

Научно-исследовательский центр СтаДиО

Инв.№ _____

“Утверждаю”
Генеральный директор ЗАО НИЦ СтаДиО

_____ **А.М.Белостоцкий**
“ ” _____ 2021 г.

**“Семейство” программных комплексов АСТРА-НОВА’2021
(релиз 202105)**

**для автоматизированных расчетов трубопроводных систем
по выбору основных размеров, на статическую и циклическую прочность,
на сейсмические воздействия, вибропрочность и динамические процессы
в соответствии с российскими нормативными требованиями**

Общее описание (приложения)

Руководитель разработки
докт.техн.наук, профессор **А.М.Белостоцкий**

Ответственные исполнители
Г.А.Воронова
А.Л.Потапенко
О.Ю.Клепец
К.И.Островский
А.А. Аул

СТАДИО, АСТРА-НОВА, АСТРА-АЭС, АСТРА-ТЭС, АСТРА-НЕФТЕХИМ, АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ, АСТРА-МАГИСТР, АСТРА-СУДПРОМ, АСТРА-СТАЦ, АСТРА-ФОРМ, АСТРА-СЕЙСМ, АСТРА-ВИБР, АСТРА-ДИН, АСТРА-СТАДИО, ПРЕ-АСТРА, ПОСТ-АСТРА, АСТРА-ДЕТАЛЬ являются зарегистрированными в России и др. странах СНГ торговыми марками ЗАО “Научно-исследовательский центр СтаДиО” (НИЦ СтаДиО).

IBM является зарегистрированной торговой маркой корпорации International Business Machines. Windows, Word, Visual C++ являются зарегистрированными торговыми марками Microsoft Corporation. AutoCAD является зарегистрированной торговой маркой AutoDesk, Inc., CADWorx/PIPE – зарегистрированной торговой маркой COADE, NetWare – зарегистрированной торговой маркой Novell, Inc, Compaq Visual Fortran 6.6 – зарегистрированной торговой маркой корпорации Compaq, Intel Fortran 11 – зарегистрированной торговой маркой корпорации Intel. Другие названия фабричных марок или продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих компаний.

“Семейство” программных комплексов *АСТРА-НОВА’2021* (релиз 202105) для автоматизированных расчетов трубопроводных систем по выбору основных размеров, на статическую и циклическую прочность, на сейсмические воздействия, вибропрочность и динамические процессы в соответствии с российскими нормативными требованиями. Общее описание (приложения).

Настоящий документ содержит общее описание методических и нормативных основ, алгоритмов и программ комплекса *АСТРА-НОВА’2021* (Windows-версия для IBM-совместимых компьютеров), предназначенного для автоматизированного расчета произвольных пространственных разветвленных трубопроводных систем на статическую и циклическую прочность (программа *АСТРА-СТАЦ*), на сейсмические воздействия (*АСТРА-СЕЙСМ*), на вибропрочность (*АСТРА-ВИБР*) и неустановившиеся динамические процессы (*АСТРА-ДИН*), а также для уточненных расчетов деталей по оболочечным и трехмерным схемам МКЭ (*АСТРА-СТАДИО*), а также для «предварительного» расчёта по выбору основных размеров (*АСТРА-ДЕТАЛЬ*) в соответствии с требованиями действующих Норм ПНАЭ Г-7-002-86 (*АСТРА-АЭС*), РД 10-249-98 (*АСТРА-ТЭС*), РТМ 38.001-94, ГОСТ 32388-2013 (*АСТРА-НЕФТЕХИМ*), РД 10-400-01, ГОСТ Р 55596-2013 (*АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ*), СНиП 2.05.06-85, СП 36.13330.2012, ГОСТ Р 55989-2014, ГОСТ Р 55990-2014 (*АСТРА-МАГИСТР*) и ГОСТ Р 55600-2013, РД РТМ 26-01-44-78 (*АСТРА-СВД*), РД5Р 4322-86 (*АСТРА-СУДПРОМ*). Приведено описание сеанса работ с комплексом *АСТРА-НОВА’2021*, включая режимы препроцессорной подготовки исходных данных (*ПРЕ-АСТРА*), проведения расчетов и постпроцессорной обработки результатов расчетов (*ПОСТ-АСТРА*), процедуры инсталляции комплекса и сводки диагностических сообщений.

Аннотация

Настоящий документ содержит Приложения к общему описанию программ “семейства” **АСТРА-НОВА’2021** (версия для ПЭВМ Pentium и IBM-совместимых), предназначенного для автоматизированного проектирования и поверочных расчетов произвольных пространственных разветвленных и протяженных трубопроводных систем на статическую и циклическую прочность (программы **АСТРА-СТАЦ** и **АСТРА-СТАДИО**), на сейсмические воздействия (**АСТРА-ФОРМ** + **АСТРА-СЕЙСМ** и **АСТРА-СТАДИО**), на вибропрочность (**АСТРА-ФОРМ** + **АСТРА-ВИБР**) и неустановившиеся динамические процессы (**АСТРА-ФОРМ** + **АСТРА-ДИН**), а также для «предварительного» расчёта по выбору основных размеров (**АСТРА-ДЕТАЛЬ**) в соответствии с требованиями действующих российских Норм ПНАЭ Г-7-002–86 (**АСТРА-АЭС**), РД 10-249–98 (**АСТРА-ТЭС**), РТМ 38.001–94, ГОСТ 32388-2013 (**АСТРА-НЕФТЕХИМ**), РД 10-400–01, ГОСТ Р 55596-2013 (**АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ**), СНиП 2.05.06–85, СП 36.13330.2012, ГОСТ Р 55989–2014, ГОСТ Р 55990–2014 (**АСТРА-МАГИСТР**) и ГОСТ Р 55600–2013, РД РТМ 26-01-44-78 (**АСТРА-СВД**), РД5Р 4322–86 (**АСТРА-СУДПРОМ**).

Содержание

Аннотация.....	3
Приложение 1. Основные условные обозначения и сокращения.....	5
Приложение 2. Алгоритм статического расчета трубопроводных систем.....	7
Приложение 3. Численная методика расчета подземных трубопроводов.....	23
Приложение 4. Характеристики пружинных опор.....	34
П 4.1 МВН 049-63.....	35
П 4.2 ОСТ 108.764.01-80.....	37
П 4.3 ОСТ 24.125.109-01.....	39
П 4.4 Специальные пружины (ВНИПИЭТ).....	41
П 4.5 LISEGA. Стандартные опоры 2010, каталог 2001 год.....	43
П 4.6 Сводная таблица пользователя (АЭП).....	50
Приложение 5. Определение местной жесткости узлов врезки штуцера.....	63
Приложение 6. Новые возможности <i>АСТРА-НОВА '2015</i>	71
Приложение 7. Руководство программиста.....	90

Приложение 1. Основные условные обозначения и сокращения

АЭС	– атомная электростанция
АЭУ	– атомные энергетические установки
ГИ	– гидро(пневмо) испытания
Г	– гигабайт
К	– килобайт
ЛСМ	– линейно-спектральный метод
М	– мегабайт
МКЭ	– метод конечных элементов
МПА	– максимальная проектная авария
МРЗ	– максимальное расчетное землетрясение (1 раз в 10000 лет)
ПЭВМ	– персональные ЭВМ типа Pentium и IBM-совместимые
Windows 95, 98, ME, NT, 2000, XP, Vista, 7	– операционные системы для ПЭВМ
НДС	– напряженно-деформированное состояние
Нормы ПНАЭ Г-7-002-86	– Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ. ПНАЭ Г-7-002–86.
ННУЭ	– нарушение нормальных условий эксплуатации (для трубопроводов АЭУ)
НУЭ	– нормальные условия эксплуатации (для трубопроводов АЭУ, пара и горячей воды)
ПГС	– промышленное и гражданское строительство
ПДН	– постоянные и длительные нагрузки (нефтехимия, теплосети и магистральные трубопроводы)
ПДК(ОН)	– постоянные, длительные, кратковременные и особые нагрузки (нефтехимия, теплосети и магистральные трубопроводы)
ПЗ	– проектное землетрясение (повторяемость 1 раз в 100 лет)
ПК	– программный комплекс
РТМ	– руководящие технические материалы
РД	– руководящий документ
САПР	– система автоматизированного проектирования
СНиП	– строительные нормы и правила
СЭ	– суперэлемент
СЭМ	– суперэлементная модель
ТЭС	– тепловая электростанция
ТС	– трубопроводная система
ЭВМ	– электронная вычислительная машина

Единицы измерения (исходные данные и результаты)

СИ	– мм, рад, с, МПа, кН/м, кН, кН⊙м, <i>m</i> , Гц, рад/с
СГС	– см, рад, с, кг/см ² , кг/см, кг, кг⊙см, Гц, рад/с

Отраслевые комплексы семейства *АСТРА-НОВА’2021*

АСТРА-АЭС – ПНАЭ Г-7-002–86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (в дополнение – оценка герметичности фланцевых соединений, расчет напряжений и прочности “ненормализованных” линзовых и сильфонных компенсаторов).

АСТРА-ТЭС – РД 10-249–98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды (п. 5.2, п. 10, п. 11).

АСТРА-НЕФТЕХИМ – РТМ 38.001–94. Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов. ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия.

АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ – РД 10-400–01. Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей (с корректировкой ряда нестрогих формул, введением расчета напряжений в косых стыках и переходах, а для подземных трубопроводов бесканальной прокладки – и по учету компенсирующих подушек). ГОСТ Р 55596-2013. Сети тепловые. Нормы и методы расчета на прочность и сейсмические воздействия.

АСТРА-СВД – РТМ 26-01-44-78. Детали трубопроводов на давление свыше 10 до 100 МПа. ГОСТ Р 55600-2013. Трубы и детали трубопроводов на давление свыше 100 до 320 МПа. Нормы и методы расчета на прочность.

АСТРА-МАГИСТР – СНИП 2.05.06–85. Магистральные трубопроводы, СП 36.13330.2012 (актуализированная редакция СНИП 2.05.06–85*) Магистральные трубопроводы (с необходимой авторской доработкой в части расчетной оценки прочности отводов, стыков и тройников, сейсмических и динамических расчетов), ГОСТ Р 55989–2014 Магистральные газопроводы. Нормы проектирования на давление свыше 10 МПа. Основные требования, ГОСТ Р 55990–2014. Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.

АСТРА-СУДПРОМ – РД5Р 4322–86. Трубопроводы судовые. Методика расчетов на статическую и малоцикловую прочность.

Программы “семейства” комплексов *АСТРА-НОВА’2021*

ПРЕ-АСТРА – диалоговый Windows-препроцессор для задания расчетной модели трубопровода.

АСТРА-СТАЦ – программа расчета на статическую и циклическую прочность.

АСТРА-ФОРМ – программа расчета собственных частот и форм колебаний.

АСТРА-СЕЙСМ – программа расчета на сейсмические воздействия.

АСТРА-ВИБР – программа расчета на вибропрочность.

АСТРА-ДИН – программа расчета на неустановившиеся динамические процессы.

ПОСТ-АСТРА – диалоговый Windows-постпроцессор для визуализации и построения таблиц результатов расчета.

АСТРА-СТАДИО – подсистема уточненного расчета температурного и напряженного состояния, статической, циклической и сейсмической прочности деталей трубопроводов при действии полной системы квазистатических нагрузок.

Приложение 2. Алгоритм статического расчета трубопроводных систем (адаптированные фрагменты РТМ 108.020.01–75)

П 2.1. Предварительные замечания

П 2.1.1. Излагаемый алгоритм расчета трубопроводных систем основывается на специальном методе раскрытия статической неопределенности, а именно на методе прогонки в сочетании с методом перемещений и начальных параметров. Положительные особенности его – простая логическая схема и высокая вычислительная надежность, т.е. слабая чувствительность к погрешности округления.

П 2.1.2. Алгоритм излагается применительно к одному (любому) этапу полного расчета трубопроводной системы. При этом используется матричный аппарат, что делает алгоритм удобным для программирования. Применяются квадратные матрицы 6×6 и 3×3 и матрицы-столбы (векторы) 6×1 .

П 2.1.3. Учитываются промежуточные упругие опоры (в том числе пружинные подвески). В практических расчетах трубопроводов по данному алгоритму опоры с бесконечной жёсткостью можно учитывать по способу замены их упругими опорами (упругими связями) очень большой жесткости.

П 2.2. Термины и обозначения

П 2.2.1. Под *трубопроводной системой* понимается разветвленный трубопровод, концы которого заземлены.

П 2.2.2. Точки, в которых линия трубопровода разветвляется, называются *узловыми (узлами)*.

П 2.2.3. *Участок* – часть линии трубопроводной системы, заключенная между смежными узлами или между концевой заземляющей опорой и прилежащим узлом. Участки делятся на *промежуточные* и *концевые*. Концевым называется участок, один конец которого заземлен.

П 2.2.4. Каждый участок состоит из *отрезков (прямолинейных, криволинейных)*. Границами отрезков являются: точка сопряжения прямолинейной трубы с криволинейной; место приложения внешней сосредоточенной нагрузки; место установки промежуточной опоры; место сопряжения труб, имеющих различные размеры поперечного сечения; сечение, где требуется определить напряжения или перемещения.

П 2.2.5. *Пролет* – часть участка, состоящая из нескольких отрезков (не менее двух) и заключенная между двумя смежными промежуточными опорами или узлом и ближайшей промежуточной опорой.

П 2.2.6. Узлы нумеруются $\bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \dots, \bar{N}$, причем последовательность нумерации может быть любой. Заземленные концы трубопроводной системы обозначаются $\bar{N}+1, \bar{N}+2, \dots$

П 2.2.7. Точки деления участка на отрезки обозначаются числами $0, 1, 2, \dots$. Отрезок обозначается числом, отмечающим его конечную точку (для отрезка $i - (i+1)$ конечной точкой является $i+1$).

П 2.2.8. Участок обозначается двумя числами с чертой наверху, отмечающими его концы. Так, участки трубопроводной системы обозначаются $\bar{1} - \bar{2}, \bar{1} - \bar{12}, \bar{1} - \bar{4}$ и т.д. Первое число соответствует концу участка, от которого ведется нумерация точек деления на отрезки (начальное сечение участка). Это число должно быть меньше числа, отмечающего конечное сечение участка.

П 2.3. Координаты системы

П 2.3.1. Используются *правосторонние* общая и местная ортогональные координатные системы. В общей координатной системе $(x_1 x_2 x_3)$ определяются координаты точек деления участков на отрезки. Местная система координат $(ix_1 x_2 x_3)$ используется при учете монтажной растяжки и при определении положения бокового отверстия в трубе.

П 2.3.2. Начало *общей* координатной системы можно располагать в принципе в любой точке пространства. Ось x_3 направляется вертикально вверх.

П 2.3.3. Начало *местной* координатной системы располагается в конечной точке отрезка.

В прямолинейном отрезке ось x_3 направляется вдоль отрезка в сторону от сечения $i-1$ к сечению i ; ось x_1 располагается параллельно плоскости $x_1 x_2$ и направление ее выбирается в такую сторону, чтобы косинус угла между этой осью и осью x_1 общей системы был положительным.

Расположение местной координатной системы криволинейного отрезка: ось x_3 направляется по хорде в сторону сечения $i-1$ к сечению i ; ось x_2 лежит в плоскости криволинейного отрезка и направлена по перпендикуляру к хорде в сторону выпуклости отрезка.

П 2.3.4. В дальнейшем буквенные обозначения величин, отнесенных к местной системе $ix_1 x_2 x_3$, снабжаются штрихом.

П 2.3.5. Будет использоваться также правосторонняя ортогональная *подвижная* координатная система $Sx_1'' x_2'' x_3''$ с началом в текущей точке S оси трубопровода. В криволинейном отрезке ось x_3'' направлена по касательной в сторону от сечения $i-1$ к сечению i ; ось x_2'' – по радиусу в сторону выпуклости отрезка.

В прямолинейном отрезке направления осей x_1'' , x_2'' , x_3'' совпадают с направлениями осей x_1 , x_2 , x_3 соответственно.

П 2.3.6. Буквенные обозначения величин, отнесенных к подвижной координатной системе, дополняются двумя штрихами.

П 2.4. Исходные данные для расчета трубопровода

П 2.4.1. Для промежуточных точек (сечений) каждого участка задаются:

а) для каждой точки $0, 1, 2, \dots$ деления на отрезки:

$$\left. \begin{array}{l} x_1, \text{ см} \\ x_2, \text{ см} \\ x_3, \text{ см} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{координаты в общей координатной системе } x_1x_2x_3 \\ \text{центра поперечного сечения;} \end{array}$$

б) для каждой точки в конце криволинейного отрезка:

$R, \text{ см}$ – радиус кривизны центральной оси;

в) для некоторых промежуточных точек:

$$\left. \begin{array}{l} e_{11}, \text{ кгс/см} \\ e_{22}, \text{ кгс/см} \\ e_{33}, \text{ кгс/см} \\ e_{44}, \text{ кгс} \cdot \text{см/рад} \\ e_{55}, \text{ кгс} \cdot \text{см/рад} \\ e_{66}, \text{ кгс} \cdot \text{см/рад} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{жесткости опоры скольжения или направляющей} \\ \text{опоры по осям } x_1x_2x_3; \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1, \text{ кгс} \\ P_2, \text{ кгс} \\ P_3, \text{ кгс} \\ P_4, \text{ кгс} \cdot \text{см} \\ P_5, \text{ кгс} \cdot \text{см} \\ P_6, \text{ кгс} \cdot \text{см} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{проекции вектора сосредоточенной силы и момента на} \\ \text{оси } x_1x_2x_3; \end{array}$$

$P_{\text{зп}}, \text{ кгс}$ – нагрузка пружинной подвески;

$k, \text{ кгс/см}$ – жесткость пружинной подвески;

$L, \text{ см}$ – рабочая длина пружинной подвески;

г) для одной точки (не совпадающей с концом пролета):

$$\left. \begin{array}{l} \delta'_1, \text{ см} \\ \delta'_2, \text{ см} \\ \delta'_3, \text{ см} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{проекции вектора поступательного перемещения} \\ \text{начального сечения } (i+1)\text{-го отрезка относительно} \\ \text{конечного сечения } i\text{-го отрезка, возникающего при} \\ \text{выполнении монтажной растяжки в сечении } i, \text{ на оси} \\ \text{местной системы координат } ix_1x_2x_3; \end{array}$$

II 2.4.2. Для каждой задаются:

$p, \text{ кгс/см}^2$ – внутреннее избыточное давление;

$\beta, 1/^\circ\text{C}$ – коэффициент линейного расширения;

$$\left. \begin{array}{l} q_1, \text{ кгс/см} \\ q_2, \text{ кгс/см} \\ q_3, \text{ кгс/см} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{интенсивность распределенной нагрузки по осям} \\ x_1, x_2, x_3; \end{array}$$

$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$ – температура нагрева;

$D_{\text{н}}, \text{ см}$ – наружный диаметр;

$S_{\text{н}}, \text{ см}$ – толщина стенки;

c^* , см – утонение стенки;
 E , кгс/см² – модуль упругости;
 ν – коэффициент Пуассона;

$$\left. \begin{array}{l} u_1, \text{см} \\ u_2, \text{см} \\ u_3, \text{см} \\ u_4, \text{рад} \\ u_5, \text{рад} \\ u_6, \text{рад} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{проекции вектора перемещения зашечленного} \\ \text{конца.} \end{array}$$

Для некоторых отрезков значения D_n , S_n , c^* могут отличаться от их значений для всего участка.

П 2.5. Расчет отрезков (элементов)

П 2.5.1. Матрица поворота для прямолинейного отрезка

П 2.5.1.1. Исходные данные: координаты в системе $x_1x_2x_3$ концов $i-1$, i отрезка.

П 2.5.1.2. Матрица поворота

$$\alpha_i = \alpha_{2i} \alpha_{1i}, \quad (1)$$

где:

$$\alpha_{1i} = \begin{vmatrix} \cos \hat{x}_3 & \sin \hat{x}_3 & 0 \\ -\sin \hat{x}_3 & \cos \hat{x}_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad (2)$$

$$\alpha_{2i} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \hat{\xi}_1 & \sin \hat{\xi}_1 \\ 0 & -\sin \hat{\xi}_1 & \cos \hat{\xi}_1 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Здесь в обозначениях углов, а далее в обозначениях и других величин индекс i , отмечающий номер отрезка, для сокращения записи опущен.

В приведенных формулах:

$$\cos \hat{x}_3 = \left| \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2}} \right|;$$

$$\sin \hat{x}_3 = \pm \left| \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + r_2^2}} \right|;$$

$$\cos \hat{\xi}_1 = \frac{r_3}{\nu};$$

$$\sin \hat{\xi}_1 = -\frac{1}{\nu}(-r_1 \sin \hat{x}_3 + r_2 \cos \hat{x}_3),$$

где:

$$r_j = x_j^{(i)} - x_j^{(i-1)} \quad (j=1,2,3);$$

$$\nu = \sqrt{\sum_{j=1}^3 r_j^2}.$$
 (4)

В формуле для $\sin \hat{x}_3$ берется знак плюс, если r_1 и r_2 имеют разные знаки, и знак минус – в противном случае.

В случае $r_1=r_2=0$ принимается $\cos \hat{x}_3 = 1$, $\sin \hat{x}_3 = 0$, а в случае $r_1 \neq 0$, $r_2=0$ вычисления $\sin \hat{x}_3$ и $\cos \hat{x}_3$ следует производить по общим формулам, приписывая значению $r_2=0$ знак минус.

П 2.5.2. Матрица поворота для криволинейного отрезка

П 2.5.2.1. Исходные данные: координаты в координатной системе $x_1x_2x_3$ концов $i-1$, i криволинейного отрезка и конца $i-2$ предшествующего прямолинейного отрезка; радиус кривизны R_i .

П 2.5.2.2. Искомая матрица поворота:

$$\alpha_i = \alpha_{3i} \alpha_{2i} \alpha_{1i}. \quad (5)$$

Матрицы α_{1i} , α_{2i} определяются для отрезка $(i-1, i)$ по формулам прямолинейного отрезка (2), (3), а

$$\alpha_{3i} = \begin{vmatrix} \cos \hat{\eta}_3 & \sin \hat{\eta}_3 & 0 \\ -\sin \hat{\eta}_3 & \cos \hat{\eta}_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Здесь:

$$\cos \hat{\eta}_3 = \frac{1}{\nu_{i-1} \sin \frac{\theta_i^*}{2}} \left[(-r_1 \sin x_3 + r_2 \cos x_3) \cos \hat{\xi}_1 + r_3 \sin \hat{\xi}_1 \right];$$

$$\sin \hat{\eta}_3 = - \frac{1}{v_{i-1} \sin \frac{\theta_1^*}{2}} (r_1 \cos \hat{x}_3 + r_2 \sin \hat{x}_3),$$

где:

$$r_j = x_j^{(i-1)} - x_j^{(i-2)} \quad (j=1,2,3);$$

$$v_{i-1} = \sqrt{\sum_{j=1}^3 r_j^2};$$

$$\sin \frac{\theta_i^*}{2} = \frac{v_i}{2R_i} \quad (v_i = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (x_j^{(i)} - x_j^{(i-1)})^2}),$$

где θ_i^* – угол между крайними сечениями криволинейного отрезка.

П 2.5.3. Определение координат точек излома вписанной ломаной, заменяющей криволинейный отрезок

П 2.5.3.1. Исходные данные: координаты в координатной системе $x_1x_2x_3$ концов $i-2, i-1, i$ отрезков; радиус кривизны R_i

П 2.5.3.2. Координаты точек μ ($\mu=1, 2, \dots, 2\nu-1$) излома вписанной ломаной в системе $x_1x_2x_3$ равны:

$$\begin{pmatrix} x_1^{(\mu)} \\ x_2^{(\mu)} \\ x_3^{(\mu)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ x_3^{(i)} \end{pmatrix} + \tilde{\alpha}_i R_i \begin{pmatrix} 0 \\ \cos(\theta_\mu - \frac{\theta_i^*}{2}) - \cos \frac{\theta_i^*}{2} \\ \sin(\theta_\mu - \frac{\theta_i^*}{2}) - \sin \frac{\theta_i^*}{2} \end{pmatrix}.$$

Здесь α_i – матрица, являющаяся транспонированной по отношению к матрице α_i , вычисляемой для данного криволинейного отрезка по формуле (5).

