

## Программа «ТРУБА»

Программа предназначена для механического расчета полимерных труб в случае их размещения в грунте одним из двух следующих способов:

1. ТРАНШЕЯ (на дне траншеи);
2. ГНБ (в канале, подготовленном методом горизонтально-направленного бурения).

Расчет труб в случаях ТРАНШЕЯ и ГНБ ведется независимо друг от друга. Поэтому программу можно использовать как для двух этих случаев, так и для любого одного из них.

Работа с программой состоит из следующих этапов:

- ввод ключа, позволяющий пользоваться программой;
- задание исходных данных (отдельно для ТРАНШЕЯ и отдельно для ГНБ);
- расчет (инициируется нажатием кнопки «расчет»);
- изучение результатов расчета;
- сохранение результатов расчета.

**Важно!** Все расчеты проводятся по методике, изложенной в главе 12.2 монографии «Кабельные линии высокого напряжения» (Дмитриев М.В., 2021 год, 688 страниц).

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. ТРАНШЕЯ

## 1.1. Кабель

Наружный диаметр кабеля $d$ , мм	Берется из кабельного каталога в зависимости от класса напряжения кабеля, его конструкции (однофазная или трехфазная), сечения жилы. Обычно $d$ составляет от 20 до 120 мм.
Число кабелей в одной трубе $n$ , шт	Для кабелей 110-500 кВ согласно нормам $n=1$ . Для кабелей 6-35 кВ возможны $n=1$ или $n=3$ , но также допускаются и другие значения $n$ .
Эквивалентный диаметр всех кабелей $d_{экв}$ , мм	Рассчитывается автоматически через $d$ и $n$ .

## 1.2. Труба

Минимальное отношение $Dв/d_{экв}$ , о.е.	Согласно нормам, составляет не менее 1.5 о.е., но возможны и другие значения (не менее 1.0).
Минимальный внутренний диаметр трубы $Dв$ , мм	Рассчитывается автоматически через $Dв/d_{экв}$ и $d_{экв}$ .
Минимальный наружный диаметр трубы $D$ , мм	Предлагается выбрать желаемое значение $D$ из списка значений, удовлетворяющих $D > Dв$ .
Воздействие транспорта на трубу	Выбирается из списка. Случай «отсутствует» является наиболее редким, так как даже при прокладке труб под газом по нему возможно движение строительной техники, т.е. корректно будет использовать вариант «автодорога».

## 1.3. Особенности трубы

Внешняя защитная оболочка	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.
Внутренний негорючий слой	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.
Токопоисковые свойства (ОМП)	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.

#### 1.4. Траншея

Характер грунта вокруг трубы	<p>Самыми неблагоприятными являются случаи «не песок» или «песок, не уплотнен», когда по бокам трубы нет отпора грунта, который мог бы мешать деформации трубы при воздействии на нее сверху давления грунта и транспорта.</p> <p>Самым благоприятным является случай «песок, уплотнен механически», при котором по бокам трубы отпор грунта максимален, что помогает трубе не деформироваться даже в случае малой кольцевой жесткости трубы SN.</p>
Глубина прокладки трубы Н, м	<p>Стандартная глубина обычно составляет: для кабелей 6-20 кВ – не менее 0.7 м. для кабелей 35 кВ – не менее 1.0 м. для кабелей 110-500 кВ – не менее 1.5 м.</p>
Секущий модуль грунта $E_s$ , МПА	<p>Рассчитывается автоматически в зависимости от характера грунта и глубины прокладки Н.</p>

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. ГНБ

### 2.1. Кабель

Наружный диаметр кабеля $d$ , мм	Берется из кабельного каталога в зависимости от класса напряжения кабеля, его конструкции (однофазная или трехфазная), сечения жилы. Обычно $d$ составляет от 20 до 120 мм.
Число кабелей в одной трубе $n$ , шт	Для кабелей 110-500 кВ согласно нормам $n=1$ . Для кабелей 6-35 кВ возможны $n=1$ или $n=3$ , но также допускаются и другие значения $n$ .
Эквивалентный диаметр всех кабелей $d_{экв}$ , мм	Рассчитывается автоматически через $d$ и $n$ .

### 2.2. Труба

Минимальное отношение $Dв/d_{экв}$ , о.е.	Согласно нормам, составляет не менее 1.5 о.е., но возможны и другие значения (не менее 1.0).
Минимальный внутренний диаметр трубы $Dв$ , мм	Рассчитывается автоматически через $Dв/d_{экв}$ и $d_{экв}$ .
Минимальный наружный диаметр трубы $D$ , мм	Предлагается выбрать желаемое значение $D$ из списка значений, удовлетворяющих $D > Dв$ .
Воздействие транспорта на трубу	Выбирается из списка. Случай «отсутствует» является наиболее редким, так как даже при прокладке труб под газом по нему возможно движение строительной техники, т.е. корректно будет использовать вариант «автодорога».

