

ПРОЩЕ, УДОБНЕЕ, ТОЧНЕЕ!

На старте – СТАРТ 4.61

Совсем недавно ([9]) мы рассказывали о большом обновлении семейства программ СТАРТ – версии 4.60. И вот на старте уже новая версия – 4.61. Ее возможностям и посвящена эта статья.

Семейство программ СТАРТ

Напомним, что программы семейства СТАРТ (СТАРТ, СТАРТ-Проф, СТАРТ-Лайт и СТАРТ-Экспресс) предназначены для расчета прочности и жесткости трубопроводов различного назначения, имеющих произвольную конфигурацию в пространстве, при статическом и циклическом нагружении. Средствами программы рассчитываются как самокомпенсирующиеся трубопроводы, в которых компенсация температурных расширений обеспечивается гибкостью самой трубопроводной трассы, так и трубопроводы со специальными компенсирующими устройствами, выполненными в виде волнистых, линзовых или сальниковых компенсаторов.

На сегодня СТАРТ – одна из самых распространенных программ расчета прочности и жесткости трубопроводов различного назначения в России и странах СНГ. Программная система достигла уровня своеобразного промышленного стандарта и по своим потребительским свойствам не уступает зарубежным аналогам. Ее используют более 700 организаций в России, странах ближнего (Украина, Беларусь, Казахстан, Туркменистан, Узбекистан) и дальнего зарубежья (Чехия, Литва, Великобритания, Сербия), а общее число эксплуатирующихся копий превышает 1300. Пользователями программы являются ПКО крупных заводов, проектные организации химического, газового, энергетического профиля и ряда других отраслей. Широкое применение программа получила при проектировании, строительстве и реконструкции тепловых сетей.

Программная система СТАРТ имеет долгую историю: в прошлом году мы отмечали ее 40-летие (первая редакция ПС – тогда она называлась СТ-01 – была сдана в промышленную эксплуатацию еще в 1967 году!). Восемь лет система успешно эксплуатировалась на ЭВМ серии «Минск», затем семнадцать лет на ЭВМ серии ЕС, а с 1992 года (уже более 15 лет) на персональных компьютерах – сначала под DOS, а затем под Windows. Смена поколений ЭВМ и операционных систем, как правило, сопровождалась капитальной переработкой ПС, при этом возможности системы постоянно расширялись, а интерфейс пользователя и расчетный алгоритм шлифовались и совершенствовались.

СТАРТ – это:

- наглядный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс;
- удобный и четко продуманный объектно-ориентированный способ ввода исходных данных;
- всесторонняя логическая проверка качества исходных данных для расчета;
- подробная справочная система и программная документация;
- автоматическая проверка всех деталей трубопровода на внутреннее давление;
- проверка и выбор параметров типовых узлов трубопроводов (различных видов компенсаторов, врезок, тройников, фланцевых соединений);
- возможность расчета трубопроводов разнообразного назначения и расположения (в том числе вакуумных трубопроводов) по различным нормативным документам;
- расчет податливости штуцеров сосудов и аппаратов для более точного вычисления нагрузок на штуцеры и напряжений в трубопроводе;
- интеграция с различными системами трехмерного проектирования промышленных установок, программами Штуцер-МКЭ и Гидросистема, экспорт расчетных схем в различные графические среды (AutoCAD, MicroStation, КОМПАС-Графикс);
- регулярные (один раз в полтора-два месяца) занятия по обучению пользователей работе с программой;
- широкая налаженная сеть дистрибьюторов по всей России, в странах СНГ и за рубежом;
- постоянная техническая поддержка со стороны разработчиков.

Некоторые основные пользователи системы СТАРТ:

Теплоэнергетика и теплоснабжение: Региональные инженерные центры и генерирующие энергетические компании, Институт «Теплоэлектропроект», ОАО «Объединение ВНИПИэнергопром», ОАО «МОЭК», ГУП «МОСИНЖПРОЕКТ», ОАО «ТВЭЛ», ЗАО «МосФлоулайн», СПКБ РР ОАО «Мосэнерго», ГУП «Мостеплоэнерго», «Московская теплосетевая компания», РУП «БелНИПИэнергопром», ЗАО «Атомэнерго», ФГУП «Атомэнергопроект» (Москва), ФГУП «Атомэнергопроект» (Нижний Новгород) и т.д.

