv1
#momentsv1+#normalsv1*abs(#zek(#2))+#Mvpltsvn2
STO#MaxMsv #momsv1
$Аналогичные операции для расчета изгибающего момента в
$балке в расчетном сечении от 2 части постоянной
$нагрузки
@KEY QUAD NFo 2 #2+1
STO#montvpl2chn1 @(#plt 1,mxx)
STO#montvpl2chn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvpl2chn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvplt2chn2 (#montvpl2chn1+#montvpl2chn2+$$
#montvpl2chn3) *#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 2
STO#moment2ch1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normal2ch1 @(#baloch1(#2+1),n)
STO#mom2ch1
            #moment2ch1+#normal2ch1*abs(#zek(#2))$$
+#Mvplt2chn2
STO#MaxM2ch #mom2ch1
$Аналогичные операции для расчета изгибающего момента в
$балке в расчетном сечении от сопутствующей нагрузки
$ (нагрузка от толпы слева и справа)
@KEY QUAD NFO 60000 #2+1
STO#montvpltr1 @(#plt 1, mxx)
STO#montvpltr2 @(#plt 2, mxx)
STO#montvpltr3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvplttr2
(#montvpltr1+#montvpltr2+#montvpltr3) * #b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 60000
STO#momenttr1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normaltr1 @(#baloch1(#2+1),n)
STO#momtr1
#momenttr1+#normaltr1*abs(#zek(#2))+#Mvplttr2
STO#MaxMtr1 #momtr1
IF #MaxMtr1<0
STO#MaxMtr1 0
ENDIF
@KEY QUAD NFO 60001 #2+1
STO#montvpltr1 @(#plt 1, mxx)
STO#montvpltr2 @(#plt 2, mxx)
STO#montvpltr3 @(#plt 3, mxx)
STO#Mvplttr2 (#montvpltr1+#montvpltr2+#montvpltr3)$$
```

```
128
```

```
*#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 60001
STO#momenttr1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normaltr1 @(#baloch1(#2+1),n)
STO#momtr1 #momenttr1+#normaltr1*abs(#zek(#2))$$
+#Mvplttr2
STO#MaxMtr2 #momtr1
IF #MaxMtr2<0
STO#MaxMtr2 0
ENDIF
STO#MaxMtr #MaxMtr1+#MaxMtr2
$Расчет класса элементов пролетного строения
STO#Klass(#2) (#Mpred(#2+1)-#MaxMsv-#MaxM2ch-$$
#MaxMtr) * #klass AK/#MaxM
STO#f #2+1
TXB
|#(#f,5)|#(#MaxM,10.2)|#(#MaxMsv,11.2)|#(#MaxM2ch,15.2)
|#(#MaxMtr,11.3)|#(#Moment(#2),6.1)|
ENDLOOP
$Поиск наименьшего класса элемента и сохранение значения
$минимального класса
STO#klassAK(0) #Klass(0)
LOOP#1 #n-1
IF #klassAK(0)>=#Klass(#1+1)
STO#klassAK(0) #Klass(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
$Аналогично рассчитывается класс сооружения для
$загружения временной нагрузкой АК аварийное и НК
TXB
ТХВ Сечение на расстоянии x=#(#x1,.2)м от начала про-
летного строения
ТХВ Сводная табл. расчетных усилий по балкам (кН*м) и
определение класса
TXB
ТХВ |Номер|М от A1 |М от с.в.|М от 2 части
ТХВ |балки|ав. загр.|
                             |пост. нагрузки |Класс |
ТХВ | |2 колонны|
                             TXB | |
LOOP#2 #n
LET#plt 1 2+#2*180
LET#plt 2 92+#2*180
```

129

```
LET#plt 3 182+#2*180
LOOP#1 #polosh*2
@KEY QUAD NFO 1400+#1 #2+1
STO#momentvpln1(#1) @(#plt 1,mxx)
STO#momentvpln2(#1) @(#plt 2,mxx)
STO#momentvpln3(#1) @(#plt 3,mxx)
STO#Mvpltn2(#1) (#momentvpln1(#1)+#momentvpln2(#1)+$$
#momentvpln3(#1)) * #b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 1400+#1
STO#moment1(#1) @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normal1(#1) @(#baloch1(#2+1),n)
STO#mom1(#1)
                #mo-
ment1(#1)+#normal1(#1)*abs(#zek(#2))$$
+#Mvpltn2(#1)
ENDLOOP
STO#MaxM #mom1(0)
LOOP#1 #polosh*2-1
IF abs(#MaxM) <= abs(#mom1(#1+1))</pre>
STO#MaxM #mom1(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
@KEY QUAD NFO 1 #2+1
STO#montvplsvn1 @(#plt 1,mxx)
STO#montvplsvn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvplsvn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvpltsvn2
(#montvplsvn1+#montvplsvn2+#montvplsvn3)$$
*#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 1
