

ООО «Айтея»

Пакет программ проектирования воздушных линий электропередачи и связи
(ВЛ, ВОЛС ВЛ, ВОЛС)

LineS

**Программа механического расчёта
проводов, тросов и самонесущих кабелей линий связи и электропередачи**

«LineMech»

Версия 6.0

РОСС RU.СП15.Н00759



Руководство пользователя

(для Windows)

Новосибирск, 1985 – 2024 г.

Оглавление

1. Описание программы	1
1.1. Общие сведения	1
1.1.1. Наименование программы	1
1.1.2. Исключительные права. Авторские права	1
1.2. Назначение и цели внедрения программы	2
1.2.1. Назначение программы	2
1.2.2. Цели внедрения программы	2
1.3. Краткое описание программы	3
1.3.1. Исходные данные для расчёта	3
1.3.2. Расчёт	6
1.3.2.1. Определение нагрузок	6
1.3.2.2. Расчёт критических пролётов	8
1.3.2.3. Решение уравнения состояния провода. Расчёт напряжений, тяжений и стрел провеса	9
1.3.2.4. Пример механического расчёта проводов ("вручную")	10
1.3.3. Результаты расчёта	15
1.3.3.1. Шаблоны для расстановки опор по профилю. Кривые провисания	15
1.3.3.2. Форма Excel для вывода результатов	17
1.4. Литература	19
2. Описание применения	19
2.1. Общие указания пользователю	19
2.2. Ограничения программы	20
2.3. Место расчёта в проекте	20
2.3.1. Ещё раз про 'ВОЛС ВЛ'	26
2.4. Исходные данные	27
2.4.1. Требования к характеристикам проводов, тросов и самонесущих кабелей для внесения в справочник программ	27
2.4.2. Требования к данным климатических условий, запрашиваются на метеостанциях	28
2.4.3. Нормативные ветровые и гололёдные нагрузки	28
2.4.4. Коэффициенты надёжности к нормативным ветровым и гололёдным нагрузкам	28
2.4.5. Требования к задаваемым максимальным напряжениям, тяжениям	29
2.5. Термины	31
2.6. Дополнительные функции	31
2.7. Начало работы с программой	32
2.8. Ввод, редактирование и удаление данных	33
2.8.1. Справочник климатических районов	37
2.8.2. Климатические параметры	39
2.8.3. Справочник проводов, кабелей, тросов	39
2.9. Организация данных	42
3. FAQ и К (к кому и как обращаться с вопросами)	43
4. Приложения	44

1. Описание программы

1.1. Общие сведения

1.1.1. Наименование программы

Программа механического расчёта проводов, тросов и самонесущих кабелей линий связи и электропередачи «LineMech».

1.1.2. Исключительные права. Авторские права

Свидетельство о государственной регистрации программы № 2008614732 от 1 октября 2008 года.



Правообладателем программы LineMech является ООО «Айтея», (ранее «ПроЭнергоСофт») г. Новосибирск,

тел./факс: (383) 309-29-02, 309-29-04, 309-29-05

E-mail: support@linecross.ru

Сайт в Интернете: www.linecross.ru

Автор: Иванов Николай Павлович

Программисты: Корнилов М.В., Мальцев М.М.

Перевод на английский язык Ирины Одновал.

Ядро программы, собственно сам механический расчет, сертифицировано:



1.2. Назначение и цели внедрения программы

1.2.1. Назначение программы

Автоматизация выполнения механического расчёта провода, троса, самонесущего кабеля по методу допускаемых напряжений.

Программа переведена на английский язык с возможностью вывода результатов расчётов для зарубежных заказчиков проектов.

1.2.2. Цели внедрения программы

1. Визуальный выбор по проекту допускаемого напряжения (тяжения) в материале провода, троса, силовой части самонесущего кабеля с учетом:

- допускаемых напряжений (тяжений) согласно ПУЭ, ГОСТ, ТУ на провода, тросы, самонесущие кабели, данных завода - изготовителя;
- допускаемых тяжений на несущие конструкции (опоры, порталы и т.п.);

- возможного дополнительного снижения нагрузок на несущие конструкции при запасе габарита.
2. Определение габаритного пролёта при выбранном проектировщиком типовом проекте опор, порталов.
 3. Выбор проектировщиком типового проекта массовых опор линии, исходя из габарита.
 4. Выбор напряжения (тяжения) в тросе, в том числе ОКГТ по расстоянию между проводом и тросом в пролёте.
 5. Сопоставление стрел провеса провода и троса, провода и самонесущего кабеля в различных режимах.
 6. Проверка габарита ОКСН над землёй при гололёде.
 7. Расчёт погонных и приведённых нагрузок на провода, тросы, кабели с целью дальнейшего применения при сборе нагрузок на опоры.
 8. Определение установившихся допускаемых напряжений (тяжений) в проводах, тросах, самонесущих кабелях по замерам стрел провеса и тяжений на существующих линиях. Экспертиза.
 9. Построение шаблона для расстановки опор по профилю.
 10. С помощью шаблона расстановка опор по профилю (сама по себе операция расстановки опор по профилю не автоматизируется, так как является неотъемлемой самостоятельной инженерной задачей проектировщиков).
 11. Расчёт приведённых пролётов по анкерным участкам линии. При необходимости: уточнение шаблона и проверка расстановки опор по профилю; обновление расчётов.
 12. При наличии запаса по габариту – снижение допускаемых напряжений (тяжений).
 13. Построение кривых провисания проводов, тросов и самонесущих кабелей для разных температур.
 14. С помощью кривых провисания проводов, кабелей проверка отклонения гирлянд изоляторов при низших температурах (проверка на вырывание опор при низших температурах).
 15. С помощью кривых провисания предварительная установка опор на пересечениях с инженерными сооружениями и естественными препятствиями при расстановке опор по профилю.

1.3. Краткое описание программы

1.3.1. Исходные данные для расчёта

Провода, тросы, самонесущие кабели представлены следующими характеристиками:

- марка провода, троса, самонесущего кабеля;
- диаметр;
- сечение несущей нагрузки части;
- погонный вес, даН/м, (1 кг – 0.98 даН);
- модуль упругости, даН/мм² (кН/мм²);
- коэффициент температурного линейного удлинения, м/град. (1/К).

Для хранения данных по проводам, тросам, самонесущим кабелям в программе имеется редактируемый справочник (добавить, удалить, исправить).

Для учёта внешних воздействий на провода, тросы, самонесущие кабели согласно ПУЭ в исходных данных программы запрашиваются климатические условия:

1. Температура:

- максимальная температура окружающего воздуха;
 - минимальная температура окружающего воздуха;
 - температура при максимальном ветре;
 - температура при гололёде без ветра;
 - температура при максимальном ветре и гололёде;
 - среднеэксплуатационная (среднегодовая) температура.
2. Скорость ветра:
- максимальная скорость ветра;
 - скорость ветра при гололёде.
3. Гололёд:
- толщина стенки гололёда, мм.
4. Уточнение климатических параметров.

Программой в расчёте учтены коэффициент на ветровую нагрузку по высоте в зависимости от типа местности и другие рекомендации ПУЭ-7, неравномерность ветра и лобовое сопротивление. Учтены коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололёда по высоте над поверхностью земли, коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололёда в зависимости от диаметра провода, троса, самонесущего кабеля и другие рекомендации ПУЭ-7.

В программе учитывается, что базовые нормативные нагрузки (внешние воздействия) и поправки, зависящие от типа местности и высоты согласно таблицам [2.5.2](#) и [2.5.4](#) ПУЭ-7 (уточнение климатических параметров) пользователь задаёт отдельно. В этом случае пользователь может учесть как требования старых ПУЭ (самостоятельно, при разнице в коэффициентах), так и новых.

Для определения расчётных нагрузок согласно ПУЭ-7 дополнительно введены коэффициенты надёжности к нормативным нагрузкам отдельным вводом данных:

- к ветровым нагрузкам: ответственности, региональный, надёжности;
- к гололёдным нагрузкам: ответственности, региональный, надёжности, условий работы.

Согласно [2.5.11 ПУЭ-7](#) значения этих коэффициентов, по умолчанию, приняты равными единице.

Коэффициенты надёжности не являются частью теории механического расчёта, учитывают человеческий фактор. Заказчик проекта вправе усилить или ослабить проект, изменив какой-либо коэффициент надёжности, соответственно меняющий скорость ветра или толщину стенки гололёда, указав это в задании на проектирование.

При вводе уточнений климатических параметров по умолчанию принят тип местности А с высотой приведённого центра тяжести до 15 м.

Для расчёта пролётов в исходные данные внесён запрос значений минимального и максимального рассчитываемых пролётов и шага (от 1 м) изменения значений пролётов в этом диапазоне.

Согласно методу расчёта (допускаемых напряжений, тяжений) в исходных данных запрашиваются согласно ПУЭ два значения принятых допускаемых напряжений (тяжений):

- максимальное допускаемое напряжение (тяжение) в несущем сечении провода, троса, самонесущего кабеля при наибольших нагрузках (гололёд и ветер) и при низшей температуре, даН/мм^2 (Н/мм^2); даН (кН);

- максимальное допускаемое напряжение (тяжение) в несущем сечении провода, троса, самонесущего кабеля при среднеэксплуатационных условиях (среднегодовой температуре), даН/мм² (Н/мм²); даН (кН).

Все исходные данные выводятся перед результатами расчётов для контроля в проекте.

Климатические условия		
Температура максимальная		°С
Температура минимальная		°С
Среднегодовая температура		°С
Температура при максимальном ветре		°С
Температура при гололёде без ветра		°С
Температура при гололёде и ветре		°С
Максимальная скорость ветра		м/с
Скорость ветра при гололёде		м/с
Толщина стенки гололёда		мм
Расчётные данные		
Марка провода, троса, самонесущего кабеля		
Минимальный пролёт		м
Максимальный пролёт		м
Шаг		м

Допускаемые напряжения		
Максимальное допускаемое напряжение		даН/мм ² (Н/мм ²)
Напряжение при среднегодовой температуре		даН/мм ² (Н/мм ²)
Допускаемые тяжения		
Максимальное допускаемое тяжение		даН (кН)
Тяжение при среднегодовой температуре		даН (кН)

Коэффициенты надёжности к нормативным нагрузкам	
К ветровым нагрузкам	
Ответственности	1,00
Региональный	1,00
Надёжности	1,00
К гололёдным нагрузкам	
Ответственности	1,00
Региональный	1,00
Надёжности	1,00
Условий работы	1,00

Характеристика провода, троса, кабеля	
Диаметр, мм	
Сечение, мм ²	
Погонный вес (нагрузка), кг/м	
Модуль упругости, даН/мм ² (кН/мм ²)	

Коэффициент температурного линейного расширения, 1/К	
Уточнение климатических параметров	
Тип местности	А
Высота приведённого центра тяжести проводов, тросов, кабеля, средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м	15

Результат расчётов – тяжения, напряжения в материале провода, троса, самонесущего кабеля, стрелы провеса для заданных пролётов выводятся в расчётных нагрузочных, габаритных, монтажных и других режимах:

1. Ветер при гололёде, гололёд, температура при гололёде и ветре.
2. Ветра нет, гололёд, температура при гололёде.
3. Ветер максимальный, гололёда нет, температура при максимальном ветре.
4. Монтажный. Ветер 10 м/с, гололёда нет, температура -15°C.
5. Ветра нет, гололёда нет, температура +15°C.
6. Ветра нет, гололёда нет, температура минимальная (низшая).
7. Ветра нет, гололёда нет, температура максимальная (высшая).
8. Ветра нет, гололёда нет, температура среднеэксплуатационная (среднегодовая).
9. Ветер $0.3 \cdot V_{\max}$, но не менее 10 м/с, гололёда нет, температура +15°C.
10. Для переходов через железные дороги. Ветра нет, гололёда нет, температура +70°C.
11. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура +30°C.
12. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура +20°C.
13. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура +10°C.
14. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура 0°C.
15. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура -10°C.
16. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура -20°C.
17. Монтажный. Ветра нет, гололёда нет, температура -30°C.

Выбор режимов для расчёта производится запросом у пользователя двух вариантов: все режимы (17); «габаритные» режимы (2, 7).

1.3.2. Расчёт

Расчёты, приведённые далее, полностью соответствуют теории, кроме коэффициентов надёжности, указанных ПУЭ-7. Линии электропередачи, построенные 50-70 лет назад, по результатам замеров тяжения и стрел провеса полностью подтверждают правильность расчётов.

1.3.2.1. Определение нагрузок

Погонные и удельные нагрузки (1...7):

1. Нагрузка от собственного веса провода.

p_1 – даН/м (1 кг – 0.98 даН) – из справочника.

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{F_0}, \text{ даН} / \text{м} \cdot \text{мм}^2.$$

2. Нагрузка от веса гололёда (гололёд на проводе имеет цилиндрическую форму).

$$p_2 = \left[\frac{\pi (d + 2\epsilon)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] q_0 = \pi q_0 \epsilon (d + \epsilon), \text{ даН / м}.$$

q_0 - удельный вес гололёда. $q_0 = 0.9 \cdot 10^{-3} \text{ кг / см}^3$.

На толщину стенки гололёда применены коэффициенты по формулам ПУЭ-7 в зависимости от высоты приведённого центра тяжести и диаметра проводов согласно исходным данным.

На погонную нагрузку p_2 согласно ПУЭ-7 применены коэффициенты надёжности из исходных данных.

$$\gamma_2 = \frac{p_2}{F_0}, \text{ даН / м} \cdot \text{мм}^2.$$

3. Нагрузка от веса провода с гололёдом.

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2, \text{ даН / м} \cdot \text{мм}^2.$$

4. Нагрузка от давления ветра на провод без гололёда.

Значение a (коэффициент неравномерности) получаем интерполяцией. (ПУЭ-7).

Значение C_x (аэродинамический коэффициент) также берём по ПУЭ-7.

$$p_4 = \frac{a C_x V^2}{16}, \text{ даН / м}.$$

На величину скорости ветра применяются коэффициенты в зависимости от высоты приведённого центра тяжести и типа местности по формулам ПУЭ-7.

Коэффициенты интерполируются.

На погонную нагрузку p_4 согласно ПУЭ-7 применяются коэффициенты надёжности из исходных данных.

$$\gamma_4 = \frac{p_4}{F_0}, \text{ даН / м} \cdot \text{мм}^2.$$

5. Нагрузка от давления ветра на провод с гололёдом.

При этом $0.25q$ при гололёде, $a=1$, C_x не меняется.

$$p_5 = a \cdot C_x \cdot q (d + 2\epsilon), \text{ даН / м}.$$

На погонную нагрузку p_5 согласно ПУЭ-7 применяются коэффициенты надёжности из исходных данных.

$$\gamma_5 = \frac{p_5}{F_0}, \text{ даН / м} \cdot \text{мм}^2.$$

6. Нагрузка от давления ветра и веса провода без гололёда.

$$p_6 = \sqrt{p_4^2 + p_1^2}, \text{ даН / м}$$

$$\gamma_6 = \frac{p_6}{F_0}, \text{ даН / м} \cdot \text{мм}^2.$$

7. Нагрузка от ветра и веса провода с гололёдом.

$$p_7 = \sqrt{p_3^2 + p_5^2}, \text{ даН / м}$$

$$\gamma_7 = \frac{P_7}{F_0}, \text{ даН} / \text{м} \cdot \text{мм}^2.$$

Значения погонных и удельных нагрузок показываются в выходной форме перед результатами расчётов вслед за исходными данными, используются для оценки нагрузок на опоры.

Номера нагрузок	Нагрузки	Погонные нагрузки, даН/м (Н/м)	Приведённые нагрузки, даН/м·мм ² (Н/м·мм ²)
1	От веса провода		
2	От веса гололеда		
3	От веса провода с гололёдом		
4	Давление на провод ветра		
4а	при грозových и внутр. перенапряжениях, не менее		
4б	при грозových и внутренних перенапряжениях		
5	Давление ветра при гололёде		
6	От веса провода и давления ветра		
6а	при грозových и внутр. перенапряжениях, не менее		
6б	при грозových и внутренних перенапряжениях		
7	От веса провода, гололёда и давления ветра		

1.3.2.2. Расчёт критических пролётов

$$l_K = \sqrt{\frac{(\sigma_n - \sigma_m) + \alpha E (\theta_n - \theta_m)}{\frac{\gamma_n^2 E}{24 \sigma_n^2} - \frac{\gamma_m^2 E}{24 \sigma_m^2}}}$$

	n	m
l_{1K}	$\theta_{\bar{n}}$	θ_i
l_{2K}	θ_{Γ}	θ_i
l_{3K}	$\theta_{\bar{A}}$	$\theta_{\bar{n}}$

В результате расчётов значения критических пролётов получаются в пяти сочетаниях:

1. $(l_{1K} < l_{2K} < l_{3K})$

При изменении пролёта от 0 до l_{1K} расчётные условия – низшие температуры; от l_{1K} до l_{3K} - среднегодовые условия; от l_{3K} до ∞ - гололёд.

2. $(l_{3K} < l_{2K} < l_{1K})$

$l < l_{2K}$ - расчётные – низшие температуры;

$l > l_{2K}$ - расчётными являются гололёдные условия (наибольшие нагрузки).

3. l_{1K} - мнимый критический пролёт; l_{2K} - не имеет физического смысла; l_{3K} - расчётный критический пролёт.

$l < l_{3K}$ - расчётные – среднегодовые условия; $l > l_{3K}$ - гололёдные расчётные условия.

4. l_{3K} - мнимый критический пролёт; l_{2K} - не имеет физического смысла; l_{1K} - расчётный критический пролёт.
- $l < l_{1K}$ - расчётные – низшие температуры;
- $l > l_{1K}$ - расчётные – среднегодовые условия.
5. l_{1K} и l_{3K} - мнимые критические пролёты; l_{2K} - не имеет физического смысла.

В данном случае расчётными являются среднегодовые условия при всех длинах пролётов.

