

# "СТАРТ-Экспресс" –

## ПРОГРАММА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ И КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



**Р**ынок программных продуктов для расчета прочности и жесткости трубопроводов испытывает острый дефицит в так называемых "легких" программах, предназначенных для установки на каждом рабочем месте конструктора трубопроводов. Именно поэтому в практике проектирования трубопроводов до сих пор применяются ручные инструменты полувековой давности: упрощенные критерии, номограммы, таблицы и т.п.

Оценка прочности и компенсирующей способности трубопроводов различного назначения реализуется как бы в двух "параллельных" мирах: принятие проектного решения "на глазок" в процессе компоновки трубопроводной трассы и проверка полностью готовой трассы трубопровода на компьютере с помощью современного расчетно-вычислительного комплекса "СТАРТ".

Практика показала, что применение программных систем такого уровня, как "СТАРТ", необходимо прежде всего в сложных ситуациях, которых в повседневной практике проектирования не так уж много. Именно поэтому даже в крупных проектных организациях и конструкторских бюро количество лицензий на ПС "СТАРТ", как правило, измеряется единицами. Можно прилично сэкономить (не в ущерб качеству проектирования!), оставив

ограниченное число лицензий "тяжелой" ПС и одновременно оснатив основную массу рабочих мест недорогими и эффективными программами экспресс-анализа прочности и компенсирующей способности трубопроводов различного назначения. Если набор объектов проектирования позволяет обойтись без сложных статических расчетов, необходимость в приобретении ПС "СТАРТ" вообще отпадает.

Эта статья посвящена детальному описанию одной из "легких" программ, получившей название "СТАРТ-Экспресс".

### Концепция разработки

Действующие нормы по расчетам трубопроводов оценивают прочность в двух аспектах:

- прочность труб и соединительных деталей от действия внутреннего избыточного давления. Такая оценка проводится для правильного назначения толщины стенки труб, криволинейных элементов – отводов, Т-образных соединений – тройников и врезок, переходов, заглушек и т.п.;
- прочность трубопровода как неразрезной конструкции. Работая как стержневая конструкция на восприятие действующих статических нагрузок и передачу их на опоры, трубопровод должен од-

новременно обладать свойством пружины – воспринимать без перенапряжений собственные температурные расширения.

Способность к восприятию температурных расширений за счет гибкости своей трассы принято называть компенсирующей способностью.

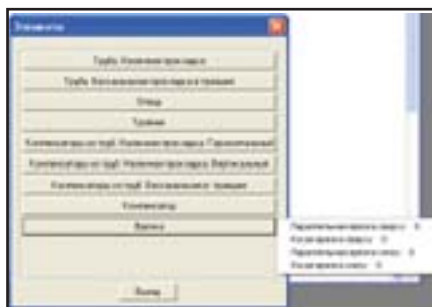
При создании программы "СТАРТ-Экспресс" ставилась задача обеспечить оценку прочности в объеме требований действующих норм (за исключением области атомной энергетики), при этом в качестве объектов для оценки компенсирующей способности принимались типовые схемы, фигурирующие в различных пособиях по проектированию: повороты Г- и Z-образной формы и участки с П-образными компенсаторами. Попутно решались отдельные задачи, связанные с проверкой прочности и устойчивости: определение расстояний между опорами, допустимой (по условиям устойчивости) длины прямого участка и некоторые другие.

Перечень и содержание расчетов выдерживались в строгом соответствии с требованиями норм. Так, если нормы не распространяются на трубопроводы, заземленные в грунте, их использование для таких расчетов автоматически становится недоступным; если нормами не предусмотрена проверка на циклическую прочность, их применение для та-

кой проверки становится неосуществимым и т.д.

Программа призвана полностью освободить проектировщика от необходимости применять ручные инструменты (номограммы, таблицы, пособия и т.п.) для оценки прочности и компенсирующей способности трубопроводов на стадии их конструирования. Разработка выполнялась в расчете не только на опытного проектировщика, но и на исполнителя средней квалификации, который не обязательно должен ориентироваться во всех тонкостях применения нормативных документов по прочности трубопроводов.

В программе задействованы следующие нормативные документы:



▲ Рис. 1. Главное экранное меню

приведенного на рис. 1, раскрывается перечень объектов расчета. Все расчеты разделены на две большие группы:

- наземная прокладка;
- бесканальная прокладка в грунте.