Угол $\frac{\theta_i^*}{2}$ вычисляется из соотношения:

$$\sin \frac{\theta_i^*}{2} = \frac{v_i}{2R_i},$$

используемого при определении матрицы α_i .

$$\text{Угол } \theta_\mu = \frac{\theta_i^*}{2\nu} \mu \quad (\mu=1, 2, \dots, 2\nu-1).$$

П 2.5.4. Матрица податливости для конечной точки отрезка

П 2.5.4.1. Исходные данные: координаты в координатной системе $x_1x_2x_3$ концов отрезка (в случае криволинейного отрезка – координаты концов отрезка вписанной ломаной); модуль упругости E ; наружный диаметр трубы D_n ; толщина стенки трубы S_n .

П 2.5.4.2. Искомая матрица:

$$a_i = \tilde{D}_i a_i' D_i,$$

Здесь \tilde{D}_i – матрица, являющаяся транспонированной по отношению к матрице D_i ;

D_i – матрица 6×6 , равная:

$$D_i = \begin{vmatrix} \alpha_i & 0_3 \\ 0_3 & \alpha_i \end{vmatrix};$$

$$a_i' = \begin{vmatrix} F_1' + F_2' & F_3' \\ F_4' & F_5' \end{vmatrix},$$

где 0_3 – матрица 3×3 ;

α_i – матрица поворота, вычисляемая по формуле (1);

$$F_1' = A v;$$

$$F_2' = \frac{1}{3} v^3 \frac{k_p^*}{E J_y} \omega_1;$$

$$F_3' = \frac{1}{2} v^2 \frac{k_p^*}{E J_y} \omega_2;$$

$$F_4' = \frac{1}{2} v^2 \frac{k_p^*}{E J_y} \omega_2;$$

$$F_5' = B v;$$

Здесь:

$$\omega_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad \omega_2 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}; \quad (6)$$

$$A = \left\| \begin{array}{ccc} \frac{2}{GF} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{GF} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EF} \end{array} \right\|; \quad B = \left\| \begin{array}{ccc} \frac{k_p^*}{EJ_3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_p^*}{EJ_3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{GJ_p} \end{array} \right\|, \quad (7)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} F &= \pi S_u (D_u - S_u) \\ J_3 &= \frac{\pi D_n^4}{64} \left[1 - \left(\frac{D_n - 2S_u}{D_n} \right)^4 \right] \end{aligned} \right\}; \quad (8)$$

$$J_p = 2J_3;$$

$$G = \frac{E}{2,6}.$$

Формулы пригодны как для прямолинейных отрезков, так и для отрезков ломаной, заменяющей криволинейный отрезок; разница только в том, что в первом случае $k_p^* = 1$.

Длина отрезка вычисляется по формуле (4).

Примечание. В случае криволинейного отрезка расчет ведется для заменяющих прямолинейных отрезков, причем все исходные значения, кроме координат, соответствуют криволинейному отрезку в целом. Матрица D_i вычисляется для заменяющего отрезка, т.е. по координатам концов этого отрезка.

П 2.5.5. Матрица перемещений начального сечения отрезка вследствие распределенных воздействий и монтажной растяжки

П 2.5.5.1. Исходные данные: координаты в системе $x_1x_2x_3$ концов отрезка i (в случае криволинейного отрезка – координаты концов отрезка вписанной ломаной); температура нагрева t_n ; значения перемещений данного сечения i при монтажной растяжке; значение интенсивности распределенной нагрузки для отрезка; коэффициент линейного расширения β ; значения E, G, D_n, S_n для отрезка i .

Примечание. В случае криволинейного отрезка расчет ведется для заменяющих прямолинейных отрезков, причем все исходные значения, кроме координат, соответствуют криволинейному отрезку в целом.

П 2.5.5.2. Искомая матрица перемещений (сечения i отрезка $i+1$):

$$\Delta_i = \tilde{D}_i (\Delta'_{iq} + \Delta'_{it} + \delta'_i).$$

Здесь:

$$\Delta'_{iq} = \left\| \begin{array}{cc} \overline{F}'_1 + \overline{F}'_2 & 0_3 \\ \overline{F}'_4 & 0_3 \end{array} \right\| D_i q,$$

где:

q – интенсивность распределенной нагрузки;

$$\overline{F}'_1 = \frac{1}{2} A \nu^2;$$

$$\overline{F}'_2 = \frac{1}{8} \nu^4 \frac{k_p^*}{E J_s} \omega_1;$$

$$\overline{F}'_4 = \frac{1}{6} \nu^3 \frac{k_p^*}{E J_s} \omega_2;$$

Значения ω_1 , ω_2 , A , F , J_s , определяются по формулам (6), (7), (8).

Для прямолинейных отрезков, не заменяющих криволинейные, $k_p^* = 1$

Матрица q имеет вид:

$q = \{\times \times \times 000\}$ (\times – элементы, значения которых задаются).

Матрицы Δ'_u и δ'_i имеют значения:

$$\Delta'_{iu} = \left[\beta t_u \nu - \frac{2\nu}{E} \frac{P(D-2s)^2}{(D^2 - (D-2s)^2)} \right] \{001000\};$$

$$\delta'_i = \{\times \times \times 000\}.$$

Матрица D_i равна:

$$D_i = \left\| \begin{array}{cc} \alpha_i & 0 \\ 0 & \alpha_i \end{array} \right\|,$$

где α_i – матрица поворота, вычисляемая по формуле (1).

П 2.5.6. Матрица внутренних сил, вызываемых распределенной нагрузкой

П 2.5.6.1. Исходные данные: координаты в системе $x_1 x_2 x_3$ концов отрезка (для криволинейного отрезка – координаты концов отрезка вписанной ломаной); значение интенсивности распределенной нагрузки.

П 2.5.6.2. Искомая матрица (для конечной точки отрезка):

$$V_i = \nu \overline{D}_i \left\| \begin{array}{cc} I_3 & 0_3 \\ (1/2)\nu\omega_2 & I_3 \end{array} \right\| D_i q.$$

Значения величин ν , D_i , q , ω_2 приводились выше; I_3 – единичная матрица 3×3 .

П 2.6. Расчет пролета

П 2.6.1. Определение некоторых матриц пролета

П 2.6.1.1. Определяются следующие матрицы (рис. П2.7):

$$\left. \begin{aligned} a_{pj} &= \tilde{G}_{pj}; \\ \bar{b}_{pj} &= G_{jp}; \\ b_{pj} &= -\sum_{v=j+1}^p \tilde{G}_{pv} a_v G_{jv}; \\ \bar{c}_{pj} &= \sum_{v=j+1}^p G_{vp} (V_v + P_v); \\ c_{pj} &= \sum_{v=j+1}^p \tilde{G}_{pv} [-a_v (\bar{c}_{vj} - P_v) + \Delta_v] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

при $p = j+1, j+2, \dots, k$.

Последнюю формулу при программировании целесообразно представить в виде:

$$c_{pj} = \sum_{v=j+1}^p \tilde{G}_{pv} \left[-a_v \sum_{k=j+1}^v G_{kv} (V_k + P_k) + \Delta_v + a_v P_v \right].$$

В этих формулах:

$$G_{jp} = \left\| \begin{array}{cc} I_3 & 0_3 \\ -\bar{r}_{jp} & I_3 \end{array} \right\|, \quad \tilde{G}_{pj} = \left\| \begin{array}{cc} I_3 & -\bar{r}_{jp} \\ 0_3 & I_3 \end{array} \right\|,$$

где:

$$\bar{r}_{jp} = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -r_3^{jp} & r_2^{jp} \\ r_3^{jp} & 0 & -r_1^{jp} \\ -r_2^{jp} & r_1^{jp} & 0 \end{array} \right\|,$$

причем:

$$r_1^{jp} = x_1^p - x_1^j;$$

$$r_2^{jp} = x_2^p - x_2^j;$$

$$r_3^{jp} = x_3^p - x_3^j$$

есть проекции радиуса-вектора \vec{r}_p на оси координатной системы $x_1x_2x_3$;

P_ν ($\nu = j+1, j+2, \dots, k-1$) – матрица-столбец внешней сосредоточенной нагрузки и/или сосредоточенные нагрузки от действия внутреннего давления в элементах трубопровода

Матрицы a_ν, V_ν, Δ_ν вычисляются по приведенным в разделе 5 формулам.

Примечания:

1. При выполнении расчета по формулам (9) с целью формирования разрешающей системы уравнений следует принимать $p=k$.

2. Если участок не имеет промежуточных опор, то нужно принимать, что участок состоит из одного пролета и $j=0, k=n$ (n – число отрезков в участке).

П 2.6.2. Вектор сил в начальном сечении пролета

П 2.6.2.1. Исходные данные: j, k – номера сечений концов пролета; λ_j, λ_k – векторы (6×1) перемещений концов пролета (определение их см. в п. 9).

П 2.6.2.2. Искомый вектор:

$$X_j = b_{kj}^{-1}(\lambda_k - a_k \lambda_j - c_{kj}), \quad (10)$$

где b_{kj}, a_{kj}, c_{kj} вычисляются по формулам (9) при $p=k$.

Примечание. Если в участке нет промежуточных опор, то формула (10) используется только для определения сил X_0 в начальном сечении участка.

П 2.6.3. Векторы перемещений и сил в промежуточных сечениях пролета

П 2.6.3.1. Исходные данные: λ_j – вектор перемещений начального сечения пролета; X_j – вектор сил в начальном сечении пролета.

П 2.6.3.2. Исходные векторы:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_i &= \tilde{G}_{i(i-1)} \lambda_{i-1} a_i (G_{(i-1)i} X_{i-1} + V_i) + \Delta_i; \\ X_i &= G_{(i-1)i} X_{i-1} + P_i + V_i \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

при $i = j+1, \dots, k-1$.

Примечание. Для последнего пролета участка (т.е. при $k=n$) по формулам (11) вычисляются, кроме того, значения матриц λ_n, X_n . По λ_n производится контроль правильности вычислений: в случае заземленного конца перемещения λ_n должны быть равны заданным перемещениям, в противном случае – вычисленным перемещениям узла.

II 2.7. Расчет узла

II 2.7.1. Расчет начинается с замены криволинейных элементов вписанными ломаными, т.е. с определения координат точек, излома последних (см. подраздел 5.3). Кроме того, для криволинейных элементов должны быть вычислены значения коэффициента k_p^* .

Последовательно вычисляются для сечений, где установлены промежуточные опоры, матрицы:

$$\left. \begin{aligned} L_l &= -[c_l + b_l L_k]^{-1} d_l; \\ N_l &= -[c_l + b_l L_k]^{-1} b_l N_k; \\ M_l &= [c_l + b_l L_k]^{-1} [-b_l M_k + g_l] \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

причем:

$L_0 = 0_6$ (нулевая матрица 6х6);

$N_0 = I_6$ (единичная матрица 6х6);

$M_0 = \bar{0}_6$ (нулевой вектор 6х1);

$$\left. \begin{aligned} b_l &= \bar{b}_{lk} b_{lk}^{-1} a_{lk}; \\ c_l &= -b_{ml}^{-1} a_{ml} \bar{b}_{lk} b_{lk}^{-1} + e_l; \\ d_l &= b_{ml}^{-1}; \\ g_l &= b_{ml}^{-1} c_{ml} - \bar{b}_{lk} b_{lk}^{-1} c_{lk} + \bar{c}_{lk}, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где: l – номер конца пролета;

k – номер начала пролета;

m – конец следующего пролета;

e_l – матрица 6х6, в которой ненулевыми являются диагональные элементы $e_{11}^l \div e_{66}^l$:

$$e_l = \begin{vmatrix} e_{11}^l & & & & & \\ & e_{22}^l & & & & \\ & & e_{33}^l & & & \\ & & & e_{44}^l & & \\ & & & & e_{55}^l & \\ 0 & & & & & e_{66}^l \end{vmatrix}$$

Для упругой опоры:

$$e_{11}^l = e_{22}^l = \frac{P_{3y}^{(l)}}{L_l}; \quad e_{33}^l = k_l,$$

где: k_l, L_l – жесткость и рабочая длина промежуточной пружинной подвески;

$P_{3y}^{(l)}$ – рабочая нагрузка пружинной подвески.

Для всех типов опор (кроме пружинных) $e_{11}^l \div e_{66}^l$ вычисляются программой и/или принимаются по исходным данным.

Вычисление матриц с двойной нижней индексацией производится по формулам (9).

Примечание. Матрицы L_l, N_l, M_l желательно запоминать для проведения расчета напряжений.

Кроме того, вычисляются матрицы:

$$\left. \begin{aligned} N_{jn} &= N_j + \dots + L_j \dots L_k N_l + L_j \dots L_k L_l N_m + \dots + \\ &\quad + L_j \dots L_k L_l L_m \dots N_r; \\ M_{jn} &= M_j + \dots + L_j \dots L_k M_l + L_j \dots L_k L_l M_m + \dots + \\ &\quad + L_j \dots L_k L_l L_m \dots M_r; \\ L_{jn} &= L_j \dots L_k L_l L_m \dots L_r. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где: j – конец первого пролета;

r – начало последнего пролета;

n – конец участка.

Далее вычисляются матрицы:

$$\left. \begin{aligned} A_{00} &= b_{j0}^{-1}(a_{j0} - N_{jn}); \\ B_{00} &= b_{j0}^{-1}(c_{j0} - M_{jn}); \\ A_{0n} &= b_{j0}^{-1}L_{jn}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для промежуточных участков, кроме того, вычисляются матрицы:

$$\left. \begin{aligned} A_{nn} &= \bar{b}_{nr} b_{nr}^{-1}(I_6 - a_{nr} L_r); \\ A_{n0} &= \tilde{A}_{0n}; \\ B_{n0} &= -\bar{b}_{nr} b_{nr}^{-1}(a_{nr} M_r + c_{nr}) + \bar{c}_{nr}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

В случае, когда участок не имеет промежуточных опор, в формулах (16) следует принять:

$$r = 0; \quad L_r = 0_6; \quad M_r = \bar{0}_6,$$

а в формулах (15):

$$j = n; \quad N_{jn} = 0_6; \quad M_{jn} = \bar{0}_6; \quad L_{jn} = I_6;$$

формулы (12) и (14) в этом случае не используются.

Примечание. Принимается предположение, что в узлах промежуточные опоры отсутствуют.

П 2.8. Формирование разрешающей системы уравнений

П 2.8.1. Матрицы (15), (16) используются для формирования разрешающей системы уравнений:

$$\begin{pmatrix} A_{1\bar{1}}^\Sigma & A_{1\bar{2}} & A_{1\bar{3}} & A_{1\bar{N}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{i\bar{1}} & A_{i\bar{2}} & A_{i\bar{3}} & A_{i\bar{N}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{N\bar{1}} & A_{N\bar{2}} & A_{N\bar{3}} & A_{N\bar{N}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \lambda_{\bar{1}} \\ \dots \\ \lambda_{\bar{i}} \\ \dots \\ \lambda_{\bar{N}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{\bar{1}}^\Sigma \\ \dots \\ B_{\bar{i}}^\Sigma \\ \dots \\ B_{\bar{N}}^\Sigma \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Целесообразно формирование системы (17) производить одновременно с расчетом участков, не выделяя в отдельный блок.

Коэффициенты $A_{1\bar{1}}^\Sigma, A_{1\bar{2}}, \dots$ – матрицы 6×6 ;

$\lambda_{\bar{1}}, \lambda_{\bar{2}}, \dots, B_{\bar{1}}^\Sigma, B_{\bar{2}}^\Sigma, \dots$ – векторы-столбцы 6×1 .

Каждая строка системы соответствует одному узлу, а именно узлу, номер которого составляет нижний индекс при λ и B^Σ и первый нижний индекс при A (второй индекс – номер узла, с которым данный узел соединен участком).

Коэффициенты и свободные члены системы (17) вычисляются следующим образом.

П 2.8.2. Матрица $A_{i\bar{i}}^\Sigma$ является суммой матриц A_{00}, A_{nn} участков, сходящихся в данном узле \bar{i} , причем для участков, нумерация точек деления которых на отрезки начинается в узле, берется A_{00} , а для участков, нумерация деления которых заканчивается в узле, берется A_{nn} .

П 2.8.3. Матрица $B_{\bar{i}}^\Sigma$ является суммой со знаком минус матриц B_{0n} и B_{n0} участков, сходящихся в узле \bar{i} , причем для участков, нумерация точек деления которых на отрезки начинается в узле, берется B_{0n} , а для таких участков, нумерация точек деления которых заканчивается в узле, берется B_{n0} . В

случае когда к узлу подходит концевой участок, в сумму B_i^Σ включается также матрица $A_{0n}\lambda_n$ этого участка.

Вместе с тем эта матрица A_{0n} исключается из матрицы коэффициентов системы (17).

В случае когда трубопроводная система имеет один узел, матрица перемещений его определяется по формуле:

$$\lambda_1 = (A_{11}^\Sigma)^{-1} B_1^\Sigma.$$

При выборе метода для решения системы уравнений следует учитывать, что матрица коэффициентов получается симметричной, положительно определенной и может иметь большое количество нулевых элементов.

П 2.9. Расчет усилий, перемещений, напряжений

П 2.9.1. Перемещения сечений, где устанавливаются промежуточные упругие опоры (т.е. концевых сечений пролета), вычисляются по формуле обратного хода.

$$\lambda_l = L_l \lambda_m + N_l \lambda_0 + M_l$$

Усилия в начальных сечениях пролетов вычисляются по формуле (10). Для участков, не имеющих промежуточных опор, усилия X_0 вычисляются по той же формуле при $j=0, k=n$.

Усилия и перемещения в промежуточных сечениях пролета вычисляются по формуле (11).

В вычисляемых матрицах сил первые три элемента являются проекциями вектора силы на оси x_1, x_2, x_3 , а остальные три – проекциями вектора момента на те же оси. Первые три элемента матриц перемещений – проекции вектора поступательного перемещения на оси x_1, x_2, x_3 , а остальные три – проекции на эти оси вектора углового перемещения.

Для сечений 0, 1, 2, ..., n участков, а также для сечений, расположенных по середине криволинейных отрезков, вычисляются напряжения. Предварительно матрица сил X_i , действующих в этих сечениях, должна быть приведена к осям подвижной координатной системы по формулам:

$$X_i'' = D_i X_i;$$

$$X_i'' = D_i^0 D_i X_i.$$

Первая формула справедлива для сечения, расположенного в конце прямолинейного отрезка и на середине криволинейного отрезка, а вторая формула – для сечения, расположенного в конце криволинейного отрезка.

Матрица D_i вычисляется в соответствии с п.5.4.2. Для сечений, расположенных в середине и в конце криволинейного отрезка, матрица D_i вычисляется для отрезка в целом (a_i вычисляется по формуле (5)).

Матрица:

$$D_i^0 = \begin{vmatrix} \alpha_i^0 & 0_3 \\ 0_3 & \alpha_i^0 \end{vmatrix},$$

где:

$$\alpha_i^0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \frac{\theta_i^*}{2} & \sin \frac{\theta_i^*}{2} \\ 0 & -\sin \frac{\theta_i^*}{2} & \cos \frac{\theta_i^*}{2} \end{vmatrix}.$$

При определении напряжений в криволинейных трубах следует учитывать равенства (см. раздел 5 РТМ):

$$N_z = -X_3'';$$

$$M_x = -X_4'';$$

$$M_y = X_5'';$$

$$|M_z| = |X_6''|,$$

где $X_3'', X_4'', X_5'', X_6''$ – элементы вектора внутренних сил, отнесенного к текущей системе координат.

Угол Φ , характеризующий положение бокового отверстия в трубе (тройниковый узел, см. рис. П4.7 РТМ), должен отсчитываться от положительной оси x_1'' в сторону положительной оси x_2'' .

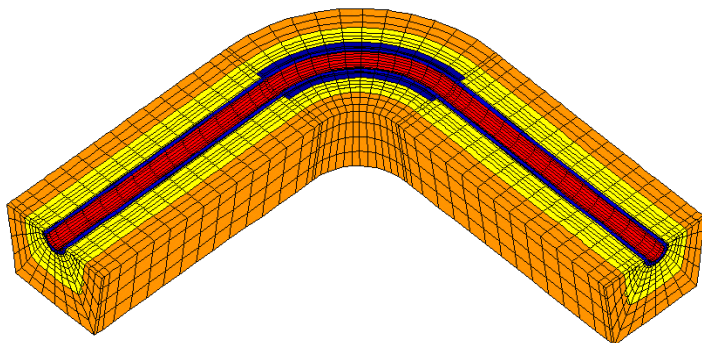
Напряжение σ_{zMN}^0 определяется при этом по формуле:

$$\sigma_{zMN}^0 = \frac{-X_4'' \sin \Phi + X_5'' \cos \Phi}{W} - \frac{X_3''}{F}.$$

Приложение 3. Численная методика расчета подземных трубопроводов

П 3.1. Общие положения

Рассматривается взаимодействие стального трубопровода с промышленной изоляцией (например, пенополиуретановой, ППУ) в оболочке (в частности, полиэтиленовой, ПЭ), компенсирующих подушек (как правило, из пенопласта) и грунта.



Сопротивление перемещениям в плоскости, перпендикулярной оси трубопровода, вследствие его нагрева моделируется в каждой точке цепью последовательно соединенных пружин. На рис. 3.1 показана пружинная цепь, моделирующая сопротивление боковым перемещениям в горизонтальной плоскости. В вертикальной плоскости имеем аналогичную расчетную схему.

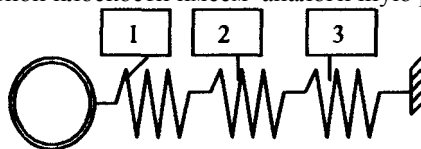


Рис. 3.1

Пружина 1 моделирует сопротивление боковым перемещениям ППУ-изоляции, пружина 2 – подушек из пенопласта, пружина 3 – грунта. Сопротивлением полиэтиленовой оболочки в силу его малости пренебрегаем.

Подушки из пенопласта могут отсутствовать, тогда число пружин сокращается, т. е. цепь будет состоять из пружин 1 и 3.

В формуле:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_0 \cdot D_{\kappa}}{4K_p^* EI}}$$

назовем произведение $k_0 D_{\kappa}$ линейным коэффициентом постели и обозначим его через k . Для этого коэффициента справедлива формула:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}.$$

$$\frac{I}{k} = \frac{I}{k_1} + \frac{I}{k_2} + \frac{I}{k_3}.$$

Пусть сжатие трех последовательно соединенных пружин δ_k , тогда, деформации сжатия каждой пружины составит:

$$\delta_1 = \delta_k \frac{k}{k_1},$$

$$\delta_2 = \delta_k \frac{k}{k_2},$$

$$\delta_3 = \delta_k \frac{k}{k_3}.$$

Относительные деформации сжатия будут следующими:

$$\varepsilon_1 = \frac{\delta_1}{\delta_k} = \frac{k}{k_1},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\delta_2}{\delta_k} = \frac{k}{k_2},$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_3}{\delta_k} = \frac{k}{k_3}.$$

Жесткость каждой пружины характеризуется своим коэффициентом постели и зависит от бокового перемещения трубы не линейно. Определение k_1, k_2, k_3 приводится ниже.

П 3.2. ППУ-изоляция

Линейный коэффициент постели, $H/мм^2$

$$k_1 = k_{h1} \cdot D_k,$$

где:

$$k_{h1} = \frac{E_1^s}{s_u},$$

E_1^s – модуль упругости ППУ-изоляции (секущая), $H/мм^2$,

s_u – толщина изоляции, $мм$.

$$s_u = 0,5(D_k - D_n)$$

D_k – диаметр кожуха изоляции, $мм$,

D_n – наружный диаметр трубы, $мм$.

E_1^s вычисляется по формулам:

- при $\varepsilon \leq 0,03$ $E_1^s = 8,8 \text{ Н/мм}^2$,
- при $\varepsilon > 0,03$

$$E_1^s = B_1(100\varepsilon - B_2)^{B_4} \cdot (B_3 - 100\varepsilon)^{B_5},$$

где:

$$\begin{aligned} B_1 &= 1016,2; \\ B_2 &= -4,0397; \\ B_3 &= 83,339; \\ B_4 &= -1,1678; \\ B_5 &= -0,56135. \end{aligned}$$

В приведенных формулах $\varepsilon = \frac{\delta_1}{\delta_k}$.

k_l находится с помощью итераций. Начальное приближение для $E_l^s = 8,8 \text{ Н/мм}^2$.