Технологические трубопроводы (нефте- и газопереработка, нефтехимия, химия, пищевая промышленность, фармацевтическая промышленность, металлургия и т.д.): ГУП «Башгипронефтехим» (Уфа), ОАО «ВНИПИнефть» (Москва), «СамараНефехимпроект» (Самара), ОАО «Омскнефтехимпроект», ОАО «ИркутскНИИхиммаш», ООО «Роснефть-НТЦ», ОАО «Укрнефтехимпроект», ОАО «РУСАЛ ВАМИ», ООО «Русская Инжиниринговая Компания», ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» – дочернее предприятие «НК Роснефть» и т.д.

Магистральные газо- и нефтепроводы, обустройство месторождений: ОАО «Гипротюменьнефтегаз», «Тюменьгипротрубопровод», ООО «ТюменьНИИгипрогаз», ЗАО «Тюменьнефтегазпроект», ЗАО «ВНИИСТнефтегазпроект» (Москва) и т.д.

Благодаря огромному числу пользователей и постоянной обратной связи со специалистами различных отраслей промышленности программа СТАРТ детально верифицируется по всем параметрам (в том числе и путем перекрестного тестирования с аналогичными отечественными и зарубежными программами) и постоянно развивается.

О новой версии 4.61

При разработке версии 4.61 основные усилия были направлены на то чтобы рядовому пользователю стало проще и удобнее корректно учитывать в расчетной схеме трубопровода все его особенности и тем самым повысить точность расчета.

Прежде всего в новой версии реализованы новые нормативные документы ассоциации «Ростехэкспертиза», рекомендованные к применению Ростехнадзором:

- СА 03-003-07 «Расчеты на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов». Документ реализован вместо устаревшего СТП 09.04.02. Внесены следующие изменения: добавлен расчет на наружное давление тройников, уточнена методика расчета напряжений в тройниках, изменена расчетная модель тройника и учет податливостей ответвления. Осуществлен и ряд других изменений;
- СА 03-005-07 «Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности. Требования к устройству и эксплуатации». Документ введен вместо ПБ 03-108-96 при определении отбраковочных толщин.

Не остались без нашего внимания конструктивная критика и рекомендации специалистов по расчету трубопроводов. Добавлен автоматический учет манометрического эффекта в отводах, автоматический учет маятникового эффекта при отклонении тяг пружинных подвесок, автоматический учет трения в пружинных опорах, введен новый элемент «Заглушка», добавлен автоматический контроль толщины стенки отводов на давление.

Рассмотрим эти изменения более подробно.

Манометрический эффект

Краткая справка: «манометрический эффект» – это распрямление отвода, имеющего начальную овальность, под действием внутреннего давления. Этот эффект влияет как на напряжения, так и на результирующие усилия, перемещения и нагрузки на опоры. Если начальной овальности нет (коэффициент овальности $a=0$), то манометрический эффект отсутствует.

Напряжения, возникающие из-за начальной овальности отводов (гибов), всегда автоматически учитывались программой СТАРТ согласно пункту 5.2.6.3.3 норм [1]. Отдельный расчет требуется только для оценки влияния манометрического эффекта на перемещения трубопровода и нагрузки, передаваемые на опорные конструкции.

Формально, согласно нормам [1], учет манометрического эффекта при вычислении перемещений и нагрузок на опоры не обязателен. В пункте 5.2.3.1 [1] приведены расчетные сочетания нагрузок, в которых манометрический эффект не фигурирует. Но в связи с публикацией [2] и последующими многочисленными вопросами пользователей авторы СТАРТ приняли решение реализовать автоматический учет манометрического эффекта в полном объеме.

В версии 4.61 такой расчет выполняется автоматически, если пользователем задан коэффициент овальности гибов больше нуля. При этом следует иметь в виду, что:

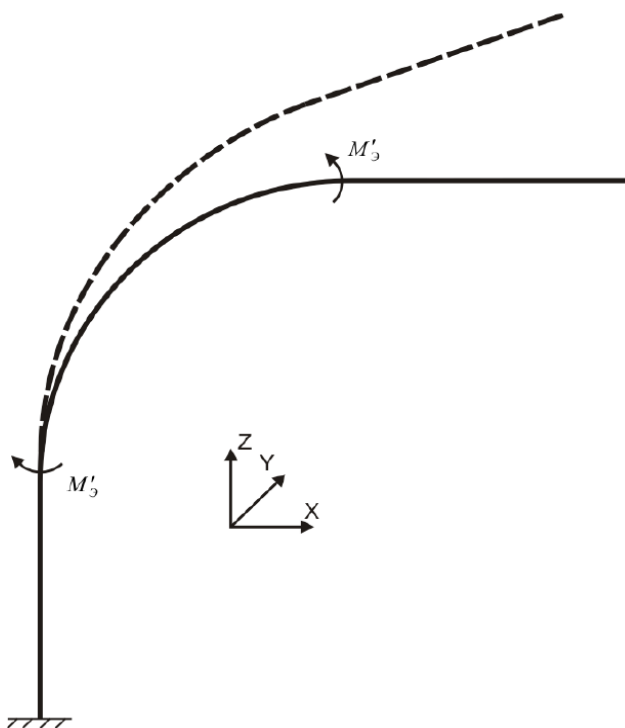


Рис. 1. Схема приложения дополнительных моментов для учета манометрического эффекта