Значения критических пролётов распечатываются в результатах расчёта, указываются мнимые и не имеющие смысла.

Критические пролёты		
Первый критический пролёт		м
Второй критический пролёт		м
Третий критический пролёт		м

Для определения стрел провеса провода определяются напряжения в проводе при различных атмосферных условиях.

1.3.2.3. Решение уравнения состояния провода. Расчёт напряжений, тяжений и стрел провеса

Расчёт производим по уравнению состояния провода.

$$\sigma_n - \frac{l^2 \gamma_n^2 E}{24 \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{l^2 \gamma_m^2 E}{24 \sigma_m^2} - \alpha E (\theta_n - \theta_m);$$

где:

σ_n - напряжение в материале провода при изменяющихся атмосферных условиях для расчёта габарита.

l - заданная длина приведённого пролёта из исходных данных.

γ_n - нагрузка из сочетаний атмосферных условий для расчёта габарита.

E - модуль упругости.

σ_m - сравниваемое напряжение в материале провода. В зависимости от соотношения критических пролётов, длин пролётов и расчётных условий.

γ_m - нагрузка при сравниваемых атмосферных условиях.

θ_m - соответственно расчётным условиям.

θ_n - температура соответствующего сочетания атмосферных (климатических) условий для расчёта габарита.

Поочередно берётся каждое сочетание климатических условий и определяется напряжение в проводе, сравниваемое с расчётными «т»-ными условиями.

Уравнение состояния провода:

$$\sigma_{II} - \frac{A}{\sigma_{II}^2} = B; \quad \sigma_{II}^2 (\sigma_{II} - B) = A. \text{ решается методом половинного деления.}$$

Выполняются расчёты напряжений для заданных пролётов при всех заданных расчётных условиях.

Стрелы провеса:

$$f = \frac{l^2 \gamma}{8 \sigma_0};$$

Для всех режимов и пролётов выполняется расчёт тяжений

$$T = \sigma \cdot F.$$

1.3.2.4. Пример механического расчёта проводов ("вручную")

Произвести механический расчёт провода АС-120 с пролётом $l=230$ метров, подвешенного на воздушной ЛЭП 110 кВ в III районе по гололёду и в III ветровом районе с температурами:

$$\theta_x = -40^\circ \text{C}$$

$$\theta_\theta = +40^\circ \text{C}$$

$$\theta_c = +5^\circ \text{C}$$

Сечение алюминия, $F_a = 115 \text{ мм}^2$; сечение стали, $F_{ст} = 22 \text{ мм}^2$; общее сечение провода, $F_o = 137 \text{ мм}^2$; диаметр провода, $d = 15.2 \text{ мм}$; вес 1 км равен 492 кг (p).

Удельные нагрузки (1...7):

1. Нагрузка от собственного веса провода

$$\gamma_1 = \frac{p}{F_o} = \frac{492 \cdot 10^{-3}}{137} = 3.56 \cdot 10^{-3}, \text{ кг / мм}^2$$

2. Нагрузка от веса гололёда (гололёд на проводе имеет цилиндрическую форму).

$$\gamma_2 = \frac{\left[\frac{\pi(d+2e)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right] q_o}{F_o} = \frac{\pi q_o e (d+e)}{F_o} = \frac{3.14 \cdot 0.9 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5(1.52+1.5)}{137} = 9.35 \cdot 10^{-3}, \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2.$$

q_o - удельный вес гололёда. $q_o = 0.9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$

e - толщина гололёда (берётся по таблице 1-5 Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи (далее см. «Крюков»)).

3. Нагрузка от веса провода с гололёдом.

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = 3.56 \cdot 10^{-3} + 9.35 \cdot 10^{-3} = 12.91 \cdot 10^{-3}, \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2.$$

4. Нагрузка от давления ветра на провод без гололёда. Значение q (скоростной напор ветра), $q = 50 \text{ кг/м}^2$, берём из таблицы (Крюков, табл.1-3).

Значение a (коэффициент неравномерности) получаем интерполяцией. $a = 0.783$ (Крюков, п.1.3).

Значение C_x (аэродинамический коэффициент) также берём в таблице (Крюков, табл.1-4). $C_x = 1.2$

Интерполяция a : Для $q = 40 \text{ кг/м}^2$; для $q = 55 \text{ кг/м}^2$ указаны значения коэффициента a . По ним находим истинное значение $a = 0.783$.

$$\gamma_4 = \frac{a C_x q d}{F_o} \text{ - через скоростной напор.}$$

$$\gamma_4 = \frac{aC_x d V^2}{16F} \quad - \text{ через скорость ветра } \left(q = \frac{V^2}{16} \right).$$

$$\gamma_4 = \frac{aC_x q d}{F_0} = \frac{0.783 \cdot 1.2 \cdot 50 \cdot 0.0152}{137} = 5.2 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2.$$

5. Нагрузка от давления ветра на провод с гололёдом.

При этом $0.25q$ при гололёде, $a = 1$ (Крюков, стр.31). C_x не меняется.

$$\gamma_5 = \frac{a \cdot C_x \cdot q(d + 2e)}{F_0} = \frac{1 \cdot 1.2 \cdot 50 \cdot (0.0152 + 0.03)}{137} = 4.95 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2.$$

6. Нагрузка от давления ветра и веса провода без гололёда.

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_4^2 + \gamma_1^2} = \sqrt{\text{числ. знач.}} = 6.31 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2$$

7. Нагрузка от ветра и веса провода с гололёдом.

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} = 13.8 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м} \cdot \text{мм}^2$$

Теперь можно определить критические пролёты.

Исходные данные берём из таблиц.

$$\alpha_0 = 18.9 \cdot 10^{-6} \text{ м / град}$$

$$E_0 = 8.45 \cdot 10^{-3} \text{ кг / мм}^2 = 8450 \text{ кг / мм}^2 \quad (\text{Крюков, стр.52}).$$

$$\sigma_{ep} = 29 \text{ кг / мм}^2$$

Допускаемые напряжения:

$$\sigma_T = 12.2 \text{ кг / мм}^2$$

$$\sigma_n = 10.7 \text{ кг / мм}^2$$

$$\sigma_e = 7.25 \text{ кг / мм}^2 \quad (\text{Крюков, стр.51}).$$

(Три допускаемых напряжения (при наибольшей нагрузке, при низшей температуре и среднегодовой температуре) принимались до 1975 года для сталеалюминиевых проводов (высокое – при гололеде, ниже – при низшей температуре), для монометаллических проводов одинаковые. В 1975 году установлены допускаемые напряжения при низшей температуре такие же, как и при наибольшей нагрузке.)

$$l_k = \sqrt{\frac{(\sigma_n - \sigma_m) + \alpha E (\theta_n - \theta_m)}{\frac{\gamma_n^2 E}{24 \sigma_n^2} - \frac{\gamma_m^2 E}{24 \sigma_m^2}}},$$

Данные «п»-ных и «т»-ных условий выбираем по таблице, данной в теории.

Выбираем также, какие нагрузки мы должны учесть из условий задачи.

$$l_{1k} = \sqrt{\frac{(7.25 - 10.7) + 18.9 \cdot 10^{-6} \cdot 8450(5^\circ + 40^\circ)}{\frac{\gamma_1^2 \cdot 8450}{24 \cdot 7.25^2} - \frac{\gamma_1^2 \cdot 8450}{24 \cdot 10.7^2}}} = 284 \text{ м}.$$

$$l_{2k} = \sqrt{\frac{(12.2 - 10.7) + 18.9 \cdot 10^{-6} \cdot 8450(-5^\circ + 40^\circ)}{\frac{\gamma_7^2 \cdot 8450}{24 \cdot 12.2^2} - \frac{\gamma_1^2 \cdot 8450}{24 \cdot 10.7^2}}} = 133 \text{ м}$$

$$l_{3k} = \sqrt{\frac{(12.2 - 7.25) + 18.9 \cdot 10^{-6} \cdot 8450(-5^\circ - 5^\circ)}{\frac{\gamma_7^2 \cdot 8450}{24 \cdot 12.2^2} - \frac{\gamma_1^2 \cdot 8450}{24 \cdot 7.25^2}}} = 114 \text{ м}$$

В результате нами получен случай, когда $l_{1k} > l_{2k} > l_{3k}$.

Расчётным будет являться второй критический пролёт (l_{2k}) (см. теорию).

В нашем случае $l = 230 \text{ м}$, то есть $l > l_{2k}$.

Отсюда следует, что расчётными условиями будут являться условия наибольших нагрузок (гололёд).

Для определения наибольшей стрелы провеса провода нужно определить напряжения в проводе при различных атмосферных условиях.

Расчёт производим по уравнению состояния провода (см. теорию).

$$\sigma_n - \frac{l^2 \gamma_n^2 E}{24 \sigma_n^2} = \sigma_m - \frac{l^2 \gamma_m^2 E}{24 \sigma_m^2} - \alpha E (\theta_n - \theta_m);$$

где:

θ_n - напряжение в материале провода при изменяющихся атмосферных условиях (см. теорию).

l - действительная (заданная) длина пролёта.

γ_n - нагрузка на каждом из сочетаний атмосферных условий (см. теорию).

E - модуль упругости.

θ_m - сравниваемое напряжение в материале провода. В данном случае получились гололёдные условия; в соответствии с этим напряжением:

γ_m - нагрузка при сравниваемых атмосферных условиях - γ_1 - в нашем примере.

θ_m - соответственно, в нашем примере – температура гололёдообразования (-5°C).

θ_n температура соответствующего сочетания атмосферных (климатических) условий.

Мы будем брать поочередно каждое сочетание климатических условий и определять напряжение в проводе, сравнивая с гололёдными «т»-ными условиями.

I сочетание (провода покрыты гололёдом; $\theta_r = -5^\circ\text{C}$; $q_I = 0.25q$ (скоростной напор)).

$\gamma_n \rightarrow \gamma_I$; $\theta_n \rightarrow -5^\circ\text{C}$.

Из нашего предыдущего решения расчётные условия – гололёдные, то есть

$$\sigma_I = \sigma_r = 12.2 \text{ кг/мм}^2$$

II сочетание (провода покрыты гололёдом, ветра нет; $\theta_r = -5^\circ\text{C}$; $q = 0$)

Сравниваем все сочетания с гололёдными условиями («т»-ные условия)

$$\gamma_n \rightarrow \gamma_3; \theta_n \rightarrow -5^\circ\text{C}$$

$$\gamma_m \rightarrow \gamma_7; \theta_m \rightarrow -5^\circ\text{C}$$

$$\sigma_m = \sigma_r = \sigma_I = 12.2 \text{ кг/мм}^2.$$

$$\sigma_I - \frac{230^2 \cdot 12.91^2 \cdot 8450 \cdot 10^{-6}}{24 \sigma_I^2} = 12.2 - \frac{230^2 (13.8 \cdot 10^{-3})^2 8450}{24 \cdot 12.2^2} - 18.9 \cdot 10^{-6} \cdot 8450 [-5 - (-5)],$$

Решаем это кубическое уравнение на логарифмической линейке (Крюков, стр.49).

$$\sigma_{II} - \frac{A}{\sigma_{II}^2} = B; \quad \sigma_{II}^2 (\sigma_{II} - B) = A.$$

$$B = 12.2 - \frac{230^2 (13.8 \cdot 10^{-3})^2 8450}{24 \cdot 12.2^2} - 18.9 \cdot 10^{-6} \cdot 8450 [-5 - (-5)] = -11.6;$$

$$A = \frac{230^2 (12.91 \cdot 10^{-3})^2 8450}{24} = 3100;$$

$$\sigma_{II}^2 (\sigma_{II} + 11.6) = 3100; \quad \sigma_{II} = 11.6 \text{ кг / мм}^2$$

III сочетание (скоростной напор - q ; $\Theta = -5^\circ \text{C}$; гололёда нет)

$$\gamma_n \rightarrow \gamma_6; \theta_n \rightarrow -5^\circ \text{C}$$

$$\gamma_m \rightarrow \gamma_7; \theta_m \rightarrow -5^\circ \text{C}$$

$$\sigma_m = \sigma_r = \sigma_I = 12.2 \text{ кг / мм}^2. \quad (\text{то же}).$$

$$B = -11.6 \quad (\text{то же}); \quad A = 741;$$

$$\sigma_{III}^2 (\sigma_{III} + 11.6) = 741; \quad \sigma_{III} = 6.4 \text{ кг / мм}^2.$$

IV сочетание (гололёда и ветра нет; среднегодовая температура - Θ_C).

В нашем примере $\Theta_C = +5^\circ \text{C}$.

$$\gamma_n \rightarrow \gamma_1; \theta_n \rightarrow +5^\circ \text{C}$$

$$\gamma_m \rightarrow \gamma_7; \theta_m \rightarrow -5^\circ \text{C}$$

$$\sigma_m = \sigma_r = \sigma_I = 12.2 \text{ кг / мм}^2. \quad (\text{то же}).$$

$$A = 233; B = -13.2; \sigma_{IV}^2 (\sigma_{IV} + 13.2) = 233; \sigma_{IV} = 3.75 \text{ кг / мм}^2.$$

V сочетание ($\Theta_C = +5^\circ \text{C}$; ветра и гололёда нет).

$$\gamma_n \rightarrow \gamma_1; \theta_n \rightarrow +15^\circ \text{C}$$

$$\gamma_m \rightarrow \gamma_7; \theta_m \rightarrow -5^\circ \text{C}$$

$$\sigma_m = \sigma_r = \sigma_I = 12.2 \text{ кг / мм}^2. \quad (\text{то же}).$$

$$A = 233 (\text{то же}); B = -14.8; \sigma_V^2 (\sigma_V + 14.8) = 233; \sigma_V = 3.5 \text{ кг / мм}^2.$$

VI сочетание (Θ_H - режим низшей температуры; ветра и гололёда нет).

$$\gamma_n \rightarrow \gamma_1; \theta_n \rightarrow -40^\circ \text{C}$$

$$\gamma_m \rightarrow \gamma_7; \theta_m \rightarrow -5^\circ \text{C}$$

$$\sigma_m = \sigma_r = \sigma_I = 12.2 \text{ кг / мм}^2. \quad (\text{то же}).$$

$$A = 233 (\text{то же}); B = 6.25; \sigma_{VI} = 4.7 \text{ кг / мм}^2.$$

VII сочетание (Θ_B - режим высшей температуры; ветра и гололёда нет).

$$\gamma_{\pi} \rightarrow \gamma_1; \theta_{\pi} \rightarrow +40^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma_{\pi} \rightarrow \gamma_7; \theta_{\pi} \rightarrow -5^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{\pi} = \sigma_I = \sigma_{II} = 12.2 \text{ кг/мм}^2. \text{ (то же).}$$

$$A = 233(\text{то же}); B = 8.35; \sigma_{VII} = 3.25 \text{ кг/мм}^2.$$

Теперь можно определить стрелы провеса. Нас интересует (для правильного выбора высоты опоры) наибольшая стрела провеса.

Наибольшая стрела провеса может быть в двух вероятных случаях: при гололёде (наибольшая нагрузка) без ветра; при меньшем напряжении в проводе при первой удельной нагрузке (γ_1), то есть при высших температурах.

1. Определим стрелу провеса при гололёде без ветра (нет горизонтального отклонения проводов) – вероятное условие наибольшей стрелы провеса. В нашем примере (по таблице, см. теорию) определяем удельную нагрузку γ_3 (II сочетание климатических условий).

Напряжение, по которому проводим расчёт берём также из II сочетания климатических условий по предыдущему расчёту.

$$\gamma_3 = 12.91 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2; \sigma_{II} = 11.6 \text{ кг/мм}^2.$$

$$f = \frac{l^2 \gamma}{8 \sigma_0}; f = \frac{230^2 \cdot 12.91 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 11.6} = 7.35 \text{ м}$$

2. Определим стрелу провеса при наименьшем напряжении в проводе, режиме наивысших температур – также вероятное условие наибольшей стрелы провеса.

Это VII сочетание климатических условий.

$$\gamma_1 = 3.56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{мм}^2; \sigma_{VII} = 3.25 \text{ кг/мм}^2.$$

$$f = \frac{230^2 \cdot 3.56 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 3.25} = 7.24 \text{ м}$$

Из этих двух вероятных наибольших стрел провеса наибольшей получилась стрела провеса при II сочетании климатических условий.

Итак, $f_{\text{хб}} = 7.35 \text{ м}$.

При других сочетаниях стрела провеса меньше.

Зная стрелу провеса можно выбрать стандартизованную опору по высоте.

1.3.3. Результаты расчёта

Результаты расчёта оформляются таблицей Excel с указанием заданных пролётов, второго критического пролёта, тяжениями, напряжениями и стрелами провеса в заданных режимах внешних воздействий.

Приведённая нагрузка, даН/м·мм ² (Н/м·мм ²)						
Температура, °С						
Гололёд, мм						
Ветер, м/с						
Пролёт, м	Режим	1	2	3	...	17
L2кр.	Тяжение, даН (кН)					
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)					
	Стрела провеса, м					
L1	Тяжение, даН (кН)					
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)					
	Стрела провеса, м					
...	Тяжение, даН (кН)					
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)					
	Стрела провеса, м					
Ln	Тяжение, даН (кН)					
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)					
	Стрела провеса, м					

1.3.3.1. Шаблоны для расстановки опор по профилю. Кривые провисания.

Для построения шаблонов или кривых провисания проектировщику предлагается, что ему необходимо и, в зависимости от его выбора запрашивается:

- **А.** Для шаблонов: величина габаритного (приведённого) пролёта, высота подвески нижнего провода, требуемый габарит, запас, требуемый масштаб и режим (гололёд или максимальная температура).
- **Б.** Для кривых: масштаб, величина пролёта и температура (без гололёда).