При дискретной модели взаимодействия с грунтом жесткость эквивалентной пружины $c_l = k_l l$ (l – шаг расстановки упругих опор), а ее податливость $\lambda_l = 1/c_l$.

П 3.3. Компенсирующая подушка

Линейный коэффициент постели, Н/мм^2

$$k_2 = k_{h2} \cdot D_\kappa = E_2^s,$$

где:

$$k_{h2} = \frac{E_2^s}{D_\kappa},$$

E_2^s – модуль упругости подушки (секущая), Н/мм^2 ,

D_κ – толщина подушек, принимаемая равной диаметру кожуха изоляции, мм .

E_2^s вычисляется по формуле:

$$E_2^s = B_1 \cdot e^{B_2 \cdot \varepsilon} + B_3 \cdot e^{B_4 \cdot \varepsilon},$$

где:

$$\varepsilon = \frac{\delta_2}{\delta_k}.$$

Для “мягких” подушек

$$\begin{aligned} B_1 &= 0,4767 \cdot 10^{-10}; \\ B_2 &= 26,055; \\ B_3 &= 0,03062; \\ B_4 &= 1,5326. \end{aligned}$$

Для “средних” подушек

$$V_1=0,1557 \cdot 10^{-6};$$

$$V_2=18,348;$$

$$V_3=0,05082;$$

$$V_4=2,0017.$$

Для “жестких” подушек

$$V_1=1,5026 \cdot 10^{-5};$$

$$V_2=16,347;$$

$$V_3=0,1242;$$

$$V_4=1,2863.$$

k_2 находится с помощью итераций. Начальное приближение для $E_2^s - 0,3$ $H/мм^2$.

При дискретной модели взаимодействия с грунтом жесткость эквивалентной пружины $c_2=k_2l$ (l – шаг расстановки упругих опор), а ее податливость $\lambda_2=1/c_2$.

П 3.4. Грунт – горизонтальная плоскость

Линейный коэффициент постели, $H/мм^2$

$$k_3 = k_{h3} \cdot D_{\kappa},$$

где:

$$k_{h3} = \begin{cases} \frac{R_{ep}}{|\delta_3|} & |\delta_3| > \frac{R_{ep}}{k_{h3}^0} \\ k_{h3}^0 & |\delta_3| \leq \frac{R_{ep}}{k_{h3}^0} \end{cases}.$$

В приведенных формулах:

R_{ep} – несущая способность грунта, $H/мм^2$.

$$k_{h3}^0 = \frac{0,12 E_{ep} n_{ep}}{(1-\mu^2) \sqrt{l_0 D_{\kappa}}} \left(1 - e^{\frac{-2Z}{D_{\kappa}}} \right),$$

E_{ep} – модуль упругости грунта, $H/мм^2$;

l_0 – единичная длина трубопровода, равная 1000мм;

Примечание: если принимаются другие размерности, например килограммы – сантиметры, то $l_0=100см$, а если тонны-метры $l_0=1м$.

μ – коэффициент Пуассона грунта;

Z – глубина заложения от поверхности до оси трубы, мм;

η_{zp} – коэффициент, характеризующий положение в траншее.

$$\eta_{zp} = 0,547\beta^2 - \beta + 0,854,$$

$$\beta = \begin{cases} \frac{a}{Z} \frac{a}{Z} < 1 \\ 1 \frac{a}{Z} \geq 1 \end{cases}, a - \text{расстояние от боковой образующей поверхности}$$

кожуха до стенки траншеи, мм

$$a = \begin{cases} a = 150 & D_{\kappa} < 700 \\ a = 0,25D_{\kappa} & D_{\kappa} \geq 700 \end{cases}.$$

Величина k_3 находится с помощью итераций. Начальное приближение для $k_{h3} - k_{h3}^0$.

При дискретной модели взаимодействия с грунтом жесткость эквивалентной пружины $c_3 = k_3 l$ (l – шаг расстановки упругих опор), а ее податливость $\lambda_3 = l/c_3$.

П 3.5. Грунт – вертикальная плоскость, параллельная оси трубы

Линейный коэффициент постели, $H/\text{мм}^2$

$$k_3 = k_{h3} \cdot D_{\kappa},$$

где k_{h3} не линейно зависит от вертикальных перемещений трубопровода и рассчитывается по ниже приведенным формулам:

$$k_{h3ocu}^0 = \frac{0,144E_{zp.оч}}{(1 - \mu^2)\sqrt{l_0 D_{\kappa}}}, \quad \text{при } \delta_{\kappa} \geq 0 \text{ (перемещение вниз)}$$

$$k_{h3зас}^0 = \frac{0,072E_{zp.зас}}{(1 - \mu^2)\sqrt{l_0 D_{\kappa}}} \left(1 - e^{\frac{-2Z}{D_{\kappa}}} \right), \quad \text{при } \delta_{\kappa} < 0 \text{ (перемещение вверх)}.$$

$$k_{h3} = \begin{cases} 0 & \delta_3 \leq -\frac{q_{np.zp.}}{k_{h3зac}^0 D_{\kappa}} - \frac{q_{np}}{C_{p,z}} \\ -\frac{q_{np} + \left(\delta_3 + \frac{q_{np.zp.}}{k_{h3зac}^0 D_{\kappa}} \right) \cdot C_{p,z}}{\delta_3 D_{\kappa}} & -\frac{q_{np.zp.}}{k_{h3зac}^0 D_{\kappa}} - \frac{q_{np}}{C_{p,z}} < \delta_3 < -\frac{q_{np.zp.}}{k_{h3зac}^0 D_{\kappa}} \\ \frac{q_{np} k_{h3зac}^0}{q_{np.zp.}} & -\frac{q_{np.zp.}}{k_{h3зac}^0 D_{\kappa}} \leq \delta_3 \leq 0 \\ k_{h3очн}^0 & 0 < \delta_3 \leq -\frac{R_{zp}}{k_{h3очн}^0} \\ \frac{R}{\delta_3} & \frac{R_{zp}}{k_{h3очн}^0} \end{cases}$$

$q_{np.zp.}$ – предельное сопротивление грунта, $H/мм$

$$q_{np.zp.} = \gamma_{zp} D_{\kappa} \left(Z - \frac{\pi}{8} D_{\kappa} \right) + k \left(\gamma_{zp} \cdot Z^2 \operatorname{tg} 0,7 \varphi_{zp} + \frac{0,7 Z C_{zp}}{\cos 0,7 \varphi_{zp}} \right),$$

$$k = \begin{cases} 1 & D_{\kappa} \geq 1000 мм \\ \frac{D_{\kappa}}{1000} & D_{\kappa} < 1000 мм \end{cases},$$

γ_{zp} – объемный вес грунта, $H/мм^3$,

q_{np} – предельное сопротивление поперечным перемещениям, $H/мм$

$$q_{np} = q_{mp} + q_{np.zp.},$$

Определение q_{mp} приведено в П. 3.7.

C_{pz} – коэффициент разгрузки, $H/мм^2$

$$C_{pz} = \frac{q_{np}}{Z + 0,5 D_{\kappa}}$$

R_{np} – несущая способность грунта, $H/мм^2$.

П. 3.6. Грунт – вертикальная плоскость, перпендикулярная оси трубы

Сопротивление грунта продольным перемещениям трубы в области упругопластических можно представить линейной зависимостью, предложенной А.Б. Айнбиндером {Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость. М., Недра, 1991 г}.

]

$$\tau_{\text{дп}} = c_{x0} \Delta_{\text{усл}},$$

Здесь:

$\tau_{\text{дп}}$ – предельное сопротивление грунта сдвигу, Н/см^2 ,

c_{x0} – обобщенный коэффициент касательного сопротивления грунта Н/см^3 ,

$\Delta_{\text{усл}}$ – условное перемещение, соответствующее предельному сопротивлению грунта сдвигу, см.

Зависимость получена путем замены истинной диаграммы сопротивления грунта продольным перемещениям, идеализированной, построенной по аналогии с диаграммой Прандтля. Обобщенный коэффициент касательного сопротивления грунта представляет собой отношение:

$$c_{x0} = \frac{\tau_{\text{дп}}}{\Delta_{\text{усл}}}$$

и имеет размерность коэффициента постели грунта при сдвиге. В нормативной базе по грунтам он сокращенно называется коэффициентом сопротивления продольным перемещениям. Значения c_{x0} , полученные в результате обработки экспериментальных данных для некоторых типов грунтов, приведены в таблице.

При отсутствии экспериментальных данных для получения значения c_{x0} можно использовать приближенную формулу:

$$c_{x0} = nk_u(h_1),$$

где:

$k_u(h_1)$ – коэффициент постели грунта при сдвиге, соответствующий толщине слоя грунта над трубой h_1 в 1 метр,

n – понижающий коэффициент, принимаемый по таблице, когда толщина слоя грунта над трубой h_2 превышает 1 метр. Зависит от отношения h_1 / h_2 .

Линейный коэффициент постели, Н/мм^2

$$k_3 = k_{h3} \cdot D_k,$$

где:

$$k_{h3} = \begin{cases} \frac{q_{mp}}{|\delta_3|D_\kappa} & |\delta_3| > \frac{q_{mp}}{\pi D_\kappa c_{x0}} \\ \pi c_{x0} & |\delta_3| \leq \frac{q_{mp}}{\pi D_\kappa c_{x0}} \end{cases}$$

В приведенных формулах:

q_{mp} – интенсивность сил трения, действующих вдоль оси трубы при бесканальной прокладке, Н/м; (РД 10-400)

D_κ – диаметр кожуха изоляции, м;

c_{x0} – обобщенный коэффициент касательного сопротивления грунта H/m^3 ; вычисляется как средняя величина между коэффициентами грунта основания, засыпки сверху и сбоку;

δ_3 – осевые перемещения трубопровода.

Величина k_3 находится с помощью итераций. Начальное приближение для $k_{h3} - k_{h3}^0$.

В случае применения компенсирующих подушек, величина коэффициента постели k_3 уменьшается в 1000 раз.

Для реализованной дискретной модели взаимодействия с грунтом жесткость эквивалентной пружины $c_3 = k_3 l$ (l – шаг расстановки упругих опор), а ее податливость $\lambda_3 = l/c_3$.

Таблица П3.1

Значение обобщенного коэффициента и сопротивления грунта c_{x0} , МПа/см

Виды грунтов	Пределы нормативных значений консистенции грунтов I_L	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости ε				
		<0,5	0,5–0,6	0,61–0,7	0,71–0,8	>0,8
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	–	0,033	0,030	0,027	0,025	0,025
Пески мелкие и пылеватые	–	0,025	0,021	0,021	0,019	0,019
Супеси	$0 < I_L \leq 0,25$	0,035	0,033	0,030	0,030	0,030
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	0,035	0,032	0,030	0,025	0,025
Суглинки	$0 < I_L \leq 0,3$	0,038	0,035	0,035	0,032	0,030
	$0,3 < I_L \leq 0,75$	0,035	0,033	0,030	0,025	0,020
Глины	$0 < I_L \leq 0,3$	0,040	0,038	0,035	0,033	0,030
	$0,3 < I_L \leq 0,75$	0,045	0,040	0,035	0,030	0,030

Приближенные значения коэффициента постели $k_u(h_1)$ для некоторых типов грунтов, заимствованные из [57], приведены в таблице П3.3.

Таблица П3.2

Понижающий коэффициент n

h_1/h_2	1,0	0,8	0,6	$\leq 0,5$
n	1,0	0,9	0,8	0,75

Таблица П3.3

**Значения коэффициента постели при сдвиге
при высоте засыпки над трубой $h_1=1,0$ м**

Грунт	$k_u(h_1), \text{Н/см}^3$
Супесь	5
Суглинок	4
Торф сухой	0,5
Торф влажный	1,0

П. 3.7. Определение нагрузки от веса грунта, действующей на трубопровод

Нормативную нагрузку от веса грунта на единицу длины трубопровода, укладываемого в траншее, следует определять по формуле

$$q_{zp} = \eta_h \gamma_{zp} B H,$$

где B - расчетная ширина траншеи на уровне верха изоляции;

$$H = \left(Z - \frac{D_\kappa}{2} \right);$$

Z - расстояние от оси трубы до поверхности земли, м;

η_h - коэффициент вертикального давления грунта, определяемый по таблице:

H/B	Коэффициент вертикального давления η_h для типов грунтов				
	1	2	3	4	5
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,0	0,82	0,84	0,86	0,89	0,91
2,0	0,68	0,73	0,76	0,80	0,82
3,0	0,59	0,63	0,66	0,70	0,74
4,0	0,52	0,55	0,58	0,64	0,66
5,0	0,45	0,48	0,51	0,56	0,60

H/B	Коэффициент вертикального давления η_n для типов грунтов				
	1	2	3	4	5
6,0	0,40	0,44	0,46	0,50	0,54
7,0	0,35	0,39	0,42	0,45	0,50
8,0	0,32	0,35	0,38	0,42	0,46
9,0	0,29	0,32	0,35	0,39	0,44
10,0	0,27	0,30	0,34	0,37	0,42

Примечание. Типы грунтов:

- 1 - пески маловлажные и растительный грунт;
- 2 - пески и растительный грунт влажные и насыщенные водой, супесь твердая, тугопластичная и пластичная; суглинок твердый и тугопластичный;
- 3 - супесь мягкопластичная и текучая; суглинок пластичный, глина твердая и тугопластичная;
- 4 - суглинок мягкопластичный и текучий, глина пластичная и мягкопластичная;
- 5 - глина текучая.

В трубопроводах бесканальной прокладки в грунте силы трения действуют вдоль оси трубы как распределенная нагрузка с интенсивностью Н/м:

$$q_{mp} = \mu [(1 - 0,5 \sin \varphi_{ep}) \gamma_{ep} Z \pi D_k + g]$$

где:

g – суммарный погонный вес материала трубы, продукта, изоляции.

φ_{ep} – угол внутреннего трения грунта.

Коэффициент трения определяется по формуле

$$\mu = \operatorname{tg} n_m \varphi_{ep},$$

где:

n_m – коэффициент, зависящий от конструкции изоляции и характера нагружения.

Для наиболее распространенных изоляционных конструкций значения n_m приведены в таблице. Для других изоляционных конструкций значения n_m следует принимать на основе справочных или экспериментальных данных.

Характер нагружения	Коэффициент n_m	
	Пенополиуретан с оболочкой из полиэтилена	Армопенобетон, полимербетон
Многократное чередование циклов нагрев - охлаждение	0,33	0,67
Однократный нагрев (охлаждение)	0,67	1,00
Кратковременное приложение нагрузки	1,00	1,15

Приложение 4. Характеристики пружинных опор

П 4.1 МВН 049-63

Таблица 1а. МВН 049-63. Жесткости пружинных цепей K_u , кН/м

Z	Максимальная нагрузка цепи (P_c), кН (на одну тягу)											
	0.95	1.93	2.86	5.04	7.99	11.33	15.32	20.1	23.73	33.54	45.31	56.09
1	13.57	27.57	40.86	72.00	114.1	161.9	218.9	287.1	339.0	479.1	647.3	801.3
2	6.786	13.79	20.43	36.00	57.07	80.93	109.4	143.6	169.5	239.6	323.6	400.6
3	4.524	9.190	13.62	24.00	38.05	53.95	72.95	95.71	113.0	159.7	215.8	267.1
4	3.393	6.893	10.21	18.00	28.54	40.46	54.71	71.79	84.75	119.8	161.8	200.3
5	2.714	5.514	8.171	14.40	22.83	32.37	43.77	57.43	67.80	95.83	129.5	160.3
6	2.262	4.595	6.810	12.00	19.02	26.98	36.48	47.86	56.50	79.86	107.9	133.6
7	1.939	3.939	5.837	10.29	16.31	23.12	31.27	41.02	48.43	68.45	92.47	114.5
8	1.696	3.446	5.107	9.000	14.27	20.23	27.36	35.89	42.37	59.89	80.91	100.2
9	1.508	3.063	4.540	8.000	12.68	17.98	24.32	31.90	37.67	53.24	71.92	89.03
10	1.357	2.757	4.086	7.200	11.41	16.19	21.89	28.71	33.90	47.91	64.73	80.13

Обозначения пружин по МВН 049-63

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи P_c , (кН)											
		0.95	1.93	2.86	5.04	7.99	11.33	15.32	20.1	23.73	33.54	45.31	56.09
2	140	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	21	22
1	70	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	24	25

Таблица 16. **МВН 049-63. Жесткости пружинных цепей K_u , кг/см**

Z	Максимальная нагрузка цепи (Рц), кг (на одну тягу)											
	96.8	197	292	514	814	1155	1562	2049	2419	3419	4619	5718
1	13.83	28.10	41.65	73.39	116.3	161.9	223.1	292.7	345.6	488.4	659.8	816.8
2	6.917	14.05	20.82	36.70	58.18	80.93	111.6	146.4	172.8	244.2	329.9	408.4
3	4.611	9.368	13.88	24.47	38.78	53.95	74.36	97.57	115.2	162.8	219.9	272.3
4	3.459	7.026	10.41	18.35	29.09	40.46	55.77	73.18	86.40	122.1	165.0	204.2
5	2.767	5.621	8.330	14.68	23.27	32.37	44.62	58.54	69.11	97.68	132.0	163.4
6	2.306	4.684	6.941	12.23	19.39	26.98	37.18	48.78	57.59	81.40	110.0	136.1
7	1.976	4.015	5.950	10.48	16.62	23.12	31.87	41.81	49.37	69.77	94.26	116.7
8	1.729	3.513	5.206	9.174	14.54	20.23	27.89	36.59	43.20	61.05	82.48	102.1
9	1.537	3.123	4.628	8.155	12.93	17.98	24.79	32.52	38.40	54.27	73.31	90.76
10	1.383	2.811	4.165	7.339	11.64	16.19	22.31	29.27	34.56	48.84	65.98	81.68

Обозначения пружин по МВН 049-63

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи Рц, (кг)											
		96.8	197	292	514	814	1155	1562	2049	2419	3419	4619	5718
2	140	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	21	22
1	70	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	24	25

Примечание: λ – прогиб при максимальной нагрузке, **Z** – структура цепи:

1=1, 2=2, 3=2+1, 4=2+2, 5=2+2+1, 6=2+2+2,

7=2+2+2+1, 8=2+2+2+2, 9=2+2+2+2+1, 10=2+2+2+2+2

П 4.2 ОСТ 108.764.01-80

Таблица 2а. ОСТ 108.764.01-80. Жесткости пружинных цепей K_u , кН/м

Z	Максимальная нагрузка цепи (P_c), кН (на одну тягу)											
	1.26	2.73	5.24	8	11.67	16.34	19.66	26.34	32.6	40.0	48.6	58.45
1	18.00	39.00	74.86	114.3	166.7	233.4	280.9	376.3	465.7	571.4	694.3	835.0
2	9.000	19.50	37.43	57.14	83.36	116.7	140.4	188.1	232.9	285.7	347.1	417.5
3	6.000	13.00	24.95	38.10	55.57	77.81	93.62	125.4	155.2	190.5	231.4	278.3
4	4.500	9.750	18.71	28.57	41.68	58.36	70.21	94.07	116.4	142.9	173.6	208.8
5	3.600	7.800	14.97	22.86	33.34	46.69	56.17	75.26	93.14	114.3	138.9	167.0
6	3.000	6.500	12.48	19.05	27.79	38.91	46.81	62.71	77.20	95.24	115.7	139.2
7	2.570	5.571	10.69	16.33	23.82	33.35	40.12	53.76	66.53	81.63	99.18	119.3
8	2.250	4.875	9.357	14.29	20.84	29.18	35.11	47.04	58.21	71.43	86.79	104.4
9	2.000	4.333	8.317	12.70	18.52	25.94	31.21	41.81	51.75	63.49	77.14	92.78
10	1.800	3.900	7.486	11.43	16.67	23.34	28.09	37.63	46.57	57.14	69.43	83.50

Обозначения пружин по ОСТ 108.764.01-80

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи P_c , (кН)											
		1.26	2.73	5.24	8	11.67	16.34	19.66	26.34	32.6	40.0	48.6	58.45
1	70	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2	140	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Таблица 26. **ОСТ 108.764.01-80. Жесткости пружинных цепей Ку, кг/см**

Z	Максимальная нагрузка цепи (Рц), кг (на одну тягу)											
	128	278	534	815	1190	1666	2004	2685	3323	4077	4954	5958
1	18.35	39.75	76.31	116.5	169.9	237.9	286.3	383.6	474.7	582.5	707.7	851.2
2	9.174	19.88	38.15	58.25	84.97	119.0	143.1	191.8	237.4	291.2	353.9	425.6
3	6.116	13.25	25.44	38.83	56.65	79.32	95.43	127.9	158.2	194.2	235.9	283.7
4	4.587	9.939	19.08	29.12	42.49	59.49	71.57	95.89	118.7	145.6	176.9	212.8
5	3.670	7.951	15.26	23.30	33.99	47.59	57.26	76.71	94.95	116.5	141.6	170.2
6	3.058	6.626	12.72	19.42	28.32	39.66	47.72	63.93	79.12	97.08	118.0	141.9
7	2.621	5.679	10.90	16.64	24.28	33.99	40.90	54.80	67.82	83.21	101.1	121.6
8	2.294	4.969	9.538	14.56	21.24	29.74	35.79	47.95	59.34	72.81	88.47	106.4
9	2.039	4.417	8.479	12.94	18.88	26.44	31.81	42.62	52.75	64.72	78.64	94.58
10	1.835	3.976	7.631	11.65	16.99	23.79	28.63	38.36	47.47	58.25	70.77	85.12

Обозначения пружин по ОСТ 108.764.01-80

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи Рц, (кг)											
		128	278	534	815	1190	1666	2004	2685	3323	4077	4954	5958
1	70	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
2	140	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Примечание: λ – прогиб при максимальной нагрузке, Z – структура цепи:

1=1, 2=2, 3=2+1, 4=2+2, 5=2+2+1, 6=2+2+2,

7=2+2+2+1, 8=2+2+2+2, 9=2+2+2+2+1, 10=2+2+2+2+2

П 4.3 ОСТ 24.125.109-01

Таблица 3а. ОСТ 24.125.109-01. Жесткости пружинных цепей K_u , кН/м

Z	Максимальная нагрузка цепи (P_c), кН (на одну тягу)											
	1.26	2.73	5.24	8	11.67	16.34	19.66	26.34	32.6	40.0	48.6	58.45
1	18.00	39.00	74.86	114.3	166.7	233.4	280.9	376.3	465.7	571.4	694.3	835.0
2	9.000	19.50	37.43	57.14	83.36	116.7	140.4	188.1	232.9	285.7	347.1	417.5
3	6.000	13.00	24.95	38.10	55.57	77.81	93.62	125.4	155.2	190.5	231.4	278.3
4	4.500	9.750	18.71	28.57	41.68	58.36	70.21	94.07	116.4	142.9	173.6	208.8
5	3.600	7.800	14.97	22.86	33.34	46.69	56.17	75.26	93.14	114.3	138.9	167.0
6	3.000	6.500	12.48	19.05	27.79	38.91	46.81	62.71	77.20	95.24	115.7	139.2
7	2.570	5.571	10.69	16.33	23.82	33.35	40.12	53.76	66.53	81.63	99.18	119.3
8	2.250	4.875	9.357	14.29	20.84	29.18	35.11	47.04	58.21	71.43	86.79	104.4
9	2.000	4.333	8.317	12.70	18.52	25.94	31.21	41.81	51.75	63.49	77.14	92.78
10	1.800	3.900	7.486	11.43	16.67	23.34	28.09	37.63	46.57	57.14	69.43	83.50

Обозначения пружин по ОСТ 24.125.109-01

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи P_c , (кН)											
		1.26	2.73	5.24	8	11.67	16.34	19.66	26.34	32.6	40.0	48.6	58.45
1	70	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
2	140	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12

Таблица 3б. **24.125.109-01. Жесткости пружинных цепей Ку, кг/см**

Z	Максимальная нагрузка цепи (Рц), кг (на одну тягу)											
	128	278	534	815	1190	1666	2004	2685	3323	4077	4954	5958
1	18.35	39.75	76.31	116.5	169.9	237.9	286.3	383.6	474.7	582.5	707.7	851.2
2	9.174	19.88	38.15	58.25	84.97	119.0	143.1	191.8	237.4	291.2	353.9	425.6
3	6.116	13.25	25.44	38.83	56.65	79.32	95.43	127.9	158.2	194.2	235.9	283.7
4	4.587	9.939	19.08	29.12	42.49	59.49	71.57	95.89	118.7	145.6	176.9	212.8
5	3.670	7.951	15.26	23.30	33.99	47.59	57.26	76.71	94.95	116.5	141.6	170.2
6	3.058	6.626	12.72	19.42	28.32	39.66	47.72	63.93	79.12	97.08	118.0	141.9
7	2.621	5.679	10.90	16.64	24.28	33.99	40.90	54.80	67.82	83.21	101.1	121.6
8	2.294	4.969	9.538	14.56	21.24	29.74	35.79	47.95	59.34	72.81	88.47	106.4
9	2.039	4.417	8.479	12.94	18.88	26.44	31.81	42.62	52.75	64.72	78.64	94.58
10	1.835	3.976	7.631	11.65	16.99	23.79	28.63	38.36	47.47	58.25	70.77	85.12

Обозначения пружин по ОСТ 24.125.109-01

№	λ мм	Максимальная нагрузка цепи Рц, (кг)											
		128	278	534	815	1190	1666	2004	2685	3323	4077	4954	5958
1	70	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
2	140	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12

Примечание: λ – прогиб при максимальной нагрузке, Z – структура цепи:

1=1, 2=2, 3=2+1, 4=2+2, 5=2+2+1, 6=2+2+2,

7=2+2+2+1, 8=2+2+2+2, 9=2+2+2+2+1, 10=2+2+2+2+2

П 4.4 Специальные пружины (ВНИПИЭТ)

Таблица 4а. Жесткости специальных пружин в холодном и рабочем состоянии, кН/м

Z	Максимальные нагрузки специальных пружин в холодном состоянии, кН			
	0.6766	11.77	23.54	23.14
	Максимальные нагрузки специальных пружин в рабочем состоянии, кН			
	0.58884	10.59	16.67	20.59
1	9.666	168.1	287.1	165.3
2	4.833	84.07	143.5	82.64
3	3.222	56.05	95.69	55.10
4	2.416	42.04	71.77	41.32
5	1.933	33.63	57.42	33.06
6	1.611	28.02	47.85	27.55
7	1.381	24.02	41.01	23.61
8	1.208	21.02	35.88	20.66
9	1.074	18.68	31.90	18.37
10	0.967	16.81	28.71	16.53

№	I	II	III	IV
$H_{св}$	117	201	296	366
$\lambda_{максраб}$	68	70	65	138
$\lambda_{максхол}$	70	70	82	140

Прим. 1-я строка – номер пружины, $H_{св}$ – высота в свободном состоянии, мм, $\lambda_{максраб}$, $\lambda_{максхол}$ – макс-я осадка и затяжка пружины, мм.