- фактические данные об овальности отводов на стадии проектирования отсутствуют. При учете манометрического эффекта нагрузки на опоры и перемещения могут как увеличиваться, так и уменьшаться – это зависит от пространственной конфигурации трубопровода. Поэтому следует использовать фактические данные измерений овальности. Ее значение нельзя принимать «с запасом», поскольку это может пойти как в запас, так и не в запас прочности оборудования;
- согласно п. 5.2.6.8 [1], если величина начальной эллиптичности – 3%, то в расчете напряжений эллиптичность не учитывается (в расчетных формулах применяется 0);
- согласно п. 5.2.6.8 [1] для низкотемпературных трубопроводов значение начальной эллиптичности сечения следует принимать с увеличением в 1,8 раза.

Для учета манометрического эффекта программой СТАРТ автоматически прикладываются изгибающие моменты по концам отвода в плоскости его осевой линии (рис. 1). В отличие от [3], величина этих моментов вычисляется по формуле, полученной согласно [4] и [5]:

$$M'_3 = -\frac{K_3}{K_p} \frac{a}{200R} EI,$$

где

a – начальная эллиптичность (овальность) поперечного сечения согласно п. 5.2.6.8 [1], %

K_p – коэффициент податливости отвода,

K_3 – коэффициент, характеризующий влияние эллиптичности поперечного сечения на искривление оси отвода,

R – радиус оси отвода.

Автоматический учет маятникового эффекта при отклонении тяг пружинных подвесок и трения в пружинных опорах

В жестких подвесках (терминология ПС СТАРТ) влияние маятникового эффекта

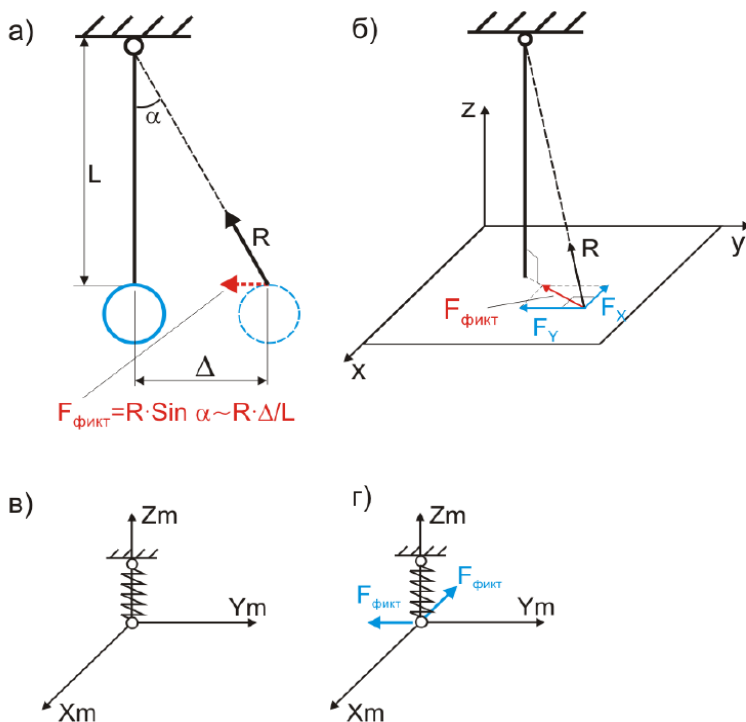


Рис. 2. Моделирование упругих подвесок в программе СТАРТ

(горизонтальных усилий, возникающих при отклонении тяг), учитывалось всегда (рис. 2а и 2б). В стандартных пружинных подвесках влияние аналогичного эффекта при отклонении тяг пружинных подвесок по умолчанию не учитывалось. Тем не менее, учесть это обстоятельство с помощью программы СТАРТ было достаточно просто, задавая подвеску как нестандартное крепление с «фиктивными» связями (терминология ПС СТАРТ) в горизонтальной плоскости и линейно упругой связью по вертикали (рис. 2в, 2г), что и делали опытные пользователи системы.