ности осуществляется в двух вариантах:

- по заданному давлению рассчитывается толщина стенки с учетом требований норм по минимально допустимой толщине фитинга;
- при заданной толщине стенки определяется максимально допустимое внутреннее избыточное давление.

Если нормами предусмотрена оценка циклической прочности по методике, аналогичной той, что приведена в РД 10-400-01, дополнительно выдаются максимально допустимый изгибающий момент и коэффициенты концентрации напряжений изгиба в отводе.

**Тройники.** Рассчитываются сварные тройники и врезки (в том числе усиленные накладками), штампованные и штампосварные тройники. Расчет на прочность производится аналогично такому же расчету для отводов. Максимально допустимый изгибающий момент и коэффициенты концентрации напряжений изгиба выдаются для сечения ответвления.

**Компенсаторы из труб.** Так в экранном меню условно названы типовые схемы компенсации температурных расширений: повороты трассы Г- и Z-образной формы и участки с П-образными компенсаторами.

Для трубопроводов наземной прокладки рассчитываются плоские схемы, расположенные в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Углы поворотов произвольны; плечи для схем в горизонтальной плоскости могут располагаться под углом друг к другу, а для схем в вертикальной плоскости должны быть только параллельными. Для трубопроводов бесканальной прокладки в грунте рассчитываются схемы, расположенные в горизонтальной плоскости.

Расчеты выполняются в двух вариантах:

- проектном, когда вылеты задаются, а компенсируемые длины плеч определяются;
- поверочном, когда задаются и вылеты, и длины плеч.

Результатами расчета являются нагрузки на концевые неподвижные опоры, расчетные и допускаемые напряжения, наибольшие линейные перемещения в углах поворота.

№ п/п	Нормативный документ	Область применения
1.	Госгортехнадзор РФРД 10-249-98	Стальные трубопроводы энергетических установок с давлением более 0,7 кг/см <sup>2</sup> и температурой более 115°С, за исключением трубопроводов, заземленных в грунте.
2.	Госгортехнадзор РФРД 10-400-01	Стальные трубопроводы водяных тепловых сетей и паропроводов за пределами энергетических установок; в том числе трубопроводы, заземленные в грунте.
3.	Минтопэнерго РФРТМ 38.001-94	Стальные технологические трубопроводы с давлением до 100 кг/см <sup>2</sup> и температурой от -70°С до 700°С, за исключением трубопроводов, заземленных в грунте.
4.	Госстрой РФСНиП 2.05.06-85	Стальные магистральные газо- и нефтепроводы с давлением до 100 кг/см <sup>2</sup> и отсутствием ползучести в металле труб; в том числе трубопроводы, заземленные в грунте.

Выбор того или иного нормативного документа при проведении конкретного расчета является прерогативой пользователя. Как видно из таблицы, только два нормативных документа — РД 10-400-01 и СНиП 2.05.06-85 — распространяются на трубопроводы, заземленные в грунте, остальные ориентированы на трубопроводы традиционных конструкций (прокладываемые на опорах).

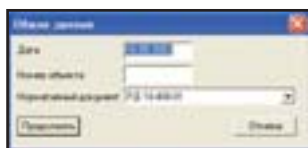
**Объекты расчета**

По программе "СТАРТ-Экспресс" рассчитываются трубы, отводы, Т-образные соединения (врезки, тройники), повороты трассы Г- и Z-образной формы, а также участки с П-образными компенсаторами, типовые узлы разветвлений (врезки). При обращении к любой строке главного экранного меню,

Под термином "наземная прокладка" подразумевается прокладка трубопровода на опорах. Это может быть как воздушный трубопровод (над землей), так и подземный — в камере, канале или коллекторе.

**Труба.** Для прямого участка наземной прокладки предусмотрены расчет на устойчивость и определение расстояний между промежуточными опорами (пролеты). Для прямого участка бесканальной прокладки можно выполнить расчеты прочности, устойчивости и удлинения от нагрева. Проверка прочности необходима в тех случаях, когда толщину стенки трубы определяет не только внутреннее избыточное давление, но и давление грунта.