STO#momentsv1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normalsv1 @(#baloch1(#2+1),n)
STO#momsv1
             #momentsv1+#normalsv1*abs(#zek(#2))$$
+#Mvpltsvn2
STO#MaxMsv #momsv1
@KEY QUAD NFO 2 #2+1
STO#montvpl2chn1 @(#plt 1,mxx)
STO#montvpl2chn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvpl2chn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvplt2chn2
(#montvpl2chn1+#montvpl2chn2+#montvpl2chn3) $$
*#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 2
STO#moment2ch1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normal2ch1 @(#baloch1(#2+1),n)
```

STO#mom2ch1 #moment2ch1+#normal2ch1\*abs(#zek(#2))\$\$ +#Mvplt2chn2 STO#MaxM2ch #mom2ch1 STO#Moment(#2) (#Mpred(#2+1)-#MaxMsv-#MaxM2ch)\$\$ \*#klass AK/#MaxM STO#f #2+1 TXB |#(#f,5)|#(#MaxM,10.2)|#(#MaxMsv,11.2)|#(#MaxM2ch,15.2) |#(#Moment(#2), 6.1)|ENDLOOP TXB | | STO#klassAK(1) #Moment(0) LOOP#1 #n-1 IF #klassAK(1)>=#Moment(#1+1) STO#klassAK(1) #Moment(#1+1) ENDIF ENDLOOP ТХВ ТХВ Сечение на расстоянии x=#(#x1,.2)м от начала пролетного строения ТХВ Сводная табл. расчетных усилий по балкам (кН\*м) и определение класса TXB TXB |Homep| М от с.в. | М от 2 части ТХВ |балки|М от H1 | |пост. нагрузки |Класс | TXB | TXB | LOOP#2 #n LET#plt 1 2+#2\*180 LET#plt 2 92+#2\*180 LET#plt 3 182+#2\*180 LOOP#1 #polosh @KEY OUAD NFO 1600+#1 #2+1 STO#momentvpln1(#1) @(#plt 1,mxx) STO#momentvpln2(#1) @(#plt 2,mxx) STO#momentvpln3(#1) @(#plt 3,mxx) STO#Mvpltn2(#1) (#momentvpln1(#1)+#momentvpln2(#1)+#momentvpln3(#1))\*#b bal(#2)/3 @KEY BEAM FOR 1600+#1 STO#moment1(#1) @(#baloch1(#2+1),my) STO#normal1(#1) @(#baloch1(#2+1),n) STO#mom1(#1) #moment1(#1)+#normal1(#1)\*abs(#zek(#2))+#Mvpltn2(#1)

```
ENDLOOP
STO#MaxM #mom1(0)
LOOP#1 #polosh-1
IF abs(#MaxM) <= abs(#mom1(#1+1))</pre>
STO#MaxM #moml(#1+1)
ENDIF
ENDLOOP
@KEY QUAD NFO 1 #2+1
STO#montvplsvn1 @(#plt 1,mxx)
STO#montvplsvn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvplsvn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvpltsvn2
(#montvplsvn1+#montvplsvn2+#montvplsvn3)$$
*#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR 1
STO#momentsv1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normalsv1 @(#baloch1(#2+1),n)
              #momentsv1+#normalsv1*abs(#zek(#2))$$
STO#momsv1
+#Mvpltsvn2
STO#MaxMsv #momsv1
@KEY OUAD NFO 2 #2+1
STO#montvpl2chn1 @(#plt 1,mxx)
STO#montvpl2chn2 @(#plt 2,mxx)
STO#montvpl2chn3 @(#plt 3,mxx)
STO#Mvplt2chn2
(#montvpl2chn1+#montvpl2chn2+#montvpl2chn3) $$
*#b bal(#2)/3
@KEY BEAM FOR
               2
STO#moment2ch1 @(#baloch1(#2+1),my)
STO#normal2ch1 @(#baloch1(#2+1),n)
               #moment2ch1+#normal2ch1*abs(#zek(#2))$$
STO#mom2ch1
+#Mvplt2chn2
STO#MaxM2ch #mom2ch1
STO#Moment(#2)
                (#Mpred(#2+1)-#MaxMsv-#MaxM2ch)$$
*#klass AK/#MaxM
STO#f #2+1
ТΧВ
|#(#f,5)|#(#MaxM,10.2)|#(#MaxMsv,11.2)|#(#MaxM2ch,15.2)
|#(#Moment(#2), 6.1)|
ENDLOOP
TXB | |
                                                STO#klassNK #Moment(0)
LOOP#1 #n-1
IF #klassNK>=#Moment(#1+1)
STO#klassNK #Moment(#1+1)
```

132

ENDIF ENDLOOP \$Поиск минимального класса сооружения среди результатов, \$полученных при расчете на загружение АК основное и АК \$аварийное STO#kol 2 STO#KAK #klassAK(0) LOOP#1 #kol-1 IF #KAK>=#klassAK(#1+1) STO#KAK #klassAK(#1+1) ENDIF ENDLOOP \$Округление класса сооружения для окончательного вывода в \$отчет STO#KAK div(#KAK) STO#KNK div(#klassNK) ТХВ Выводы: ТХВ По данному пролетному строению в неконтролируемом режиме возможен пропуск ТХВ нагрузок, по интенсивности воздействия не более A#(#KAK). ТХВ По данному пролетному строению в контролируемом режиме возможен пропуск ТХВ нагрузок, по интенсивности воздействия не более H#(#KNK).

