

ДОПУСТИМЫЕ ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

АВТОРЫ:

ТИМАШОВА Л.В.,
К.Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»МЕРЗЛЯКОВ А.С.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»НАЗАРОВ И.А.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В настоящее время величина допустимых токовых нагрузок определяется нормативным документом «Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи» МТ 34-70-037-87 [1]. Методика составлена исходя из того, что температура

неизолированных проводов ВЛ не должна превышать 70 °С (при температуре воздуха 25 °С) (см. ПУЭ-6, гл. 1.3) [2]. При этом должны соблюдаться требования гл. 2.5 ПУЭ [4] по наименьшим допустимым вертикальным расстояниям от проводов ВЛ до поверхности земли и/или до пересекаемых объектов.



В результате постоянного тяжения проводов часто реальные габариты ВЛ оказываются ниже допустимых наименьших расстояний, указанных в гл. 2.5. ПУЭ

Большинство воздушных линий (ВЛ) на территории Российской Федерации сооружены в 1950–60-е годы. В результате постоянного тяжения проводов (как под собственным весом, так и под действием гололедно-ветровых нагрузок) часто реальные габариты ВЛ оказываются ниже допустимых наименьших расстояний, указанных в гл. 2.5 ПУЭ [4].

Методика, приведенная в МТ 34-70-037-87, обладает рядом недостатков. Основным недостатком методики является тот факт, что влияние солнечной радиации на нагрев провода при определении токовых нагрузок в районах с температурой воздуха ниже 45 °С не учитывается. В то же время по результатам наших исследований установлено, что при плотностях тока 0,9÷1,1 А/мм² нагрев провода за счет солнечной радиации составляет 10÷20 °С, в зависимости от условий окружающей среды, марки и состояния проводов. Кроме того, методика расчета предельных токовых нагрузок МТ 34-70-037-87 не учитывает: а) габариты действующих ВЛ (таблицы предельно допустимой токовой нагрузки составлены для температур провода 70–90 °С); б) что коэффициент теплоотдачи конвекцией не зависит от скорости ветра менее 1,2 м/с. Недостатком методики является также то, что при плотности тока ≤1 А/мм² температура провода принимается на 5 °С выше, чем температура воздуха, и таблицы предельных токовых нагрузок составлены со слишком большим шагом по температуре окружающей среды. По заказу ОАО «ФСК ЕЭС» в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» были выполнены исследования по определению допустимых токовых нагрузок для различных марок проводов. Исследования проводились как на проводах новых образцов, так и на прошедших длительную эксплуатацию. По результатам исследований были разработаны проект стандарта организации (СТО) ОАО «ФСК ЕЭС»

«Методика расчета токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи» и программный комплекс (ПК) «Программа для расчета токовых нагрузок проводов ВЛ».

Разработанный ПК позволяет определять токовые нагрузки по условию допустимой температуры и по условию ненарушения габаритов ВЛ для любых условий окружающей среды (температура воздуха, скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации), марки, типа и состояния провода и профиля трассы и конфигурации пролета ВЛ. Указанный ПК зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Роспатента № 2011612355 от 21 марта 2011 года.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА НАГРЕВ ПРОВОДОВ ВЛ

В период с мая по август 2010 года в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» на испытательном стенде Центра электротехнического оборудования ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» (ИЛ ВЭС ЭМС) проводились исследования по нагреву проводов различных марок, изготовленных по ГОСТ 839–80 (АС 70/11, АС 120/19, АС 150/24, АС 240/32, АС 500/64), как новых, так и демонтированных с действующих ВЛ при различном сроке эксплуатации. Исследования проводились на образцах проводов как с током нагрузки, так и без него при различных условиях окружающей среды – температуре воздуха, скорости и направлении ветра, интенсивности солнечной радиации. Испытательный стенд

был оборудован нагрузочным трансформатором для нагрева проводов электрическим током промышленной частоты, а также измерительной аппаратурой. Измерялась температура проводов, скорость и направление ветра, температура окружающего воздуха.