Таблица 4б. Жесткости специальных пружин в холодном и рабочем состоянии, кг/см

Z	Максимальные нагрузки специальных пружин в холодном состоянии, кг			
	69.00	1200	2400	2359
	Максимальные нагрузки специальных пружин в рабочем состоянии, кг			
	60.00	1080	1699	2099
1	9.853	171.4	292.6	168.5
2	4.927	85.70	146.3	84.24
3	3.284	57.13	97.54	56.16
4	2.463	42.85	73.16	42.12
5	1.971	34.28	58.53	33.70
6	1.642	28.57	48.77	28.08
7	1.408	24.49	41.81	24.07
8	1.232	21.43	36.58	21.06
9	1.095	19.04	32.52	18.72
10	0.985	17.14	29.26	16.85

№	I	II	III	IV
$H_{св}$	117	201	296	366
$\lambda_{максраб}$	68	70	65	138
$\lambda_{максхол}$	70	70	82	140

Прим. 1-я строка – номер пружины, $H_{св}$ – высота в свободном состоянии, мм, $\lambda_{максраб}$, $\lambda_{максхол}$ – макс-я осадка и затяжка пружины, мм.

П 4.5 LISEGA. Стандартные опоры 2010, каталог 2001 год

Подвески и опоры *постоянного усилия* ⁽¹⁾ LISEGA. Таблица выбора.

	Тип					Нагрузка (кН)									
						(2)									
Промежуточные значения могут быть интерполированы				11 C3		0,13*	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
				11 D3	11 D2	0,25*	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44
		11 15	11 14	11 13	11 12	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,83	0,88
		11 25	11 24	11 23	11 22	1,00	1,08	1,17	1,25	1,33	1,42	1,50	1,58	1,66	1,75
		11 35	11 34	11 33	11 32	2,00	2,17	2,33	2,50	2,67	2,83	3,00	3,17	3,33	3,50
		11 45	11 44	11 43	11 42	4,00	4,33	4,66	5,00	5,33	5,66	6,00	6,33	6,66	7,00
		11 55	11 54	11 53	11 52	8,00	8,67	9,33	10,00	10,67	11,33	12,00	12,67	13,33	14,00
	11 66	11 65	11 64	11 63	11 62	16,00	17,33	18,66	20,00	21,33	22,66	24,00	25,33	26,66	28,00
	11 76	11 75	11 74	11 73	11 72	24,00	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00
	11 86	11 85	11 84	11 83	11 82	32,00	34,66	37,33	40,00	42,66	45,33	48,00	50,66	53,33	56,00
	11 96	11 95	11 94	11 93	11 92	40,00	43,33	46,66	50,00	53,33	56,66	60,00	63,33	66,66	70,00
	12 86	12 85	12 84	12 83	12 82	64,00	69,33	74,66	80,00	85,33	90,66	96,00	101,30	106,66	112,00
	12 96	12 95	12 94	12 93	12 92	80,00	86,66	93,30	100,00	106,70	113,30	120,00	126,70	133,30	140,00
	13 86	13 85	13 84	13 83	13 82	96,00	104,00	112,00	120,00	128,00	136,00	144,00	152,00	160,00	168,00
	13 96	13 95	13 94	13 93	13 92	120,00	130,00	140,00	150,00	160,00	170,00	180,00	190,00	200,00	210,00
	14 86	14 85	14 84	14 83	14 82	128,00	138,00	149,30	160,00	170,70	181,30	192,00	202,70	213,30	224,00
	14 96	14 95	14 94	14 93	14 92	160,00	173,30	186,70	200,00	213,30	226,70	240,00	253,30	266,70	280,00
(4)															
...2...(150мм)						135	140	145	150	145	140	135	130	125	120
...3...(300мм)						270	280	290	300	290	280	270	260	250	240
...4...(450мм)						405	420	435	450	435	420	405	390	375	360
...5...(600мм)						540	560	580	600	580	560	540	520	500	480
...6...(750мм)						675	700	725	750	725	700	675	650	625	600

(1) Для выбора опор постоянного усилия типа 16, применяется группа нагрузок и диапазон перемещений для соответствующей подвески типа 11.

(2), * Нагрузки <0,25кН или 0,13кН – по заказу.

(4) Полное перемещение. По заказу может быть обеспечен диапазон перемещения 7 (900мм)

Пример выбора: 24кН/210мм.

Подвески и опоры *постоянного усилия* LISEGA. Таблица выбора (продолжение)

Нагрузка (кН)										Тип				
										(3)	(3)			
0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,37	0,42				11 C3
0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,63	0,73	0,83				11 D3
0,92	0,96	1,00	1,04	1,08	1,13	1,17	1,21	1,25	1,45	1,66		11 15	11 14	11 13
1,83	1,92	2,00	2,08	2,16	2,25	2,33	2,42	2,50	2,91	3,33				11 12
3,67	3,83	4,00	4,17	4,33	4,50	4,67	4,83	5,00	5,83	6,66		11 25	11 24	11 23
7,33	7,66	8,00	8,33	8,66	9,00	9,33	9,66	10,00	11,66	13,33		11 35	11 34	11 33
14,67	15,33	16,00	16,67	17,33	18,00	18,67	19,33	20,00	23,33	26,66				11 32
29,33	30,66	32,00	33,33	34,66	36,00	37,33	38,66	40,00	46,66	53,33		11 45	11 44	11 43
44,00	46,00	48,00	50,00	52,00	54,00	56,00	58,00	60,00	70,00	80,00		11 55	11 54	11 53
58,66	61,33	64,00	66,66	69,33	72,00	74,66	77,33	80,00	93,33	106,66		11 66	11 65	11 64
73,33	76,66	80,00	83,33	86,66	90,00	93,33	96,66	100,00	116,66	133,33		11 75	11 74	11 73
117,30	122,66	128,00	133,30	138,66	144,00	149,30	154,66	160,00	186,66	213,33		11 86	11 85	11 84
146,70	153,30	160,00	166,70	173,30	180,00	186,70	193,30	200,00	233,33	266,66		12 86	12 85	12 84
176,00	184,00	192,00	200,00	208,00	216,00	224,00	232,00	240,00	280,00	320,00		12 96	12 95	12 94
220,00	230,00	240,00	250,00	260,00	270,00	280,00	290,00	300,00	350,00	400,00		13 86	13 85	13 84
234,70	245,30	256,00	266,70	277,30	288,00	298,70	309,30	320,00	373,35	426,70		13 96	13 95	13 94
293,30	306,70	320,00	333,30	346,70	360,00	373,30	386,60	400,00	466,65	533,30		14 86	14 85	14 84
115	110	105	100	95	90	85	80	75	50	25	(4)	14 96	14 95	14 94
230	220	210	200	190	180	170	160	150	100	50	(4)			14 93
345	330	315	300	285	270	255	240	225	(4)					14 92
460	440	420	400	380	360	340	320	300	(4)					
575	550	525	500	475	450	425	400	375	(4)					

- (1) Для выбора опор постоянного усилия типа 16, применяется группа нагрузок и диапазон перемещений для соответствующей подвески типа 11.
- (2), * Нагрузки <0,25кН или 0,13кН – по заказу.
- (3) Этот диапазон может быть установлен только на заводе
- (4) Полное перемещение. По заказу может быть обеспечен диапазон перемещения 7 (900мм)

Критерии выбора пружинных подвесок и опор LISEGA

Допустимое изменение усилия

Допустимое изменение усилия между нагрузкой в холодном состоянии (установленная нагрузка) и нагрузкой в горячем состоянии (установленная нагрузка) ограничены общими международными техническими требованиями к анализу напряжения трубопроводов значением макс. 25% от рабочей нагрузки.

Максимальное рабочее перемещение

Помимо этого, чтобы заранее исключить функциональные нарушения из-за нестабильности, вызванной слишком длинными пружинами, не должно превышать значение рабочего перемещения, составляющего максимум 50 мм.

Жесткость пружин

Чтобы охватить максимальное количество областей применения, в то же время, соблюдая обозначенные нормы, пружинные элементы LISEGA разделены на 5 диапазонов перемещения с различными значениями жесткости пружин, соответственно.

Очень длинные пружины

Диапазоны 4 и 5 подразумевают применение слишком длинных пружин и должны использоваться только после технического анализа всех условий, особенно в чувствительных трубопроводных системах.

Типы конструкций

Выбор подходящего типа конструкции зависит от соответствующей конфигурации опоры или условий монтажа.

Экономичные размеры узлов

Для нахождения наиболее экономичного размера, применяется следующая методика:

Выбор пружинных элементов LISEGA.

Пружинные подвески, тип 21, Пружинные подвески, тип 25, Пружинные опоры, тип 29, Наклонные пружинные опоры, тип 20

Диапазон перемещения					Обозначение типа										
(1)					21 C2 19	21 D. 19	21 1. 18	21 2. 18	21 3. 18	21 4. 18	21 5. 18	21 6. 18	21 7. 18	21 8. 18	21 9. 18
(2)					25 D. 19	25 1. 18	25 2. 18	25 3. 18	25 4. 18	25 5. 18	25 6. 18	25 7. 18	25 8. 18	25 9. 18	
...1..	...2..	...3..	...4..	...5..	29 C2 19	29 D. 19	29 1. 18	29 2. 18	29 3. 18	29 4. 18	29 5. 18	29 6. 18	29 7. 18	29 8. 18	29 9. 18
Рабочее перемещение (мм)					Нагрузка (кН)										
0	0	0	0	0	0,04	0,12	0,41	0,83	1,66	3,33	6,66	13,33	20,00	26,66	33,33
2,5	5	10	15	20	0,05	0,14	0,45	0,91	1,83	3,66	7,33	14,66	22,00	29,33	36,66
5,0	10	20	30	40	0,06	0,16	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00
7,5	15	30	45	60	0,07	0,18	0,54	1,08	2,16	4,33	8,66	17,33	26,00	34,66	43,33
10,0	20	40	60	80	0,08	0,20	0,58	1,16	2,33	4,66	9,33	18,66	28,00	37,33	46,66
12,5	25	50	75	100	0,09	0,22	0,62	1,25	2,50	5,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
15,0	30	60	90	120	0,10	0,24	0,66	1,33	2,66	5,33	10,66	21,33	32,00	42,66	53,33
17,5	35	70	105	140	0,11	0,26	0,70	1,41	2,83	5,66	11,33	22,66	34,00	45,33	56,66
20,0	40	80	120	160	0,12	0,28	0,75	1,50	3,00	6,00	12,00	24,00	36,00	48,00	60,00
22,5	45	90	135	180	0,13	0,30	0,79	1,58	3,16	6,33	12,66	25,33	38,00	50,66	63,33
25,0	50	100	150	200	0,14	0,32	0,83	1,66	3,33	6,66	13,33	26,66	40,00	53,33	66,66
27,5	55	110	165	220	0,16	0,34	0,87	1,75	3,50	7,00	14,00	28,00	42,00	56,00	70,00
30,0	60	120	180	240	0,17	0,36	0,91	1,83	3,66	7,33	14,66	29,33	44,00	58,66	73,33
32,5	65	130	195	260	0,18	0,38	0,95	1,91	3,83	7,66	15,33	30,66	46,00	61,33	76,66
35,0	70	140	210	280	0,19	0,40	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00	48,00	64,00	80,00
37,5	75	150	225	300	0,20	0,42	1,04	2,08	4,16	8,33	16,66	33,33	50,00	66,66	83,33
40,0	80	160	240	320	0,21	0,44	1,08	2,16	4,33	8,66	17,33	34,66	52,00	69,33	86,66
42,5	85	170	255	340	0,22	0,46	1,12	2,25	4,50	9,00	18,00	36,00	54,00	72,00	90,00
45,0	90	180	270	360	0,23	0,48	1,16	2,33	4,66	9,33	18,66	37,33	56,00	74,66	93,33
47,5	95	190	285	380	0,24	0,50	1,20	2,41	4,83	9,66	19,33	38,66	58,00	77,33	96,66
50,0	100	200	300	400	0,25	0,52	1,25	2,50	5,00	10,00	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00
					Жесткость пружины с (Н/мм, кН/м)										
										33,3	66,6	100,0	133,3	166,6	
										44,4	88,9	133,3	177,8	222,2	
										66,6	13,33	200,0	266,6	333,3	
										133,3	266,6	400,0	533,3	666,6	
										266,6	533,3	800,0	1066,6	1333,3	

(1) Диапазон перемещения = 4-ая цифра обозначения типа.

(2) Использование очень длинных пружин рекомендуется только в ограниченном числе случаев из-за относительно большого гистерезиса пружины.

Выбор пружинных элементов LISEGA

Пружинные подвески, тип 22. Посадочные пружинные подвески переменного усилия, тип 26, пружинные опоры, тип 28

Диапазон перемещений			Обозначение типа				
(I)			22 1. 19	22 2. 19	22 3. 19	22 4. 19	22 5. 19
			26 1. 19	26 2. 19	26 3. 19	26 4. 19	26 5. 19
...1..	...2..	...3..	28 1. 19	28 2. 19	28 3. 19	28 4. 19	28 5. 19
Рабочее перемещение (мм)			Нагрузка (кН)				
0	0	0	53,33	66,66	80,00	100,00	133,33
2,5	5	10	58,66	73,33	88,00	110,00	146,66
5,0	10	20	64,00	80,00	96,00	120,00	160,00
7,5	15	30	69,33	86,66	104,00	130,00	173,33
10,0	20	40	74,66	93,33	112,00	140,00	186,66
12,5	25	50	80,00	100,00	120,00	150,00	200,00
15,0	30	60	85,33	106,66	128,00	160,00	213,33
17,5	35	70	90,66	113,33	136,00	170,00	226,66
20,0	40	80	96,00	120,00	144,00	180,00	240,00
22,5	45	90	101,33	126,66	152,00	190,00	253,33
25,0	50	100	106,66	133,33	160,00	200,00	266,66
27,5	55	110	112,00	140,00	168,00	210,00	280,00
30,0	60	120	117,33	146,66	176,00	220,00	293,33
32,5	65	130	122,66	153,33	184,00	230,00	306,66
35,0	70	140	128,00	160,00	192,00	240,00	320,00
37,5	75	150	133,33	166,66	200,00	250,00	333,33
40,0	80	160	138,66	173,33	208,00	260,00	346,66
42,5	85	170	144,00	180,00	216,00	270,00	360,00
45,0	90	180	149,33	186,66	224,00	280,00	373,33
47,5	95	190	154,66	193,33	232,00	290,00	386,66
50,0	100	200	160,00	200,00	240,00	300,00	400,00
			Жесткость пружины с (Н/мм, кН/м)				
			533,3	666,6	800	1000	1333,3
			1066,6	1333,3	1600	2000	2666,6
			2133,3	2666,6	3200	4000	5333,3

(I) Диапазон перемещения = 4-ая цифра обозначения типа.

Выбор наиболее подходящего типа 25

1. Выбор идеальной пружинной подвески

Пример:

Рабочая нагрузка	$F=6000H$
Допустимое отклонение	$p<25\%$
Перемещение (вверх)	$s=15\text{мм}$
$c \leq \frac{25\% \cdot 6000H}{15\text{мм} \cdot 100\%} = 100H / \text{мм}$	
Выбран тип	25 42 18
Жесткость пружины	$c=66,6H/\text{мм}$
Холодная нагрузка	$F_k=7000H$

2. Определение значения изменения усилий в процентах

Пример:

Рабочая нагрузка 6000H
Перемещение 15мм (вверх)
Был выбран тип пружинной подвески 25 42 18
С жесткостью пружины $c=66,6H/\text{мм}$
$$\frac{15\text{мм} \cdot 66,6H / \text{мм} \cdot 100\%}{6000H} = 16,65\%$$

П 4.6 Сводная таблица пользователя (АЭП)

Таблица А.3 – Нагрузки и перемещения в пружинных подвесках и опорах

6	Участок/ Узел	Сеч.	Кол. цепей	Характеристики пружин				Статическое воздействие											Динамическое воздействие					D × S, мм
				Номер по ОСТ 108.764.01-80, МВН 049-63, ОСТ 24.125.109-01, структура цепи Z	P _{max} , кН	H _{св} , мм	λ, мм	Нагрузка на опору, кН			Δ, %	Высота пружин, мм		Перемещения по оси, мм				Затяжка пружин в монт.состоянии, мм	Сейсмика					
								P _{раб}	P _{хол}	P _{гидр}		в рабочем состоянии	в холодном состоянии	Видимое			Полное		± P	± X1	± X2	± X3		
														X1	X2	X3							X3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
САЭС 3 блок СПиР, САОР, опускаемые тр-ды																								
	71 - 72	21	2	МВН 3=19+ 9	23.73	268+497	70+140	22.00	12.39	35.19	43.7	236 + 432	250 + 460	85.5	40.8	-42.5	-46.5	17+34					325.0× 16.0	
	78 - 79	1	2	МВН 3=17+ 7	15.32	203+373	70+140	16.10	22.79	17.95	41.5	166 + 299	151 + 269	77.1	-21.2	45.8	61.1	57+114					325.0× 16.0	
пп32	82 - 83	6	2	МВН 4=2* 8	20.10	2*413	2*140	21.90	27.76	46.32	26.8	2* 337	2* 316	77.0	1.6	40.8	40.8	2*97					325.0× 16.0	
пп18	83 - 243	18	2	МВН 1=15	7.99	184	70	10.40	13.43	13.88	29.1	138	125	-6.8	4.2	13.3	13.2	59					325.0× 16.0	
пп67	83 - 243	19	2	МВН 2= 5	7.99	345	140	6.20	7.68	7.06	23.9	291	278	1.1	-3.4	13.0	13.0	67					325.0× 16.0	
	92 - 248	9	2	МВН 1=15	7.99	184	70	8.62	8.82	7.90	2.4	146	145	-36.0	-7.9	0.9	6.7	44					219.0× 12.0	
	92 - 248	19	1	Пружина пользователя				4.98	5.46	4.45	2.4			-16.3	0.9	4.2	7.5						219.0× 12.0	
	93 - 249	8	2	ОСТ 24. не опред.				6.17	5.60	6.82	9.2			37.7	12.5	-2.5	-1.6						219.0× 12.0	
	93 - 249	11	2	МВН 3=15+ 5	7.99	184+345	70+140	5.98	7.36	5.33	23.1	158 + 293	152 + 281	35.9	11.3	18.1	19.0	33+65					219.0× 12.0	
	76 - 77	3	1	МВН 2= 6	11.33	405	140	5.21	7.13	4.40	36.9	341	317	35.3	-38.0	23.8	44.6	109					159.0× 9.0	
пп10	76 - 77	10	1	МВН не опред.	2.86			7.30	7.00	9.31	4.1			18.1	-38.3	-7.4	-19.1						159.0× 9.0	
пп5	82 - 85	5	2	МВН 5=11+2* 1	0.95	126+2*242	70+2*140	1.15	1.51	1.55	31.0	84 +2* 157	71 +2* 131	98.9	8.1	65.6	67.1	56+2*112					76.0× 4.5	
	82 - 85	17	1	МВН 2= 3	2.86	322	140	1.73	2.69	1.75	55.5	237	190	62.9	26.7	47.0	65.6	150					76.0× 4.5	
	100 - 101	10	2	ОСТ 108 не опред.				25.67	32.62	23.59	27.1			-44.4	32.4	48.4	51.2						325.0× 16.0	
пп27	101 - 257	2	2	МВН 1=16	11.33	216	70	18.10	21.25	24.10	17.4	160	150	-26.4	18.1	9.7	11.3	67					219.0× 12.0	
	101 - 102	7	2	МВН 2= 5	7.99	345	140	11.10	14.12	12.15	27.2	248	221	-0.2	22.0	26.5	26.4	124					325.0× 16.0	

Примечание: $\Delta = ((P_{\text{раб}} - P_{\text{хол}})/P_{\text{раб}}) \times 100$

xxx – Недопустимая затяжка пружины

– Нагрузка пружинной подвески больше табличной

– Заданная жесткость пружинной подвески не соответствует табличной

Пояснения к сводной таблице пользователя
Нагрузки и перемещения в пружинных подвесках и опорах

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
1	Номер опоры		Маркер сечения, где установлена пружинная опора (подвеска)
2	№ участка/узла		Номер участка для опоры, расположенной на участке, или номер узла для узловой опоры
3	№ сечения		Номер сечения для опоры, расположенной на участке
4	Кол-во цепей		Число цепей пружинной опоры/подвески
Характеристика пружины			
5	Номер по ОСТ 108.764.01-80, МВН 049-63, ОСТ 24.125.109-01, LISEGA, пост. усилия LISEGA (структура цепи)	Z	<p>Структура цепи с указанием нормативного документа: $Z = N_1 \cdot N_{\text{пр}1} + N_2 \cdot N_{\text{пр}2}$, где N_1, N_2 – число пружин с максимально допустимой осадкой $\lambda=70\text{мм}$ (λ_{70}), $N_1=0$ или 1, и $\lambda=140\text{мм}$ (λ_{140}) $N_2=0, 1, 2, 3, 4, 5$ соответственно; $N_{\text{пр}1}, N_{\text{пр}2}$ – номер исполнения пружины для λ_{70} и λ_{140} соответственно; Структура цепи пружин LISEGA (в том числе пружин постоянного усилия LISEGA) выбирается непосредственно из сортамента. Пружина, имеющая статус пружины пользователя или пружины постоянного усилия, вместо указания сортамента помечается как Пружина пользователя или Пружина постоянного усилия. <i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия и в случае, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)</p>
6		P_{max} , кН	<p>Максимальная табличная нагрузка на заданную (выбранную) цепь опоры. <i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия и в случае, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)</p>
7		$H_{\text{св}}$, мм	<p>Высота пружины в свободном состоянии в соответствии с нормативным документом: $H_{\text{св}} = N_1 \cdot H_{\text{св}}^{70} + N_2 \cdot H_{\text{св}}^{140}$ где N_1, N_2 – число пружин с максимально допустимой осадкой 70мм ($N_1=0$ или 1) и 140мм ($N_2=0, 1, 2, 3, 4, 5$) соответственно; $H_{\text{св}}^{70}, H_{\text{св}}^{140}$ – высота пружины в свободном состоянии для λ_{70} и λ_{140} соответственно; <i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия, пружин Lisega, пружин постоянного усилия Lisega, если жёсткость пружины из сортамента не</p>