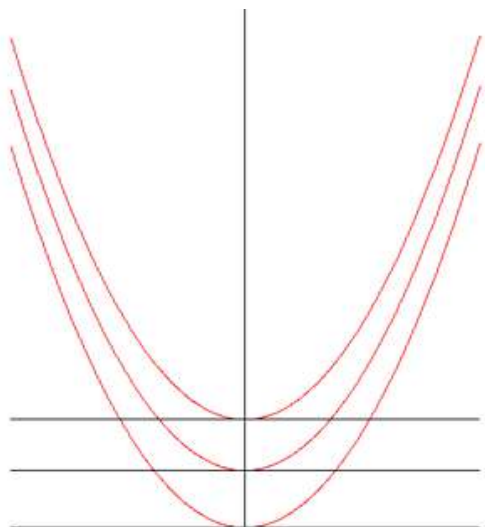
Выполняется расчёт по программе для определения при выбранном режиме напряжения в материале провода, троса самонесущего кабеля для построения шаблона или кривой для указанного габаритного или приведённого пролёта.

Кривая провисания провода:

$$y = \frac{\gamma_1 \cdot x^2}{2\sigma} = k_w \left(\frac{x}{100} \right)^2.$$

Подставляем значения точек x и y в заданном масштабе строим кривую провисания провода.

Разместив такую же кривую ниже на габарит и запас получим так называемую «габаритную» кривую.



Ещё одну кривую разместим ещё ниже на высоту подвески минус габарит с запасом, получим «земляную» кривую.

Расстояние от верхней до нижней кривой в любой точке даёт высоту подвески нижнего провода.

Таким же образом могут быть построены кривые провисания провода при разных температурах (без 2 и 3 кривой).

Рядом выводится краткая характеристика шаблона, кривой.

1.3.3.2. Форма Excel для вывода результатов

Таблицы исходных данных

Климатические условия		
Температура максимальная		°C
Температура минимальная		°C
Среднегодовая температура		°C
Температура при максимальном ветре		°C
Температура при гололёде без ветра		°C
Температура при гололёде с ветром		°C
Максимальная скорость ветра		м/с
Скорость ветра при гололёде		м/с
Толщина стенки гололёда		мм
Расчётные данные		
Марка провода, троса, самонесущего кабеля		
Минимальный пролёт		м
Максимальный пролёт		м
Шаг		м

Допускаемые напряжения		
Максимальное допускаемое напряжение		даН/мм ² (Н/мм ²)
Напряжение при среднегодовой температуре		даН/мм ² (Н/мм ²)
Допускаемые тяжения		
Максимальное допускаемое тяжение		даН (кН)
Тяжение при среднегодовой температуре		даН (кН)

Если заданы допускаемые напряжения – рассчитываются тяжения.
И наоборот.

Коэффициенты надёжности к нормативным нагрузкам	
К ветровым нагрузкам	
Ответственности	1,00
Региональный	1,00
Надёжности	1,00
К гололёдным нагрузкам	
Ответственности	1,00
Региональный	1,00
Надёжности	1,00
Условий работы	1,00

Характеристика провода, троса, кабеля	
Диаметр, мм	
Сечение, мм ²	
Погонный вес (нагрузка), кг/м	
Модуль упругости, даН/мм ² (кН/мм ²)	
КТЛР, 1/К	

Критические пролёты, м	
Первый критический пролёт	
Второй критический пролёт	
Третий критический пролёт	

Уточнение климатических параметров	
Тип местности	А
Высота приведённого центра тяжести проводов, тросов, кабеля, средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м	15

Критические пролёты – результат расчёта.

Таблица результатов расчётов значений тяжений, напряжений, стрел провеса в нагрузочных, габаритных, монтажных и других режимах

Приведённая нагрузка, даН/м·мм ²																		
Температура, °С																		
Гололёд, мм																		
Ветер, м/с																		
Пролёт, м	Режим	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Тяжение, даН (кН)																	
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)																	
	Стрела провеса, м																	
	Тяжение, даН (кН)																	
	Напряжение, даН/мм ² (Н/мм ²)																	
	Стрела провеса, м																	

1.4. Литература

1. Руководящие указания по расчёту проводов тросов воздушных линий электропередачи. ОРГРЭС, 1965.
2. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи.
3. Бошнякович А.Д. Механический расчёт проводов и тросов линий электропередачи.
4. Правила устройства электроустановок, издание 6.
5. Правила устройства электроустановок, издание 7.
6. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Минтопэнерго РФ, РАО ЕЭС, Госкомсвязи РФ. 1998 г.
7. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4-35 кВ. Минэнерго РФ, Министерство РФ по связи и информатизации, 2002 г.
8. Правила подвески и монтажа самонесущего волоконно-оптического кабеля на опорах контактной сети и высоковольтных линий автоблокировки (утв. МПС РФ 16.08.1999 № ЦЭ/ЦИС-677).
9. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе. Приложение к распоряжению ОАО РАО «ЕЭС России» и ОАО «ФСК ЕЭС» от 25.10.2006 № 270р / 293р

2. Описание применения

2.1. Общие указания пользователю

Программа LineMech выполняет классический механический расчёт проводов, тросов и самонесущих изолированных проводов и кабелей линий электропередачи и связи. Все расчёты можно хранить во внутренней базе данных пользователя.

Расчёт производится по методу допускаемых напряжений (тяжений) при условии обеспечения определенного запаса прочности. Согласно ПУЭ, вместо запаса прочности на практике используются допускаемые напряжения (тяжения), данные в долях или процентах от предела прочности.

Расчёт производится исходя из данных о климатических условиях (РКУ), задаваемых напряжений (тяжений) в несущем материале провода, троса, самонесущего кабеля.

Представленные в расчётах значения критических пролётов не всегда имеют физический смысл, иногда принимают значение мнимой величины, не имеют смысла. Применяются для определения расчётного режима. Подробности в литературе и описании программы.

Расчёт выводится в таблицах MS Excel для распечатки и оформления в проектной документации в разделе «Обосновывающие материалы и подлинники расчётов».

В LineMech с применением CAD или другого графического пакета производится построение шаблонов для расстановки опор и последующего контроля по реальной расстановке, а также кривых провисания проводов, тросов и самонесущих кабелей при различных температурах для габаритных и приведённых пролётов.

Справочник проводов, тросов, самонесущих кабелей, ранее содержавший только гостированные их типы, по просьбе пользователей дополнен негостированными марками, внесёнными, в основном, для ориентировки в значениях задаваемых характеристик.

Предупреждение!

Данные по негостированным проводам (в том числе СИП), тросам, самонесущим кабелям отличаются у разных заводов-изготовителей, выпускающих их по собственным ТУ, изменяются со временем, поэтому эти данные должны быть проверены, согласованы непосредственно для каждого проекта с заводом – изготовителем.

Программа позволяет выполнить обосновывающие расчёты как для нового строительства, так и для реконструкции, используя как требования ПУЭ-7, так и более ранних изданий.

Для расчёта существующих ВЛ необходимо использовать повторяемость климатических условий, используемую при их проектировании.

Расчётная часть программы использовалась при проектировании с 1985 года, начиная с ЭВМ СМ-4.

Программа рассчитана на пользователей, регулярно занимающихся проектированием воздушных линий связи и электропередачи.

Предупреждение: От достоверности исходных данных для расчёта (см. ПУЭ) и правильности внесённых в справочник характеристик проводов, тросов и кабелей зависит конечный результат!

Применительно к имеющимся в справочнике проводам, тросам, кабелям не может быть рассчитан какой-либо другой провод, трос, кабель. Расчёт будет нереален.

2.2. Ограничения программы

Расчёты производятся для любого подвешиваемого линейного материала (гибкая нить, цепь, провод, трос, канат, самонесущий кабель, кабель подвешенный на отдельном тросе и т.п.). Достоверность результатов определяется правильностью задания исходных данных. Сечение несущей части провода, троса, кабеля не может быть определено по внешнему диаметру, кроме случаев заполнения несущими материалами полностью по всему диаметру.

Длина пролёта при построении кривых в LineMech ограничена. В некоторых случаях, в особенности, когда низшая точка провисания провода находится в соседнем пролёте, удобнее, для получения кривой провисания, воспользоваться программой LineCross. Это также необходимо при решении вопроса перевески изоляторов в натяжной гирлянде юбками в сторону крепления гирлянды, а не в сторону пролёта.

Число исследуемых пролётов в одном расчёте – 600. Первый расчёт – для значения второго критического пролёта.

В пролётах более 600 метров точность расчёта снижается с увеличением длины пролёта. При тестировании программы производилось сравнение с расчётом пролёта большого перехода 1000 м. Разность в стрелах провеса при расчёте по нашей программе в сравнении со специализированным расчётом – несколько сантиметров.

Внимание! Согласовывайте характеристики негостированных проводов, тросов, самонесущих кабелей с заводами-изготовителями.

2.3. Место расчёта в проекте

Расчёт предназначен для определения проектом допускаемых напряжений (тяжений) в материале провода, троса, самонесущего кабеля с учётом несущей способности самого провода, троса, самонесущего кабеля, с учётом несущей способности конструкций, к которым подвешиваются провода, тросы, самонесущие кабели.

В результатах расчётов представлены значения погонных, приведённых нагрузок для последующей оценки проектировщиком нагрузок на несущие конструкции (опоры, порталы и т.п.) от тяжения проводов, тросов, самонесущих кабелей при различных воздействиях климатических условий.

Расчёт по данной программе обычно не представлен в проекте, он должен храниться в материалах проекта, в томе «Обосновывающие материалы и подлинники расчётов», не выдаваемом заказчику.

В самом проекте обычно делается следующая запись: «Проектом принято максимальное допускаемое напряжение в проводе ... (при наибольшей нагрузке и низшей температуре) 11.4 даН/мм^2 (114.0 Н/мм^2), при среднегодовой температуре 8.5 даН/мм^2 (85 Н/мм^2)». Принятое максимальное допускаемое напряжение может быть разным для разных участков трассы.

Для самонесущих кабелей связи удобнее пользоваться допускаемыми нагрузками (тяжениями), что реализовано в программах.

Если эти значения равны максимальным для провода, троса, самонесущего кабеля по ПУЭ, ГОСТ, ТУ, возникает вопрос: не превышено ли тяжение на опоры, нет ли запаса по габариту?

Проектировщик имеет право снизить эти значения до оптимальных.

Распространённая ошибка в проектах: натяжение провода, троса, самонесущего кабеля с максимальными усилиями, разрешёнными ПУЭ, ГОСТ, ТУ на эти провода, тросы, самонесущие кабели, иногда забывая про несущие способности конструкций, к которым они крепятся.

Зачастую проектировщик грузит конструкции линии, не давая никакого запаса на возможное ухудшение внешних климатических воздействий, даже имея запас по габариту много более 0.5 м (обычный проектный запас).

Для кабелей ВОЛС допускаемые нагрузки (тяжения) подбираются как можно более сниженными по сравнению с паспортными данными на кабель, тем более при подвеске на существующих ВЛ, где нагрузка от них первоначально не была предусмотрена.

Принятые проектом допускаемые напряжения (тяжения) используются далее в расчётах габаритов пересечений, монтажных тяжений и стрел провеса. Во всех дальнейших расчётах по проекту используются одинаковые значения климатических условий, уточнений климатических параметров, коэффициентов надёжности, напряжений (тяжений). Для ускорения и с целью устранения ошибок, в других программах предусмотрен импорт этих данных из файлов исходных данных программы LineMech.

Для первоначального расчёта выбирается наименьшее из максимальных допускаемых напряжений (тяжений) с учётом:

- допускаемых напряжений (тяжений) согласно ПУЭ, ГОСТ, ТУ на провода, тросы, самонесущие кабели;
- допускаемых тяжений на несущие конструкции (опоры, порталы, заделки в стенах и т.п.);
- дополнительных данных завода-изготовителя (известны случаи изменения заводом-изготовителем характеристик неГОСТИрованных самонесущих изолированных проводов, кабелей ВОЛС, о чём завод обычно предупреждает, но у проектировщика могут оказаться устаревшие ТУ). Рекомендуются запрашивать данные для каждого проекта.

Первоначальный расчёт выполняется на диапазон возможных пролётов с шагом изменения пролёта 5-10-25 метров с целью первоначальной оценки габаритов над землёй при выбранных высотах подвески. Высота подвески принимается в зависимости от потребности для согласованных для строительства опор типовых проектов или массовых опор существующих ВЛ.

При уточнении данных по габаритным и приведённым пролётам расчёты выполняются с шагом пролёта 1 м.

Выбор режимов для расчёта производится запросом у пользователя для двух вариантов: все режимы (17); «габаритные» режимы (2, 7).

При проектировании ВОЛС ВЛ необходимо иметь расчёты для проводов существующей ВЛ и для кабеля проектируемой ВОЛС с целью сопоставления стрел провеса и подбора оптимального максимального допускаемого тяжения в самонесущем ВОК (ОКСН или ОКГТ).

Как правило, в малых пролётах, при расчётах всех режимов, оказываются совсем незначительные стрелы провеса, в том числе в монтажных режимах. Это говорит о том, что после первоначальной расстановки опор, после расчёта приведённых пролётов, нужно будет принять решения об окончательно принимаемых в проекте максимальных допускаемых напряжениях (тяжениях), разных для анкерных участков линии.

Особенно это необходимо при применении самонесущих диэлектрических ВОК (ОКСН) с малым коэффициентом температурного линейного расширения и незначительным модулем упругости. Для них стрелы провеса в малых пролётах в монтажных режимах менее 0.5 метра просто недопустимы.

Следующими расчётами уточняется диапазон расчёта пролётов с шагом 1 метр.

Приведённая нагрузка, даН/м·мм²		0,0093	0,0033
Температура, °С		-10	40
Гололёд, мм		15	0
Ветер, м/с		0,0	0,0
Пролёт, м	Режим	2	7
253,00	Тяжение, даН	2681	935
	Напряжение, даН/мм ²	9,73	3,39
	Стрела провеса, м	7,65	7,89
254,00	Тяжение, даН	2680	934
	Напряжение, даН/мм ²	9,72	3,39
	Стрела провеса, м	7,71	7,96
255,00	Тяжение, даН	2679	934
	Напряжение, даН/мм ²	9,72	3,39
	Стрела провеса, м	7,78	8,02
256,00	Тяжение, даН	2678	934
	Напряжение, даН/мм ²	9,71	3,39
	Стрела провеса, м	7,84	8,09
257,00	Тяжение, даН	2677	934
	Напряжение, даН/мм ²	9,71	3,39
	Стрела провеса, м	7,91	8,15
258,00	Тяжение, даН	2676	934
	Напряжение, даН/мм ²	9,71	3,39
	Стрела провеса, м	7,97	8,22

Расчёт может быть выполнен вначале только для «габаритных» режимов (2 и 7), чтобы проще сориентироваться для определения режима, при котором принимается габаритный пролёт. Это режим наибольшей стрелы провеса, или 2-й – гололёд без ветра, или 7-й режим – максимальной температуры без ветра. Для ОКСН (диэлектрические кабели), как правило, определяющим на территории РФ, имеющим большую стрелу провеса, является режим при гололёде без ветра.

В зависимости от высоты подвески проводов, кабелей, обеспечения габарита над землёй определяется значение **габаритного пролёта**, о чём выполняется запись в проекте, уточняются значения весового и ветрового пролётов.

Для детального рассмотрения поведения провода, троса, самонесущего кабеля в нагрузочных, расчётных, габаритных, монтажных режимах выполняется «Расчёт всех режимов», что заложено в программе «по умолчанию». Перечень режимов приведён в описании программы.

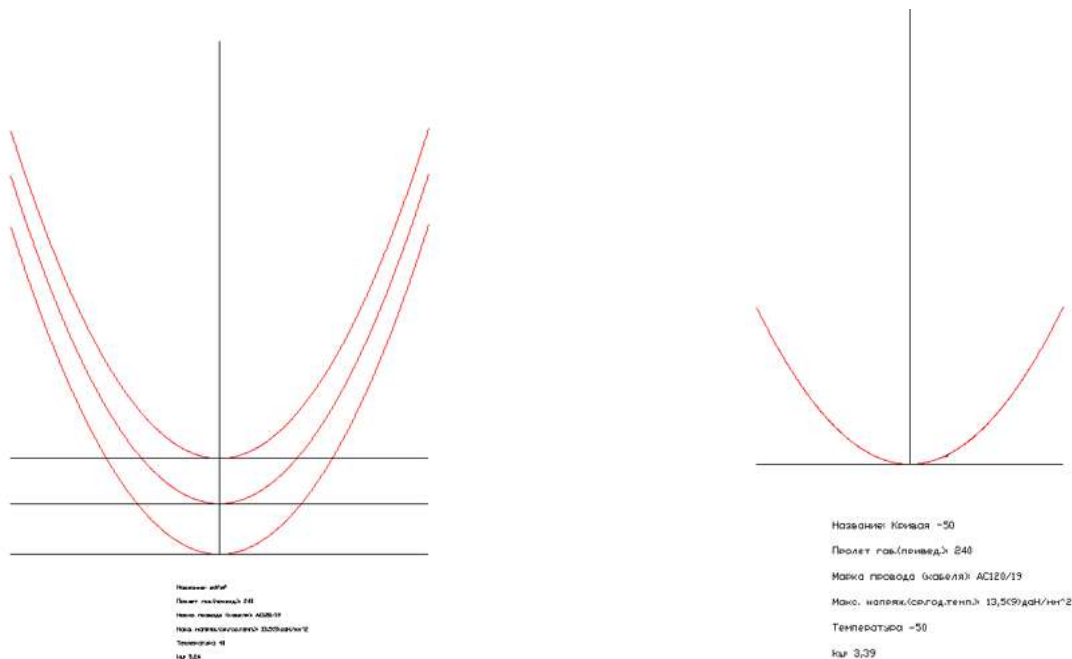
В результатах расчётов представлены значения погонных, приведённых нагрузок для последующей оценки проектировщиком нагрузок на несущие конструкции (опоры, порталы и т.п.) от тяжения проводов, тросов, самонесущих кабелей при различных воздействиях климатических условий.