Температура провода измерялась с помощью специального программно-аппаратного комплекса (ПАК) на базе микроконтроллера с процессором Siemens Infineon C-509 (соединенного с персональным компьютером по интерфейсу RS232) – TLOG. Комплекс позволяет вести непрерывную запись показаний четырех температурных датчиков (DT1, DT2, DT3, DT4) и электронного анемометра (SPEED), синхронизированных по времени. Информация о температуре нагреваемого электрическим током и солнечной радиацией провода, температуре провода, нагреваемого

ИНФОРМАЦИЯ

ДОПУСТИМАЯ ТОКОВАЯ НАГРУЗКА

Длительно допустимая токовая нагрузка по нагреву проводов линий электропередачи определяется двумя условиями:

- сохранением механической прочности провода;
- сохранением нормированных вертикальных расстояний между проводом и землей или между проводом и пересекаемым объектом.

Источник: «Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи МТ 34-70-037-87»

ВИД ТАБЛИЦЫ, ПОЛУЧЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА TLOG

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Время	DT1	АСРDT1	DT2	АСРDT2	DT3	АСРDT3	DT4	АСРDT4	SPEED	
2	2010.22.06-10.13.46	26	2.98	28.9	3.011	33.2	3.05	29.7	2.698	0.719	
3	2010.22.06-10.16.46	26	2.988	29	3.02	33.6	3.057	29.6	2.694	0.903	
4	2010.22.06-10.19.46	26	2.988	29.6	3.027	34.2	3.066	30.8	2.639	0.536	
5	2010.22.06-10.22.46	26.7	2.988	30	3.027	35	3.066	30.6	2.651	1.028	
6	2010.22.06-10.25.46	27	2.988	29.9	3.027	34.9	3.066	30	2.675	1.859	
7	2010.22.06-10.28.46	26.4	2.988	29.6	3.027	34.8	3.066	30	2.688	0.878	

Рис. 1

только солнечной радиацией, температуре воздуха в тени и скорости ветра передавалась в персональный компьютер каждые 2 с, а затем усреднялась в интервале 180 с и заносилась на жесткий диск в виде таблиц в формате Microsoft Excel (рис. 1).

На исследуемые провода датчики крепились с помощью специальных фторопластовых зажимов, использующих медные втулки, и термопасты, благодаря чему увеличивалась теплопередача между поверхностью провода и измерительным элементом датчика, а также выравнивалась температура вдоль поверхности и сечения провода внутри зажима.

Наружная поверхность зажима была покрыта слоем полимерного материала светлого цвета, благодаря чему зажимы дополнительно не нагревались солнечной радиацией и не излучали тепло в окружающую среду.

Данные об интенсивности суммарной солнечной радиации, полученные по результатам актинометрических измерений, запрашивались на метеостанции Москва-МГУ. В качестве примера на рис. 2 показаны изменения суточной интенсивности

суммарной солнечной радиации для отдельных дней.

Температура воздуха в тени измерялась датчиком температуры. Скорость ветра на высоте расположения проводов измерялась электронным анемометром. Направление ветра (угол атаки к проводу) фиксировалось при помощи электронного флюгера. Все показания датчиков и систем передавались в ПАК TLOG.

Исследования влияния токовой нагрузки и солнечной радиации на нагрев проводов проходили в два этапа. На первом этапе исследовались образцы проводов на нагрев только в результате воздействия солнечной радиации, без токовой нагрузки. Исследования проводились на проводах разных марок (АС 70/11, АС 120/19, АС 150/24, АС 240/32, АС 500/64), как новых, так и после длительной эксплуатации, с целью изучения влияния диаметра провода и состояния его поверхности (степени черноты) на его нагрев.

На втором этапе проводилось исследование образцов проводов (АС 150/24, АС 240/32, АС 500/64) с различным состоянием поверхности на нагрев в результате воздействия

токовой нагрузки. Исследования проводились в естественных условиях окружающей среды как при воздействии солнечной радиации на провода, так и без нее.

Температура проводов измерялась как в дневное, так и в ночное время суток. В последнем случае нагрев проводов происходил только за счет протекания тока. В дневное время суток, в период с 11 до 14 часов при ясном небе и максимальной солнечной радиации, нагрев провода проходил за счет токовой нагрузки и солнечной радиации.

На каждой ступени токовой нагрузки (при плотности тока, равной $j = 0; 1; 1,3; 2; 2,6; 3; 3,5 \text{ А/мм}^2$) измерения проводились при установившейся температуре провода. Токовая нагрузка выдерживалась на каждой ступени в течение 20 мин, а затем увеличивалась до следующего уровня. На рис. 3 в качестве примера показан график исследования образца провода АС 240/32 на нагрев от токовой нагрузки (ночное время).