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
8		λ , мм	Максимальная осадка пружины: $\lambda = N_1 70 + N_2 140$, где N_1 , N_2 – число пружин с максимальной допустимой осадкой 70 и 140 мм соответственно; 70 и 140 – максимально допустимая осадка (мм) одной пружины первого и второго исполнения соответственно; <i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия, пружин постоянного усилия Lisega, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
Статическое воздействие			
9	Нагрузка на опору, кН	$P_{\text{раб}}$	Статическая нагрузка на опору в рабочем состоянии: 1. Заданная величина “Рабочая нагрузка” для расчетов с заданными жесткостями пружин. 2. Определяется на этапе 1 из условия “абсолютной” жесткости опоры в вертикально направлении для расчетов с определением рабочих нагрузок и жесткостей пружин, и для расчётов только рабочих нагрузок пружин. Если $P_{\text{раб}}$ превышает P_{max} (графа 6), фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение
10	Нагрузка на опору, кН	$P_{\text{хол}}$	Статическая нагрузка на опору в холодном состоянии: $P_{\text{хол}} = P_{\text{раб}} + (U_3 - U_n) C_k N$ U_3 – температурное перемещение по глобальной оси Z (этап 3); U_n – заданное вертикальное перемещение точки подвеса пружины; C_k – жесткость цепи (заданная или выбранная); N – число цепей. Если $P_{\text{хол}}$ превышает P_{max} (графа 6) фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение
11	Нагрузка на опору, кН	$P_{\text{исп}}$	Статическая нагрузка на опору в режиме испытаний для распущенных пружин: $P_{\text{исп}} = P_{\text{раб}}^3 - U_3^n C_k N$ где: $P_{\text{исп}}^3 = P_{\text{раб}} + (U_3 - U_n) C_k N \cdot (T_p - T_n) / (T_p - T_x)$ $P_{\text{раб}}$ – рабочая нагрузка на опору

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			<p>U_3 – температурное перемещение по глобальной оси Z (этап 3);</p> <p>U_n – заданное вертикальное перемещение точки подвеса пружины;</p> <p>C_k – жесткость цепи (заданная или выбранная);</p> <p>N – число цепей.</p> <p>T_p – температура в рабочем состоянии;</p> <p>T_x – температура в нерабочем состоянии;</p> <p>T_n – температура при испытаниях.</p> <p>Для заклиненных пружин нагрузка определяется из условия равенства нулю вертикальных перемещений в точке крепления трубопровода.</p> <p>Если $P_{исп}$ превышает P_{max} (графа 6), фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение</p>
12		Δ , %	<p>Изменение нагрузки на пружину при переходе из рабочего в холодное состояние:</p> $\Delta = 100 (P_{раб} - P_{хол})/P_{раб},$ <p>где $P_{раб}$, $P_{хол}$ – статическая нагрузка на опору в рабочем/холодном состоянии (графы 9, 10). Если Δ превышает заданное изменение нагрузки при переходе из рабочего состояния в холодное, фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится информационное сообщение. Не заполняется в случае, если рабочая или холодная нагрузка равны нулю</p>
13	Высота пружины в рабочем состоянии, мм	$H_{раб}$	<p>Высота пружины в рабочем состоянии:</p> $H_{раб} = N_1 \cdot (H_{св}^{70} - \Delta_{p1}) + N_2 \cdot (H_{св}^{140} - \Delta_{p2}),$ <p>где</p> <p>$H_{св}^{70}$ – высота пружины в свободном состоянии для λ_{70} (графа 7);</p> <p>Δ_{p1} – осадка (перемещение) одной пружины в рабочем состоянии для λ_{70}.</p> $\Delta_{p1} = P_{раб}/A$ <p>здесь $P_{раб}$ – статическая нагрузка на опору в рабочем состоянии (графа 9);</p> <p>A – условная жесткость.</p> $A = N C_k Z$ <p>N – число цепей (тяг) (графа 4);</p> <p>C_k – жесткость цепи;</p> <p>Z – номер структуры цепи (графа 5);</p> <p>$H_{св}^{140}$ – высота пружины в свободном состоянии для λ_{140} (графа 7);</p> <p>Δ_{p2} – осадка (перемещение) одной пружины в рабочем состоянии для λ_{140}.</p> $\Delta_{p2} = 2 \Delta_{p1}$ <p>Если осадка Δ_{p1}, или Δ_{p2} пружины превышает в соответствии с исполнением пружины $(0,9 \cdot \lambda_{св}^{70})$ или $(0,9 \cdot \lambda_{св}^{140})$, фон подкрашивается и, дополнительно, в</p>

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			<p>примечании выводится диагностическое сообщение.</p> <p><i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия, пружин Lisega, пружин постоянного усилия Lisega, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную</p>
14	Высота пружины в холодном состоянии, мм	$H_{хол}$	<p>Высота пружины в холодном состоянии: $H_{хол} = N_1 \cdot (H_{св}^{70} - \Delta_{x1}) + N_2 \cdot (H_{св}^{140} - \Delta_{x2})$, где $H_{св}^{70}$ – высота пружины в свободном состоянии для λ_{70} (графа 7); Δ_{x1} – затяжка (перемещение) одной пружины в холодном состоянии для λ_{70}. $\Delta_{x1} = P_{хол} / A$ здесь $P_{хол}$ – статическая нагрузка на опору в холодном состоянии (графа 10); A – условная жесткость. $A = N \cdot C_k \cdot Z$ N – число цепей (тяг) (графа 4); C_k – жесткость цепи; Z – номер структуры цепи (графа 5); $H_{св}^{140}$ – высота пружины в свободном состоянии для λ_{140} (графа 5); Δ_{x2} – затяжка (перемещение) одной пружины в холодном состоянии для λ_{140}. $\Delta_{x2} = 2 \Delta_{x1}$ Если затяжка пружины превышает в соответствии с исполнением пружины $(0,9 \cdot \lambda_{св}^{70})$ или $(0,9 \cdot \lambda_{св}^{140})$, фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение.</p> <p><i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия, пружин Lisega, пружин постоянного усилия Lisega, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную</p>
15	Перемещения по оси видимые , мм	X1	Перемещение по глобальной оси X1(X) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
16		X2	Перемещение по глобальной оси X2 (Y) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
17		X3	Перемещение по глобальной оси X3 (Z) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
18	Перемещение по оси полное , мм	X3	Перемещение по глобальной оси X3 (Z) в сечении установки пружины от действия

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			всех нагружающих факторов (этап 2), мм
19	Затяжка пружины в монтажном состоянии, мм	$\lambda_{уст}$	<p>Затяжка пружины в монтажном состоянии: $\lambda_{уст} = N_1 \cdot \lambda_{уст}^{70} + N_2 \cdot \lambda_{уст}^{140}$ где N_1, N_2 – число пружин с максимально допустимой осадкой 70 и 140 мм соответственно. При $N_1=1$ $\lambda_{уст}^{70} = \Delta_{p1} + U_{3полное}^{70}$, где $U_{3полное}^{70} = (U_{3полное} - U_n)/Z$, при $N_1=0$ $U_{3полное}^{70} = 0$. При $N_2>0$ $\lambda_{уст}^{140} = \Delta_{p2} + (U_{3полное} - U_{3полное}^{70} - U_n)/N_2$ $U_{3полное}$ – перемещение в сечении установки действия по оси X3 от всех нагружающих факторов (этап 2), указанное в графе 18; Z – номер структуры цепи (графа 5); Δ_{p1}, Δ_{p2} – осадка (перемещение) одной пружины в рабочем состоянии для λ_{70} и λ_{140} соответственно; U_n – заданное вертикальное перемещение точки подвеса пружины; <i>Не заполняется</i> для пружин пользователя и подвесок постоянного усилия, пружин Lisega, пружин постоянного усилия Lisega, если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную. См. примечание 1 к таблице</p>
Динамическое воздействие, сейсмика			
20	Нагрузка, кН	$\pm P$	Сейсмическая нагрузка на опору по оси X3(Z)
21	Перемещение по оси, мм	$\pm X1$	Сейсмическое перемещение по оси X1(X)
22		$\pm X2$	Сейсмическое перемещение по оси X2(Y)
23		$\pm X3$	Сейсмическое перемещение по оси X3(Z)
24		$D \times S$, мм	Наружный диаметр (D) и толщина стенки трубы (S) в сечении установки пружинной опоры (сортамент трубы)

Примечания

1. Если $\lambda_{уст} < 0$ или $\lambda_{уст} > \lambda$ (графа 8), может потребоваться затяжка пружины в два этапа, что нежелательно. Чтобы выполнялась одноэтапная монтажная затяжка пружин, пользователь может:

- заменить пружину, например, с λ_{70} на λ_{140} ;
- увеличить число тяг, если условия компоновки позволяют;
- применить пружину с большей грузоподъемностью.

Если по условиям компоновки это невозможно, то:

- в случае положительного полного вертикального перемещение ХЗ (графа 18) и $\lambda_{уст} > \lambda$, принимается $\lambda_{уст} = \lambda$ и на втором этапе затяжки длину тяги уменьшают;
- если полное вертикальное перемещение ХЗ (графа 18) отрицательно и $\lambda_{уст} < 0$, принимается $\lambda_{уст} = 0$ и на втором этапе длину тяги подвески увеличивают.

Комментарий к таблице А.3

Рассмотрим результаты расчета №2 (заданные характеристики пружинных подвесок), представленные в таблице пользователя.

1. Для пружины в сечении 5 (маркер **пп5**) на участке 82 – 85 (наружный диаметр трубы 76мм, толщины стенки трубы 4,5мм).

Пружина сортамента МВН 049-63 имеет 2 цепи (тяги). В соответствии с заданными характеристиками выбрана структура цепи $Z=5$, то есть, одна пружина исполнения 11 с максимально допустимой осадкой $\lambda=70\text{мм}$ (λ_{70}) и две пружины исполнения 1, с максимально допустимой осадкой $\lambda=140\text{мм}$ (λ_{140}). Максимальная табличная нагрузка на пружину (опору) 0,95кН. Высота пружин в свободном состоянии 126мм для λ_{70} и по 242мм для каждой пружины второго исполнения (λ_{140}). Максимально допустимая осадка пружины первого исполнения 70мм и по 140мм – для пружин второго исполнения. Расчетная статическая нагрузка на опору в рабочем состоянии 1,15 кН, в холодном состоянии – 1,51кН, при испытании 1,55кН. Изменение нагрузки на пружину при переходе из рабочего в холодное состояние составляет 31%. Высота пружины в рабочем состоянии 84мм для λ_{70} и по 157мм для λ_{140} . Высота пружины в холодном состоянии 71мм для λ_{70} и по 131мм для λ_{140} . Видимое перемещения от действия температуры по глобальным осям X, Y, Z в мм соответственно (98,9; 8,1; 65,6). Перемещение пружины по оси Z от всех нагружающих факторов (полное перемещение) 67,1мм. Затяжка пружины в монтажном состоянии ($\lambda_{\text{уст}}$) составляет 56мм для пружины исполнения 11 и по 112мм – для пружин исполнения 1. Расчет на сейсмические нагрузки не проводился.

2. Для пружины **пп10** в сечении 10 на участке 76 – 77 $P_{\text{раб}}$ и $P_{\text{хол}}$ (их фон выделен в таблице **красным цветом**) превышают $n P_{\text{max}}$, где n – количество цепей (графа 4).

3. Для пружин в сечениях 17 на участке 82 – 85 и 2 участка 101 – 257 недопустимая затяжка (осадка) пружины выделена в графе $H_{\text{хол}}$ (цифры выделены в таблице **красным цветом**).

4. Для пружин в сечениях 8 на участке 93 – 249 и 10 участка 100 – 101 подбор не выполнялся по причине задания пользователем жесткостей, отличающихся от имеющихся для сортамента МВН 049-63 (фон в графах $P_{\text{раб}}$ и $P_{\text{хол}}$ выделен **желтым цветом**).

Нагрузки и перемещения в подвесках со спецпружины

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
1	Номер опоры		Маркер сечения, где установлена пружинная опора (подвеска)
2	№ участка/узла		Номер участка для опоры, расположенной на участке, или номер узла для узловой опоры
3	№ сечения		Номер сечения для опоры, расположенной на участке
4	Кол-во цепей		Число цепей пружинной опоры/подвески
Характеристика пружины			
5	Номер пружины	с I по IV	Номер пружины по чертежам ВНИПИЭТ <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
6	Структура цепи	Z	Структура цепи: $Z = N_1$ где N_1 – число пружин. Если для выбранного пользователем сортамента указанная им жесткость пружины не соответствует табличной, фон ячейки подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
7		$P_{\text{таблраб}}$, кН	Максимальная табличная нагрузка в рабочем состоянии на заданную (выбранную) цепь опоры. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
8		$P_{\text{таблхол}}$, кН	Максимальная табличная нагрузка в нерабочем состоянии на заданную (выбранную) цепь опоры. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
9		$H_{\text{св}}$, мм	Высота одной пружины в структуре цепи Z в свободном состоянии. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
10		$\lambda_{\text{максраб}}$, мм	Максимальная осадка пружины. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
11		$\lambda_{\text{максхол}}$, мм	Максимальная затяжка пружины.

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			<i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
12	Длина тяги	L, мм	Длина тяги пружины. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
Статическое воздействие			
13	Нагрузка на опору, кН	$P_{\text{раб}}$	Статическая нагрузка на опору в рабочем состоянии: 1. Заданная величина “Рабочая нагрузка” для расчетов с заданными жесткостями пружин. 2. Определяется на этапе 1 из условия “абсолютной” жесткости опоры в вертикально направлении для расчетов с определением рабочих нагрузок и жесткостей пружин, и для расчетов только рабочих нагрузок пружин. Если $P_{\text{раб}}$ превышает $P_{\text{таблраб}}$ (графа 7), фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение
14	Нагрузка на опору, кН	$P_{\text{хол}}$	Статическая нагрузка на опору в нерабочем состоянии: $P_{\text{хол}} = P_{\text{раб}} \cdot G_x / G_p + (U_3 - U_n + \Delta L) \cdot C_k \cdot N$ G_x – модуль сдвига материала пружины в нерабочем состоянии; G_p – модуль сдвига материала пружины в рабочем состоянии; U_3 – температурное перемещение по глобальной оси X3 (Z) (этап 3); U_n – заданное вертикальное перемещение точки подвеса пружины; C_k – жесткость цепи (заданная или выбранная); $\Delta L = \alpha_p \cdot (T_p - T_x) \cdot L$ – удлинение тяги пружины; α_p – коэффициент линейного расширения материала пружины при рабочей температуре; T_p – температура пружины в рабочем состоянии; T_x – температура пружины в нерабочем состоянии; L – длина тяги; N – число цепей. Если $P_{\text{хол}}$ превышает $P_{\text{таблхол}}$ (графа 8), фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение
15	Нагрузка на опору,	$P_{\text{исп}}$	Статическая нагрузка на опору в режиме

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
	кН		испытаний, кН: Если $R_{исп}$ превышает $R_{таблисп}$, фон подкрашивается и, дополнительно, в примечании выводится диагностическое сообщение. Значение $R_{таблисп}$ вычисляется по формуле: $R_{таблисп} = R_{таблхол} - (R_{таблхол} - R_{таблраб}) \cdot (T_n - T_x) / (T_p - T_x)$ где T_n – температура пружины при испытаниях
16	Высота пружины в рабочем состоянии, мм	$H_{раб}$	Высота одной пружины в структуре цепи Z в рабочем состоянии: $H_{раб} = H_{св} - \Delta_p$ где: $H_{св}$ – высота пружины в свободном состоянии (графа 9); Δ_p – осадка (перемещение) одной пружины в рабочем состоянии; $\Delta_p = R_{раб} / A$ здесь $R_{раб}$ – статическая нагрузка на опору в рабочем состоянии (графа 13); A – условная жесткость; $A = N C_{кx} Z G_p / G_x$ N – число цепей (тяг) (графа 4); $C_{кx}$ – жесткость цепи в холодном состоянии; Z – номер структуры цепи (графа 6); G_x – модуль сдвига материала пружины в холодном состоянии; G_p – модуль сдвига материала пружины в рабочем состоянии. <i>Не заполняется</i> , если жесткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
17	Высота пружины в холодном состоянии, мм	$H_{хол}$	Высота одной пружины в структуре цепи Z в нерабочем состоянии: $H_{хол} = H_{св} - \Delta_x$ где: $H_{св}$ – высота пружины в свободном состоянии (графа 9); Δ_x – затяжка (перемещение) одной пружины в нерабочем состоянии; $\Delta_x = P_{хол} / A$ здесь $P_{хол}$ – статическая нагрузка на опору в холодном состоянии (графа 14); A – условная жесткость; $A = N C_{кx} Z$ N – число цепей (тяг) (графа 4); $C_{кx}$ – жесткость цепи в холодном состоянии; Z – номер структуры цепи (графа 6); <i>Не заполняется</i> , если жесткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если

Номер графы	Название графы	Обозначение	Комментарий, формулы
			рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
18	Перемещения по оси видимое , мм	X1	Перемещение по глобальной оси X1(X) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
19		X2	Перемещение по глобальной оси X2 (Y) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
20		X3	Перемещение по глобальной оси X3 (Z) в сечении установки пружины от действия температуры (этап 3), мм
21	Перемещения по оси полное , мм	X3	Перемещение по глобальной оси X3 (Z) в сечении установки пружины от действия всех нагружающих факторов (этап 2), мм.
22	Удлинение тяги, мм	ΔL	Удлинение тяги пружины: $\Delta L = \alpha_p \cdot (T_p - T_x) \cdot L$ T_p – температура пружины в рабочем состоянии T_x – температура пружины в нерабочем состоянии α_p – коэффициент линейного расширения материала пружины при рабочей температуре. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена)
23	Затяжка пружины в монтажном состоянии, мм	$\lambda_{уст}$	Затяжка пружины в монтажном состоянии: $\lambda_{уст} = Z \Delta_p + U_{3полное} - U_n$ Z – номер структуры цепи (графа 5); Δ_p – осадка (перемещение) одной пружины в рабочем состоянии; $U_{3полное}$ – перемещение в сечении установки действия по оси X3 (Z) от всех нагружающих факторов (этап 2), указанное в графе 21; U_n – заданное вертикальное перемещение точки подвеса пружины. <i>Не заполняется</i> , если жёсткость пружины из сортамента не соответствует табличной (структура цепи не определена), если рабочая или холодная нагрузка на тягу превышает табличную
Динамическое воздействие, сейсмика			
24	Нагрузка, кН	$\pm P$	Сейсмическая нагрузка на опору по оси X3(Z)
25	Перемещение по оси, мм	$\pm X1$	Сейсмическое перемещение по оси X1(X)
26		$\pm X2$	Сейсмическое перемещение по оси X2(Y)
27		$\pm X3$	Сейсмическое перемещение по оси X3(Z)
28		$D \times S$, мм	Наружный диаметр (D) и толщина стенки трубы (S) в сечении установки пружинной опоры (сортамент трубы)

Приложение 5. Определение местной жесткости узлов врезки штуцера

Здесь приведены положения и формулы из ряда известных отечественных и зарубежных нормативных документов [3, 8, 68-72], реализованные в “калькуляторе” препроцессора ПК АСТРА-НОВА для ортогональных (нормальных) соединений “штуцер-обечайка” и “штуцер-днище”. Эти положения и формулы согласованы, в частности, с реализацией в ПК PVP-Design (в целом сохранена в несколько усеченно-откорректированном виде авторская редакция к.т.н. Б.С. Вольфсона).

При этом необходимо четко понимать (и это подтверждено, в частности, решенными верификационными задачами по АСТРА-АЭС [27] с “точным” определением матриц коэффициентов локальной жесткости по пространственно-оболочечным конечноэлементным моделям), что реальные коэффициенты местной жесткости-податливости соединений “штуцер-обечайка” могут весьма значительно отличаться от приведенных аналитических выражений.

1. Условные обозначения (все линейные размеры – в мм)

D – внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища,

D_k – внутренний диаметр конической обечайки в месте расположения штуцера,

d – внутренний диаметр штуцера,

H – внутренняя высота эллиптической части днища,

l_1 – исполнительная длина штуцера,

l_{1v} – исполнительная длина усиленной части штуцера,

l_2 – исполнительная ширина накладного кольца,

$R_{сф}$ – внутренний радиус сферического сегмента торосферического днища,

S – исполнительная толщина стенки обечайки,

S_1 – исполнительная толщина стенки штуцера,

S_{1v} – исполнительная толщина усиленной части штуцера,

S_2 – исполнительная толщина накладного кольца,

x – расстояние от центра отверстия до оси эллиптического днища,

α_k – половина угла раствора при вершине конической обечайки, рад, град,

E – модуль упругости материала корпуса, МПа,

μ – коэффициент Пуассона

2. Пределы применения

В дополнение к требованиям п.п. 4.2, 4.4, 6.1.1 и 6.2.1 ГОСТ Р 52857.3-2007 действуют следующие ограничения для применения приведенных ниже зависимостей:

1) для узлов врезки штуцеров в цилиндрические и конические обечайки расстояние от края штуцера или накладного кольца до ближайшего конца

расчетной длины участка обечайки должно быть не менее $0,5(D+S)$ или $0,5(D/\cos \alpha_k + S)$, соответственно;

2) для узлов врезки штуцеров в выпуклые днища расстояние от края штуцера или накладного кольца до края внешней поверхности выпуклого днища должно быть не менее $0,1(D+2S)$, а внутренний диаметр штуцера d не более чем $0,67R-S_1$.