Номера нагрузок	Нагрузки	Погонные нагрузки, даН/м (Н/м)	Приведённые нагрузки, даН/м·мм ² (Н/м·мм ²)
1	От веса провода		
2	От веса гололеда		
3	От веса провода с гололёдом		
4	Давление на провод ветра		
4а	при грозových и внутр. перенапряжениях, не менее		
4б	при грозových и внутренних перенапряжениях		
5	Давление ветра при гололёде		
6	От веса провода и давления ветра		
6а	при грозových и внутр. перенапряжениях, не менее		
6б	при грозových и внутренних перенапряжениях		
7	От веса провода, гололёда и давления ветра		

В LineMech с применением CAD или других графических пакетов производится построение шаблонов для расстановки опор и последующего контроля по реальной расстановке, а также кривых провисания проводов, тросов и самонесущих кабелей при различных температурах для габаритных и приведённых пролётов.

Шаблоны для расстановки опор и для последующего контроля, как и расчёт по данной программе обычно не представлены в проекте, они должны храниться в материалах проекта, в томе «Обосновывающие материалы и подлинники расчётов» в архиве проектной организации.

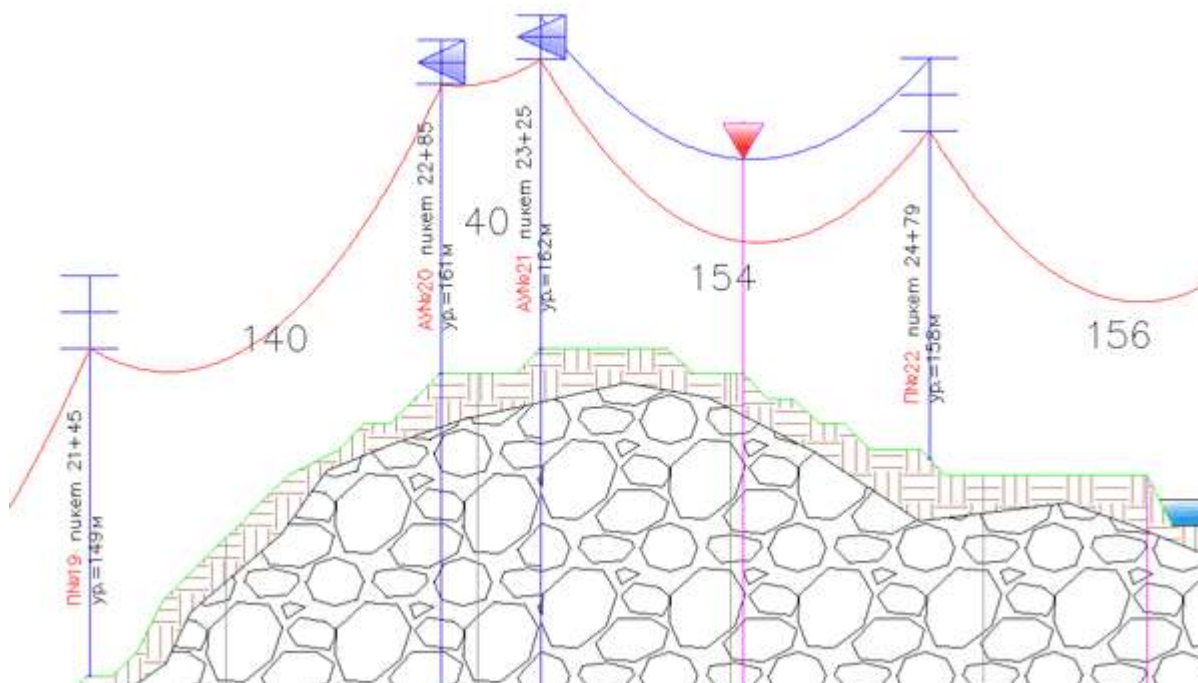
Шаблоны и кривые могут быть распечатаны на прозрачной плёнке для работы на бумажном профиле или записаны блоком и использованы в электронном виде для профилей в CAD или других графических пакетах при применении обменного формата dxf и соблюдении масштабов.



С помощью шаблона выполняется предварительная первоначальная расстановка опор по профилю.

Кривые провисания используются для оценки габаритов пересечений при разных температурах и устойчивости гирлянд изоляторов, а также усилий на вырывание при креплении проводов на штыревых изоляторах и кабелей в подвесных зажимах при низших температурах.

Закончено выглядят профили трасс ВЛ с кривыми провисания, необходимыми в пролётах в конкретных случаях, габаритными, при низшей температуре, при температурах обеспечения габарита с пересечением и т.п.



После первоначальной расстановки опор появляется возможность выполнить расчёт приведённых пролётов на анкерных участках и уточнить кривые шаблонов для разных анкерных участков. Основываясь величиной приведённого пролёта и расчётом по программе LineMech, строятся новые шаблоны, и с их помощью выполняется контроль расстановки опор по профилю. Контроль расстановки опор требуется не всегда, зависит от соотношения приведённого пролёта с критическим пролётом (см. учебную литературу).

В результате расстановки опор значения приведённых пролётов в анкерных участках могут оказаться меньше габаритных. Если при этом обеспечивается запас габарита, имеет смысл снизить максимальное допускаемое напряжение в проводе. Любое снижение максимального допускаемого напряжения в проекте приведёт к повышению безаварийности ВЛ. Последние документы по проектированию ВЛ рекомендуют относиться к каждому анкерному участку как к проектированию отдельной линии. На отдельной линии могут быть приняты проектом несколько участков с разными максимальными допускаемыми напряжениями.

Принятые проектом допускаемые напряжения (тяжения) используются далее в расчётах габаритов пересечений, монтажных тяжений и стрел провеса. Во всех дальнейших расчётах по проекту используются одинаковые значения климатических условий, уточнений климатических параметров, коэффициентов надёжности, напряжений (тяжений).

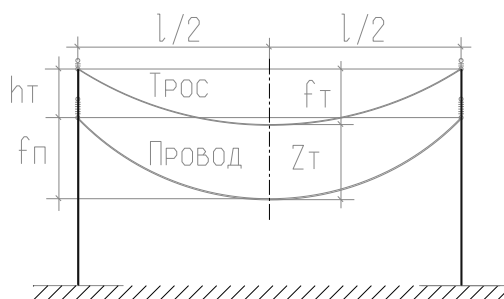
Пользуясь расчётом по режиму 5 программы LineMech (ветра нет, гололёда нет, температура +15°C) появляется возможность подобрать допускаемое напряжение в грозозащитном тросе, обеспечивая допускаемое расстояние между проводом и тросом в габаритном пролёте согласно ПУЭ (табл. 2.5.16.) с целью снижения нагрузок от троса на тросостойки и опоры. В других пролётах проверяется соблюдение расстояний между проводом и тросом не менее чем на опорах.

На выбранное допускаемое напряжение (тяжение) в тросе выполняется полноценный контрольный механический расчёт по программе LineMech. Об выбранном допускаемом напряжении в тросе сообщается в проекте. Выбранное допускаемое напряжение (тяжение) в тросе используется далее в программах расчёта пересечений и монтажных тяжений и стрел провеса провода и троса, где дополнительно может быть проконтролировано и уточнено.

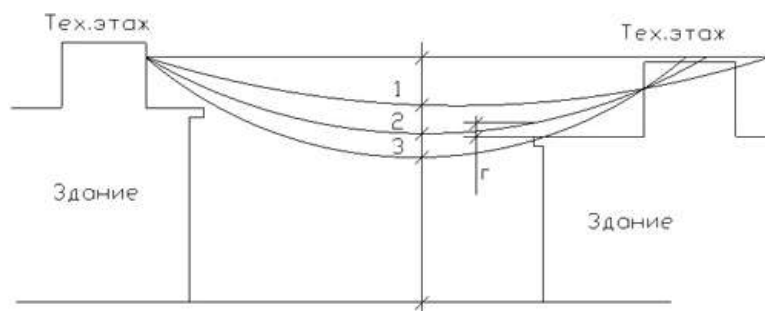
Эти же действия выполняются при подвеске ОКГТ или замене обычного грозозащитного троса на ОКГТ.

Длина пролёта, м	100	150	200	300	400	500	600
Наименьшее расстояние между тросом и проводом по вертикали, м	2.0	3.2	4.0	5.5	7.0	8.5	10

Подробности и продолжение таблицы - в ПУЭ.



Кроме использования программы для обоснований ВЛ или ВОЛС ВЛ расчёты могут быть произведены для отдельно подвешиваемой ВОЛС, либо с использованием самонесущего кабеля связи, либо ОК, подвешиваемого на стальном несущем тросе.



В данном случае ВОК может быть правильно подвешен после подбора тяжения (напряжения) с помощью построенных в LineMech кривых и полностью обоснован программой расчёта пересечений LineCross.

При самостоятельной подвеске ВОК, не на опорах ВЛ электропередачи, подход к проектированию аналогичен подвеске проводов ВЛ и ОКСН (ВОЛС ВЛ) со снятием некоторых ограничений, в том числе по конструктивному исполнению кабеля. В этом случае требуется соблюдение габаритов собственно кабеля с землёй и пересекаемыми сооружениями. Расчёты те же. При невозможности подвески самонесущего кабеля в некоторых отдельных пролётах по длине или по габариту, в этих пролётах возможна подвеска кабеля на стальном тросе. Расчёт таких участков отдельный, не по марке кабеля, а по стальному тросу с кабелем. При этом сам кабель не понесёт нагрузки, а расчёты будут выполняться по несущей способности стального троса (в справочнике учитывать сечение, модуль упругости и КТЛР только троса, эквивалентный диаметр и вес погонного метра троса и кабеля вместе). Не потребуется замена на более дорогой кабель с большей допустимой растягивающей нагрузкой.

Итак, результат использования возможностей программы LineMech: для ВЛ – выполненная проектировщиком расстановка опор по профилю для уточнения расстановки и типов опор программой пересечений LineCross; для ВОЛС, ВОЛС ВЛ – обоснование допускаемых тяжений (напряжений) по участкам трассы, при наличии профилей – кривые провисания ОК в пролётах ВЛ или самостоятельной подвеске при необходимых температурах и нагрузках.

Ограничиваясь только применением программы LineMech, при наличии достаточного времени на выполнение проекта, формирование шаблона для расстановки опор, расчёты приведённых пролётов, расчёты габаритов пересечений, расчёты монтажных тяжений и стрел провеса можно произвести «вручную». Для этого в литературе и на странице нашего сайта [«Теория и практика»](#) приведены необходимые сведения.

2.3.1. Ещё раз про ‘ВОЛС ВЛ’

Самонесущие оптоволоконные кабели связи выпускаются заводами изготовителями по ТУ, в которых представлены допускаемые нагрузки (тяжения) на кабели. Нет понятия напряжений на 1 мм² сечения (тяжение поделить на сечение). Чтобы не вызывать лишнего непонимания, во все исходные данные программ внесены понятия допускаемых тяжений (нагрузок).

Длительно допустимая растягивающая нагрузка (тяжение) на кабель по ТУ является для программ основанием (при снижении) для определения допускаемого максимального напряжения (тяжения) по конкретному проекту.

При этом площадь поперечного сечения кабеля принимается по элементам (сечение твёрдой части кабеля).

Вторая величина для программ – допускаемое напряжение (тяжение) при среднегодовой температуре, среднеэксплуатационное. Принимается в процентах (особая точность не нужна) от разрывного усилия (см. Правила) или примерно 60 % от допускаемой длительной растягивающей нагрузки.

Кроме этих двух величин тяжений (напряжений) для расчётов ничего не нужно.

В характеристиках кабелей заводами-изготовителями иногда указывается максимальная нагрузка при монтаже. Это величина, которую контролируют по окончательным расчётам монтажных тяжений (программа LineMount).

Обычно нагрузки при монтаже ниже, так как наша задача минимизировать нагрузки на опоры, снижая допускаемые тяжения при сопоставлении монтажных стрел провеса провода ВЛ и самонесущего кабеля связи (программа LineMount, первая при расчётах ВОЛС ВЛ). Монтажные стрелы провеса кабелей связи должны быть не более стрел провеса проводов ВЛ при большинстве температур монтажа.

Трудно сопоставить стрелы провеса кабеля связи и провода ВЛ при гололёде (2 режим расчёта; ветра нет, гололёд, температура при гололёде согласно ПУЭ, -5 или -10 градусов). Для кабеля

связи проверка стрел провеса при гололёде ограничивается допустимым габаритом до земли (эта программа) или пересекаемого сооружения (программа LineCross). Возможно учитывать смягчающие условия по габариту при гололёде, недоступность местности, а также редкую повторяемость гололёда, которая обычно не превышает одного, двух дней в году.

2.4. Исходные данные

2.4.1. Требования к характеристикам проводов, тросов и самонесущих кабелей для внесения в справочник программ

Характеристики неизолированных проводов, тросов и самонесущих кабелей принимаются по ГОСТ, ТУ, ПУЭ, самонесущих изолированных проводов, кабелей запрашиваются у завода - изготовителя или принимаются по ТУ, ПУЭ:

1. Диаметр, мм - внешний диаметр провода, троса, самонесущего изолированного провода, кабеля вместе с изоляцией. Для скрученного из изолированных жил самонесущего провода - общий внешний, эквивалентный диаметр. Испытывает воздействие ветра и образование гололёда.
2. Сечение, мм² - площадь поперечного сечения несущей, силовой части конструкции провода, троса, для самонесущего изолированного провода - сечение только несущей жилы, для самонесущего кабеля – сечение твёрдой части. Для расчётов воздух между проволоками свивки, смазка и другие подобные материалы из сечения исключаются. Испытывает тяжение, приложенное к проводу, тросу, несущей части самонесущего изолированного провода, кабеля от собственного веса, натяжения, воздействия ветра, гололёда, изменения температуры.
3. Погонный вес, кг/м - вес одного метра провода, троса, всего самонесущего изолированного провода, кабеля. 1 кг=0,981 даН=9,81 Н (округление до 1 даН, 10 Н на результаты практически не влияет).
4. Модуль упругости провода, троса, самонесущего изолированного провода (по несущей жиле), для кабеля – по данным испытаний, приведённое к сечению твёрдой части кабеля, конечный, даН/мм² (кН/мм²) - 1,0 гПа=1000000000 Па=1,0 кН/мм²=100 даН/мм².
5. Коэффициент температурного линейного расширения, 1/К - изменение длины провода, троса, самонесущего изолированного провода, кабеля при изменении температуры на 1 градус. Для самонесущих изолированных проводов - по материалу несущей жилы, для кабелей – по данным испытаний. Для ввода в справочник программ 0,000002 соответствует 2x10-6 (2.0E-6).

Провода, тросы, кабели в справочнике

Провода, тросы, кабели, внесённые в справочник, разбиты на группы:

1. Неизолированные провода по ГОСТ 839-80*Е.
2. Неизолированные провода по ТУ3511-001-40914170-2012.
3. Неизолированные провода по ТУ16-707.183-81.
4. Самонесущие изолированные провода (СИП).
5. Стальные провода, тросы, канаты.
6. Самонесущие волоконно-оптические кабели (ОКСН, ОКГТ и др.).
7. Прочие (пользователь может сделать расчёт для любого линейного материала с известными характеристиками).

2.4.2. Требования к данным климатических условий, запрашиваются на метеостанциях

1. Гололёд, мм - согласно данным метеостанций, если данных нет - руководствоваться картами и рекомендациями ПУЭ ([2.5.46 - 2.5.47](#), [Таблица 2.5.3](#)). Повторяемость – 1 раз в 25 лет.
2. Температуры максимальная, минимальная (это не температура самой холодной пятидневки), среднегодовая - данные метеостанций. Это температуры абсолютные с повторяемостью 1 раз в 25 лет.
Внимание! Если нужно учесть температуру дополнительного нагрева проводов электрическим током и от солнечной радиации - корректируйте максимальную температуру.
3. Температуры при гололёде и при максимальном ветре принимаются согласно ПУЭ. В некоторых случаях температура при гололёде с ветром равна -10°C (данные метеостанций).
4. Максимальная скорость ветра, м/с - повторяемостью 1 раз в 25 лет и скорость ветра при гололёде (формула пересчёта с ветрового давления приведена в ПУЭ [п.2.5.41](#)) принимаются согласно данным метеостанций, при их отсутствии - согласно картам и рекомендациям ПУЭ ([п.п.2.5.39 - 2.5.43](#), [Таблица 2.5.1](#)).

2.4.3. Нормативные ветровые и гололёдные нагрузки

Нормативные ветровые и гололёдные нагрузки определяются с учётом коэффициентов к базовым (данные метеостанций) значениям ветра и гололёда.

Часть значений коэффициентов, зависящих от уже введённых исходных данных, автоматически учитывается в программе (неравномерность ветра по пролёту, лобовое сопротивление и т.п.), часть коэффициентов определяется программой после уточнения пользователем типа местности и высоты приведённого центра тяжести, указываемых в таблице исходных данных под кнопкой программы «Уточнение климатических параметров». Здесь же учитывается коэффициент на гололёдную нагрузку в зависимости от диаметра провода, троса, кабеля.

Под кнопкой «Уточнение климатических параметров», по умолчанию, указывается тип местности А и высота приведённого центра тяжести до 15 метров (коэффициенты на ветер и гололёд, равные 1.0).

2.4.4. Коэффициенты надёжности к нормативным ветровым и гололёдным нагрузкам

По умолчанию, согласно [2.5.11. ПУЭ-7](#), при отсутствии данных, принимаются равными 1.0. Если произведение коэффициентов по ветру или по гололёду ниже 1.0, программой выдается предупреждение:

«Расчётные нагрузки ниже нормативных, продолжать расчёт?»

Применение коэффициентов надёжности согласовывается с заказчиком.

Уточнение климатических параметров и Коэффициенты надёжности задаются отдельно под своей кнопкой. Если их не корректировать, в них, по умолчанию, учитываются коэффициенты, равные 1.0.