В версии 4.61 этот эффект в пружинных подвесках учитывается автоматически одновременно с подбором пружин и усилий затяга. Для этого добавлено новое свойство пружинных подвесок – длина тяги.

В пружинных опорах появилась также возможность автоматического учета трения при горизонтальных перемещениях одновременно с подбором пружин и усилий затяга. Для этого добавлено новое свойство пружинных опор – коэффициент трения.

Учет совместной работы трубопровода и оборудования

Для моделирования присоединения трубопровода к оборудованию часто устанавливается мертвая опора и задается смещение опоры от нагрева присоединенного оборудования. Это довольно грубая модель взаимодействия трубопровода и оборудования, но такой прием дает запас прочности при расчете на температурные расширения, поэтому часто применяется на практике. К сожалению, при использовании такой модели сложно добиться приемлемых нагрузок на оборудование.

По этой причине НТП «Трубопровод» был разработан СТАРТ-Штуцер – дополнительный модуль к программе СТАРТ, позволяющий вычислять и учитывать в расчете податливости врезки трубопровода в сосуды и аппараты листовой конструкции (колонны, сосуды и аппараты, теплообменники). Затем появилась отдельная программа с более широкой областью применения – Штуцер-МКЭ, которая также позволяет оценивать прочность узла врезки и выдает таблицы допускаемых нагрузок. Речь об этой программе шла в одном из предыдущих номеров журнала CADmaster [10]. Благодаря использованию этих двух программ удалось добиться многократного снижения расчетных нагрузок на оборудование, обоснованное расчетом, за счет учета совместной работы трубопровода и оборудования.

Заглушки и нагрузки на штуцеры оборудования

Как известно, от действия внутреннего давления на опоры трубопровода передаются нагрузки, обусловленные наличием неуравновешенных усилий от действия внутреннего давления [5], которые схематично представлены на рис. 3. Учет распорных усилий особенно актуален в трубопроводах с осевыми неразгруженными компенсаторами, в трубопроводах высокого давления и в пластиковых трубопроводах. Программа СТАРТ автоматически учитывает эти усилия при вычислении нагрузок на опоры и оборудование. Распорные усилия прикладываются в следующих узлах расчетной схемы:

- в неразгруженных осевых компенсаторах (рис. 3, А);
- в углах поворота оси трассы (в отводах) (рис. 3, Б);
- в тройниках и врезках (рис. 3, В);
- в заглушках (рис. 3, Г);
- в закрытой запорной арматуре (рис. 3, Д);
- в переходах (рис. 3, Е).

Распорные усилия от внутреннего давления не прикладываются:

- в незаглушенных концах трубопровода (выброс продукта в атмосферу, рис. 3, М).