3. Узел врезки штуцера в цилиндрическую обечайку

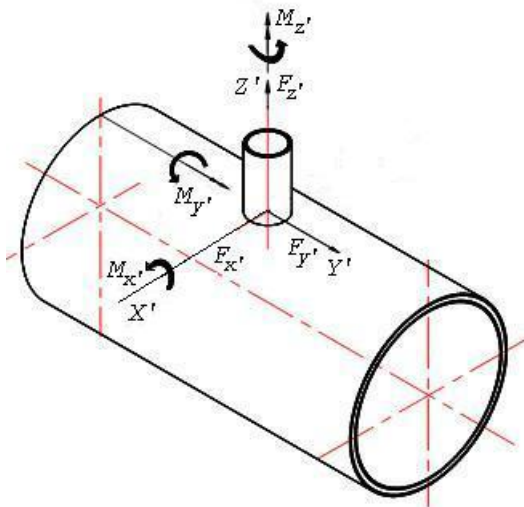


Рис. 5.1 Положительные направления сил и моментов

3.1. Угловая жесткость узла врезки штуцера без накладного кольца при действии момента M_x в продольном направлении:

$$K_{M_x} = \frac{M_x}{\theta_x} = \frac{EI}{k_x (d + 2S_1)}$$

$$\text{где: } k_x = 0.2 \frac{(D + 2S)}{S} \cdot \frac{S_1}{S} \sqrt{\frac{(d + 2S_1)S}{(D + 2S)S_n}}$$

I – момент инерции сечения штуцера при изгибе, мм⁴:

$$I = \frac{\pi \left[(d + 2S_1)^4 - d^4 \right]}{64}$$

3.2. *Угловая жесткость* узла врезки штуцера без накладного кольца при действии момента M_y в окружном направлении:

$$K_{M_y} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{EI}{k_y (d + 2S_1)}$$

$$\text{где: } k_y = 0.1 \frac{(D + 2S)}{S} \cdot \frac{S_1}{S} \sqrt{\frac{(d + 2S_1)}{S_n}}$$

– для штуцеров без утолщенной части:

$$S_n = S_1$$

– для штуцеров с утолщенной частью:

$$S_n = S_{1v} - \text{при } l_{1v} \geq 0.5 \sqrt{(d + S_{1v}) S_{1v}}$$

$$S_n = S_1 - \text{при } l_{1v} < 0.5 \sqrt{(d + S_{1v}) S_{1v}}$$

3.3. *Угловая жесткость* узла врезки штуцера без накладного кольца при действии крутящего момента M_z :

$$K_{M_z} = \frac{M_z}{\theta_z} = \frac{GI_K}{k_z (d + 2S_1)}$$

$$\text{где: } k_z = 0.06 \left[\frac{(d + 2S_1) S_1}{(D + 2S) S} \right]^4 \left(\frac{D + 2S}{S} \right)^{1.5}$$

I_K – момент инерции сечения штуцера при кручении, мм⁴:

$$I_K = \frac{\pi [(d + 2S_1)^4 - d^4]}{32}$$

G – модуль сдвига, Н/мм²:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \approx \frac{E}{2.6}$$

3.4. *Линейная жесткость* узла врезки штуцера без накладного кольца при действии силы F_z , направленной по оси штуцера, Н/мм:

$$K_{F_z} = \frac{F_z}{\delta_z} = \frac{E(D + S)}{2A_n \gamma^m}$$

где: $A_n(\alpha, \beta)$ – коэффициент, приведенный на рис. 5.2 для значений $\beta=0$, 1/8 и 1/4. Для промежуточных значений определяется линейной интерполяцией (см. ниже). При значениях $\beta > 1/4$ линейная податливость узла врезки штуцера при действии силы F_z , направленной по оси штуцера, в сторону запаса, принимается равной нулю, а линейная жесткость не определяется.

$$\alpha = \frac{2L_{eq}}{D+S}; \quad \beta = \frac{d+S_1}{D+S}; \quad \gamma = \frac{D+S}{2S}$$

L_{eq} – эквивалентная длина участка цилиндрической обечайки, на котором расположен штуцер, мм:

$$L_{eq} = L - \frac{4b_x^2}{L}$$

L – расчетная длина участка обечайки, на котором расположен штуцер. Принимается равной расчетной длине l гладкой цилиндрической обечайки нагруженной наружным давлением или перерезывающей силой (п. 5.3.2.2 ГОСТ Р 52857.2-2007) или расчетной длине l обечайки, укрепленной кольцами жесткости и нагруженной наружным давлением, при определении допускаемого давления, исходя из условий упругой устойчивости между кольцами жесткости (п. 5.4.2.2.1 ГОСТ Р 52857.2-2007), мм.

b_x – расстояние между центром штуцера и серединой расчетной длины L участка обечайки, на котором расположен штуцер, мм.

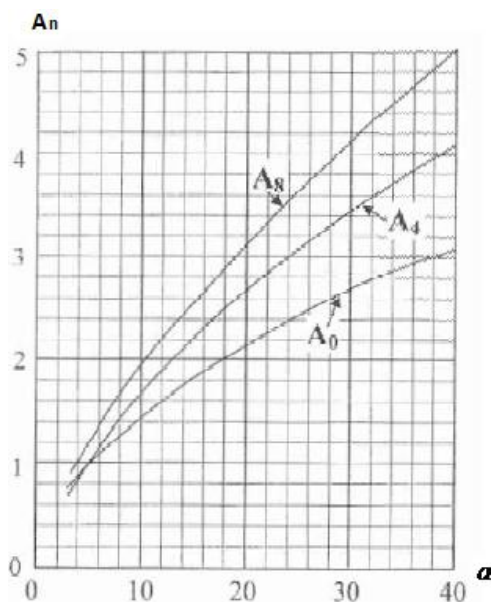


Рис. 5.2

A_0 – при $\beta = 0$, A_8 – при $\beta = 1/8$, A_4 – при $\beta = 1/4$

m – показатель степени. Принимается равным: $m=2,22$ – при $\beta=0$, $m=2,125$ – при $\beta=1/8$, $m=2,10$ – при $\beta=1/4$.

Порядок интерполяции при определении величины K_{Fz} следующий. Вычисляется величина β и рассчитываются значения K_{Fz} для табличных значений β (0, 1/8, 1/4), между которыми лежит вычисленная величина β . С помощью линейной интерполяции K_{Fz} определяется значение жесткости, соответствующее вычисленной величине β .

4. Узел врезки штуцера в коническую обечайку

Величины жесткости конической обечайки в месте врезки штуцера при воздействии внешних сил и моментов от присоединенных трубопроводов вычисляются по формулам раздела 3, также как для цилиндрической обечайки, с учетом следующих особенностей.

Значения коэффициентов k_x , k_y , k_z для определения жесткости конической обечайки в месте врезки штуцера при действии изгибающих и крутящего моментов рассчитываются по формулам:

$$k_x = 0.2 \frac{(D_{\hat{e}} + 2S)}{S \sqrt{\cos \alpha_{\hat{e}}}} \cdot \frac{S_1}{S} \sqrt{\frac{(d + 2S_1)S}{(D_{\hat{e}} + 2S)S_n}}$$

$$k_y = 0.1 \frac{(D_{\hat{e}} + 2S)}{S \cos \alpha_{\hat{e}}} \cdot \frac{S_1}{S} \sqrt{\frac{(d + 2S_1)}{S_n}}$$

$$k_z = 0.06 \left[\frac{(d + 2S_1)S_1}{(D_{\kappa} + 2S)S} \right]^4 \left(\frac{D_{\kappa} + 2S}{S} \right)^{1.5} (\cos \alpha_{\kappa})^{2.5}$$

Величины жесткости и расчетных коэффициентов при действии силы F_z , направленной по оси штуцера, рассчитываются по формулам:

$$K_{Fz} = \frac{F_z}{\delta_z} = \frac{E(D_{\kappa} + S)}{2A_n \gamma^m \cos \alpha_{\kappa}}$$

$$\alpha = \frac{2L_{eq}}{D_{\kappa} + S} \cos \alpha_{\kappa}; \quad \beta = \frac{d + S_1}{D_{\kappa} + S} \cos \alpha_{\kappa}; \quad \gamma = \frac{D_{\kappa} + S}{2S \cos \alpha_{\kappa}}$$

При определении эквивалентной длины участка цилиндрической обечайки, на котором расположен штуцер, L_{eq} , расчетная длина участка обечайки L принимается равной длине конической обечайки.

5. Узел врезки штуцера в полусферическое, торосферическое или эллиптическое днище

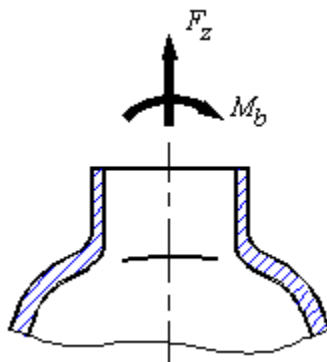


Рис. 5.3

Расчетный средний радиус днища в месте расположения отверстия, мм:

– для полусферического днища:

$$R = \frac{D + S}{2}$$

– для торосферического днища:

$$R = R_{сф}$$

– для эллиптического днища:

$$R = \frac{(D + S)^2}{2(2H + S)} \sqrt{1 - 4 \frac{(D^2 - 4H^2)}{D^4} x^2}$$

Безразмерный параметр:

– для штуцеров без утолщенной части: $u = 0.91 \frac{(d + S_1)}{\sqrt{RS}}$

– для штуцеров с утолщенной частью: $u = 0.91 \frac{(d + S_{lv})}{\sqrt{RS}}$

5.1. Линейная жесткость узла врезки штуцера без накладного кольца при действии силы F_z , направленной по оси штуцера, Н/мм:

$$K_{F_z} = \frac{F_z}{\delta_z} = \frac{ES^2}{k_0 R}$$

где: k_0 – безразмерный коэффициент, определяемый по рис. 5.4, в зависимости от параметра u .

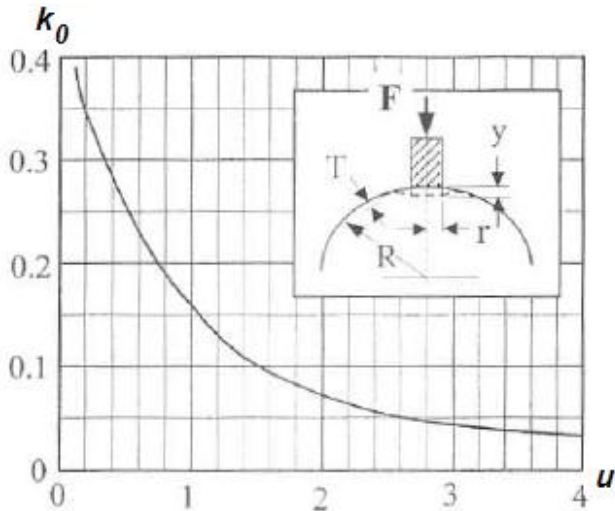


Рис. 5.4

5.2. Угловая жесткость узла врезки штуцера без накладного кольца при действии момента M_b :

$$K_{Mb} = \frac{M_b}{\theta_b} = \frac{uES^3}{1.82k_b}$$

где: k_b – безразмерный коэффициент, определяемый по рис. 5.5, в зависимости от параметра u .

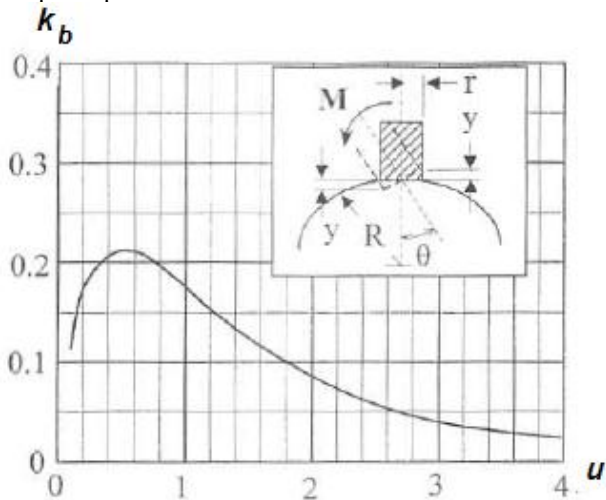


Рис. 5.5

6. Приближенное определение местной жесткости узла врезки штуцера, укрепленного накладным кольцом

В случае, если ширина накладного кольца удовлетворяет условиям:

– для цилиндрической обечайки: $l_2 \geq 1.4\sqrt{D(S + S_2)}$

– для конической обечайки: $l_2 \geq 1.4\sqrt{\frac{D(S + S_2)}{\cos \alpha}}$

– для выпуклого днища: $l_2 \geq 2\sqrt{R(S + S_2)}$

местная жесткость узла врезки штуцера, укрепленного накладным кольцом, рассчитывается по формулам разделов 3, 4, 5, также как для узла врезки штуцера без накладного кольца, но при этом, вместо толщины корпуса S в формулы разделов 3, 4, 5 следует подставлять суммарную толщину корпуса и накладного кольца $(S+S_2)$.

В случае, если приведенные выше условия не выполняются и ширина накладного кольца меньше соответствующих значений для цилиндрической и конической обечаек и выпуклых днищ, местные податливости узла врезки Y_i определяются как сумма двух величин:

$$Y_i = Y_i^u + Y_i^{rp}$$

где: Y_i^u – рассчитывается по формулам разделов 3, 4, 5, также как для узла врезки штуцера без накладного кольца, но при этом, вместо толщины корпуса S в формулы разделов 3, 4, 5 следует подставлять суммарную толщину корпуса и накладного кольца $(S+S_2)$.

Y_i^{rp} – рассчитывается по формулам разделов 3, 4, 5, также как для узла врезки штуцера без накладного кольца, но при этом, вместо толщин S_I и S_{Iv} в формулы разделов 3, 4, 5 следует подставлять (S_I+l_2) или $(S_{Iv}+l_2)$, соответственно.

Жесткость узла врезки штуцера с накладным кольцом при действии i -ой нагрузки определяется как:

$$K_i = \frac{1}{Y_i}$$

Приложение 6. Новые возможности АСТРА-НОВА'2015

АСТРА-НОВА'2015 в сравнении с АСТРА-НОВА'2003

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
<i>АСТРА-АЭС</i> аттестована в Госатомнадзоре РФ.	Программа <i>АСТРА-АЭС</i> прошла переаттестацию в Ростехнадзоре (аттестационный паспорт Ростехнадзора №292 от 14.04.2011, рег. №614 от 16.09.2009). Программы <i>АСТРА-ТЭС</i> , <i>НЕФТЕХИМ</i> , <i>ТЕПЛОСЕТЬ</i> и <i>МАГИСТР</i> сертифицированы ФГУП ЦПС Госстроя России на соответствие требованиям следующих нормативных документов: РД 10-249-98, РД 10-400-01, РТМ 38.001-94, СНиП 2.05.06-85, СНиП 2.01.07-85 и СНиП II-7-81 (сертификат соответствия РОСС RU.СП15.Н00415, срок действия с 01.07.2011 по 30.06.2013).
Бумажная документация в виде брошюр формата А 4.	Документация удобного “карманного” формата (А 5).
Программа защищена с помощью локального ключа.	Изменено чтение содержимого ключа, появилась возможность использования сетевой версии, программирование различной комплектации.
<i>Меню “Файл”</i>	
Файлы проектов: <ul style="list-style-type: none"> • *.apx – <i>АЭС</i>; • *.npx – <i>НЕФТЕХИМ</i>; • *.tpx – <i>ТЭС</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Унифицированные файлы проектов для различных норм расчета (<i>АЭС</i>, <i>ТЭС</i>, <i>НЕФТЕХИМ</i>, <i>ТЕПЛОСЕТЬ</i>, <i>МАГИСТР</i>) – *.apx. 2. Возможна полноценная работа с файлами предыдущих версий программы <i>АСТРА</i> (*.apx, *.npx, *.tpx, *.dat). 3. Создание проекта (расчетной модели <i>АСТРА</i> – *.apx) на основе проекта, созданного программой <i>СТАРТ</i> (преобразование файла открытого формата <i>СТАРТ</i> – *.ini). 4. Возможен выбор пользователем (переключение в процессе работы) отраслевых норм расчета.
В строке заголовка указано имя проекта.	1. В строке заголовка указан полный путь к проекту.

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
	<p>2. Перед открытием существующего проекта стал возможен предварительный просмотр схемы.</p> <p>Добавлена возможность вращения и перемещения схемы в окне предварительного просмотра для улучшения представления расчетной схемы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • для вращения схемы используется клавиша Ctrl + правая клавиша мыши; • для перемещения схемы в окне предварительного просмотра используется клавиша Shift + правая клавиша мыши.
<p>Базы данных по материалам (сталям) для <i>АЭС, ТЭС, НЕФТЕХИМ.</i></p>	<p>1. Появилась возможность добавления и редактирования физико-механических свойств материалов, т. е. создание “собственной” базы данных пользователя по материалам. Та часть <i>БД</i>, которая создана разработчиками, остается неизменной.</p> <p>2. Изменились параметры:</p> <ul style="list-style-type: none"> • добавлен тип стали (аустенитная, неаустенитная), необходимый для расчетов по РТМ 38.001–94; • добавлена зависимость характеристик сталей от ресурса работы для расчетов по РД 10-249–98. <p>3. Добавлены редактируемые базы данных по опорам, содержащие.</p> <ul style="list-style-type: none"> • допускаемые нагрузки на опоры (силы и моменты); • допускаемые перемещения сечения с опорой вдоль осей.
<p>Возможность настройки толщины линий при выводе графического изображения на печать (<i>Файл → Настройка параметров печати...</i>).</p>	<p>Добавлены возможности изменения (<i>Файл → Параметры страницы...</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> • формата страницы (размера и ориентации); • размера полей по выбору пользователя; • штампов страницы, образцы штампов в формате *.dxf, по умолчанию, хранятся в папке: AstraNova\ Templates\ Штамп.dxf.

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
Изменение шрифта для текстовых документов, выбор рабочей директории	<p>Добавлены возможности изменения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • шрифтов (размер, стиль, цвет) для нумерации узлов и сечений, а также для отображения размеров (расстояний между сечениями); • единиц измерения размеров (метры, сантиметры, миллиметры); • длины списка файлов (список последних открываемых проектов изменяется от 4 до 10).
<i>Работа с графическими окнами</i>	
Стандартная панель инструментов, панель просмотра, возможности манипулирования изображением с помощью мыши. Панель списка участков позволяет выбрать активный участок.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Существенно улучшен интерфейс для работы с графическими окнами: <ul style="list-style-type: none"> • добавлены кнопки манипулирования изображением и контекстное меню (вращение в реальном времени, перенос, масштабирование, зуммирование), при этом сохранены и “старые” способы работы с изображением; • улучшены параметры вращения изображения фрагмента схемы; • выбор способа отображения нумерации узлов и сечений модели по желанию пользователя (отсутствие, только узлы, узлы и сечения) возможен с помощью экранной кнопки; • кнопка переключения изображения модели с реалистичного объемного (3D-модель) на схематическое (осевая модель); • изображение конструктивных элементов трубопровода (опоры, отводы, тройники, арматура и т. д.) и сосредоточенных сил, как на объемной, так и на осевой модели в пре- и постпроцессорах; • возможность показа размеров (расстояний между сечениями), а для подземных участков – и глубины заложения трубопровода. 2. Активный суперэлемент (участок)

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
	<p>выделяется на схеме трубопровода цветом. Для удобства работы с панелью списка участков добавлена кнопка выбора активного участка мышью, двойным щелчком открывается диалоговое окно Геометрия участка (для выбранного участка).</p> <p>3. Панели инструментов настраиваются, аналогично другим Windows приложениям (настройка пиктограмм команд).</p>
Препроцессор	
Меню “Данные”	
<p>Возможен выбор типа тройника (сварной или штампованный).</p>	<p>Добавлены необходимые типы тройников для расчетов по нормам РД 10-400-01 и СНиП 2.05.06-85 (сварной с укрепляющими накладками, сварной без укрепляющих накладок, штампованный и штамповсварной).</p> <p>Добавлена возможность автоматического моделирования существенно неравнопроходных тройниковых соединений и соединений “оборудование-труба” с сохранением их реальных геометрико-жесткостных и нагрузочных характеристик. [Ориентирована на создание проектов по нормам ПНАЭ Г-7-002-86 (<i>АСТРА-АЭС</i>), РТМ 38.001-94 (<i>АСТРА-НЕФТЕХИМ</i>), РД 10-249-98, п.5.2 (<i>АСТРА-ТЭС</i>).]</p> <p>В рамках стержневой модели, для тройникового соединения определяются силовые факторы, перемещения и напряжения в точках, расположенных на пересечении осей магистральной и штуцерной труб. При больших диаметрах труб, моделирующих оборудование, интерес представляют силовые факторы в месте примыкания штуцера к оборудованию (на образующей).</p> <p>Такие штуцера можно моделировать вручную (см. таблицу “<i>Геометрия участка</i>”) при помощи вставки жесткого отрезка в конце или в начале участка, длиной $\frac{1}{2}$ диаметра “магистральной трубы”, моделирующей оборудование. Вставленный отрезок имеет</p>

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
	<p>нулевой вес, удвоенный диаметр и толщину стенки равную 0,49 диаметра, что позволяет более точно учесть работу такого соединения (например, температурные расширения оборудования).</p> <p>Для автоматического моделирования существенно неравнопроходных тройниковых соединений и соединений “оборудование-труба” с сохранением их реальных геометрико-жесткостных и нагрузочных характеристик необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> • в режиме ПРЕАСТРА, выбрать в меню “Данные” → “Тройники/врезки” те узлы, в которых Вам нужно задать не просто тройник, а соединение “оборудование-труба” с использованием жестких вставок (диаметр штуцера существенно меньше диаметра магистрали) • Упростить выбор таких узлов можно, воспользовавшись меню “Данные” → “Тройники/врезки” → группа “Пометить” → кнопка “Соединения оборудование-труба”. После этого нужно ввести критерий выбора: соотношение $D_{\text{маг}}/D_{\text{шт}}$ (отношение диаметра магистрали к диаметру штуцера). • Если выбранные программой узлы Вас устраивают, то на участках, примыкающих к этим узлам (штуцерные концы), будут вставлены жесткие отрезки (группа “Задать” → кнопка “Жесткие вставки”). Параметры вставляемых отрезков см. выше. Обратите внимание: перед осуществлением жестких вставок рекомендуется сделать резервную копию проекта, сохранив его под другим именем, поскольку вставка жестких отрезков меняет расчетную схему. <p>При моделировании соединений</p>

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
	<p>оборудования с трубопроводом, при расчетах возникают неоправданно большие нагрузки в штуцерах. Для предотвращения подобной ситуации необходимо учитывать реальную жесткость (податливость) штуцера в месте примыкания трубопровода к оборудованию. Податливость штуцеров в рамках расчета с помощью <i>ПК АСТРА-НОВА’05</i> не определяется, но если податливость уже известна – определена с помощью других расчетных программ (например, СтаДиО), то ее учет, возможен. Для учета известной податливости штуцеров оборудования (труб) воспользуйтесь пунктом “<i>Врезки</i>” и задайте 6 компонент (3 – линейных, 3 – угловых) жесткости.</p>
<p>Возможно задание собственных перемещений опор в рабочем (горячем) состоянии (<i>Данные → Перемещения заземляющих опор...</i>).</p>	<p>Введение табличной графы “Допускаемая нагрузка” для сечений трубопровода на патрубках арматуры и оборудования, заполняемой либо данными от завода-изготовителя, либо величинами из ОТТ-87.</p> <p>Для задания и просмотра допускаемых нагрузок на оборудование необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> • задать допускаемые нагрузки для заземляющих опор в режиме ПРЕАСТРА, воспользовавшись меню “Данные” → “Характеристики заземляющих опор” → “Перемещения заземляющих опор” → диалоговое окно “Характеристики заземляющих(ей) опор(ы) в узлах(е)” → пункты “Допускаемые силы”, “Допускаемые моменты”.
<p>Ввод параметров расчетной схемы трубопровода с помощью табличного интерфейса препроцессора.</p>	<p>Создание “альтернативного” препроцессора (<i>Данные → Трассировка</i>).</p> <p>Данный препроцессор:</p> <ul style="list-style-type: none"> • позволяет моделировать трубопроводные системы в режиме on-line, оперируя отрезками “труб”, “отводов” и др., с последующей генерацией расчетной модели; • дает возможность использовать базы

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
	<p>данных по изделиям (прямые трубы, отводы, тройники, арматура, компенсаторы, опоры и т. д.);</p> <ul style="list-style-type: none"> •ориентирован на создание проектов по нормам РД 10-400–01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>) и СНиП 2.05.06–85 (<i>АСТРА-МАГИСТР</i>). <p>Возможность использования “традиционного” препроцессора как самостоятельно, так и совместно с новым Трассировщиком (переход из одного препроцессора в другой, и обратно), поддерживается <i>ПК АСТРА-НОВА'09</i> (200901 и выше¹).</p>
<p>Можно задавать или менять параметры из общих данных сразу для нескольких участков.</p>	<p>Заметно улучшена и упрощена работа с диалоговым окном <i>Общие данные участков:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Данные сгруппированы по темам. 2. Оформление окна аналогично окну <i>Общие данные участка</i>, в котором параметры задавались для каждого участка в отдельности. 3. Добавлена возможность модифицировать данные закладки <i>Материалы</i> при помощи базы данных по материалам (<i>БД</i>), причем характеристики материала будут соответствовать рабочим параметрам каждого участка. 4. Возможно независимое изменение параметров в закладках, т.е. значение параметра различное для выделенных участков можно как изменить на одинаковое, так и оставить без изменения.
<p>Удаление и расстановка динамических степеней свободы вручную.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Добавлен пункт <i>Удалить все массы схемы</i>, который позволяет удалить динамические степени свободы со всех участков модели. 2. С помощью пункта <i>Расставить все массы</i> автоматически расставляются массы

¹ Нумерация версии содержит год и месяц релиза ***ПК АСТРА-НОВА'2017***, т.е. 201611 – соответствует ноябрю 2016 года, а также и номер подрелиза, например 201611-p1.