Эту кнопку можно было бы обозначить «ПУЭ-7», так как без её применения расчёт будет по базовой теории ([2.5.44](#), [2.5.49](#)), независимо от ПУЭ-6 или 7, ПУЭ Украины или Казахстана.

Возможно, в некоторых случаях, пользователю потребуется самостоятельно изменять базовые (по данным метеостанций) значения ветра и гололёда, например, применяя требования старых ПУЭ, проверяя старый расчёт. В таком случае, не меняя данных под кнопкой «Уточнение климатических параметров. Коэффициенты надёжности», можно получить требуемый расчёт.

Для контроля, значения коэффициентов надёжности, а также указанные пользователем тип местности и высота приведённого центра тяжести, отражены в распечатке исходных данных вместе с результатами расчётов.

Базовые значения ветра, гололёда приводятся в первой таблице исходных данных (Климатические условия).

В главной таблице расчёта тяжений, напряжений и стрел провеса по пролётам в характеристиках режимов приводятся значения ветра, гололёда с учётом коэффициентов на высоту приведённого центра тяжести по типу местности.

Применение пользователем коэффициентов надёжности и автоматический учёт программой всех других коэффициентов отражаются на значениях погонных и приведённых нагрузок в результатах расчётов.

2.4.5. Требования к задаваемым максимальным напряжениям, тяжениям

1. Максимальное допускаемое напряжение, даН/мм^2 (Н/мм^2) - напряжение в материале провода, троса, несущей части конструкции самонесущего изолированного провода, кабеля, задаваемое проектировщиком для расчётов и принимаемое в проекте.

Напряжение, даН/мм^2 (Н/мм^2) – это тяжение (нагрузка), даН (Н), делённое на несущее сечение, мм^2 , провода, троса, самонесущего изолированного провода, самонесущего кабеля связи.

2. Максимальное допускаемое тяжение (нагрузка), даН (кН), на провод, трос, самонесущий кабель.

Нагрузка, тяжение, даН (кН) – это напряжение (механическое), умноженное на сечение несущей части провода, троса, кабеля.

- 1.1. Принимается всегда не больше допускаемого по тяжению по данным ПУЭ, ГОСТ, ТУ или завода - изготовителя. Допускаемое напряжение обычно составляет не более 50% от разрывного по механической прочности (см. ПУЭ).
- 1.2. Принимается не более допускаемого, исходя из нагрузок на несущие конструкции – опоры, порталы, другие узлы крепления.
- 1.3. Принимается проектом ещё ниже, если позволяют условия, для снижения нагрузок на конструкции, при соблюдении габаритов и т.п.
- 1.4. Для ВОЛС на существующих ВЛ (ВОЛС ВЛ) принимается из условий сопоставления стрел провеса кабеля и существующего провода по программе LineMount с контролем по программам LineMech и LineCross. Для ОКШН обеспечиваются примерно равные стрелы провеса кабеля (возможно меньшие для кабеля после проверки габаритов при гололёде) и провода в монтажных режимах. Для ОКГТ сопоставление стрел провеса кабеля и провода в пролёте производится с учётом [табл. 2.5.16. ПУЭ](#).

Допускаемое напряжение при среднегодовых (среднеэксплуатационных) условиях, даН/мм^2 (Н/мм^2) - напряжение, допускаемое при среднегодовой температуре. Обычно 50 - 75% от максимального допустимого, если другое не указано в ПУЭ, ГОСТ, ТУ или заводом - изготовителем. Всегда ниже или условно равно принятому проектировщиком максимальному допустимому напряжению, но не выше указанного по ПУЭ, ГОСТ, ТУ, данным завода-изготовителя для среднегодовой температуры.

Допускаемые напряжения (и соответствующие им по сечению тяжения) никогда не превышаются программой. Поэтому и название метода расчёта: «Метод допускаемых напряжений». При определённых пролётах допускаемое напряжение может быть достигнуто либо в режимах наибольших нагрузок (гололёд с ветром или максимальный ветер) или при низшей температуре.

Это не значит, что увеличение длины пролёта приведёт к разрыву провода и какой-то реакции программы. Этот вариант не рассматривался.

Напряжения (тяжения) по группам проводов, тросов, кабелей в справочнике.

Группа 1 – провода по ГОСТ 839—80*Е

Напряжения (тяжения) принимаются полностью в соответствии с [табл. 2.5.7. ПУЭ-7](#).

Группа 2 – провода по ТУ 3511-001-40914170-2012 ООО ОКП «ЭЛКА-Кабель»

Провода рассчитаны на большее разрывное усилие, чем по ПУЭ-7

Напряжения (тяжения) принимаются в процентах по ПУЭ-7 от разрывного усилия, указанного в каталоге продукции ОКП «ЭЛКА-Кабель». Допускаемые напряжения (тяжения) соответственно могут быть увеличены по сравнению с ПУЭ-7.

Группа 3 – провода по ТУ 16-705.183-81

Напряжения (тяжения) принимаются по ПУЭ-7.

Группа 4 – самонесущие изолированные провода, защищённые провода (СИП)

Напряжения (тяжения) принимаются согласно ПУЭ-7.

Группа 5 – стальные провода, тросы, канаты

Напряжения (тяжения) принимаются согласно ПУЭ-7.

Группа 6 - самонесущие волоконно-оптические кабели (ОКСН, ОКГТ и др.)

Группа 7 - прочие. Внесённые пользователями в собственные справочники (не проверено).

Максимальные тяжения (нагрузки) принимаются согласно ТУ, данных заводов – изготовителей. Для проектов важно, чтобы данные были получены официально непосредственно от завода – изготовителя.

Реально для ВОЛС и особенно для ВОЛС ВЛ допускаемые нагрузки по проекту всегда ниже допускаемых нагрузок на изготовленный кабель.

Предупреждение. Данные справочника по волоконно-оптическим кабелям устарели, включены исключительно для примера. Кабели постоянно совершенствуются, их марки и характеристики быстро изменяются. Требуйте достоверные, официальные данные от заводов – изготовителей.

Внимание! Во всех случаях принятия решений по допускаемым напряжениям (тяжениям) в проекте, или его части, по сравнению с допускаемыми напряжениями (тяжениями), на которые рассчитаны провода, тросы, кабели, будет несущая способность конструкций (опор по типовым проектам, их стоек, тросостоек, порталов, креплений в стенах, на конструкциях по крышам и т.п.).

Провода ВЛ электропередачи обычно несут всю нагрузку по ПУЭ, ТУ или снижены из-за несущей способности опор.

Нагрузки от грозозащитных тросов (в т.ч. ОКГТ) на опоры (тросостойки) обычно снижают, исходя из расстояния между проводом и тросом в пролёте согласно [табл. 2.5.16. ПУЭ-7](#).

Нагрузки на опоры от ОКСН снижают, исходя из поведения самонесущего кабеля в пролётах при обеспечении стрел провеса в монтажных (эксплуатационных) режимах не более стрел провеса проводов ВЛ с контролем габаритов при гололёде.

Всегда выгоднее иметь запас прочности как проводов, тросов, кабелей так и несущих конструкций.

2.5. Термины

Пролёт ВЛ - участок ВЛ между двумя соседними опорами или конструкциями, заменяющими опоры. Длина пролёта - горизонтальная проекция этого участка ВЛ, сокращённо, пролёт, м.

Габаритный пролёт - пролёт, длина которого определяется нормированным вертикальным расстоянием от проводов до земли (габаритом) при установке опор на идеально ровной поверхности.

Приведённый пролёт — корень квадратный из суммы кубов пролётов анкерного участка, делённых на сумму пролётов. Во всем анкерном участке устанавливается практически одинаковое тяжение, которое соответствует приведённому пролёту.

Стрела провеса провода - расстояние по вертикали от прямой, соединяющей точки крепления провода, до провода. В расчёте по программе, в случаях учёта воздействия ветра, горизонтальная составляющая стрелы провеса не выделена, но в значении стрелы провеса учтена. Поэтому необходимо принимать во внимание стрелы провеса по вертикали только в режимах без ветра.

Габаритная стрела провеса провода - наибольшая стрела провеса провода в габаритном пролёте.

Другие термины имеют разъяснение по тексту.

2.6. Дополнительные функции

Программа позволяет занести в справочник проводов и тросов новые провода (тросы, самонесущие кабели) и/или корректировать данные в справочнике.

Применительно к имеющимся в справочнике проводам, тросам, кабелям не может быть рассчитан какой-либо другой провод, трос, кабель. Расчёт будет нереален.

Расчёт производится для 17-ти режимов, включая монтажные. Первые режимы в результатах расчёта нагрузочные – согласно ПУЭ и необходимые для других расчётов, остальные – монтажные.

Перечень режимов приведён в описании программы и описывается значениями приведённых нагрузок, сочетаниями значений скорости ветра, толщины стенки гололёда и температуры в результатах расчётов

Монтажные режимы данного расчёта не являются данными для непосредственного монтажа, кроме пролётов между двумя, рядом стоящими анкерными опорами.

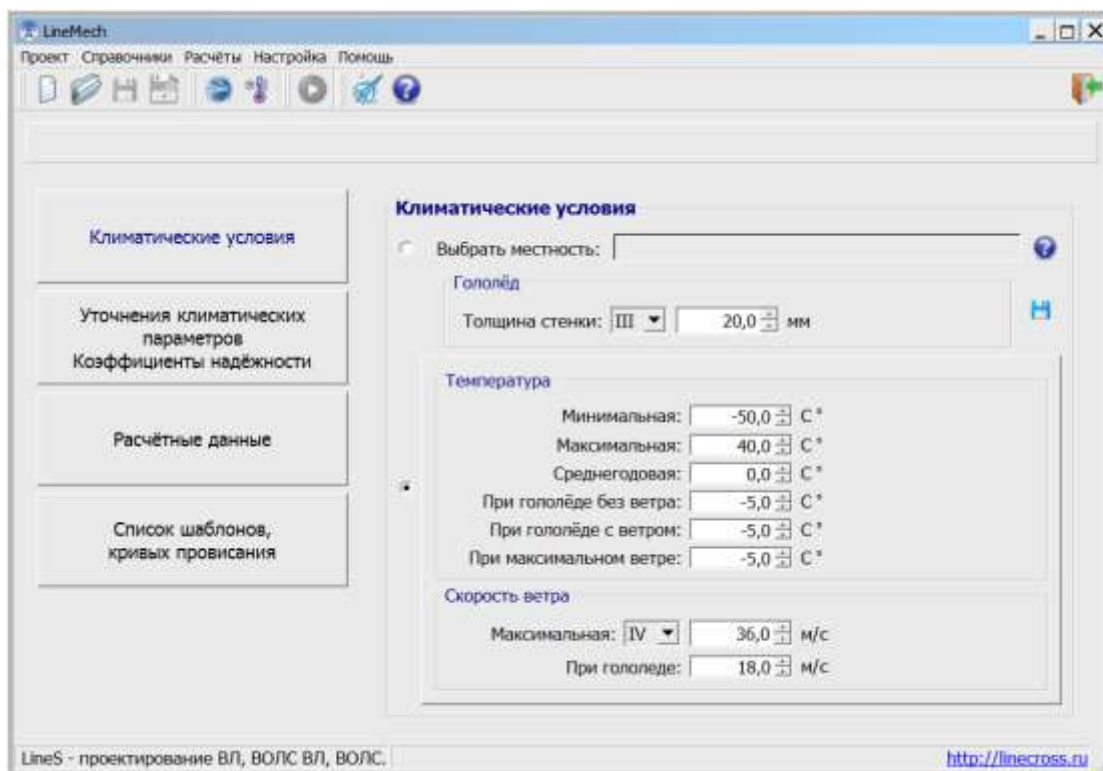
Монтажные тяжения и стрелы провеса для конкретных визируемых пролётов (с учётом значений приведённых пролётов) рассчитываются по программе LineMount производства ООО «Айтея».

В LineMech производится построение шаблонов для расстановки опор и последующего контроля по реальной расстановке, а также кривых провисания проводов, тросов и самонесущих кабелей при различных температурах для габаритных и приведённых пролётов.

К поставляемой программе приложены тестовые, ознакомительные исходные данные, файлы Test.jlmh, TestCad.jlmh.

2.7. Начало работы с программой

При запуске программы появляется пустое окно проекта расчёта.



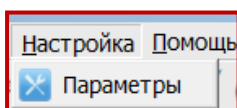
В окне проекта имеется главное меню и панель инструментов, дублирующих наиболее частые операции с программой и данными.

В меню программы предлагается обычный набор действий:

- «**Проект**» - операции с файлами (формат *.jlmh);
- «**Справочники**» - работа со справочниками;
- «**Расчёты**» - расчёт пересечений и формирование ведомости пересекаемых объектов;
- «**Настройка**» - выбор рабочего каталога и единиц измерения;
- «**Помощь**» - информация о программе и справка.

Можно производить ввод нового проекта или открыть файл исходных данных уже имеющегося проекта для редактирования и расчёта.

Меню «**Настройка**»:

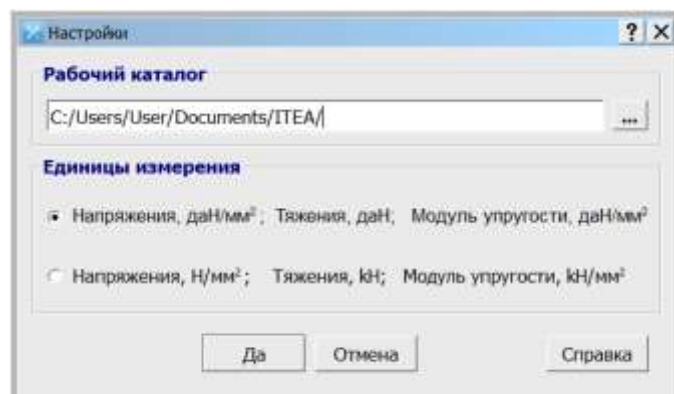


Позволяет настроить параметры: выбрать рабочий каталог и единицу измерения для ввода исходных данных и использования при выводе результатов расчёта.

Папка с проектами размещена в рабочем каталоге программы на компьютере пользователя, по умолчанию на диске: C:\Users\User\ITEA\Projects\.

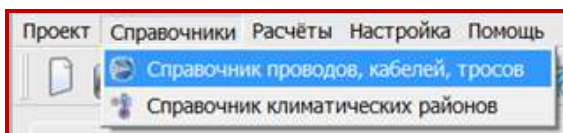
Все проекты будут сохраняться в эту папку.

В качестве рабочего каталога можно выбрать другое место на диске. Папка Projects будет создана там автоматически.

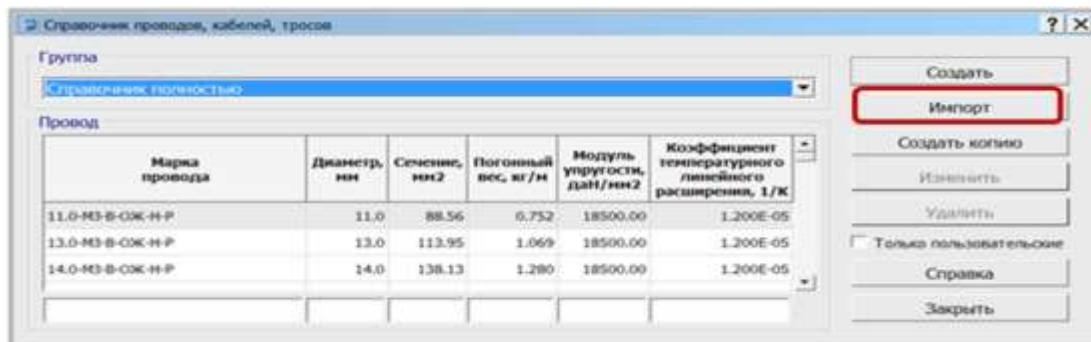


Важно! У рабочего каталога должны быть права на запись и чтение.

Меню «Справочники»:



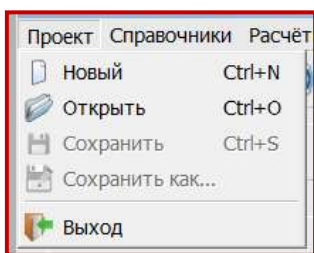
Есть возможность импортировать пользовательские справочники старого формата (проводов wirebase.txt или климата climate.txt) в новый формат.



С помощью кнопки "Импорт" открываем файл справочника для импорта.

Аналогичные действия для справочника климатических районов.

2.8. Ввод, редактирование и удаление данных

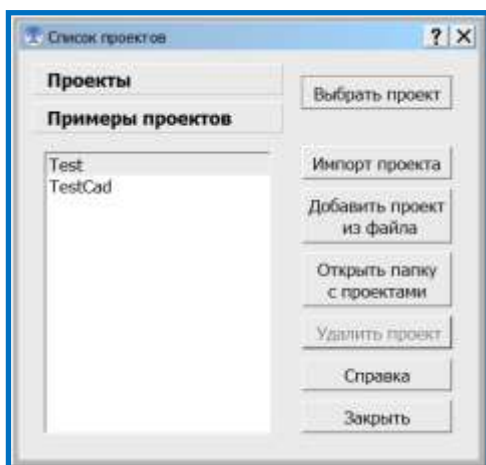


Меню «Проект»:

Группа команд («Новый», «Открыть», «Сохранить», «Сохранить как...») позволяет выполнить операции с файлами исходных данных.

Файлам исходных данных по программе LineMech присваивается расширение **lmmh**.

Чтобы открыть готовый проект из внутренней базы данных, воспользуйтесь командой «Открыть» из меню «Проект». Появится окно «Список проектов».



Для примера, в базе данных к программе есть несколько проектов мехрасчета (кнопка "Примеры проектов").

Пользователи LineMech версий ниже 5.0. могут загрузить файлы проектов мехрасчёта в формате *.lmmh в базу данных и использовать их для следующих проектов (кнопка "Добавить проект из файла").