Результаты исследования влияния солнечной радиации на нагрев провода без токовой нагрузки показали, что в зависимости от диа-

СУТОЧНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

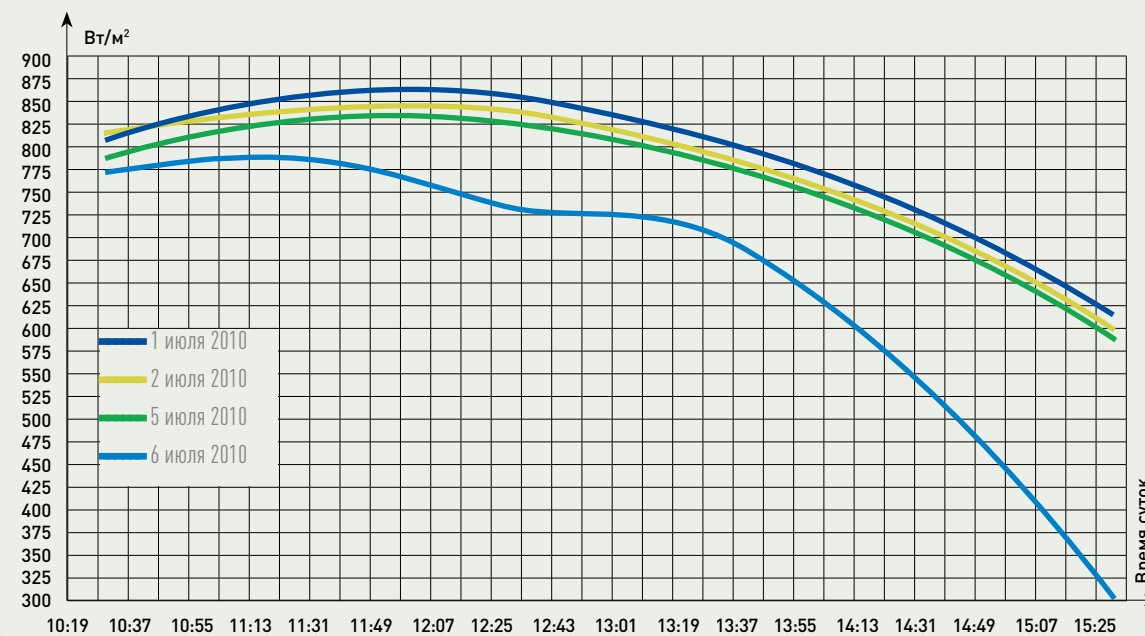


Рис. 2

метра проводов, степени окисления их поверхности (степени черноты) и интенсивности солнечной радиации повышение температуры проводов относительно температуры воздуха за счет солнечной радиации находится в диапазоне от 10 °С до 20 °С. В качестве примера на рис. 4 показаны результаты измерения превышения температуры образцов проводов трех марок (АС 150/24, АС 240/32, АС 500/64) без токовой нагрузки над температурой окружающего воздуха. Измерения проводились 26.06.2010 при следующих параметрах окружающей среды: температура окружающего воздуха – 30,1 °С; скорость ветра – 0,6 м/с; интенсивность солнечной радиации ~ 860 Вт/м². На рис. 4 представлены также расчетные кривые превышения температуры проводов без токовой нагрузки над температурой окружающего воздуха для различных диаметров провода и различной степени черноты их поверхности.

Проведенные исследования влияния токовой нагрузки на нагрев

провода без влияния солнечной радиации (т.е. только за счет токовой нагрузки) показали, что при протекании тока нагрузки плотностью $j = 1 \text{ А/мм}^2$ и при ветре $\leq 0,6 \text{ м/с}$ превышение температуры провода относительно температуры воздуха составляет не более 4–9 °С, в зависимости от типа провода (рис. 3).

В то же время анализ влияния токовой нагрузки на нагрев провода с учетом влияния солнечной радиации показал, что при плотностях тока $j = 0 \div 1,3 \text{ А/мм}^2$ в безоблачную, безветренную погоду (при скорости ветра $\leq 0,6 \text{ м/с}$) солнечная радиация оказывает довольно существенное влияние на нагрев провода. Например, превышение температуры провода над температурой окружающего воздуха для образца провода АС 240/32 при указанных плотностях тока находится в диапазоне 10–15 °С (рис. 5).