### 2.3. Особенности трубы

Внешняя защитная оболочка	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.
Внутренний негорючий слой	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.
Токопоисковые свойства (ОМП)	Выбор никак не влияет на механический расчет трубы, однако позволяет корректно определить итоговую рекомендуемую марку трубы.

## 2.4. ГНБ

Характер грунта вокруг трубы	<p>Самыми неблагоприятным является случай «сильный плавун», при котором будет сложно сформировать буровой канал для того, чтобы потом протянуть в нем трубу. Возможно, что необходимую трубу подобрать не получится.</p> <p>Самым благоприятным является случай «отвердевшая глина», когда стенки бурового канала вообще не осыпаются, сформированы и не создают проблем с протягиванием трубы.</p>
Глубина прокладки трубы $H_{\text{мин}}$ , м	Минимальная глубина расположения трубы: для кабелей 6-20 кВ – не менее 0.7 м. для кабелей 35 кВ – не менее 1.0 м. для кабелей 110-500 кВ – не менее 1.5 м.
Глубина прокладки трубы $H_{\text{макс}}$ , м	Максимальная глубина расположения трубы – зависит от проекта и обычно равна от 3 до 20 м.
Секущий модуль грунта $E_s$ , МПа	Рассчитывается автоматически в зависимости от характера грунта и глубины прокладки $H$ , но для ГНБ всегда принимается равным 0.
Длина бурового канала $L_{\text{гнб}}$ , м	Длина бурового канала, зависящая от проекта и обычно составляющая от 10 до 500 м.
Число труб в пучке $N$ , шт	При задании числа труб $N$ учитывается только число труб (рабочих и резервных) для кабелей. Трубы для ВОЛС, обычно имеющие меньший диаметр и стенку, здесь не учитываются.

### 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. НАСТРОЙКИ

#### 3.1. Свойства трубы

Коэффициент трения $\mu$ при тяжении трубы, о.е.	Важен только при расчетах ГНБ. От данного коэффициента зависит фактическое усилие $F$ при протяжке трубы в буровом канале, которое связано с трением трубы о стенки канала.
Коэффициент запаса $F/F_{\max}$ при тяжении трубы, о.е.	Важен только при расчетах ГНБ. От данного коэффициента зависит запас, с которым после расчета фактического усилия $F$ будет выбрана конкретная труба, обладающая тем или иным значением предельного усилия тяжения $F_{\max}$ .
Коэффициент запаса $P/P_{\max}$ при давлении бентонита, о.е.	Важен только при расчетах ГНБ. От данного коэффициента зависит запас, с которым после расчета фактического давления $P$ бентонита в нижней точке бурового канала будет принято предельное значение давления бентонита $P_{\max}$ – оно является одним из критериев проверки достаточности кольцевой жесткости трубы $SN$ .
Предел текучести трубы $\sigma$ при тяжении, МПа	Параметр позволяет связать диаметр $D$ трубы и толщину $e$ стенки трубы с предельным усилием тяжения трубы $F_{\max}$ . По заданным значениям $D$ и $e$ , опираясь на $\sigma$ , можно определить $F_{\max}$ .
Модуль упругости трубы $E$ при сжатии, МПа	Параметр позволяет связать диаметр $D$ трубы и толщину $e$ стенки трубы с кольцевой жесткостью трубы $SN$ . По заданным значениям $D$ и $e$ , опираясь на $E$ , можно определить $SN$ .

#### 3.2. Свойства грунта

Коэффициент крепости грунта $f$ при ГНБ, о.е.	Важен только при расчетах ГНБ. В зависимости от конкретного типа грунта этот коэффициент позволяет найти для бурового канала его свод обрушения грунта $H_g$ .
Удельный вес грунта $\rho_g$ , т/м <sup>3</sup>	Важен только при расчетах ГНБ. Позволяет рассчитать для бурового канала вес грунта $q_g$ , заключенного в своде обрушения $H_g$ , чтобы затем с его помощью найти фактическое усилие $F$ протяжки трубы в буровом канале.