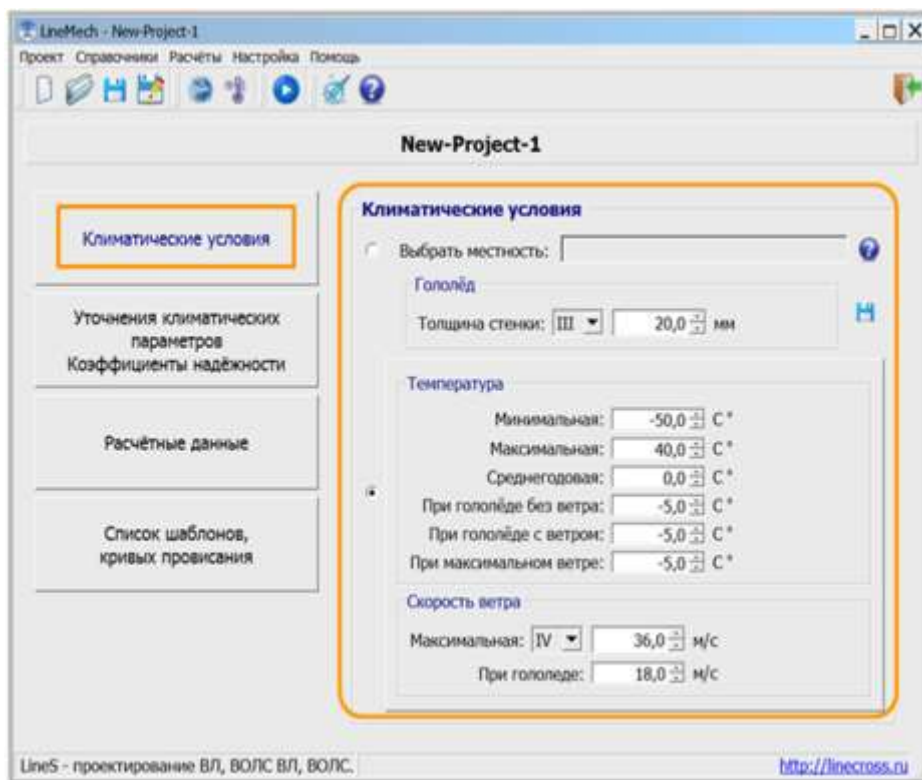
При выборе внешнего файла автоматически происходит импорт проекта и сохранение его в список проектов механического расчёта.

По кнопке "Открыть папку с проектами" открывается окно "Проводника" на папке с проектами, по умолчанию все проекты сохраняются в рабочем каталоге программы на

компьютере пользователя **C:\Users\User\ITEA\Projects**.

При желании, можно из окна "Проводника" скопировать файл проекта в любую вашу папку на диске или открыть ваш проект из любой другой папки. Но при этом, все изменения в проекте будут сохраняться в файл проекта находящийся в папке по умолчанию **C:\Users\User\ITEA\Projects**.

Кнопка "**Климатические условия**" позволяет задать климатические условия для проекта.



Гололёд, мм - согласно данным метеостанций, если данных нет - руководствоваться картами и рекомендациями ПУЭ (2.5.46-2.5.47, Таблица 2.5.3). Повторяемость – 1 раз в 25 лет.

Температуры максимальная, минимальная (это не температура самой холодной пятидневки), среднегодовая - данные метеостанций. Это температуры абсолютные с повторяемостью 1 раз в 25 лет.

Внимание!

Если нужно учесть температуру дополнительного нагрева проводов электрическим током и от солнечной радиации - корректируйте максимальную температуру.

Температуры при гололёде и при максимальном ветре принимаются согласно ПУЭ (п.п.2.5.51). В некоторых случаях температура при гололёде с ветром равна -10°C или -15°C (данные метеостанций).

Максимальная скорость ветра, м/с - повторяемостью 1 раз в 25 лет и скорость ветра при гололёде (формула пересчёта с ветрового давления приведена в ПУЭ п.2.5.41) принимаются согласно данным метеостанций, при их отсутствии - согласно картам и рекомендациям ПУЭ (п.п.2.5.39 - 2.5.43, Таблица 2.5.1).

По кнопке "**Расчётные данные**" отображаются данные климатических условий (РКУ), окно выбора марки рассчитываемого провода, троса или самонесущего кабеля, условия расчёта.

«**Пролёты**» – диапазон исследуемых пролётов, шаг изменения пролёта в этом диапазоне (рекомендуется вводить кратные значения).

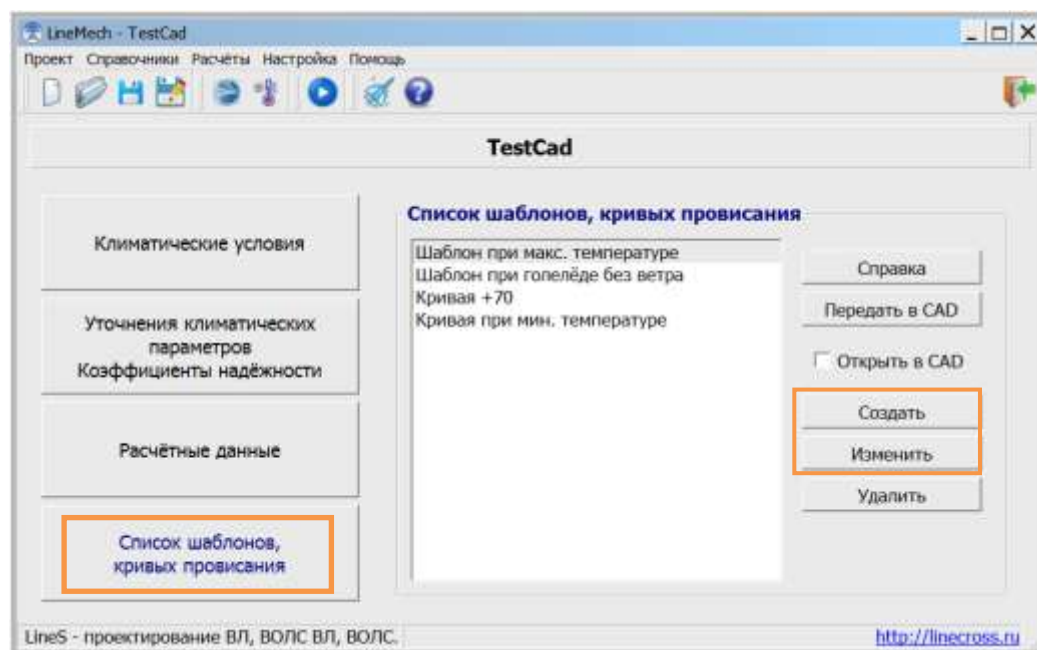
Если пролёт один и известен, задать ближайший диапазон из нескольких пролётов с шагом 1 м.

Далее следует подокно с закладками «**Напряжения**» и «**Тяжения**», где задаются допускаемые напряжения в материале провода, троса, самонесущего кабеля, даН/мм² (Н/мм²) ИЛИ допускаемые тяжения (нагрузки), даН (кН). В исходных данных сохраняются либо напряжения,

либо тяжения, в результатах расчёта выдаётся и то и другое. Допускаемые тяжения (нагрузки) удобно задавать для самонесущих кабелей, обычно не имеющих в документации на них данных по допускаемым механическим напряжениям.

Выбор режимов для расчёта производится запросом у пользователя двух вариантов: все режимы (17) – по умолчанию; «габаритные» режимы (2, 7).

По кнопке **«Список шаблонов, кривых провисания»** можно создавать и изменять шаблон, кривые провисания.



При **создании** и **изменении** шаблона, кривых, открывается окно редактирования исходных данных по ним.

Обычно берут соотношение масштаба по горизонтали на порядок выше, чем по вертикали.

Предлагается масштаб «по умолчанию», который можно изменить на требуемый по желанию.

Во избежание путаницы, в программе идёт переключение кнопок между разными шаблонами и шаблонами и кривыми, соответственно активируются вводимые данные.

Не забывайте присваивать название шаблону или кривой, иначе можно потерять набранные по ним данные.

Кнопка **«Передать в CAD»** выполняет построение выбранного в меню шаблона или кривой.

При выводе нужно присвоить имя файла **.dxf**, по умолчанию это имя файла исходных данных (проекта). Желательно присваивать имя файла, находясь в папке программы, чтобы не искать затем файл результата.

☒ Открыть в CAD

Внимание! Программа, открывающая файлы *.dxf по умолчанию, должна быть задана в свойстве файла dxf.

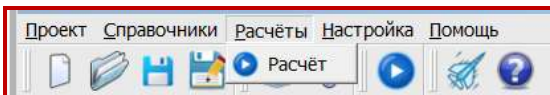
После вывода в графический пакет выполнить команду «**Показать всё**», так как низшая точка провисания кривой (вершина параболы) расположена в координатах 0,0.

Полученный обменный формат dxf может быть загружен в любой графический редактор (КОМПАС и др.), поддерживающий этот формат.

Внимание!

Дробная часть от целой при наборе числовых исходных данных отделяется точкой, в результатах расчёта делитель дробной части от целой зависит от настройки ПК.

Меню «Расчёт»:



Производится расчёт всего проекта. В случае удачного расчёта выводятся его результаты. В случае несоблюдения требуемого габарита выводится предупреждение, но расчёт можно продолжить и увидеть каков негабарит или ошибку в исходных данных.

Расчёт выводится в таблицах Excel для дальнейшей обработки и оформления в проектной документации.

Климатические условия		Коэффициенты надёжности к нормативным нагрузкам		Уточнение климатических параметров	
Температура максимальная, °С	-40	К ветровым нагрузкам		Тип местности	A
Температура минимальная, °С	-50			Высота приведённого центра тяжести проводов, тросов, кабеля, средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м	15
Температура среднегодовая, °С	-5				
Температура при максимальном ветре, °С	-5				
Температура при гололёде без ветра, °С	-5	К гололёдным нагрузкам			
Температура при гололёде с ветром, °С	-5				
Скорость ветра максимальная, м/с	25				
Скорость ветра при гололёде, м/с	18				
Толщина стенки гололёда, мм	15	Условий работы			

Расчётные данные		Характеристика провода, троса, кабеля	
Марка провода, троса, кабеля	OPGW-14A40z	Диаметр, мм	11,40
Минимальный пролёт	10 м	Сечение, мм²	69,60
Максимальный пролёт	400 м	Погонный вес (нагрузка), кг/м	0,399
Шаг	10 м	Модуль упругости, даН/мм²	11 860,00
Допускаемые напряжения		КТЛР, 1/х	1,41Е-05
Максимальное допускаемое напряжение	13,50 даН/мм²	Критические пролёты, м	
Напряжение при среднегодовой температуре	9,00 даН/мм²		
Допускаемые тяжения		Первый критический пролёт	186,19
Максимальное допускаемое тяжение	939,60 даН	Второй критический пролёт	65,23
Тяжение при среднегодовой температуре	626,40 даН	Третий критический пролёт	47,02

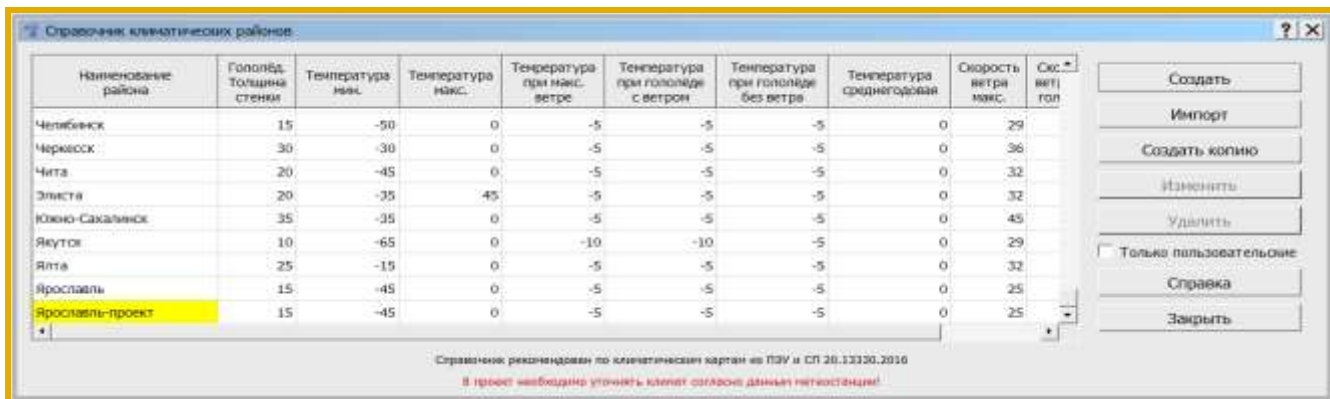
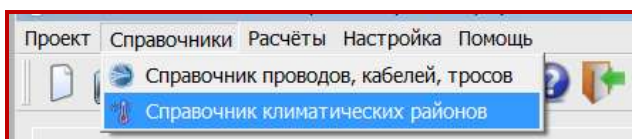
Номера нагрузки	Нагрузки	Погонные нагрузки, даН/м	Приведённые нагрузки, даН/м³·км²
1	От веса провода	0,399000	0,005733
2	От веса гололёда	1,119664	0,016087
3	От веса провода с гололёдом	1,518664	0,021820
4	Давление на провод ветра	0,459563	0,006603
4а	при прозовых и внутр. перенапряжениях, не менее	0,085500	0,001228
4б	при прозовых и внутренних перенапряжениях	0,048094	0,000691
5	Давление ветра при гололёде	1,006020	0,014454
6	От веса провода и давления ветра	0,608604	0,008744
6а	при прозовых и внутр. перенапряжениях, не менее	0,408058	0,005863
6б	при прозовых и внутренних перенапряжениях	0,401888	0,005774
7	От веса провода, гололёда и давления ветра	1,821652	0,026173

Приведённая нагрузка, даН/м³·км²	0,0262	0,0218	0,0087	0,0059	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057
Температура, °С	-5	-5	-5	-15	15	-50	40	0	15	70	30	20	10	0	-10	-20	-30
Гололёд, мм	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ветер, м / с	18,0	0,0	25,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Пролёт, м	Режим	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
65,23	Тяжение, даН	940	853	561	579	349	940	247	448	353	186	280	323	378	448	530	624	725
65,23	Напряжение, даН/мм²	13,50	12,26	8,07	8,31	5,01	13,50	3,55	6,43	5,07	2,68	4,02	4,63	5,43	6,43	7,62	8,96	10,41
65,23	Стрела провиса, м	1,03	0,95	0,58	0,38	0,61	0,23	0,86	0,47	0,62	1,14	0,76	0,66	0,56	0,47	0,40	0,34	0,29

2.8.1. Справочник климатических районов

Команда «Справочник климатических районов» из меню "Справочники" позволяет редактировать справочник климатических районов.



Внимание!

Справочник рекомендован по климатическим картам из ПУЭ и СП 20.13330.2016. В климатическом справочнике не выставлена среднегодовая температура и не везде выставлена максимальная и минимальная температура из-за разночтений в данных таблиц и нормативных карт. Температура, согласно ПУЭ 2.5.51 округлена до кратности 5.

В проект необходимо уточнять климат согласно данным метеостанции!

Смотри [п. 2.4.2.](#)

Справочник климатических районов (файл **climate.txt**) один для всех программ (LineMech, LineCross, LineMount, LineLoad) размещается внутри корневой папки программы **LineS-2024\Defaults\Dictionaryes**. Этот справочник поставляется разработчиком программ линейки LineS и носит рекомендательный характер. Его данные отображаются, но закрыты на редактирование.

Пользователь может дополнить справочник своими данными, которые будут сохранены в собственном справочнике пользователя на диске в рабочем каталоге программы **C:\Users\User\ITEA\Dictionaryes**.

Данные обоих файлов отображаются в общем справочнике климатических районов линейки программ LineS. Жёлтым выделены районы добавленные пользователем. Для их фильтрации поставьте галочку ☒ **Только пользовательские**.

Рекомендуется осуществлять резервное копирование справочника.

Редактор пользовательского справочника проводов несложен, необходимо «Создать», «Удалить» или «Изменить» данные по климатическим районам.

Добавление в справочник новой записи с климатическими параметрами на основе уже имеющейся в справочнике:

1. Выбрать запись с нужным районом (например, "Анапа") и нажать кнопку "Создать копию".

Справочник климатических районов

Наименование района	Гололёд, Толщина стенки	Температура мин.	Температура макс.	Температура при макс. ветре	Температура при гололёде с ветром	Температура при гололёде без ветра	Температура среднегодовая	Скорость ветра макс.	Скорость ветра при гололёде
Абхаз	20	-45	0	-5	-5	-5	0	29	14
Амурск	20	0	0	-5	-5	-5	0	32	16
Анапа	35	0	0	-5	-5	-5	0	40	20
Ангарск	15	0	0	-5	-5	-5	0	32	16
Арзамас	15	0	0	-5	-5	-5	0	25	11
Армавир	25	0	0	-5	-5	-5	0	36	18
Артем	25	0	0	-5	-5	-5	0	36	18
Архангельск	15	-45	35	-5	-5	-5	0	29	14
Астрахань	15	-35	40	-5	-5	-5	0	32	16
Ачинск	15	-60	35	-5	-5	-5	0	32	16

Справочник рекомендован по климатическим картам из ПЗУ и СП 20.13330.2016
В проект необходимо уточнить климат согласно данным метеостанции!

Создать
Импорт
Создать копию
Изменить
Удалить
Только пользовательские
Справка
Закрыть

2. Откроется окно добавления новой записи с копией параметров выбранного района.

Добавление копии

Наименование местности: Анапа (копия)

Гололёд
Толщина стенки: VI 35,0 мм

Температура
Минимальная: 0,0 °C
Максимальная: 0,0 °C
При максимальном ветре: -5,0 °C
При гололёде с ветром: -5,0 °C
При гололёде без ветра: -5,0 °C
Среднегодовая: 0,0 °C

Скорость ветра
Максимальная: V 40,0 м/с
При гололёде: 20,0 м/с

Добавить Отмена

Поле «Наименование местности» проверяется на уникальность. Добавить уже существующее название не получится (кнопка «Добавить», для сохранения данных в справочник, будет недоступна).