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
	во все имеющиеся сечения схемы, включая середины гибов (отводов).
Подземные трубопроводы бесканальной прокладки не задаются и не считаются.	Пункт <i>Дробить подземные участки</i> позволяет быстро и удобно добавить на подземных участках трубопровода (бесканальной прокладки) дополнительные сечения оптимальным образом.
Возможность задавать и редактировать <i>Сейсмозодействия</i> , а также загружать их из имеющихся текстовых файлов.	При задании <i>Сейсмозодействия</i> 1. Стало возможно ввести текстовый комментарий, который будет отображен в файле выдачи результатов. 2. Добавлены новые возможности при просмотре графика воздействия: <ul style="list-style-type: none"> • <i>масштабирование</i>; • <i>перенос</i>; • <i>настройка</i> – позволяет выбрать число демонстрируемых проекций (1 – 3), и показать (или не показывать) числовые значения.
Отсутствуют расчетные комплексы <i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i> и <i>АСТРА-МАГИСТР</i> .	Для реализации расчетов по нормам РД 10-400-01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>) и СНиП 2.05.06-85 (<i>АСТРА-МАГИСТР</i>) добавлены пункты: 1. <i>Температурные истории</i> , необходимые для задания температурной истории при расчетах циклической повреждаемости по вышеназванным нормам. 2. <i>Грунты</i> . Этот пункт позволяет задать (или выбрать из базы данных) физико-механические характеристики грунтов при моделировании подземных участков трубопроводов бесканальной прокладки (теплосети) и подземных/наземных магистральных нефте- и газопроводов.
<i>Меню “Участки”</i>	
Общие данные участка задаются с помощью субменю, содержащего набор диалоговых окон, в которых	Интерфейс окна <i>Общие данные участка</i> заметно улучшен: <ul style="list-style-type: none"> • все характеристики представлены в одном окне и сгруппированы по темам в виде закладок;

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
данные сгруппированы по темам.	<ul style="list-style-type: none"> • возможен выбор характеристик из баз данных; • добавлены характеристики <i>Изоляции</i> для расчетов подземных трубопроводов бесканальной прокладки (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i> и <i>АСТРА-МАГИСТР</i>); • для расчетов по нормам РД 10-400-01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>) добавлена возможность выбора типа отвода (гиба); • работа с окнами <i>Общие данные участка</i> (для задания характеристик одного конкретного участка) и <i>Общие данные участков</i> (для задания и изменения характеристик нескольких участков одновременно).
Ввод геометрии участка.	Намного удобнее стало осуществлять ввод геометрии участка “традиционным” способом:
1. Открытие диалогового окна <i>Геометрия участка</i> осуществляется из меню <i>Участки</i> .	1. Стало возможным открывать окно <i>Геометрия участка</i> как из меню, так и непосредственно из графического окна, выделив нужный участок на схеме.
2. Глобальная декартова система координат для задания геометрии участков схемы.	2. Введен признак вида координат. При задании геометрии участка может быть использована одна из следующих систем координат: <ul style="list-style-type: none"> • правосторонняя декартова с фиксированным началом координат; • цилиндрическая с фиксированным началом координат; • сферическая с фиксированным началом координат; • локальная правосторонняя декартова; • локальная цилиндрическая; • локальная сферическая.
3. Кнопки признаков на панели ввода и дублирующая их подсказка в строке статуса (подсказки) и в поле ввода признаков.	3. Улучшен ввод признаков: <ul style="list-style-type: none"> • кнопки признаков сгруппированы по темам; • появился альтернативный способ удаления ненужных признаков путем их “выноса” за поле ввода признаков;

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • добавлены признаки: <i>жесткая подвеска, погонная нагрузка, грунт</i>; • при вводе признака <i>отличающиеся значения</i> добавлена возможность быстрого заполнения полей с помощью кнопки <i>как в общих данных</i>; • при моделировании компенсатора стало возможным задавать его геометрические характеристики для расчета напряжений в компенсаторах по нормам РД 10-400–01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>), а также задавать величины жесткостей компенсатора равными <i>жесткостям примыкающих труб</i> (значение жесткостей вычисляется по данным отрезка); • одинаковый признак можно одновременно расставлять, изменять, удалять в нескольких сечениях сразу; • появилась возможность копировать характеристики признака любого сечения одного участка схемы в произвольное сечение другого участка этой же схемы путем “перетаскивания” (для этого одновременно должны быть открыты геометрии обоих участков)
<p>4. Функция <i>Удалить</i> позволяет уничтожить ненужные сечения вместе со всеми признаками.</p>	<p>4. Кроме существующей функции <i>Удалить</i>, появились <i>Дополнительные функции</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Вычислить погонный вес</i> – для вычисления погонного веса трубы, изоляции и продукта по их заданным плотностям, что необходимо для расчета подземных трубопроводов (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i> и <i>АСТРА-МАГИСТР</i>); • <i>Дробить отрезок</i> – для разбиения указанного отрезка (элемента) на заданное число равных отрезков; • <i>Дробить подземные отрезки</i> – для разбиения подземных отрезков трубопровода оптимальным для

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
	<p>построения расчетной модели образом;</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Дробить отрезки с шагом</i> – для вставки на участке дополнительных сечений с заданным шагом (относительно диаметра); • <i>Расстановка динамических степеней свободы</i> – расстановка динамических степеней свободы во все имеющиеся сечения участка; • <i>Удалить незадействованные смещения</i> – для удаления сечений, заданных “смещениями”, в которых отсутствуют какие-либо признаки.
<p>Возможность задавать и редактировать <i>Вибрационное</i> и <i>Динамическое воздействия</i> на участке, а также загружать их из имеющихся текстовых файлов.</p>	<p>При задании <i>Динамического воздействия</i> добавлены новые возможности при просмотре графика воздействия:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>масштабирование</i>; • <i>перенос</i>; • <i>настройка</i> – позволяет выбрать число демонстрируемых проекций (1-3), и показать (или не показывать) числовые значения.
<i>Меню “Просмотр”</i>	
<p>Возможен выбор характеристик просмотра для отображения в графическом окне.</p>	<p>Для подземных трубопроводов (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i> и <i>АСТРА-МАГИСТР</i>) добавлен показ следующих характеристик:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Грунт</i> – подземные отрезки отображаются другим (по выбору пользователя) цветом; • <i>Изоляция</i> – подземные отрезки трубопровода, на которых имеется теплоизоляция, отображаются другим (по выбору пользователя) цветом; <p><i>Компенсирющие подушки</i> – подземные отрезки трубопровода, на которых имеются компенсирующие подушки, отображаются другим (по выбору пользователя) цветом.</p>
<i>Расчетные модули</i>	
<p>Расчеты на прочность по отраслевым нормам: 1. ПНАЭ Г-7-002–86</p>	<p>В добавление к имеющимся (1,2,3) разработаны, реализованы и верифицированы методики расчета на прочность, отвечающие</p>

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
<p>(<i>АСТРА-АЭС</i>);</p> <p>2. РТМ 38.001–94</p> <p>(<i>АСТРА-НЕФТЕХИМ</i>);</p> <p>3. РД 10-249–98, п.5.2</p> <p>(<i>АСТРА-ТЭС</i>).</p>	<p>требованиям следующих отраслевых норм:</p> <p>4. РД 10-400–01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>)</p> <p>5. СНиП 2.05.06–85 (<i>АСТРА-МАГИСТР</i>),</p> <p>в том числе расчет подземных трубопроводов теплосетей бесканальной прокладки и подземных/наземных (в насыпи) магистральных нефте- и газопроводов.</p> <p>При этом как устранены недочеты указанных норм (в части нестрогости и некорректности формул и положений), так и восполнен ряд “пробелов”.</p>
<p>Единый алгоритм расчета для всех программ комплекса</p>	<p>Унифицированы и оптимизированы все отраслевые программы комплекса, сняты неоправданные ограничения на размерности.</p> <p>Так, за счет эффективной буферизации и минимизации обменов время расчета уменьшено в 1,5 – 3 раза.</p>
<p>Максимальное число узлов – 500,</p> <p>суперэлементов (участков) – 1000,</p> <p>элементов на участке – 40,</p> <p>Минимальное число узлов – 1,</p> <p>элементов на участке – 2.</p>	<p>Максимальное число узлов – 2000,</p> <p>суперэлементов (участков) – 2000,</p> <p>элементов на участке – 400,</p> <p>Минимальное число узлов – 0 (нет),</p> <p>элементов на участке – 1.</p>
<p>Статика и циклика (<i>АСТРА-СТАЦ</i>).</p>	<p>1. Усовершенствован итерационный алгоритм при расчетах на статическую и циклическую прочность с учетом трения и отрывов в опорах.</p> <p>2. Откорректирован учет монтажного натяга на 4 этапе расчета.</p>
<p>В компенсаторах возможен расчет перемещений.</p>	<p>Реализована нормативная (РТМ 38.001–94, РД 10-400–01) методика расчета напряжений в ненормализованных (линзовых и сильфонных) компенсаторах.</p>
	<p>При расчетах трубопроводов с теплоизоляцией по нормам РД 10-400–01 (<i>АСТРА-ТЕПЛОСЕТЬ</i>) и СНиП 2.05.06–85 (<i>АСТРА-МАГИСТР</i>) определяются напряжения, и оценивается прочность не</p>

<i>АСТРА-НОВА'2003</i>	<i>АСТРА-НОВА'2015 (релиз 201605)</i>
	только элементов труб, но и изоляции.
	Возможен статический расчет при действии внешнего давления на трубопровод (или вакуума внутри трубы).
Собственные частоты и формы (<i>АСТРА-ФОРМ</i>).	За счет совершенствования алгоритма формирования и решения частичной проблемы собственных значений сокращено время расчета собственных частот и форм колебаний (в "среднем" – в 2,5 раза).
Максимальное определяемое число собственных частот и форм колебаний – 400.	Максимальное определяемое число собственных частот и форм колебаний – 2000.
Расчет на сейсмические воздействия (<i>АСТРА-СЕЙСМ</i>). Максимальное учитываемое число собственных частот и форм колебаний – 400, число точек задания спектров ответа – 1000, акселерограмм – 3000	Максимальное учитываемое число собственных частот и форм колебаний – 2000, число точек задания спектров ответа – 10000, акселерограмм – 60000.
Расчет на динамические воздействия (<i>АСТРА-ДИН</i>). Максимальное учитываемое число собственных частот и форм колебаний – 400, длина вектора (проекции) – 3000.	Максимальное учитываемое число собственных частот и форм колебаний – 2000, длина вектора (проекции) – 60000.
<i>Постпроцессор</i>	
Сводные таблицы результатов представлены в текстовом формате.	Добавлена возможность получения сводных таблиц формата HTML, что позволяет не только просматривать, но и полноценно редактировать таблицы в текстовом редакторе Word и Internet Explorer.
Визуализация перемещений и напряжений. 1. При визуализации напряжений цвет всего отрезка определялся максимальным значением напряжения на концах отрезка (при этом арматура, компенсатор, неколецевое сечение окрашивались в цвет	1. При визуализации напряжений изменились принципы представления информации: <ul style="list-style-type: none"> • элементы, в которых напряжения не вычисляются (арматура, неколецевые сечения) остаются при визуализации окрашенными в нейтральный цвет (цвет исходного трубопровода); • окрестность сечения, равная половине длины элемента, окрашивается в цвет

<i>АСТРА-НОВА’2003</i>	<i>АСТРА-НОВА’2015 (релиз 201605)</i>
одного из соседних отрезков).	соответствующего напряжения.
2. Возможен просмотр как абсолютных (в МПа), так и относительных (сравнение с допускаемыми) величин приведенных напряжений.	2. Для удобства оценки напряженного состояния трубопровода при просмотре относительных напряжений можно выбрать способы окраски напряжений: <ul style="list-style-type: none"> • <i>два цвета</i> – при котором все элементы, в которых напряжение не превышает допустимого, окрашены в один цвет, а те где напряжение выше нормы – в другой (например, красный); • <i>три цвета</i> – при котором цвет отрезков различен для тех, где напряжения ниже допустимых (0-80%), близки к предельно допустимым (80-100%), превышают допустимые.
3. Можно выбрать масштаб отображения перемещений с помощью пункта меню.	3. В добавление к существующему способу выбора масштаба перемещений введена кнопка на панели инструментов, позволяющая сделать это легче и быстрее.
4. При визуализации напряжений и перемещений можно просматривать их численные значения в интересующем сечении.	4. При выборе режима <i>Показывать значения</i> численные значения параметров в выбранных сечениях выдаются при работе со всеми графическими окнами постпроцессора (визуализация перемещений и визуализация напряжений) и сохраняются при любых манипуляциях с изображением (поворот, перемещение, зуммирование и т. п.)

АСТРА-НОВА'2007. Сравнение релизов от 20.04.2008 и 28.03.2007

АСТРА-НОВА'2007 (28.03.2007)	АСТРА-НОВА'2007 (20.04.2008)
<p>Программы АСТРА-ТЭС, НЕФТЕХИМ, ТЕПЛОСЕТЬ и МАГИСТР сертифицированы ФГУП ЦПС Госстроя России на соответствие требованиям следующих нормативных документов: РД 10-249-98, РД 10-400-01, РТМ 38.001-94, СНиП 2.05.06-85, СНиП 2.01.07-85 и СНиП II-7-81 (сертификат соответствия РОСС RU.9001.11СП11.Н00141 № 0312925, срок действия с 15.07.2004 по 15.07.2006).</p>	<p>Программы АСТРА-ТЭС, НЕФТЕХИМ, ТЕПЛОСЕТЬ, МАГИСТР в составе комплекса АСТРА-НОВА'2009 сертифицированы в органе по сертификации программной продукции в строительстве ООО ЦСПС на соответствие требованиям следующих нормативных документов: РД 10-249-98, РД 10-400-01, РТМ 38.001-94, СНиП 2.05.06-85, СНиП 2.01.07-85 и СНиП II-7-81 (сертификат соответствия № РОСС RU.СП15.Н00100, срок действия с 25.06.2007 по 25.06.2009)</p>
<p>Включение возможностей формирования и учета матричных суперэлементов (Крейга-Бемптона)</p>	<p>Верификация, полноценное подключение и внятный пользовательский интерфейс опций формирования и учета матричных суперэлементов (Крейга-Бемптона) для АСТРА-СТАЦ и АСТРА-ФОРМ. Показательный верификационный пример (тест) включен в комплект поставки.</p>
<p>Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов АСТРА-СТАДИО. Реализован для:</p> <p>1) ортогональных сварных тройников в пространственной оболочечной постановке.</p>	<p>Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов АСТРА-СТАДИО. Реализован и верифицирован для:</p> <p>1) ортогональных тройников (сварных, с накладками и штампованных с тянутой горловиной) в трехмерной и пространственно-оболочечной постановках;</p> <p>2) отводов (гибов, колен) с учетом присоединенных прямых труб, эллиптичности и разностенности сечения в пространственной оболочечной постановке;</p> <p>3) линзовых и сильфонных компенсаторов с учетом присоединенных прямых труб в пространственной оболочечной постановке;</p> <p>4) переходов конических с учетом присоединенных прямых труб в пространственной оболочечной постановке.</p>

<i>АСТРА-НОВА’2007 (28.03.2007)</i>	<i>АСТРА-НОВА’2007 (20.04.2008)</i>
Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов <i>АСТРА-СТАДИО</i> . Решения СЛАУ “традиционным” прямым методом исключения “Гауссова” типа (как в АСТРА-СТАЦ).	Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов <i>АСТРА-СТАДИО</i> . Включена дополнительная возможность <i>решения СЛАУ итерационным методом сопряженных градиентов с предобуславливанием</i> , что существенно ускоряет расчет для трехмерных КЭ-моделей (толстостенных деталей) большой размерности.
Задание и отображение деталей трубопроводов: <i>прямые трубы, отводы (гибы, колена), тройники, “арматура”, линзовые (сильфонные) компенсаторы, фланцы, отрезки некольцевого сечения</i>	Включение в число задаваемых и отображаемых (визуализируемых) новых деталей: <i>переходы, доньшики (днища, крышки), косые стыки, “жесткие элементы”</i> .
Не реализовано	Опция расчета (<i>Общие данные</i>) с учетом распора в <i>линзовых компенсаторах</i> (от давления)
Не реализовано	Опция расчета (<i>Общие данные</i>) с учетом осевых сил, возникающих от давления в <i>отводах, тройниках, переходах, сечениях с отличающимися значениями, косых стыках, доньшках</i> .
Не реализовано	При повторных расчетах собственных частот и форм колебаний (<i>АСТРА-ФОРМ</i>) с измененными параметрами вновь не формируются матрицы податливости и масс системы (используются определенные при “первом” расчете), что дает существенную экономию машинного времени для большеразмерных задач.
<i>ПРЕ-АСТРА</i> : начальную эллиптичность можно задать отводов (гибов) каждого участка-суперэлемента	<i>ПРЕ-АСТРА</i> : диагностика несоосности отрезков смежных участков, заданных как корпус (магистраль) тройникового соединения
Не реализовано	<i>ПРЕ-АСТРА</i> : начальную эллиптичность можно задать для каждого отвода (гиба)
Не реализовано	<i>ПОСТ-АСТРА</i> : сводные-выборочные таблицы результатов дополнены пунктом “Герметичность фланцев”

Сравнение АСТРА-НОВА'2009 (200901) с АСТРА-НОВА'2007 (200804)

АСТРА-НОВА'2007 (20.04.2008)	АСТРА-НОВА'2009 (29.01.2009)
ПРЕ-АСТРА.	ПРЕ-АСТРА. Улучшена навигация по модели, в частности, выделено выделение элемента, участка и групп участков на 3D модели
ПРЕ-АСТРА.	ПРЕ-АСТРА. “Таблица геометрии” традиционного ввода реализована в стиле современного интерфейса (добавлены кнопки деталей, редактирования и др.)
ПРЕ-АСТРА. Импорт моделей трубопроводных систем в форматах расчетных программ СТАРТ, CAESAR II и САПР CADWorx Plant, AutoCAD	ПРЕ-АСТРА. Дополнительно – возможность открытия/подключения моделей оборудования (аппаратов, сосудов, колонн) в формате известной российской системы PVP-design (.ppv-файлы).
ПРЕ-АСТРА. Задание полного веса компенсатора и перехода.	ПРЕ-АСТРА. Возможность раздельного задания веса материала, изоляции и продукта для перехода и компенсатора.
ПРЕ-АСТРА.	ПРЕ-АСТРА. “Гармонизирован” набор параметров и учет <i>переходов концентрических и с эксцентриситетом</i> . БД дополнена переходами штампованными, листовыми, точеными и бесшовными по ОСТ 24...34....
ПРЕ-АСТРА.	ПРЕ-АСТРА. В традиционно “плановом” порядке пополнены базы данных (БД): труб, отводов, тройников, арматуры, компенсаторов, опор.
Для всех видов расчета реализованы пружины сортамента МВН, ОСТ, “спецпружины”, пользователя. БД пружин МВН, ОСТ, “спецпружин”.	Дополнительно – для всех видов расчета реализованы также пружины “постоянного усилия” (для динамических расчетов принимается жесткость пружин, соответствующая рабочему состоянию). БД дополнена пружинами из каталога фирмы LISEGA.
Расчет высокотемпературных трубопроводов без учета трения/отрыва в опорах	Для отраслевых ветвей АЭС, ТЭС и НЕФТЕХИМ реализованы алгоритмы/опции статического (АСТРА-СТАЦ) и динамических (АСТРА-ФОРМ, СЕЙСМ, ВИБР, ДИН) расчетов высокотемпературных трубопроводов с учетом трения/отрыва в опорах,

<i>АСТРА-НОВА’2007 (20.04.2008)</i>	<i>АСТРА-НОВА’2009 (29.01.2009)</i>
	“заимствованные” из аналогичных алгоритмов для низкотемпературных трубопроводов
Динамические расчеты подземных трубопроводов не предусмотрены.	Программы <i>АСТРА-ФОРМ, СЕЙСМ, ВИБР, ДИН</i> позволяют выполнять полный цикл динамических (собственные частоты/формы, сейсмические, вибрационные, динамические) расчетов трубопроводов, содержащих подземные участки. Реализована инженерная методика учета/коррекции жесткости фиктивных опор, моделирующих взаимодействие с грунтом.
Включение возможностей формирования и учета матричных суперэлементов (Крейга-Бемптона)	<p>1. Верификация, полноценное подключение и усовершенствованный пользовательский интерфейс опций формирования и учета матричных суперэлементов (Крейга-Бемптона).</p> <p>2. Файлы с матрицами суперэлементов включены в апр-проект ТС. Возможность просмотра матриц.</p> <p>3. Показательный верификационный пример (тест) включен в комплект поставки.</p>
Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов <i>АСТРА-СТАДИО</i> . Реализован для торцевых нагрузок, соответствующих этапам статического расчета (СТАЦ)	<p>Уточненный расчет МКЭ деталей трубопроводов <i>АСТРА-СТАДИО</i>.</p> <p>1. Реализован для торцевых нагрузок, соответствующих этапам статического расчета (СТАЦ) и сейсмического расчета (<i>СЕЙСМ</i>, спектры ответа и акселерограммы).</p> <p>2. Возможность визуализации напряжений на деформированной модели.</p> <p>3. Визуализация сейсмических перемещений и напряжений, соответствующих каждой учитываемой собственной форме колебаний при расчете на спектры ответа.</p> <p>4. Формирование видеоролика (avi-файл) для НДС от сейсмоздействия, заданного акселерограммой.</p>

<i>АСТРА-НОВА'2007 (20.04.2008)</i>	<i>АСТРА-НОВА'2009 (29.01.2009)</i>
	<p>5. Краткий отчет (таблица) по оценке статической, циклической и сейсмической прочности (ПНАЭ Г-7-002-86).</p> <p>6. Отдельный полноценный документ “АСТРА-СТАДИО. Сеанс работы”, входит в комплект поставки <i>только</i> для пользователей АСТРА-СТАДИО.</p>
<p><i>Комплект поставки.</i> В комплект входит обязательный набор представительных тестов (TEST1, TEST2, TEST3, TEST4), настроенных на все приобретенные отраслевые ветви ПК.</p>	<p><i>Комплект поставки.</i> Набор “обязательных” тестовых задач пополнен, в том числе, модельной трубопроводной системой средней размерности, но со всеми возможными элементами и характерными приемами моделирования ТС. По желанию (заказу) пользователю предоставляются также тесты на высокотемпературные и подземные трубопроводы, матричные суперэлементы и уточненный МКЭ-анализ деталей ТС</p>

Приложение 7. Руководство программиста

П 7.1 Описание формата обмена данными с САПР

П 7.1.1 Общие положения

Расширение файла *.aef

ВНИМАНИЕ! В файл будут вноситься изменения и дополнения.
ПОСЛЕДНЯЯ МОДИФИКАЦИЯ ФОРМАТА: 201511

Файл обмена данными с САПР представляет собой текстовый файл, состоящий из секций.

Каждый элемент конструкции трубопровода содержится в отдельной секции. Порядок следования секций не важен.

Описание каждой секции начинается с заголовка. После заголовка следует информация о параметрах элемента.

Каждый новый параметр располагается в отдельной строке. Порядок следования параметров не важен. Если параметр пропущен, его значение принимается по умолчанию.

[ЗАГОЛОВОК_1]

Название_параметра_1=значение_параметра_1

Название_параметра_2=значение_параметра_2

...

Название_параметра_N1=значение_параметра_N1

[ЗАГОЛОВОК_2]

Название_параметра_1=значение_параметра_1

Название_параметра_2=значение_параметра_2

...

Название_параметра_N2=значение_параметра_N2

...

[ЗАГОЛОВОК_N]

...