Увеличение плотности тока в проводах приводит к повышению температуры провода и к увеличе-

нию разности температур «провод-воздух» (при прочих равных условиях). В результате теплообмена, за счет увеличения интенсивности излучения и конвекции с поверхности нагретого провода, более холодный воздух, прилегающий к проводу, нагревается, становится легче и поднимается вверх. Возникает стабильный вертикальный поток нагретого воздуха. Этот процесс способствует поглощению и рассеиванию солнечной радиации и препятствует дальнейшему нагреву поверхности провода прямой солнечной радиацией. При высоких плотностях тока солнечная радиация практически не оказывает влияние на температуру провода и при расчетах ею можно пренебречь. В качестве примера на рис. 5 представлено сравнение температуры провода АС 240/32, нагреваемого только током нагрузки, с проводом АС 240/32, нагреваемым током нагрузки и солнечной радиацией. Как видно из рис. 5, при плотностях тока $j \geq 2,6 \text{ А/мм}^2$ и скорости ветра $\leq 0,6 \text{ м/с}$ вклад в нагрев провода за счет солнечной радиации составляет не более 1–2 °С.

ГРАФИК ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦА ПРОВОДА АС 240/32 НА НАГРЕВ ОТ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ

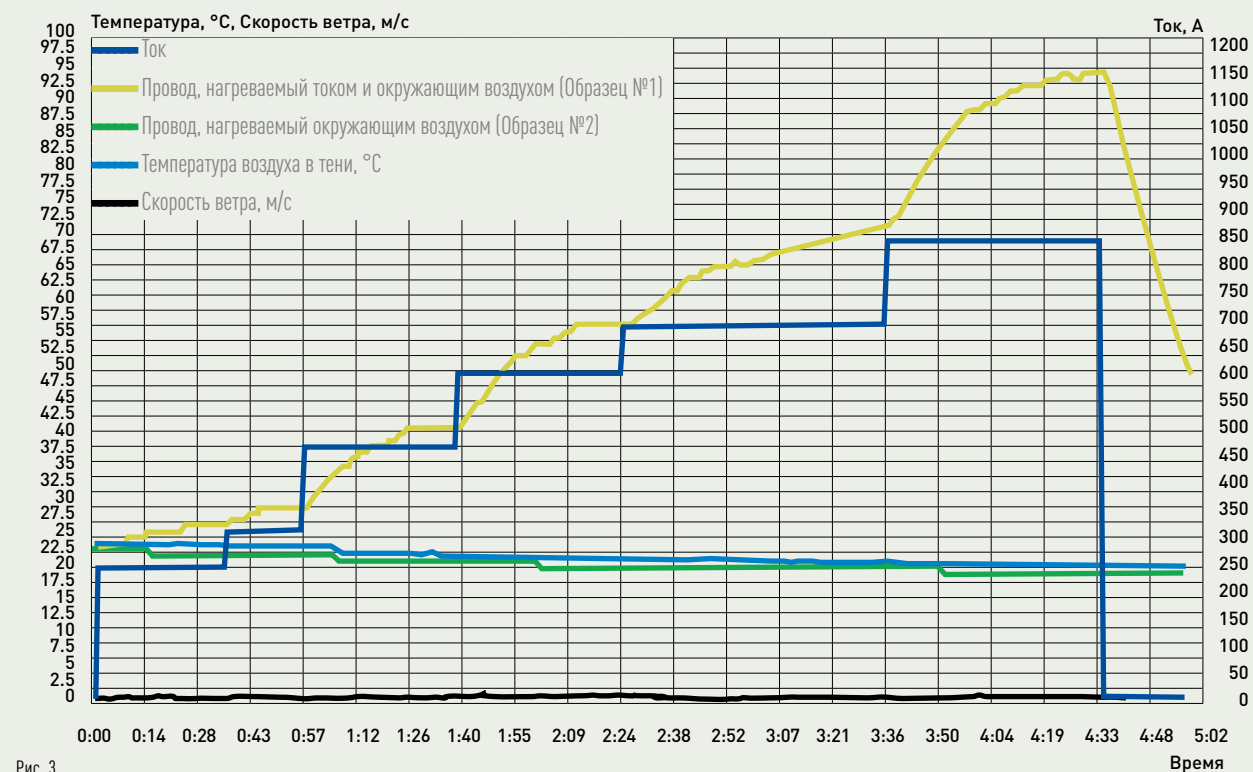


Рис. 3

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК

Основу нашей методики составляет модель теплового баланса, определяющая температуру провода. В соответствии с уравнением теплового баланса [МЭК 61597 [3]] для провода в установившемся режиме:

$$Q_{\text{ток}} + Q_{\text{рад}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{конв}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ток}}$ – теплота, выделившаяся в объеме провода от нагрева провода током нагрузки, Вт/м;