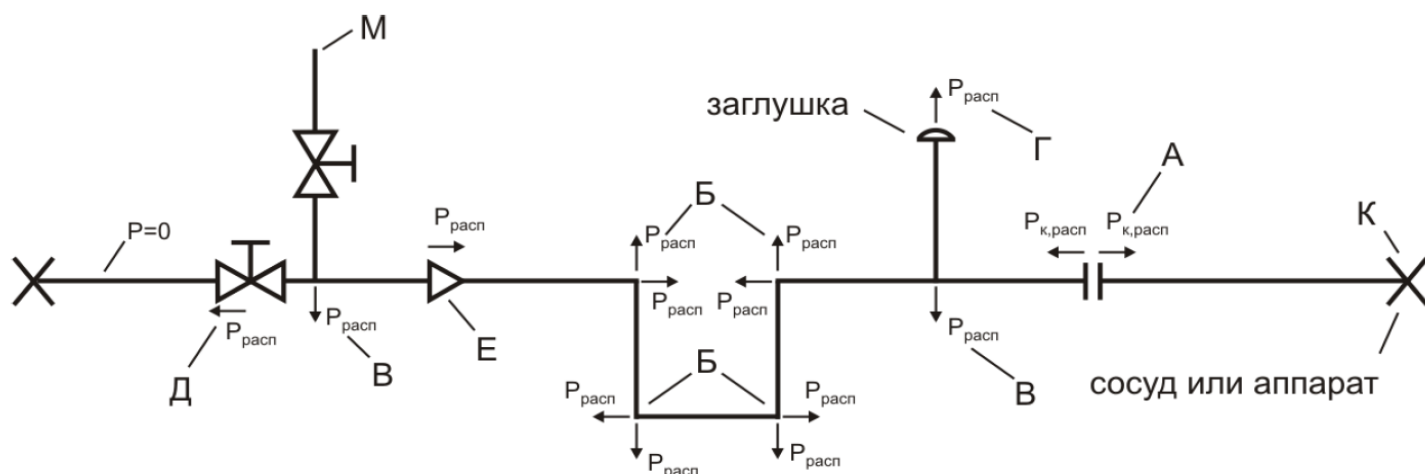


Рис. 3. Моделирование распорных усилий в программе СТАРТ

Фактически, в местах присоединения трубопровода к оборудованию (рис. 3, К) и (рис. 4, в) нет заглушки и распорные усилия от давления на заглушку уравновешены усилием от «пятна» внутреннего давления в самом аппарате $P \cdot F_z$ (рис. 4, г), поэтому на первый взгляд распорное усилие прикладывать не следует. Однако это не так. Дело в том, что при расчете штуцера оборудования на внешние нагрузки и внутреннее давление, расчет как правило, производится с учетом давления на заглушку штуцера (в большинстве известных методик и программ это так). Следовательно, из условий равновесия, для получения нагрузок для проверки прочности штуцера

следует также учитывать силу давления на заглушку. В программе СТАРТ во всех концевых узлах с любым типом крепления автоматически учитывается сила давления на заглушку.

Особенно большие нагрузки на оборудование от давления получаются в системах с осевыми неразгруженными сильфонными и линзовыми компенсаторами. От внутреннего давления возникают неуравновешенные силы, действующие на заглушки и гофры сильфонных и линзовых компенсаторов (рис. 4а). Если трубопровод зажат между опорами, то, не имея возможности растянуться, он передает распорные усилия на опоры (рис. 4б).

Эти усилия равны произведению эффективной площади сильфонного или линзового компенсатора, умноженной на внутреннее давление $P \cdot F_{эф}$.

Эффективная площадь неразгруженного сильфонного компенсатора вычисляется по формуле:

$$F_{эф} = \frac{\pi}{4} D_{cp}^2,$$

где

D_{cp} – средний («эффективный») диаметр гофров компенсатора.

Для трубопровода без компенсаторов на опоры передаются нагрузки, равные давлению на заглушку трубопровода $P \cdot F_з$. Площадь давления на заглушку равна

$$F_з = \frac{\pi}{4} D_в^2,$$

где

$D_в$ – внутренний диаметр трубы.