### 3.3. Свойства буровой установки

Диаметр расширителя $D_{рш}/D_{экв}$ при ГНБ, о.е.	Важен только при расчетах ГНБ. После бурения канала перед протяжкой в него трубы следует уплотнить стенки канала за счет протяжки в канале расширителя диаметром $D_{рш}$ , который превосходит диаметр пучка труб $D_{экв}$ и зависит от длины бурового канала $L_{гнб}$ .
Удельный вес бентонита $\rho_b$ , т/м <sup>3</sup>	Важен только при расчетах ГНБ. Позволяет определить фактическое давление $P$ бентонита в нижней точке бурового канала, где давление бентонита достигает наибольших значений.
Избыточное давление бентонита $P_{и}$ , кПа (кН/м <sup>2</sup> )	Важно только при расчетах ГНБ. Отвечает тому избыточному давлению, которое воздействует на трубу по той причине, что бентонит подается в буровой канал не самотеком, а под давлением.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ. ТРАНШЕЯ

### 4.1. Итоговые параметры трубы

Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup>	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b> Надо выбрать значение SN из предлагаемого списка. Обычно принимают минимальное SN из тех значений, которые указаны в списке.
Наружный диаметр трубы D, мм	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Толщина стенки трубы e, мм	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Предельное усилие тяжения трубы F <sub>макс</sub> , кН	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Внутренний диаметр трубы D <sub>в</sub> , мм	Рассчитывается автоматически.
Отношение D <sub>в</sub> /d <sub>экв</sub> , о.е.	Рассчитывается автоматически. Это отношение всегда будет больше или равно тому значению D <sub>в</sub> /d <sub>экв</sub> , которое задано на листе ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ в качестве минимально допустимого.

### 4.2. Проверка кольцевой жесткости трубы на глубине Н

Нагрузка от веса грунта q <sub>г</sub> , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Нагрузка от веса транспорта q <sub>т</sub> , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Суммарная нагрузка на трубу q <sub>сум</sub> , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup> , не менее	Рассчитывается автоматически. Это значение кольцевой жесткости всегда меньше любого из типовых значений SN, предлагаемых на выбор в рубрике 4.1 «Итоговые параметры трубы».

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ. ГНБ

### 5.1. Итоговые параметры трубы

Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup>	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b> Надо выбрать значение SN из предлагаемого списка. Обычно принимают минимальное SN из тех значений, которые указаны в списке
Наружный диаметр трубы D, мм	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Толщина стенки трубы e, мм	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Предельное усилие тяжения трубы F <sub>макс</sub> , кН	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b>
Внутренний диаметр трубы D <sub>в</sub> , мм	Рассчитывается автоматически.
Отношение D <sub>в</sub> /d <sub>экв</sub> , о.е.	Рассчитывается автоматически. Это отношение всегда будет больше или равно тому значению D <sub>в</sub> /d <sub>экв</sub> , которое задано на листе ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ в качестве минимально допустимого.

### 5.2. Проверка кольцевой жесткости трубы при тяжении

Эквивалентный диаметр D <sub>экв</sub> пучка N труб, мм	Рассчитывается автоматически.
Диаметр расширителя D <sub>рш</sub> , мм	<b>Является ВАЖНЫМ результатом расчета.</b> Надо выбрать значение D <sub>рш</sub> из предлагаемого списка. Обычно принимают минимальное D <sub>рш</sub> из тех значений, которые предлагаются.
Свод обрушения грунта H <sub>г</sub> , м	Рассчитывается автоматически.
Фактическое усилие тяжения каждой трубы F, кН	Рассчитывается автоматически.
Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup> , не менее	Рассчитывается автоматически. Это значение кольцевой жесткости всегда меньше любого из типовых значений SN, предлагаемых на выбор в рубрике 5.1 «Итоговые параметры трубы».

### 5.3. Проверка кольцевой жесткости трубы на глубине $H_{мин}$

Нагрузка от веса грунта $q_g$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Нагрузка от веса транспорта $q_t$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Суммарная нагрузка на трубу $q_{сум}$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup> , не менее	Рассчитывается автоматически. Это значение кольцевой жесткости всегда меньше любого из типовых значений SN, предлагаемых на выбор в рубрике 5.1 «Итоговые параметры трубы».

### 5.4. Проверка кольцевой жесткости трубы на глубине $H_{макс}$

Нагрузка от веса грунта $q_g$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Нагрузка от веса транспорта $q_t$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Суммарная нагрузка на трубу $q_{сум}$ , кН/м <sup>2</sup>	Рассчитывается автоматически.
Давление бентонита на трубу $P$ , кПа (кН/м <sup>2</sup> )	Рассчитывается автоматически.
Кольцевая жесткость трубы SN, кН/м <sup>2</sup> , не менее	Рассчитывается автоматически. Это значение кольцевой жесткости всегда меньше любого из типовых значений SN, предлагаемых на выбор в рубрике 5.1 «Итоговые параметры трубы».