$Q_{\text{рад}}$ – теплота за счет нагревания провода солнечной радиацией, Вт/м;

$Q_{\text{изл}}$ – теплота, отводимая за счет излучения с поверхности провода и зависящая от разности температур

провода и окружающего воздуха, Вт/м;

$Q_{\text{конв}}$ – теплота, отводимая с поверхности провода за счет конвекции с поверхности провода и зависящая от разности температур провода и окружающего воздуха и от скорости ветра, Вт/м.

Следует отметить, что рекомендуемая в МЭК 61597 [3] упрощенная формула суммарного коэффициента теплоотдачи не учитывает движение нагретого воздуха с поверхности провода с частичным поглощением и рассеиванием солнечной радиации. Это приводит к значительному завышению расчетной температуры провода, что существенно занижает расчетное значение токовой нагрузки и может привести к ошибке при определении изменения габаритов в пролетах ВЛ.

В результате проведенных исследо-

ваний уравнение (1) было скорректировано с учетом результатов эксперимента в части, касающейся определения $Q_{\text{рад}}$ и $Q_{\text{конв}}$, и представлено в виде:

$$I^2 \cdot R + \gamma_c \cdot d_{\text{пр}} \cdot q_c \cdot K_j - s \cdot \pi \cdot d_{\text{пр}} \cdot$$

$$\cdot K_e (T_{\text{пр}}^4 - T_{\text{возд}}^4) - \alpha \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{возд}}) \cdot \pi \cdot d_{\text{пр}} = 0, \quad (2)$$

где I – ток нагрузки (А);

R – сопротивление провода на единицу длины при температуре провода $t_{\text{пр}}$, Ом/м;

γ_c – безразмерный коэффициент, учитывающий поглощение солнечной радиации, зависящий от степени загрязненности (черноты) поверхности провода;

K_j – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение влияния солнечной радиации на нагрев

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЯ t ОБРАЗЦОВ ПРОВОДОВ БЕЗ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ НАД t ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