Изменим наименование местности, например на "Анапа_TestCad" и сохраним новую запись кнопкой "Добавить".

В результате, запись появится в пользовательском справочнике и будет доступна для редактирования и удаления (выделена жёлтым).

Справочник климатических районов

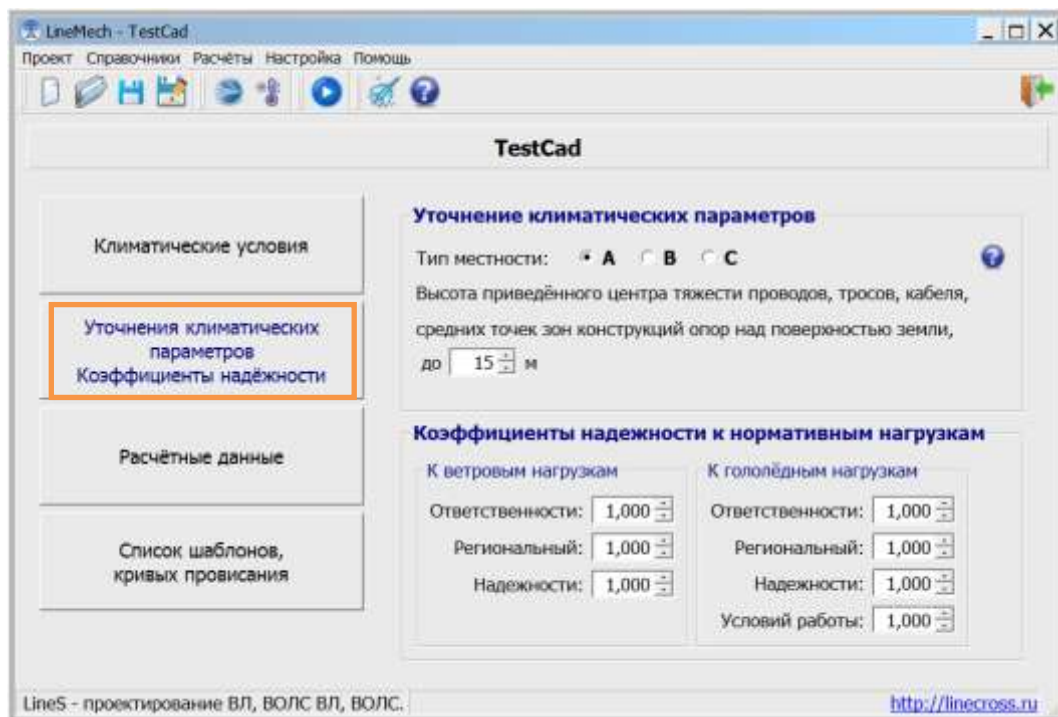
Наименование района	Гололёд, Толщина стенки	Температура мин.	Температура макс.	Температура при макс. ветре	Температура при гололёде с ветром	Температура при гололёде без ветра	Температура среднегодовая	Скорость ветра макс.	Скорость ветра при гололёде
Абхаз	20	-45	0	-5	-5	-5	0	29	14
Амурск	20	0	0	-5	-5	-5	0	32	16
Анапа	35	0	0	-5	-5	-5	0	40	20
Анапа_TestCad	35	0	0	-5	-5	-5	0	40	20
Ангарск	15	0	0	-5	-5	-5	0	32	16
Арзамас	15	0	0	-5	-5	-5	0	25	11
Армавир	25	0	0	-5	-5	-5	0	36	18
Артем	25	0	0	-5	-5	-5	0	36	18
Архангельск	15	-45	35	-5	-5	-5	0	29	14
Астрахань	15	-35	40	-5	-5	-5	0	32	16

Справочник рекомендован по климатическим картам из ПЗУ и СП 20.13330.2016
В проект необходимо уточнить климат согласно данным метеостанции!

Создать
Импорт
Создать копию
Изменить
Удалить
Только пользовательские
Справка
Закрыть

2.8.2. Климатические параметры

Кнопка «Уточнение климатических параметров. Коэффициенты надёжности»



Значения поправочных коэффициентов на ветер и гололёд в зависимости от типа местности, высоты приведённого центра тяжести и диаметра провода, троса, кабеля по умолчанию равны 1.0 (тип местности – А, высота – до 15 метров).

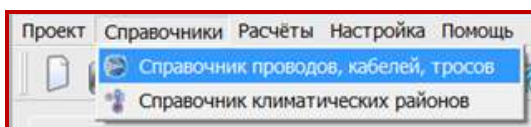
Значения коэффициентов надёжности к нормативным ветровым и гололёдным нагрузкам по умолчанию, равны 1.0 ([2.5.11. ПУЭ-7](#)).

Внимание!

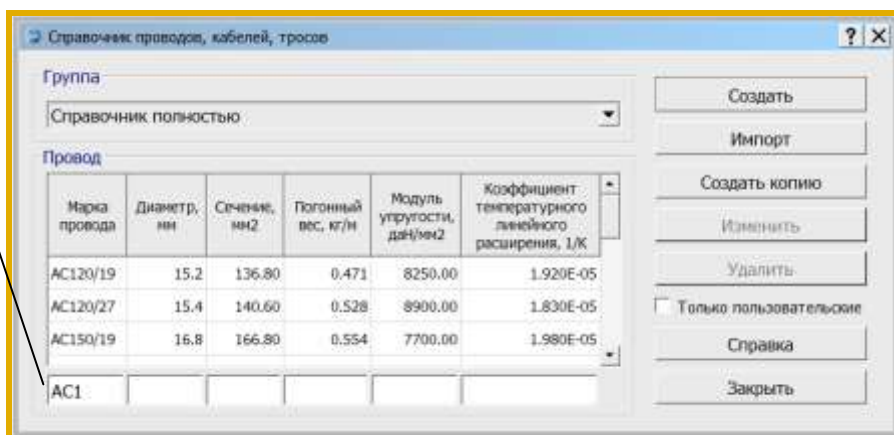
Если не использовать кнопку «Уточнение климатических параметров. Коэффициенты надёжности», то это будет равноценно применению программы без дополнений разных ПУЭ, под чистую теорию расчёта гибкой нити (цепной линии). При этом уточнение значений ветра и гололёда по высоте приведённого центра тяжести можно производить в окне «Климатические условия».

2.8.3. Справочник проводов, кабелей, тросов

Команда «Справочник проводов, кабелей, тросов» из меню «Справочники» позволяет редактировать справочник проводов, тросов и самонесущих кабелей.



Нижняя строка в справочнике для фильтрации данных по введённым значениям.



Справочник проводов, кабелей, тросов (файл **wirebase.txt**) один для всех программ (LineMech, LineCross, LineMount, LineLoad) размещается внутри корневой папки программы **c:\ITEA\LineS-2024\Defaults\Dictionaries**.

Пользователь может дополнить справочник своими данными, которые будут сохранены в собственном справочнике пользователя на диске в рабочем каталоге программы **C:\Users\User\ITEA\Dictionaries**.

Данные обоих файлов отображаются в общем справочнике проводов, кабелей, тросов линейки программ LineS. Жёлтым выделены провода добавленные пользователем. Для их фильтрации поставьте галочку ☒ **Только пользовательские**.

Рекомендуется осуществлять резервное копирование пользовательского справочника.

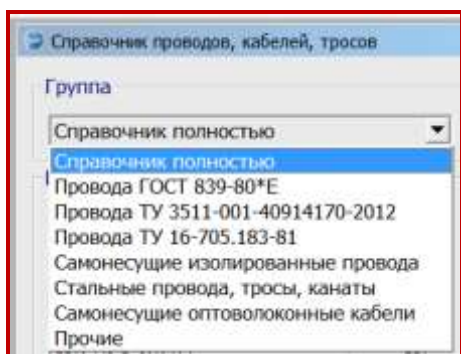
Внимание!

*В многопользовательской сети у каждого пользователя **свой** редактируемый справочник проводов.*

*Если пользователи обмениваются проектами, то **обязательно**, вместе с файлом проекта передавайте необходимые для данного проекта пользовательские провода из справочника проводов пользователя.*

Редактор пользовательского справочника проводов несложен, необходимо «Создать», «Удалить» или «Изменить» данные по проводу, тросу, самонесущему кабелю.

Провода, тросы, кабели разнесены по группам.

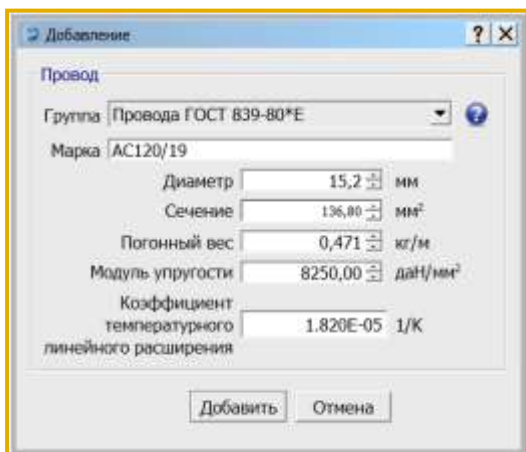


- **Группа 1** – провода по ГОСТ 839—80*Е
Напряжения (тяжения) принимаются полностью в соответствии с табл. 2.5.7. ПУЭ-7.
- **Группа 2** – провода по ТУ 3511-001-40914170-2012 ООО ОКП «ЭЛКА-Кабель»
Провода рассчитаны на большее разрывное усилие, чем по ПУЭ-7
Напряжения (тяжения) принимаются в процентах по ПУЭ-7 от разрывного усилия, указанного в каталоге продукции ОКП «ЭЛКА-Кабель». Допускаемые напряжения (тяжения) соответственно могут быть увеличены по сравнению с ПУЭ-7.
- **Группа 3** – провода по ТУ 16-705.183-81. Напряжения (тяжения) принимаются по ПУЭ-7.
- **Группа 4** – самонесущие изолированные провода, защищённые провода (СИП)
Напряжения (тяжения) принимаются согласно ПУЭ-7.
- **Группа 5** – стальные провода, тросы, канаты. Напряжения (тяжения) принимаются согласно ПУЭ-7.
- **Группа 6** - самонесущие волоконно-оптические кабели (ОКСН, ОКГТ и др.)
- **Группа 7** - прочие. Внесённые пользователями в собственные справочники (не проверено).

Программы поставляются с большим числом внесённых проводов, тросов, кабелей, более 500. Удобно пользоваться разнесением на группы.

«Справочник полностью» - это только для просмотра и выбора, не является группой вносимых проводов, тросов, кабелей.

При дополнении справочника нужно провод, трос, кабель присоединить к группе. Есть возможность отнести любой рассчитываемый линейный материал к «Прочим», что никак не будет влиять на расчёты.



Диаметр, мм - внешний диаметр провода, троса, самонесущего изолированного провода, кабеля вместе с изоляцией. Для скрученного из изолированных жил самонесущего провода - общий внешний, эквивалентный диаметр. Испытывает воздействие ветра и образование гололёда.

Сечение, мм² - площадь поперечного сечения несущей, силовой части конструкции провода, троса, для самонесущего изолированного провода - сечение только несущей жилы, для самонесущего кабеля – сечение твёрдой части. Для расчётов воздух между проволоками свивки, смазка и другие подобные материалы из сечения исключаются. Испытывает тяжение, приложенное к проводу, тросу, несущей части самонесущего изолированного провода, кабеля от собственного веса, натяжения, воздействия ветра, гололёда, изменения температуры.

сечения исключаются. Испытывает тяжение, приложенное к проводу, тросу, несущей части самонесущего изолированного провода, кабеля от собственного веса, натяжения, воздействия ветра, гололёда, изменения температуры.

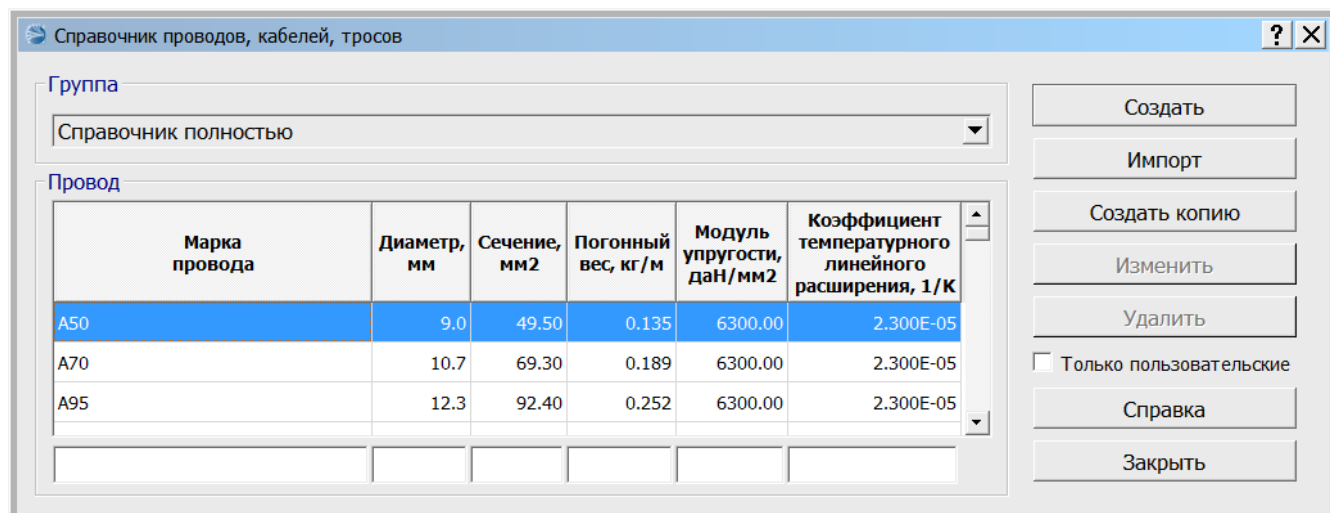
Погонный вес, кг/м - вес одного метра провода, троса, всего самонесущего изолированного провода, кабеля. 1 кг = 0,981 даН = 9,81 Н (округление до 1 даН, 10 Н на результаты практически не влияет).

Модуль упругости провода, троса, самонесущего изолированного провода (по несущей жиле), для кабеля – по данным испытаний, приведённое к сечению твёрдой части кабеля, конечный, даН/мм² (кН/мм²) - 1,0 гПа = 1000000000 Па = 1,0 кН/мм² = 100 даН/мм².

Коэффициент температурного линейного расширения, 1/К - изменение длины провода, троса, самонесущего изолированного провода, кабеля при изменении температуры на 1 градус. Для самонесущих изолированных проводов - по материалу несущей жилы, для кабелей – по данным испытаний. Для ввода в справочник программ 0,000002 соответствует 2x10-6 (2.0E-6).

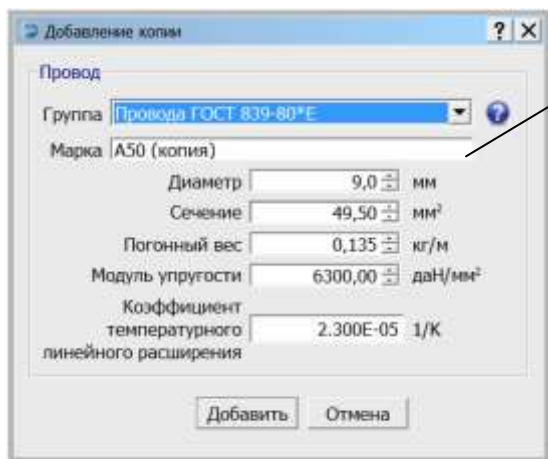
Для ввода в справочник программ коэффициента температурного линейного расширения (КТЛР) например, набираем 0,000016, что соответствует 1.6x10-5 (1.6E-5).

Чтобы создать запись на основе уже имеющейся в справочнике, нужно выбрать нужную запись (например, провод А50) и нажать кнопку "Создать копию".



Марка провода	Диаметр, мм	Сечение, мм²	Погонный вес, кг/м	Модуль упругости, даН/мм²	Коэффициент температурного линейного расширения, 1/К
А50	9.0	49.50	0.135	6300.00	2.300E-05
А70	10.7	69.30	0.189	6300.00	2.300E-05
А95	12.3	92.40	0.252	6300.00	2.300E-05

Откроется окно добавления новой записи с копией параметров выбранного провода.



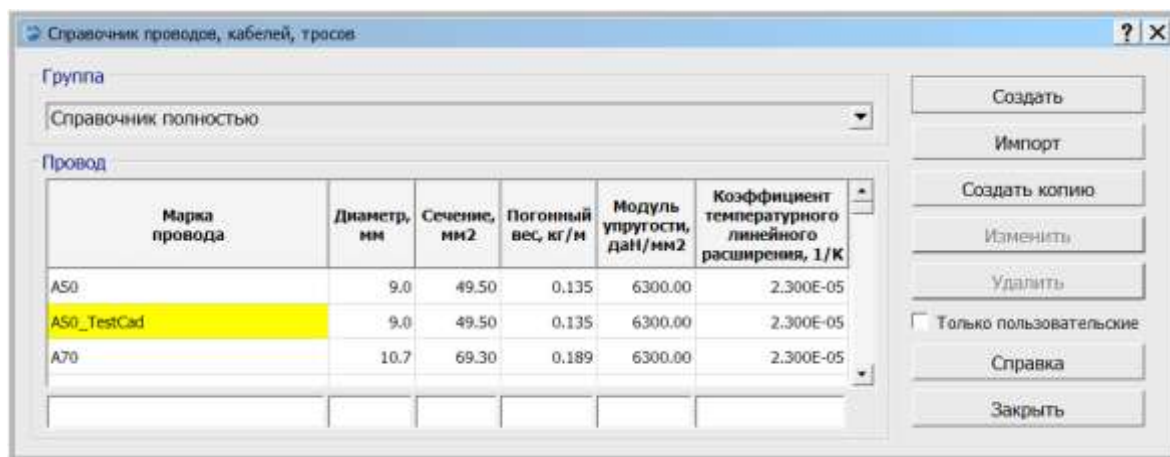
Поле «Марка» проверяется на уникальность. Добавить уже существующее название не получится (кнопка «Добавить», для сохранения данных в справочник, будет недоступна).