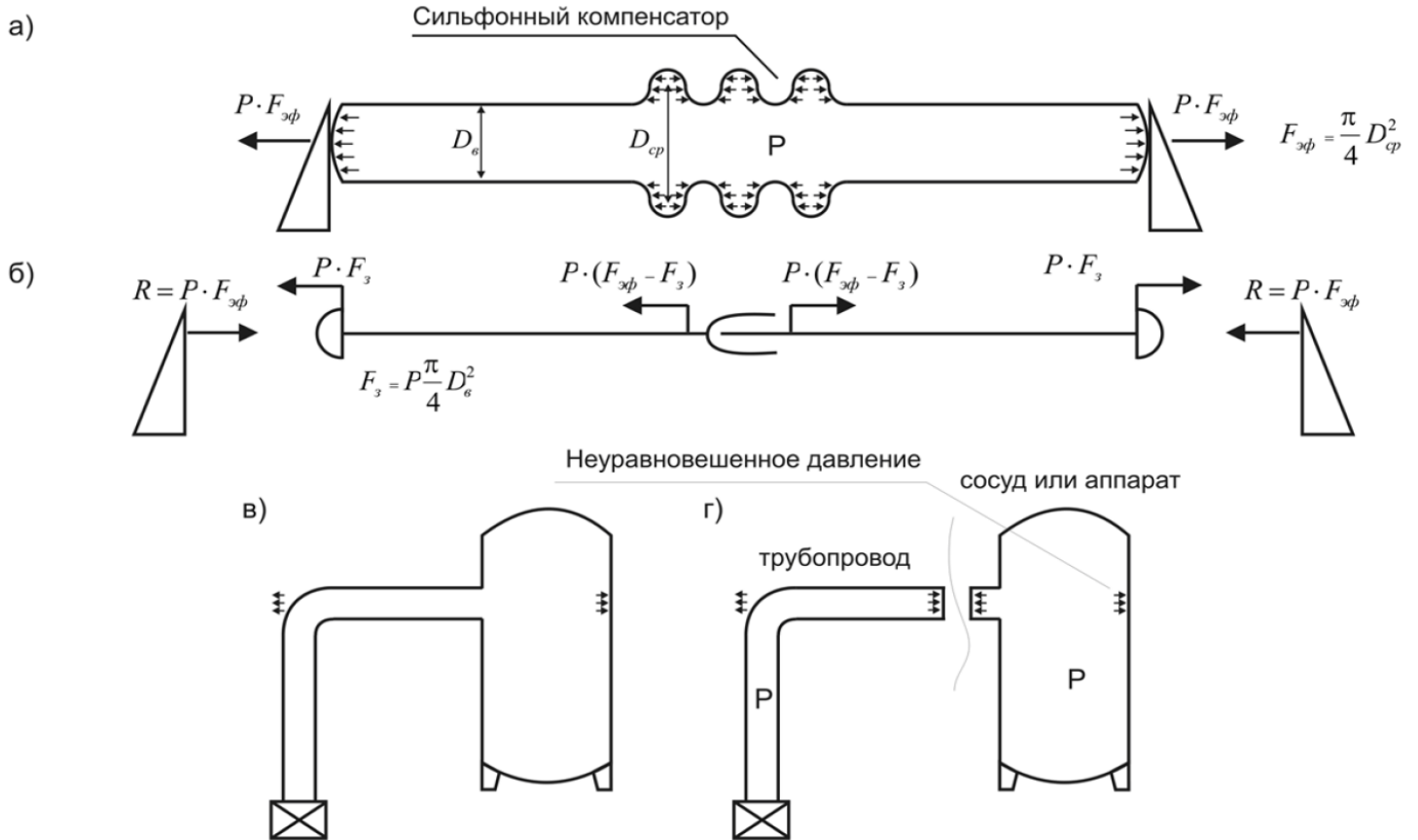


Рис. 4. Моделирование распорных усилий в программе СТАРТ

Другие усовершенствования в версии 4.61

Кроме уже рассмотренных, версия 4.61 включает в себя еще целый ряд усовершенствований – в части как расчетных возможностей, так и пользовательского интерфейса.

Расчетные возможности

- Начиная с версии 4.61 производится проверка всех отводов не только на изгиб, но и на внутреннее давление. Для этого вместо типов отводов «изогнутый», «фланцевый»,

«сварной» используются соответственно типы «крутоизогнутый», «гнутый», «секторный», «штампосварной». В связи с этим в отводах добавлены новые параметры (число косых стыков секторных отводов, коэффициент прочности сварого соединения, наличие или отсутствие фланцев на концах отвода, расположение сварных швов в плоскости/из плоскости отвода). Таким образом, все детали трубопровода в СТАРТ теперь проверяются на внутреннее давление.