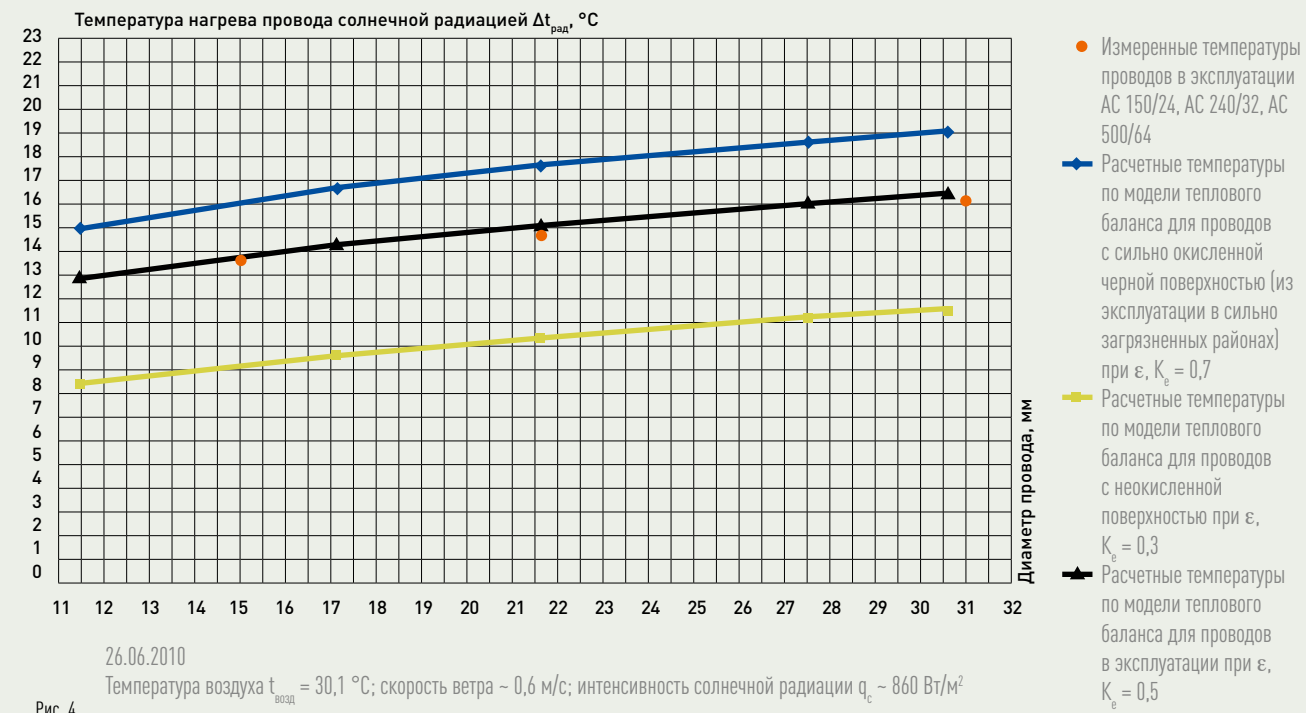


Рис. 4

провода за счет отражения, поглощения и рассеивания потока солнечной радиации в области нагретого воздуха вблизи поверхности провода. Значение коэффициента K_j меняется в диапазоне от 1 до 0 и зависит от разности температур провода и окружающего воздуха, а также от скорости и направления ветра;

$d_{\text{пр}}$ – диаметр провода, м;

q_c – текущее значение интенсивности солнечной радиации, Вт/м²;

s – постоянная Стефана-Больцмана, $s=5,67 \cdot 10^{-8}$, Вт/(м²·К⁴);

K_e – коэффициент излучения;

$T_{\text{пр}}$ – температура нагрева провода, °К;

$T_{\text{возд}}$ – температура окружающего воздуха, °К;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

$t_{\text{пр}}$ – температура провода, °С;

$t_{\text{возд}}$ – температура окружающего воздуха, °С.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ДОПУСТИМЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ПРОВОДОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВЛ

По результатам проведенных исследований для автоматизированного расчета токовых нагрузок проводов действующих ВЛ с учетом

солнечной радиации, температуры окружающего воздуха, скорости и направления ветра по отношению к оси провода, а также габаритов ВЛ был разработан специальный программный комплекс (ПК) – «Программа для расчета токовых нагрузок проводов ВЛ (Currentload_limit)». ПК включает в себя модель теплового баланса провода и модель провисания провода в пролете и позволяет определять температуру провода и токовые нагрузки по условиям нагрева проводов; рассчитывать минимальные расстояния в пролете ВЛ от провода до земли или пересекаемого объекта при заданных условиях окружающей среды, текущей токовой нагрузке, конфигурации пролета; определять предельно допустимую токовую нагрузку, при которой допустимые габариты сохраняются. ПК содержит базу данных основных параметров сталеалюминиевых

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ НА НАГРЕВ ПРОВОДА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

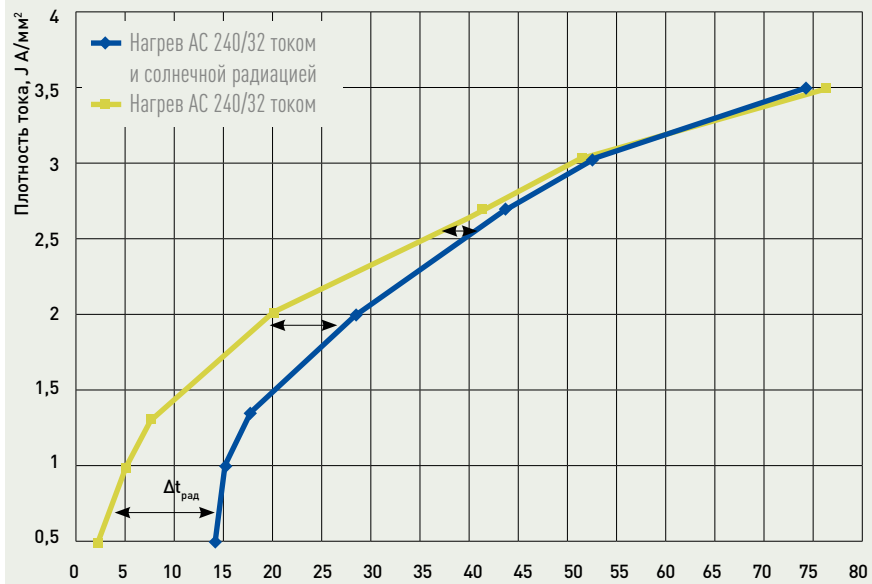


Рис. 5

и медных проводов (ГОСТ 839–80), используемых на действующих воздушных линиях, и справочную информацию, необходимую для расчета. ПК реализован на языке программирования Microsoft Visual C#.NET. Интерфейсы ПК представлены на рис. 6 и 7.