# Результат работы программы:

Исходные данные

Ширина левого перильного ограждения 0.12 м Ширина правого перильного ограждения 0.10 м Ширина левого барьерного ограждения 0.25 м Ширина правого барьерного ограждения 0.25 м Ширина левого тротуара 1.00 м Ширина правого тротуара 1.10 м Габарит проезжей части 8.00 м Ширина левой полосы безопасности 0.85 м Ширина левой полосы безопасности 0.95 м Конструкция дорожной одежды на тротуарах Выравнивающий слой h=0.00 м Гидроизоляционный слой h=0.01 м Зашитный слой h=0.00 м Асфальтобетонное покрытие h=0.00 м Конструкция дорожной одежды на проезжей части Выравнивающий слой h=0.04 м Гидроизоляционный слой h=0.01 м

Защитный слой h=0.05 м Асфальтобетонное покрытие h=0.12 м Нагрузки Расчет с коэффициентами по СНиП 2.05.03-84\* Расчетная тротуарная нагрузка: 4.44 кН/м^2 Расчетная нагрузка от барьерного ограждения: 0.66 кН/м Расчетная нагрузка от перильного ограждения: 0.44 кН/м Динамические коэффициенты к временным нагрузкам Динамический коэффициент для тележки АК: 1.25 Динамический коэффициент для полосовой нагрузки АК: 1.25 Динамический коэффициент для нагрузки НК: 1.10 Коэффициенты надежности по нагрузке Коэффициент надежности для тележки нагрузки АК: 1.39 Коэффициент надежности для полосовой нагрузки АК: 1.20 Коэффициент надежности для нагрузки НК: 1.00 Коэффициент надежности для тротуарной нагрузки: 1.20 Коэффициент полосности для полосовой нагрузки АК: 0.6 Сечение на расстоянии х=5.55м от начала пролетного строения Сводная таблица расчетных усилий по балкам (кН\*м) и опреде-

ление класса

Номер	М от А	1	M OT C.B	. М от 2 части			
балки	осн. З	arp.		пост. нагрузки	М от	толпы	Класс
	2 колс	нны					
				<u> </u>			
1	2	8.43	253.1	145.70		31.225	20.6
2	3	6.05	250.2	4  154.28		21.384	16.4
3	4	0.96	250.2	6  160.63		16.051	14.4
4	4	0.43	250.4	3  160.37		16.432	14.6
5	3	5.04	250.7	3  153.12		22.424	16.8
6	2	6.96	253.5	6  143.36		32.133	21.8
		[			I		

Сечение на расстоянии x=5.55м от начала пролетного строения Сводная табл. расчетных усилий по балкам (кН\*м) и определение класса

Номер	М от А1	N	1 от с.в.	М от 2	части	
балки	ав. загр			пост.	нагрузки	Класс
	2 колонн	ы				
1	37.	81	253.11		145.70	16.3
2	41.	56	250.24		154.28	14.7
3	42.	71	250.26		160.63	14.2
4	42.	79	250.48		160.37	14.1
5	41.	27	250.73		153.12	14.8
6	36.	98	253.56		143.36	16.7

Сечение на расстоянии x=5.55м от начала пролетного строения Сводная таблица расчетных усилий по балкам (кН\*м) и определение класса

Номер		М от с.в.	М от 2 части	
балки	M or H1		пост. нагрузки	Класс
II			l	l
1	32.97	253.11	145.70	18.7
2	38.00	250.24	154.28	16.1
3	36.56	250.26	160.63	16.5
4	36.14	250.48	160.37	16.7
5	35.97	250.73	153.12	17.0
6	28.66	253.56	143.36	21.6
	I		l	l

#### Выводы:

По данному пролетному строению в неконтролируемом режиме возможен пропуск нагрузок, по интенсивности воздействия не более А14.

По данному пролетному строению в контролируемом режиме возможен пропуск нагрузок, по интенсивности воздействия не более H16.

### Задания для самостоятельной работы

1. В данной программе осуществить «пробежку» одиночной тележки АК и определить класс элементов, аналогично представленному алгоритму.

2. В данной программе осуществить «пробежку» временной нагрузки в соответствии с ОДН 218.0.032-2003.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 51-88. Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов./Минавтодор РСФСР, Министерство строительства дорог УССР, Министерство строительства дорог УССР, Министерство строительства дорог БССР. – М.: Транспорт, 1990.

2. ГОСТ Р 52748-2007. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения на афтомобильных дорогах общего пользования / Государственное дорожное агенство Министерства транспорта Российской Федерации. – М.:ИПК Издательство стандартов, 2006.

3. Документация к программному комплесу SOFiSTiK.

4. ОДН 218.0.032-2003. Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах. / Министерство транспорта Росийской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2003.

5. СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991.

6. Ярошутин Д.А. Расчет транспортных сооружений в SOFiSTiK. Часть 1. Организация проекта SOFiSTiK Structural Desktop (SSD) // учебное пособие для студентов специальности «Мосты и транспортные тоннели». – С.-Петербург, 2011.