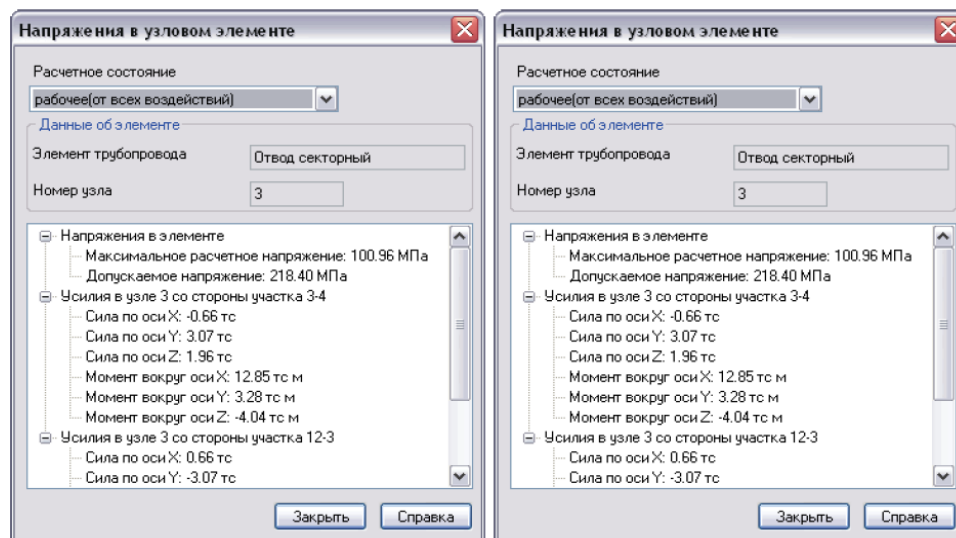


Рис. 5. Диалоги вывода напряжений в деталях и участках трубопровода

- Для всех труб и деталей трубопровода суммарная прибавка заменена на два других параметра – «Прибавка на коррозию» (эксплуатационная прибавка) и «Технологическое утонение» (производственная прибавка).
- Добавлен расчет на давление секторных и штампосварных отводов по [1] в СТАРТ-Элементы и СТАРТ-Базовый.
- В модуле СТАРТ-Элементы при расчете компенсаторов из труб добавлена проверка толщины стенки на давление.
- Изменен контроль перекоса осевых компенсаторов. Эквивалентное осевое перемещение от угловой деформации не должно превышать 5% от величины допустимого осевого хода.
- Кольцевые напряжения по СНиП 2.05.06-85 вычисляются без учета изгибных напряжений от овализации сечения под давлением грунта.
- Коэффициент прочности продольного сварного шва при расчете сварных тройников и врезок принимается равным 1.

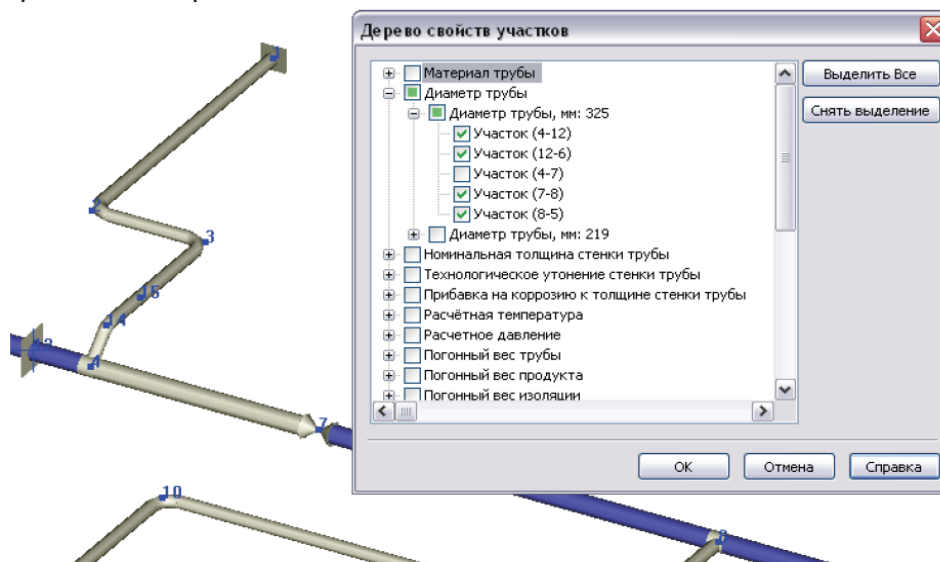


Рис. 6. Дерево свойств участков

Пользовательский интерфейс

- Программа протестирована и может эксплуатироваться под Windows Vista.

- В окне общих данных для документа РД 10-249-98 добавлена возможность ввода срока службы не только в годах, но и в часах.
- Добавлена довольно востребованная функция автоматической вставки П-образного компенсатора между любыми двумя узлами.