На рис. 6 представлен интерфейс для расчета предельных токовых нагрузок по условию допустимой температуры провода.

На рис. 7 представлен интерфейс для случая расчета предельных токовых нагрузок по условию нарушения габарита ВЛ.

Программа обладает следующими особенностями.

1. Расчет токовой нагрузки по условию допустимой температуры проводов. В этом случае определяется допустимая токовая нагрузка за-

данного провода исходя из допустимой температуры провода и условий окружающей среды (температуры воздуха, интенсивности солнечной радиации, скорости и направления ветра).

2. Расчет допустимой токовой нагрузки по условию нарушения габарита ВЛ выполняется для трех условных типов профиля трассы ВЛ и позволяет определить:

- допустимую токовую нагрузку проводов по условию нарушения габарита ВЛ, при которой сохраняются наименьшее допустимое вертикальное расстояние до земли в нижней точке провисания провода в пролете ВЛ и наименьшее допустимое вертикальное расстояние между проводом в про-

лете ВЛ и пересекаемым объектом; температуру провода при текущей токовой нагрузке, вертикальные расстояния от провода в пролете до земли или пересекаемого ВЛ объекта при заданных условиях окружающей среды.

Результатами расчета допустимой токовой нагрузки по условию нарушения габарита ВЛ являются:

- а) температура провода, рассчитанная для выбранной марки провода при текущих условиях окружающей среды и заданной токовой нагрузке; допустимая температура провода, при которой обеспечиваются допустимые минимальные расстояния между проводом и землей, а также между проводом и пересекаемым объектом при наличии в пролете ВЛ;
- б) фактическое значение вертикального расстояния между проводом и землей в пролете ВЛ («провод – земля»), рассчитанное для текущих условий окружающей среды и заданной токовой нагрузки; фактическое значение вертикального расстояния между проводом и пересекаемым объектом в пролете ВЛ («провод – пересекаемый объект»), рассчитанное для текущих условий окружающей среды и заданной токовой нагрузки;
- в) расчетный запас (по расстоянию) между проводом и землей в пролете ВЛ, определенный как разность между фактическим расстоянием «провод –
- г) расчетный запас (по расстоянию) между проводом и землей в пролете ВЛ, определенный как разность между фактическим расстоянием «провод –
- д) расчетный запас (по расстоянию) между проводом и пересекаемым объектом в пролете ВЛ («провод – пересекаемый объект»), рассчитанное для текущих условий окружающей среды и заданной токовой нагрузки;
- е) расчетный запас (по расстоянию) между проводом и пересекаемым объектом в пролете ВЛ, определенный как разность между фактическим расстоянием «провод – пересекаемый объект» и минимальным допустимым;
- ж) расчетная предельная токовая нагрузка для выбранной марки провода и условий окружающей среды, при которых в пролете ВЛ обеспечиваются минимальные допустимые расстояния «провод – земля» и «провод – пересекаемый объект».

ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ПО УСЛОВИЮ ДОПУСТИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА

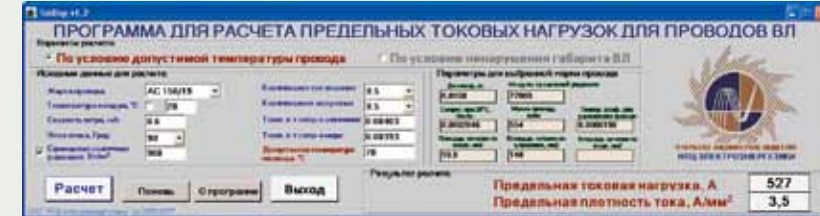


Рис. 6

ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ СЛУЧАЯ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОКОВЫХ НАГРУЗОК ПО УСЛОВИЮ НЕНАРУШЕНИЯ ГАБАРИТА ВЛ