Изменим марку провода, например на "A50_TestCad" и сохраним новую запись кнопкой "Добавить".

Внимание!

В названии провода (троса, кабеля) не допускается использование символа « ; »

В результате, запись появится в пользовательском справочнике и будет доступна для редактирования и удаления (выделена жёлтым).



2.9. Организация данных

При выходе из программы, чтении других исходных данных, перед расчётом предлагается сохранить текущий файл исходных данных. Будьте внимательны. Не замените файл другого проекта. Рекомендуется осуществлять резервное копирование.

Файлы исходных данных и результатов могут храниться в папке вместе с программами, но наиболее рационально хранение отдельно, вместе со всеми проектами на сервере с организацией места (папки) по специальности в проектах с соответствующим специальности полным доступом и с ежедневным автоматическим резервным копированием проектов.

«По умолчанию», файлы программы LineMech при инсталляции располагаются в папке LineS совместно с файлами других программ комплекта.

Файлы программы LineMech:

- LineMech.exe – исполняемый модуль программы.
- Test.jlmh, TestCad.jlmh – тестовые файлы исходных данных, примеры для пользователя.
- wirebase.txt – справочник проводов, тросов и самонесущих кабелей.
- climate.txt – справочник климатических районов.
- FormMech.xls – форма Excel для заполнения программой результатами расчёта.
- LineMechQuickStart.ppsx – файл справки "Быстрый старт".
- Руководство пользователя LineMech.
- Файл лицензии.

Программы могут находиться в любом месте на дисках, в реестре не прописываются.

3. FAQ и К (к кому и как обращаться с вопросами)

(К = К Кому и Как обращаться с вопросами)

Правильность и полнота заполнения исходных данных к программе демонстрируются в прилагаемых при поставке тестовых файлах исходных данных с расширением `jlmh`.

Дополнительные сведения представлены на сайте страницами "[Проекты ВЛ](#)", "[Проекты ВОЛС](#)", "[Теория и практика](#)".

Общие требования:

1. Никогда не превышайте максимальное допускаемое тяжение (напряжение – тяжение, поделённое на сечение) на конструкции и провода, тросы, самонесущие кабели, обычно 0.35-0.5 от предела прочности.
2. То же, при среднегодовых температурах, обычно 0.3-0.35 от предела прочности.
3. Если есть возможность снижения в проекте допускаемых тяжёлых (напряжений) – снижайте.
4. Внимательно анализируйте данные заводов – изготовителей проводов, тросов, самонесущих кабелей, заносимые в справочник программы. Могут быть индивидуальные ограничения по прочности.
5. Используйте данные метеостанций необходимой повторяемости климатических условий (1 раз в 25 лет или другой, обоснованной проектом).

Требования к компьютеру, программному окружению - минимальные, при условиях:

- установки ОС MS Windows, начиная с Windows XP;
- использования графических пакетов CAD, КОМПАС и др., которые поддерживают обменный формат `dxf`.
- использования MS Excel формата, начиная с 97-2003, XP при установке средней безопасности;
- наличия на дисках около 10 Мб свободной памяти для каждого нашего модуля.

Администраторы: пользователю требуется полный доступ к CAD и к нашим программам.

Не выполняются расчёты и вывод в Excel:

1. Проверить правильность исходных данных, сверить их полноту с прилагаемым, правильно заполненным тестовым примером. Исправить исходные данные, повторить расчёт.
2. Не установлен MS Excel.
3. Выставлен не тот уровень безопасности.
4. Excel активен с результатами предыдущего расчёта. Закрыть предыдущий расчёт.
5. Следите, в какой папке находитесь для получения результатов и присвоения имени файла результатов. Предусматривается, что это нужно производить в папке, где находится программа, там же её шаблон (в отдельной папке Forms). Шаблон программы в Excel считывается и заполняется результатами расчётов. Теперь результат расчёта можно сохранить где угодно на дисках или на сервере или, по умолчанию, в папке программы.

Не выполняется вывод в CAD, нарушение текста:

1. Проверить, выполняется ли расчёт и вывод в Excel, если нет - внести поправки в исходных данных.
2. Графический пакет не поддерживает обменный формат `dxf`. Поставьте другой.

3. Измените шрифт txt.shx в папке Fonts графического пакета на шрифт txt.shx, поддерживающий русский язык.

К кому и как обращаться с вопросами

Если ничего не получается, есть сомнения в расчётах или сомнения в собственных выводах по проекту, присылайте по адресу:

support@linecross.ru

файлы исходных данных по проекту с расширением jlmh, пользовательский справочник климатических районов climate.txt, пользовательский справочник проводов, тросов и самонесущих кабелей wirebase.txt. Не лишним будет выслать также данные завода-изготовителя на провод, трос, самонесущий кабель.

Мы заинтересованы в улучшении сервиса программ линейки LineS и будем благодарны всем нашим пользователям за обращения, присланные замечания и рекомендации по улучшению программы. Мы готовы к сотрудничеству.

4. Приложения

Выдержки из ПУЭ-7

2.5.6. По условиям воздействия ветра на ВЛ различают три типа местности:

А - открытые побережья морей, озёр, водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

В - городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой не менее $2/3$ высоты опор;

С - городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м, просеки в лесных массивах с высотой деревьев более высоты опор, орографически защищенные извилистые и узкие склоновые долины и ущелья.

Воздушная линия считается расположенной в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны ВЛ на расстоянии, равном тридцатикратной высоте опоры при высоте опор до 60 м и 2 км при большей высоте.

2.5.11. Основными характеристиками нагрузок являются их нормативные значения, которые устанавливаются настоящими Правилами, а для нагрузок, не регламентированных ими, - в соответствии со строительными нормами и правилами.

Расчетные значения нагрузок определяются как произведение их нормативных значений на коэффициенты надежности по нагрузке γ_f , надежности по ответственности γ_n , условий работы γ_d , региональные γ_p .

При расчете элементов ВЛ расчетные нагрузки могут дополнительно умножаться на коэффициент сочетаний.

Необходимость применения коэффициентов и их значения устанавливаются настоящими Правилами.

При отсутствии указаний о значениях коэффициентов они принимаются равными единице.

2.5.39. При определении климатических условий должно быть учтено влияние на интенсивность гололедообразования и на скорость ветра особенностей микрорельефа местности (небольшие холмы и котловины, высокие насыпи, овраги, балки и т.п.), а в горных районах - особенностей микро- и мезорельефа местности (гребни, склоны, платообразные участки, днища долин, межгорные долины и т.п.).

2.5.40. Значения максимальных ветровых давлений и толщин стенок гололеда для ВЛ определяются на высоте 10 м над поверхностью земли с повторяемостью 1 раз в 25 лет (нормативные значения).

2.5.41. Нормативное ветровое давление W_0 , соответствующее 10-минутному интервалу осреднения скорости ветра (v_0), на высоте 10 м над поверхностью земли принимается по табл.2.5.1 в соответствии с картой районирования территории России по ветровому давлению (рис.2.5.1) или по региональным картам районирования.

Таблица 2.5.1

Нормативное ветровое давление W_0 на высоте 10 м над поверхностью земли

Район по ветру	Нормативное ветровое давление W_0 , Па (скорость ветра v_0 , м/с)
I	400 (25)
II	500 (29)
III	650 (32)
IV	800 (36)
V	1000 (40)
VI	1250 (45)
VII	1500 (49)
Особый	Выше 1500 (выше 49)

Полученное при обработке метеоданных нормативное ветровое давление следует округлять до ближайшего большего значения, приведенного в табл. 2.5.1.

Ветровое давление W определяется по формуле, Па

$$W = \frac{v^2}{1,6}$$

Ветровое давление более 1500 Па должно округляться до ближайшего большего значения, кратного 250 Па.

Для ВЛ 110-750 кВ нормативное ветровое давление должно приниматься не менее 500 Па.

Для ВЛ, сооружаемых в труднодоступных местностях, ветровое давление рекомендуется принимать соответствующим району на один выше, чем принято для данного региона по региональным картам районирования или на основании обработки материалов многолетних наблюдений.

2.5.42. Для участков ВЛ, сооружаемых в условиях, способствующих резкому увеличению скоростей ветра (высокий берег большой реки, резко выделяющаяся над окружающей местностью возвышенность, гребневые зоны хребтов, межгорные долины, открытые для сильных ветров, прибрежная полоса морей и океанов, больших озер и водохранилищ в пределах 3-5 км), при отсутствии данных наблюдений нормативное ветровое давление следует увеличивать на 40% по сравнению с принятым для данного района. Полученные значения следует округлять до ближайшего значения, указанного в табл.2.5.1.

2.5.43. Нормативное ветровое давление при гололеде W_{Γ} с повторяемостью 1 раз в 25 лет определяется по формуле 2.5.41, по скорости ветра при гололеде v_{Γ} .

Скорость ветра v_{Γ} принимается по региональному районированию ветровых нагрузок при гололеде или определяется по данным наблюдений согласно методическим указаниям по расчету климатических нагрузок. При отсутствии региональных карт и данных наблюдений $W_{\Gamma} = 0,25W_0$. Для ВЛ до 20 кВ нормативное ветровое давление при гололеде должно приниматься не менее 200 Па, для ВЛ 330-750 кВ - не менее 160 Па.

Нормативные ветровые давления (скорости ветра) при гололеде округляются до ближайших следующих значений, Па (м/с): 80 (11), 120 (14), 160 (16), 200 (18), 240 (20), 280 (21), 320 (23), 360 (24).

Значения более 360 Па должны округляться до ближайшего значения, кратного 40 Па.

2.5.44. Ветровое давление на провода ВЛ определяется по высоте расположения приведенного центра тяжести всех проводов, на тросы - по высоте расположения центра тяжести тросов, на конструкции опор ВЛ - по высоте расположения средних точек зон, отсчитываемых от отметки поверхности земли в месте установки опоры. Высота каждой зоны должна быть не более 10 м.

Для различных высот расположения центра тяжести проводов, тросов, а также средних точек зон конструкций опор ВЛ ветровое давление определяется умножением его значения на коэффициент K_w , принимаемый по табл.2.5.2.

Таблица 2.5.2

Изменение коэффициента K_w по высоте в зависимости от типа местности

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор ВЛ над поверхностью земли, м	Коэффициент K_w для типов местности		
	A	B	C
До 15	1,00	0,65	0,40

20	1,25	0,85	0,55
40	1,50	1,10	0,80
60	1,70	1,30	1,00
80	1,85	1,45	1,15
100	2,00	1,60	1,25
150	2,25	1,90	1,55
200	2,45	2,10	1,80
250	2,65	2,30	2,00
300	2,75	2,50	2,20
350 и выше	2,75	2,75	2,35

Примечание. Типы местности соответствуют определениям, приведенным в 2.5.6.

Полученные значения ветрового давления должны быть округлены до целого числа. Для промежуточных высот значения коэффициентов K_w определяются линейной интерполяцией.

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов $h_{пр}$ для габаритного пролета определяется по формуле, м

$$h_{пр} = h_{ср} - \frac{2}{3}f,$$

где $h_{ср}$ - среднеарифметическое значение высоты крепления проводов к изоляторам или среднеарифметическое значение высоты крепления тросов к опоре, отсчитываемое от отметок земли в местах установки опор, м;

f - стрела провеса провода или троса в середине пролета при высшей температуре, м.

2.5.45. При расчете проводов и тросов ветер следует принимать направленным под углом 90° к оси ВЛ.

При расчете опор ветер следует принимать направленным под углом 0°, 45° и 90° к оси ВЛ, при этом для угловых опор за ось ВЛ принимается направление биссектрисы внешнего угла поворота, образованного смежными участками линии.

2.5.46. Нормативную толщину стенки гололеда b_3 плотностью 0,9 г/см³ следует принимать по табл.2.5.3 в соответствии с картой районирования территории России по толщине стенки гололеда (см. рис.2.5.2) или по региональным картам районирования.

Таблица 2.5.3

Нормативная толщина стенки гололеда b_3 для высоты 10 м над поверхностью земли

Район по гололеду	Нормативная толщина стенки гололеда b_3 , мм
I	10
II	15
III	20
IV	25
V	30
VI	35
VII	40
Особый	Выше 40

Полученные при обработке метеоданных нормативные толщины стенок гололеда рекомендуется округлять до ближайшего большего значения, приведенного в табл.2.5.3.

В особых районах по гололеду следует принимать толщину стенки гололеда, полученную при обработке метеоданных, округленную до 1 мм.

Для ВЛ 330-750 кВ нормативная толщина стенки гололеда должна приниматься не менее 15 мм.

Для ВЛ, сооружаемых в труднодоступных местностях, толщину стенки гололеда рекомендуется принимать соответствующей району на один выше, чем принято для данного региона по региональным картам районирования или на основании обработки метеоданных.

2.5.47. При отсутствии данных наблюдений для участков ВЛ, проходящих по плотинам и дамбам гидротехнических сооружений, вблизи прудов-охладителей, башенных градирен, брызгальных бассейнов в районах с низшей температурой выше минус 45 °С, I нормативную толщину стенки гололеда b_3 следует принимать на 5 мм больше, чем для прилегающих участков ВЛ, а для районов с низшей температурой минус 45° и ниже - на 10 мм.

2.5.49. Толщина стенки гололеда (b_3 , b_y) на проводах ВЛ определяется на высоте расположения приведенного центра тяжести всех проводов, на тросах - на высоте расположения центра тяжести тросов. Высота приведенного центра тяжести проводов и тросов определяется в соответствии с 2.5.44.

Толщина стенки гололеда на проводах (тросах) при высоте расположения приведенного их центра тяжести более 25 м определяется умножением ее значения на коэффициенты K_i и K_d , принимаемые по табл.2.5.4. При этом исходную толщину стенки гололеда (для высоты 10 м и

диаметра 10 мм) следует принимать без увеличения, предусмотренного 2.5.47. Полученные значения толщины стенки гололеда округляются до 1 мм.

Таблица 2.5.4

Коэффициенты K_i и K_d , учитывающие изменение толщины стенки гололеда

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м	Коэффициент K_i , учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте над поверхностью земли	Диаметр провода (троса), мм	Коэффициент K_d , учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра провода (троса)
25	1,0	10	1,0
30	1,4	20	0,9
50	1,6	30	0,8
70	1,8	50	0,7
100	2,0	70	0,6

Примечание. Для промежуточных высот и диаметров значения коэффициентов K_i и K_d определяются линейной интерполяцией.

При высоте расположения приведенного центра тяжести проводов или тросов до 25 м поправки на толщину стенки гололеда на проводах и тросах в зависимости от высоты и диаметра проводов и тросов не вводятся.

2.5.83. Провода и тросы должны рассчитываться на расчетные нагрузки нормального, аварийного и монтажного режимов ВЛ для сочетаний условий, указанных в 2.5.71-2.5.74.

При этом напряжения в проводах (тросах) не должны превышать допустимых значений, приведенных в табл. 2.5.7.

Таблица 2.5.7

Допустимое механическое напряжение в проводах и тросах ВЛ напряжением выше 1 кВ

Провода и тросы	Допустимое напряжение, % предела прочности при растяжении		Допустимое напряжение, Н/мм ²	
	при наибольшей нагрузке и низшей температуре	при среднегодовой температуре	при наибольшей нагрузке и низшей температуре	при среднегодовой температуре
Алюминиевые с площадью поперечного сечения, мм ² :				
70-95	35	30	56	48

120-240	40	30	64	51
300-750	45	30	72	51
Из нетермообработанного алюминиевого сплава площадью поперечного сечения, мм ² :				
50-95	40	30	83	62
120-185	45	30	94	62
Из термообработанного алюминиевого сплава площадью поперечного сечения, мм ² :				
50-95	40	30	114	85
120-185	45	30	128	85
Сталеалюминевые площадью поперечного сечения алюминиевой части провода, мм ² :				
400 и 500 при А/С 20,27 и 18,87	45	30	104	69
400, 500 и 1000 при А/С 17,91, 18,08 и 17,85	45	30	96	64
330 при А/С 11,51	45	30	117	78
150-800 при А/С от 7,8 до 8,04	45	30	126	84
35-95 при А/С от 5,99 до 6,02	40	30	120	90
185 и более при А/С от 6,14 до 6,28	45	30	135	90
120 и более при А/С от 4,29 до 4,38	45	30	153	102
500 при А/С 2,43	45	30	205	137
185, 300 и 500 при А/С 1,46	45	30	254	169
70 при А/С 0,95	45	30	272	204
95 при А/С 0,65	40	30	308	231
Из термообработанного алюминиевого сплава со стальным сердечником площадью поперечного сечения алюминиевого сплава, мм ² :				
500 при А/С 1,46	45	30	292	195

70 при А/С 1,71	45	30	279	186
Стальные провода	50	35	310	216
Стальные канаты	50	35	По стандартам и техническим условиям	
Защищенные провода	40	30	114	85

Указанные в табл.2.5.7 напряжения следует относить к той точке провода на длине пролета, в которой напряжение наибольшее. Допускается указанные напряжения принимать для низшей точки провода при условии превышения напряжения в точках подвеса не более 5%.

Таблица 2.5.16

Наименьшие расстояния между тросом и проводом в середине пролета

Длина пролета, м	Наименьшее расстояние между тросом и проводом по вертикали, м
100	2,0
150	3,2
200	4,0
300	5,5
400	7,0
500	8,5
600	10,0
700	11,5
800	13,0
900	14,5
1000	16,0
1200	18,0
1500	21,0