**Отводы.** Рассчитываются крутоизогнутые, гнутые, штампосварные и секторные отводы. Расчет проч-



▲ Рис. 2. Диалоговое окно для выбора нормативного документа

**Врезки.** Рассчитываются типовые схемы врезок ответвлений в основную магистраль с учетом влияния длин прилегающих участков. Рассмотрено по четыре типовых схемы для наземных и заземленных в грунте трубопроводов:

- для наземных – Т-образная плоская и с П-образным переходом, параллельная под прямым углом в горизонтальной плоскости, косая под произвольным углом в вертикальной плоскости.

- для заземленных в грунте – параллельная под прямым углом вертикально вверх или вниз, косая под углом 45° вверх или вниз.

Расчеты выполняются в поверочном варианте на соблюдение условий циклической прочности. Если эти условия не выполняются, то выдается вся информация, необходимая для принятия решения по изменению схемы обвязки: наиболее нагруженное сечение, расчетные усилия в этом сечении, значение повреждаемости при знакопеременных нагрузках.

**Компенсатор.** Объектом расчета является прямой участок заземленного в грунте трубопровода со стартовым (одноразовым) компенсатором. Расчет выполняется согласно своду правил СП 41-105-2002 Госстроя РФ. Результатами являются максимально допустимое расстояние между компенсаторами и температура их замыкания.

### Режим работы

При обращении к расчетным процедурам программы на экране появляется диалоговое окно, которое позволяет пользователю выбрать нормативный документ, а также ввести реквизиты расчетов, которые будут выполняться (рис. 2).

После нажатия кнопки *Продолжить* пользователь переходит в режим выбора расчетного объекта. На экране появляется главное меню (рис. 1). При обращении к любой его строке раскрывается перечень объектов (на рисунке врезки), из которого выбирается нужный.



▲ Рис. 3. Расчет Z-образного компенсатора с непараллельными плечами

Далее пользователь работает в режиме задания входных данных и выполнения расчета. Примеры расчетных объектов представлены на рис. 3 и 4.

Если результаты расчета требуется распечатать, выбирается команда *Файл → Печать*.

Для проведения расчета в различных вариантах используется кнопка *Повторить*. С ее помощью в новом расчете наследуются данные предыдущего, что позволяет, не набирая все данные повторно, менять только некоторые из них для получения новых результатов. Все рассчитанные варианты сохраняются, с помощью кнопок *Предыдущий*, *Следующий* их можно просматривать на экране и при необходимости распечатывать. При окончании расчета и нажатии кнопки *Выход с сохранением* данные сохраняются. Если сохранять информацию не требуется, нажимается кнопка *Выход*. Под одними и теми же реквизитами в архиве программы может храниться серия входных данных и результатов по разным расчетным объектам, выбранным из главного меню.

В программе "СТАРТ-Экспресс" имеются базы данных по материалам

Температура, °С	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Удлинение при разрыве, %	Удлинение при разрыве, %	Удлинение при разрыве, %
20	235	375	22	22	22
100	235	375	22	22	22
200	235	375	22	22	22
300	235	375	22	22	22
400	235	375	22	22	22
500	235	375	22	22	22

▲ Рис. 5. Физико-механические характеристики стали 20



▲ Рис. 4. Расчет вертикальной врезки (бесканальная прокладка)

и грунтам. Эти базы содержат физико-механические свойства трубных сталей и грунтов, используемых при проведении расчетов. Содержимое каждой базы пользователь может просматривать, а при необходимости пополнять и корректировать. На рис. 5 показано содержимое базы для стали 20, соответствующее нормативному документу РД 10-400-01. Выбор данных из баз производится с помощью специальных кнопок экранного меню при задании входных данных.

### Настройка программы и сервис

Пользователь может настроить программу "СТАРТ-Экспресс", выбирая:

- единицы измерений;
- нормативный документ для оценки прочности;
- базу данных по материалам (зависит от используемого нормативного документа).

В процессе подготовки входных данных программа выдает разнообразные подсказки, позволяющие получать для ряда используемых данных готовые нормативные значения: наружные диаметры кожуха изоляции (для труб с промышленной полимерной изоляцией), коэффициенты снижения прочности сварных соединений, уклоны трубопроводов и т.п.

*Виктор Магалиф,  
Евгений Шапиро,  
Алексей Бушуев*

ООО "НТП Трубопровод"

Тел.: (095) 737-3616

E-mail: start@truboprovod.ru

Internet: http://www.truboprovod.ru

По вопросам приобретения обращаться: Consistent Software

Тел.: (095) 913-2222

E-mail: sales@csoft.ru,  
plant4d@csoft.ru