П 7.1.2 Данные для всех элементов (прямые трубы, отводы-гибы, арматура, компенсаторы, кольцевые сечения, переходы)

Они добавляются в соответствующую секцию

TM=Вещественное число	Температура монтажа, град С
TX=Вещественное число	Холодная температура, град С
TP=Вещественное число	Рабочая температура, град С
MAT='Название материала'	Название материала
NMAT=Целое число	Номер материала в БД

P=Вещественное число	Рабочее давление, МПа
GAP=Вещественное число	Допускаемая амплитуда напряжений, МПа
NC=Целое число	Число циклов нагружения РТМ 38.001-94
ITH=Целое число	Номер температурной истории
H ISO=Вещественное число	Толщина изоляции, мм
TYPE_ISO=Целое число	Тип изоляции 0 – нет 1 – ППУ+ПЭ 2 – полимербетон 3 – армопенобетон 4 – битумперлит 5 – битумкерамзит
FIU=Вещественное число	Коэффициент прочности поперечного сварного стыка
FI=Вещественное число	Коэффициент прочности продольного сварного стыка
M_MAG=Вещественное число	Коэффициент работы трубопровода (таблица 1) для СНиП 2.05.06–85
K1_MAG=Вещественное число	Коэффициент надежности по материалу (таблица 9) для СНиП 2.05.06–85
K2_MAG=Вещественное число	Коэффициент надежности по материалу (таблица 10) для СНиП 2.05.06–85
KN_MAG=Вещественное число	Коэффициент по назначению трубопровода (таблица 11) для СНиП 2.05.06–85
N_MAG=Вещественное число	Коэффициент надежности по нагрузке (таблица 13) для СНиП 2.05.06–85
DGIDR=Вещественное число	Разность между удельными весами сред, т/м ³
PGIDR=Вещественное число	Давление при испытании, МПа
TGIDR=Вещественное число	Температура испытания, град С
PD1=Вещественное число	Величина давления для 1-го дополнительного режима, МПа
PD2=Вещественное число	Величина давления для 2-го дополнительного режима, МПа
PD3=Вещественное число	Величина давления для 3-го дополнительного режима, МПа
TD1=Вещественное число	Температура для 1-го дополнительного режима, град С
TD2=Вещественное число	Температура для 2-го дополнительного режима, град С
TD3=Вещественное число	Температура для 3-го дополнительного режима, град С

П 7.1.3 Секция “Прямая труба” [PIPE]

X1=Вещественное число	Координата X начала отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца отрезка прямой трубы (0 – по умолчанию), мм
DH=Вещественное число	Наружный диаметр трубы, мм
S=Вещественное число	Толщина стенки трубы, мм
C1=Вещественное число	Допуск на утонение стенки трубы (0 – по умолчанию), мм
Q_TR=Вещественное число	Погонный вес материала трубы, кН /м
Q_PR=Вещественное число	Погонный вес продукта, кН /м
Q_ISO=Вещественное число	Погонный вес изоляции, , кН /м

П 7.1.4 Секция “Отвод” [ELBOW]

X1=Вещественное число	Координата X начала отвода (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала отвода (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала отвода (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца отвода (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца отвода (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца отвода (0 – по умолчанию), мм
X3=Вещественное число	Координата X середины отвода (0 – по умолчанию), мм
Y3=Вещественное число	Координата Y середины отвода (0 – по умолчанию), мм

Z3=Вещественное число	Координата Z середины отвода (0 – по умолчанию), мм
R=Вещественное число	Радиус отвода, мм
DH=Вещественное число	Наружный диаметр трубы, мм
S=Вещественное число	Толщина стенки трубы, мм
C1=Вещественное число	Допуск на утонение стенки трубы (0 – по умолчанию), мм
Q TR=Вещественное число	Погонный вес материала трубы, кН /м
Q PR=Вещественное число	Погонный вес продукта, кН /м
Q ISO=Вещественное число	Погонный вес изоляции, , кН /м

П 7.1.5 Секция “Тройник” [TEE]

X1=Вещественное число	Координата X начала магистрали (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала магистрали (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала магистрали (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца магистрали (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца магистрали (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца магистрали (0 – по умолчанию), мм
X3=Вещественное число	Координата X начала штуцера – точка пересечения осевых линий магистрали и штуцера(0 – по умолчанию), мм
Y3=Вещественное число	Координата Y начала штуцера (0 – по умолчанию), мм
Z3=Вещественное число	Координата Z начала штуцера (0 – по умолчанию), мм
X4=Вещественное число	Координата X конца штуцера (0 – по умолчанию), мм
Y4=Вещественное число	Координата Y конца штуцера (0 – по умолчанию), мм
Z4=Вещественное число	Координата Z конца штуцера (0 – по умолчанию), мм
WEIGHT=Вещественное число	Вес тройника, кН
DH=Вещественное число	Наружный диаметр трубы магистрали, мм
S=Вещественное число	Толщина стенки трубы магистрали, мм
DHS=Вещественное число	Наружный диаметр трубы штуцера, мм

SS=Вещественное число	Толщина стенки трубы штуцера, мм
-----------------------	----------------------------------

II 7.1.6 Секция “Арматура” [ARMATURE]

X1=Вещественное число	Координата X начала арматуры (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала арматуры (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала арматуры (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца арматуры (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца арматуры (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца арматуры (0 – по умолчанию), мм
WEIGHT=Вещественное число	Вес арматуры, кН
DH=Вещественное число	Наружный диаметр пристыковываемых труб, мм

II 7.1.7 Секция “Некольцевое сечение” [NKOLC]

X1=Вещественное число	Координата X начала (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца (0 – по умолчанию), мм
AF=Вещественное число	Площадь сечения, м ²
AJX=Вещественное число	Момент вокруг оси X, м ⁴
AJY=Вещественное число	Момент вокруг оси Y, м ⁴
AJP=Вещественное число	Полярный момент, м ⁴
AKX=Вещественное число	Коэффициент сдвига вдоль оси X
AKY=Вещественное число	Коэффициент сдвига вдоль оси Y

П 7.1.8 Секция “Компенсатор” [COMPENSE]

X1=Вещественное число	Координата X начала (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца (0 – по умолчанию), мм
K_COM=Целое число	Тип компенсатора 0 – как прежде (без расчета напряжений) 1 – осевой 2 – угловой 3 – сдвиговой без промежуточной вставки 4 – сдвиговой с промежуточной вставкой
EI=Вещественное число	Величина жесткости на изгиб, кН*м
GI=Вещественное число	Величина жесткости на кручение, кН*м
EF=Вещественное число	Величина жесткости на растяжение, кН/м ²
GF=Вещественное число	Величина жесткости на сдвиг, кН/м ²
DA_COM=Вещественное число	Наружный диаметр гибкого элемента, мм
D_COM=Вещественное число	Внутренний диаметр гибкого элемента, мм
S_COM=Вещественное число	Номинальная толщина гибкого элемента, мм
Q_COM=Вещественное число	Шаг (ширина) гофров, мм
N_COM=Целое число	Количество гофров

П 7.1.9 Секция “Переход” [REDUCER]

X1=Вещественное число	Координата X начала (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y начала (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z начала (0 – по умолчанию), мм
X2=Вещественное число	Координата X конца (0 – по умолчанию), мм
Y2=Вещественное число	Координата Y конца (0 – по умолчанию), мм
Z2=Вещественное число	Координата Z конца (0 – по умолчанию), мм
D1=Вещественное число	Наружный диаметр начала, мм
D2=Вещественное число	Наружный диаметр конца, мм
S=Вещественное число	Толщина стенки, мм
C1=Вещественное число	Допуск на утонение стенки трубы (0 – по умолчанию), мм
WEIGHT=Вещественное число	Вес перехода, кН

П 7.1.10 Секция “Нестандартная опора” [OPOR_COMMON]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
XS1=Вещественное число	Жесткость вдоль оси X, кН/м
XS2=Вещественное число	Жесткость вдоль оси Y, кН/м
XS3=Вещественное число	Жесткость вдоль оси Z, кН/м
AS1=Вещественное число	Жесткость вокруг оси X, кН*м
AS2=Вещественное число	Жесткость вокруг оси Y, кН*м
AS3=Вещественное число	Жесткость вокруг оси Z, кН*м
UNO1=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Z, мм
KTR1=Вещественное число	Козф-т трения вдоль оси трубы
KTR2=Вещественное число	Козф-т трения поперек оси трубы
KXS3=Целое число	0 – двусторонняя, 1 – односторонняя опора (по вертикали)
KF=Целое число	0 - глобальная СК, 1 – локальная СК
ANGLE=Вещественное число	Угол поворота МСК, град
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.11 Секция “Мертвая опора” [OPOR_DEAD]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UNO1=Вещественное число	Линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Z, мм
UNN1=Вещественное число	Собственные угловые перемещения вокруг оси X, град
UNN2=Вещественное число	Собственные угловые перемещения вокруг оси Y, град

UNN3=Вещественное число	Собственные угловые перемещения вокруг оси Z, град
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

II 7.1.12 Секция “Неподвижная опора” [OPOR_STILL]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UNO1=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Z, мм
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

II 7.1.13 Секция “Скользящая опора” [OPOR_SLIDE]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UNO1=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Z, мм
KTR1=Вещественное число	Козф-т трения вдоль оси трубы
KTR2=Вещественное число	Козф-т трения поперек оси трубы
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.14 Секция “Направляющая опора” [OPOR_COURSE]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UNO1=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Собственные линейные перемещения по оси Z, мм
KTR1=Вещественное число	Коэф-т трения вдоль оси трубы
KTR2=Вещественное число	Коэф-т трения поперек оси трубы
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.15 Секция “Пружинная подвеска” [PRUG]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UK=Вещественное число	Жесткость цепи, кН/м
PU=Вещественное число	Рабочая нагрузка, кН
UN=Целое число	Количество тяг
UL=Вещественное число	Длина подвески, мм
UNO3=Вещественное число	Линейные перемещения по оси Z, мм
SORT=Целое число	Сортамент пружин 0 – ОСТ, 1 – МВН, 2 – “спецпружины”, 3 – постоянного усилия, 4 – пользователя
KNAGR=Вещественное число	Коэффициент запаса по нагрузке
DNAGR=Вещественное число	Изменение нагрузки на пружину
BETAL=Вещественное число	Коэффициент линейного расширения материала “спецпружины” при рабочей температуре
BETAX=Вещественное число	Коэффициент линейного расширения материала “спецпружины” при холодной температуре
TLT=Вещественное число	Рабочая температура “спецпружины”, град С
TLG=Вещественное число	Температура “спецпружины” при

	испытаниях, град С
GUOP=Вещественное число	Модуль сдвига материала “спецпружины” в рабочем состоянии, МПа
GUOX=Вещественное число	Модуль сдвига материала “спецпружины” в холодном состоянии, МПа
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

II 7.1.16 Секция “Пружинная опора” [SPRING_SUPPORT]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UK=Вещественное число	Жесткость цепи, кН/м
PU=Вещественное число	Рабочая нагрузка, кН
UN=Целое число	Количество тяг
UL=Вещественное число	Длина подвески, мм
UNO1=Вещественное число	Линейные перемещения по оси X, мм
UNO2=Вещественное число	Линейные перемещения по оси Y, мм
UNO3=Вещественное число	Линейные перемещения по оси Z, мм
SORT=Целое число	Сортамент пружин 5165 – OCT 24.125.165-01, 5275 – OCT 108.275.69-80, 5010 – пользователя
KNAGR=Вещественное число	Коэффициент запаса по нагрузке
DNAGR=Вещественное число	Изменение нагрузки на пружину
KTR1=Вещественное число	Коэф-т трения вдоль оси трубы
KTR2=Вещественное число	Коэф-т трения поперек оси трубы
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.17 Секция “Жесткая подвеска” [PODVESK]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
UL=Вещественное число	Длина подвески, мм
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.18 Секция “Амортизатор” [AMORT]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
XS1=Вещественное число	Жесткость вдоль оси X, кН/м
XS2=Вещественное число	Жесткость вдоль оси Y, кН/м
XS3=Вещественное число	Жесткость вдоль оси Z, кН/м
PAM=Вещественное число	Грузоподъемность, кН
KF=Целое число	0 - глобальная СК, 1 – локальная СК
DESCRIPTION=Символьная строка	Описание опоры

П 7.1.19 Секция “Сосредоточенная сила” POWER]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм
P1=Вещественное число	Сосредоточенная сила по оси X1, кН
P2=Вещественное число	Сосредоточенная сила по оси X2, кН
P3=Вещественное число	Сосредоточенная сила по оси X3, кН
M1=Вещественное число	Сосредоточенный момент вокруг оси X1, кН/м
M2=Вещественное число	Сосредоточенный момент вокруг оси X2, кН/м
M3=Вещественное число	Сосредоточенный момент вокруг оси X3, кН/м

П 7.1.20 Секция “Днище / Крышка” [CAP]

X1=Вещественное число	Координата X (0 – по умолчанию), мм
Y1=Вещественное число	Координата Y (0 – по умолчанию), мм
Z1=Вещественное число	Координата Z (0 – по умолчанию), мм

П 7.2. Описание открытых форматов файлов с результатами расчетов

П 7.2.1 Общие положения

В настоящей версии *ПК АСТРА-НОВА* в открытом формате доступны следующие результаты расчета:

1. перемещения (мм, рад);
2. усилия в локальной СК (сила, кН; момент, кН·м);
3. напряжения (МПа).

Результаты выводятся:

- для **статического** расчета для всех сечений по этапам расчета;
- для **сейсмического** воздействия в виде акселерограммы землетрясения как функция по времени, а для спектра ответов, как функция частоты;
- для **динамического** расчета как функция по времени

Данная информация может быть использована в дальнейшем для построения графиков с помощью таких программ, как MS Excel и аналогичных.

Данные результаты экспортируются в текстовые файлы (с расширением txt) при выборе пункта Экспорт результатов в меню Результаты (**ПОСТ-СТАЦ**).и располагаются в выбранной пользователем папке.

Для ПОСТ-СТАЦ

Файлы перемещений имеют названия *displace_X.txt*, где *X* – порядковый номер этапа.

Файлы усилий имеют названия *force_X.txt*, где *X* – порядковый номер этапа.

Файлы напряжений имеют названия *stress_X_Y.txt*, где *X* – порядковый номер этапа, *Y* – порядковый номер группы напряжений.

Для ПОСТ-СЕЙСМ названия файлов следующие

seism_displace.txt – для перемещений

seism_force.txt – для усилий

seism_stress.txt – для напряжений

Для ПОСТ-ДИН названия файлов следующие

dyn_displace.txt – для перемещений

dyn_force.txt – для усилий

dyn_stress.txt для напряжений

П 7.2.2 Файл перемещений ПОСТ-СТАЦ *displace_X.txt*

Для всей системы:

Номер версии программы (например, 201104) – целое число

Название этапа, для которого выдаются перемещения – текстовая строка

Количество участков – целое число

Для каждого участка:

Порядковый номер участка – целое число

Номер начала участка – целое число

Номер конца участка – целое число

Количество сечений* на участке, для которых выводятся перемещения – целое число

По количеству сечений* выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер строки – целое число

Номер сечения – целое число

Линейные перемещения по X1 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X2 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X3 (мм) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X1 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X2 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X3 (рад) – вещественное число

*Если содержатся две строки с одинаковым номером сечения, то первая строка содержит данные для середины отвода, вторая для конца

П 7.2.3 Файл усилий ПОСТ-СТАЦ *force_X.txt*

Для всей системы:

Номер версии программы (например, 201104) – целое число

Название этапа, для которого выдаются усилия в местной системе координат

Количество участков – целое число

Для каждого участка

Порядковый номер участка – целое число

Номер начала участка – целое число

Номер конца участка – целое число

Количество сечений на участке, для которых выводятся усилия

По количеству сечений выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер строки – целое число

Номер сечения – целое число

Сила по оси X1' (кН) – вещественное число

Сила по оси X2' (кН) – вещественное число

Сила по оси X3' (кН) – вещественное число

Момент вокруг оси X1' (кН*м) – вещественное число

Момент вокруг оси X2' (кН*м) – вещественное число

Момент вокруг оси X3' (кН*м) – вещественное число

Если содержатся две строки с одинаковым номером сечения, то первая строка содержит данные для середины отвода, вторая для конца

П 7.2.4 Файл напряжений ПОСТ-СТАЦ *stress_X_Y.txt*

Для всей системы:

Номер версии программы (например, 201104) – целое число

Название этапа (и группы), для которого выдаются напряжения – текстовая строка

Количество участков – целое число

Для каждого суперэлемента-участка:

Порядковый номер участка – целое число

Номер начала участка – целое число

Номер конца участка – целое число

Количество сечений на участке, для которых выводятся напряжения – целое число

По количеству сечений выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер строки – целое число

Номер сечения – целое число

Расчетное напряжение (МПа) – вещественное число

Допускаемое напряжение (МПа) – вещественное число

Если содержатся две строки с одинаковым номером сечения, то первая строка содержит данные для середины отвода, вторая для конца.

П 7.2.5 Файл перемещений ПОСТ-СЕЙСМ

Для выбранной точки для каждого расчетного воздействия выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Перемещения в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени (частоте) выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек (частоты, Гц)

Линейные перемещения по X1 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X2 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X3 (мм) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X1 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X2 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X3 (рад) – вещественное число

П 7.2.6 Файл усилий ПОСТ-СЕЙСМ

Для выбранной точки для каждого расчетного воздействия выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Усилия в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени (частоте) выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек (частоты, Гц)

Сила по оси X1' (кН) – вещественное число

Сила по оси X2' (кН) – вещественное число

Сила по оси X3' (кН) – вещественное число

*Момент вокруг оси X1' (кН*м) – вещественное число*

*Момент вокруг оси X2' (кН*м) – вещественное число*

*Момент вокруг оси X3' (кН*м) – вещественное число*

П 7.2.7 Файл напряжений ПОСТ-СЕЙСМ

Для выбранной точки для каждого расчетного воздействия выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Напряжения в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени (частоте) выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек (частоты, Гц)

Расчетное напряжение (МПа) – вещественное число

Допускаемое напряжение (МПа) – вещественное число

Расчетное напряжение (МПа) – вещественное число

Допускаемое напряжение (МПа) – вещественное число

П 7.2.8 Файл перемещений ПОСТ-ДИН

В заголовке файла выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Перемещения в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек

Линейные перемещения по X1 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X2 (мм) – вещественное число

Линейные перемещения по X3 (мм) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X1 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X2 (рад) – вещественное число

Угловые перемещения вокруг X3 (рад) – вещественное число

П 7.2.9 Файл усилий ПОСТ- ДИН

В заголовке файла выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Усилия в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени (частоте) выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек

Сила по оси X1' (кН) – вещественное число

Сила по оси X2' (кН) – вещественное число

Сила по оси X3' (кН) – вещественное число

*Момент вокруг оси X1' (кН*м) – вещественное число*

*Момент вокруг оси X2' (кН*м) – вещественное число*

*Момент вокруг оси X3' (кН*м) – вещественное число*

П 7.2.10 Файл напряжений ПОСТ-ДИН

В заголовке файла выдаётся 3 строки

Результаты сейсмического расчета. Воздействие N

Название проекта

Напряжения в сечении N участок № M (K - L)

По количеству точек по времени выводятся строки, содержащие:

Порядковый номер точки по времени – целое число

Значение времени, сек

Расчетное напряжение (МПа) – вещественное число

Допускаемое напряжение (МПа) – вещественное число

Расчетное напряжение (МПа) – вещественное число

Допускаемое напряжение (МПа) – вещественное число

П 7.3 Описание формата файла с матрицами жесткости, масс и нагрузок суперэлементов

П 7.3.1 Общие положения

В настоящей версии ПК **АСТРА-НОВА** в открытом текстовом формате доступны (при их формировании в режиме “Формирование матричных суперэлементов”) следующие матрицы влияния:

- Матрицы жесткости $[\hat{K}]$ для всех этапов статического расчета (**АСТРА-СТАЦ**)
- Вектора нагрузок $\{\hat{F}\}$ для всех этапов статического расчета (**АСТРА-СТАЦ**)
- Матрица масс (инерции) $[\hat{M}]$ для расчета собственных частот и форм (**АСТРА-ФОРМ**)

Вышеназванные матрицы располагаются в произвольной последовательности в файле, название и положение которого явно указывается пользователем в окне “Формирование матричных суперэлементов”.

Данные в пределах строки разделены произвольным числом пробелов.

П 7.3.2 Матрица жесткости

Для каждого этапа статического расчета (**-СТАЦ**) и для расчета собственных частот и форм (**-ФОРМ**):

2.1. *первая строка* (указатель-разделитель)

1 – признак матрицы жесткости – целое число;

Номер этапа, для которого сформирована матрица – целое положительное число;

Число строк-столбцов (степеней свободы) матрицы – целое положительное число;

Число строк, которое занимают в файле коэффициенты матрицы – целое положительное число.

2.2. *строки* (заданное число – см. выше) с коэффициентами верхнего “треугольника” матрицы $[\hat{K}_{CC}]$ (см. п.4.13)

Коэффициенты матрицы – действительные числа двойной точности, начиная с первой строки и диагональных членов.

П 7.3.3 Вектор нагрузки

Для каждого этапа статического расчета (**-СТАЦ**):

3.1. *первая строка* (указатель-разделитель)

3 – признак вектора нагрузки – целое число;

Номер этапа, для которого сформирован вектор – целое положительное число;

Число коэффициентов вектора – целое положительное число;

Число строк, которое занимают в файле коэффициенты вектора – целое положительное число.

3.2. *строки* (заданное число – см. выше) с коэффициентами вектора $\{\hat{F}\}$:

Коэффициенты вектора – действительные числа двойной точности, начиная с первого (первой степени свободы для первого стыковочного узла).

П 7.3.4 Матрица масс (инерции)

Для расчета собственных частот и форм (-**ФОРМ**):

4.1. *первая строка* (указатель-разделитель)

2 – *признак матрицы масс (инерции)* – целое число;

Номер этапа, для которого сформирована матрица – целое положительное число;

Число строк-столбцов (степеней свободы) матрицы – целое положительное число;

Число строк, которое занимают коэффициенты матрицы – целое положительное число.

4.2. *строки* (заданное число – см. выше) с коэффициентами верхнего “треугольника” матрицы $[\hat{M}_{CC}]$ (см. п.4.13)

Коэффициенты матрицы – действительные числа двойной точности, начиная с первой строки и диагональных членов.

Далее, при учете внутренних степеней свободы (форм колебаний)

4.3. *строка* (указатель-разделитель)

20 – *признак “дополнительной” матрицы масс (инерции)* – целое число;

Число внутренних степеней свободы (форм колебаний), с учетом которых сформирована “дополнительная” матрица – целое положительное число;

Число строк (степеней свободы) матрицы $[\hat{M}_{NC}]$ – целое положительное число;

Число строк, которое занимают коэффициенты матрицы – целое положительное число.

4.4. *строки* (заданное число – см. выше) с коэффициентами “дополнительной” матрицы

Коэффициенты матрицы – действительные числа двойной точности, сначала столбцы матрицы $[\hat{M}_{NC}]$, затем – коэффициенты, равные $[\hat{M}_{NN}] / [\hat{K}_{NN}]$ (см. п. 4.13) – величины, обратные квадратам собственных частот.

Матрица жесткости
(этап 2, 18 строк-столбцов матрицы, 29 строк в файле)

[illegible]

Вектор нагрузок
(этап 4, 150 коэффициентов вектора, 25 строк в файле)

3	4	150	25		
1.38150D+00	-4.85031D-07	-6.62920D+02	-1.40725D+03	-1.87802D+01	-4.14763D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	-6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-5.70838D-10	-2.81475D+02	7.03687D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-5.70838D-10	-2.81475D+02	-7.03687D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	-6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
5.52300D-03	-8.03190D-02	-6.54225D+02	1.389150D+03	-1.04171D+01	3.36742D-02
-1.38150D+00	5.42275D-08	-6.62931D+02	-1.40728D+03	1.87877D+01	4.14764D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	-6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-5.70838D-10	-2.81475D+02	7.03687D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-5.70838D-10	-2.81475D+02	-7.03687D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	-7.42004D-17	-2.77016D+02	-6.70245D+01	0.00000D+00	0.00000D+00
0.00000D+00	0.00000D+00	-1.87650D+02	-3.61485D-07	0.00000D+00	0.00000D+00
-4.77269D-01	-5.14781D-02	-6.60341D+02	1.39864D+01	1.39273D+01	-1.41942D+00
4.72221D-01	1.31798D-01	-1.01903D+01	-1.23734D-01	8.30949D-01	3.54603D-02

Матрица масс (инерции)

[illegible]

(12 внутренних степеней свободы, 38 строк в файле)

[illegible]