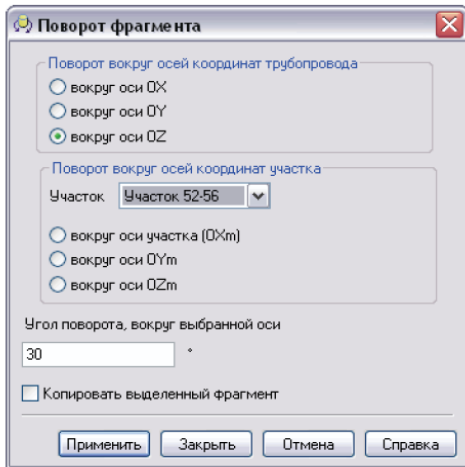


Рис. 7. Поворот фрагмента трубопровода

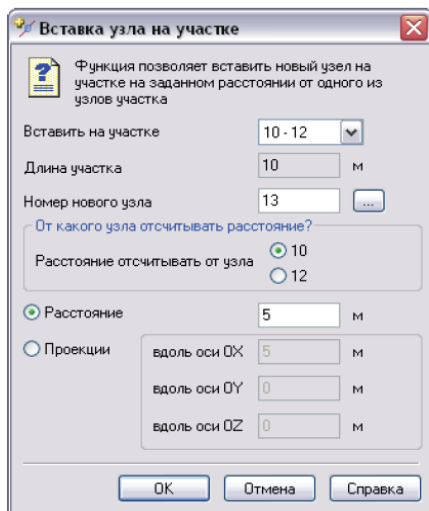


Рис. 8. Вставка узла

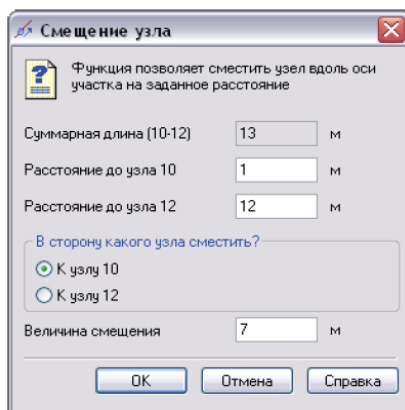


Рис. 9. Смещение узла

- В штампованном тройнике размеры ответвления теперь принимаются автоматически по примыкающему участку трубы.
- Добавлена возможность сортировки списка участков по любому параметру – для этого достаточно щелкнуть мышкой на соответствующее поле в шапке таблицы.
- Выделение строк в списке участков синхронизировано с выделением участков в графическом окне.
- Для удобства просмотра уменьшен по ширине размер таблицы списка участков (сокращены заголовки).
- Улучшен диалог вывода напряжений в деталях трубопровода. Добавлены усилия на всех примыкающих участках, данные представлены в более удобном виде (рис. 5).
- Для более удобной навигации ускорено масштабирование вида колесиком мыши в графическом окне.
- Добавлено дерево свойств участков (рис. 6), в котором удобно выбирать участки трубопровода с определенными свойствами (давлением, температурой, толщиной стенки и т.д.).
- Добавлена возможность групповой замены типов деталей. Например, теперь можно заменить все неподвижные опоры определенного типа на мертвые или заменить все штампованные тройники определенного типа на врезки.
- Добавлена возможность копирования и вставки узловых деталей из контекстного меню.
- Улучшены функции поворота фрагмента трубопровода (рис. 7), вставки узла (рис. 8), смещения узла (рис. 9).
- Стандартные направляющие опоры теперь можно ставить на участках с уклоном до 0,02.
- Упруго-изогнутые участки теперь можно задавать при углах перелома до 0,07 градуса
- Добавлен контроль коллизий при вставке новых участков.
- Коэффициент трения во всех креплениях теперь может составлять от 0,05 до 0,4.
- Усовершенствован и усилен контроль правильности исходных данных.
- Исправлена неточность при выводе

предельных нагрузок на оборудование в локальных осях (теперь вначале в локальные оси переводятся все нагрузки во всех расчетных состояниях и уже из них выбираются предельные значения).

Как обычно, все пользователи СТАРТ с действующей гарантийной поддержкой могут бесплатно получить новую версию у своих дилеров или напрямую в НТП «Трубопровод». Команда

«СТАРТ» желает вам продуктивной работы на новой версии и продолжает трудиться, чтобы порадовать вас новыми приятными сюрпризами!

Литература

1. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды, ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – М., 2001.
2. Попов А.Б., Ветошкин В.А., Буков В.А. Использование различных программных средств при проектировании и проверочных расчетах высокотемпературных трубопроводов. – М.: Теплоэнергетика, 2007, №10.
3. Попов А.Б. Манометрический эффект в трубопроводах ТЭС. Основные зависимости. – М.: Теплоэнергетика, 2004, №11.
4. Костовецкий Д.Л. Прочность трубопроводных систем энергетических установок. – СПб.: Энергия, 1973.
5. Зверьков Б.В., Костовецкий Д.Л., Кац Ш.Н., Бояджи К.И. Расчет и конструирование трубопроводов. Справочное пособие. – СПб.: Машиностроение, 1979.
6. Проектирование и расчет трубопроводов тепловых электростанций. – Л.: Труды ЦКТИ, 1966.
7. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. РТМ 24.038.08-72. Расчет трубопроводов энергетических установок на прочность. – Л.: НПО ЦКТИ, 1973.
9. Магалиф В.Я., Матвеев А.В., Шапиро Е.Е., Бушуев А.В. СТАРТ 4.60. Новая версия, новые возможности. – CADmaster, №3, 2007.
10. Краснокутский А.Н., Тимошкин А.И. Проблемы расчета прочности и жесткости штуцеров. – CADmaster, №3, 2007.

**Виктор Магалиф,
Алексей Матвеев,
Алексей Бушуев,
Евгений Шапиро
НТП "Трубопровод"
Тел.: (495) 737-3616
E-mail: start@truboprovod.ru
Internet: www.truboprovod.ru**