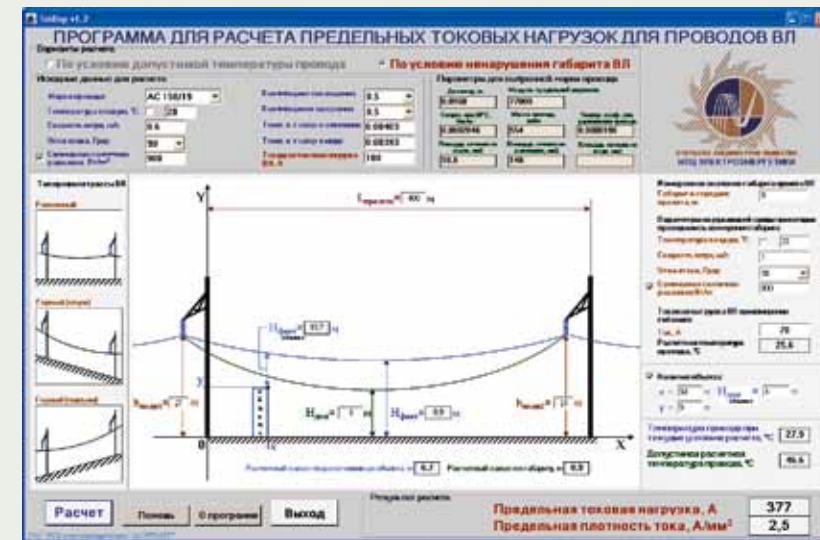


Рис. 7

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗНЫХ МАРОК ПРОВОДОВ

В таблице 1 и на рис. 8 представлено сопоставление результатов расчета токовой нагрузки с экспериментальными данными на примере провода АС 240/32.

В таблице 2 и на рис. 9 представлено сопоставление результатов расчета температуры проводов различных марок с экспериментальными данными в зависимости от плотности тока при параметрах окружающей среды: солнечная радиация – 850 Вт/м², скорость ветра – 0,6 м/с, температура воздуха – 25 °С.

Как видно из таблиц 1, 2 и рис. 8, 9, средняя погрешность расчетных данных по отношению к экспериментальным не превышает 3%, что говорит о корректности модифицированного уравнения теплового баланса, приведенного в СТО ОАО «ФСК ЕЭС» «Методики расчета токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи».

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования по определению температуры проводов марок АС 70/11, АС 120/19, АС 150/24, АС 240/32, АС 500/64 при различных токовых нагрузках, температуре окружающего воздуха, скорости и направлении ветра, в том числе с учетом солнечной радиации.

2. По результатам исследований скорректирована методика определения токовых нагрузок для проводов ВЛ, учитывающая условия окружающей среды (температуру

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

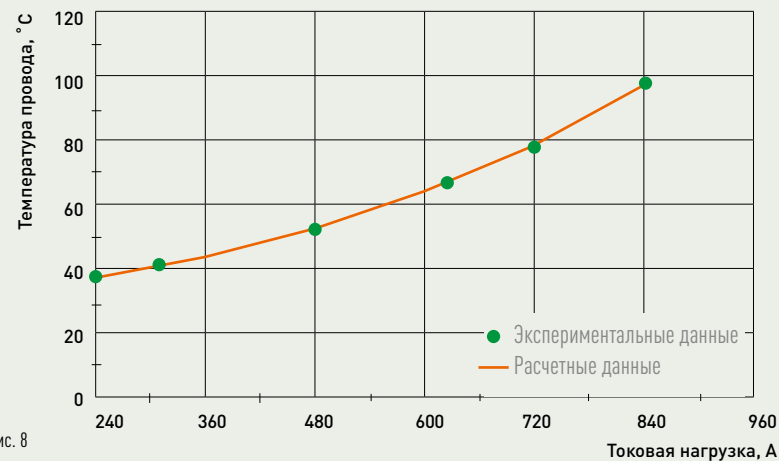


Рис. 8

воздуха, скорость и направление ветра, интенсивность солнечной радиации) и использующая модифицированное уравнение теплового баланса, разработанное с учетом МЭК 61597 и МТ 34-70-037-87.

3. На основании проведенных исследований разработан программный комплекс – «Программа для расчета токовых нагрузок проводов

ВЛ (Currentload_limit)». ПК включает в себя модифицированное уравнение модели теплового баланса и модели провисания провода в пролете и позволяет:

- определять температуру провода и токовые нагрузки по условиям нагрева проводов с учетом условий окружающей среды;

рассчитывать минимальные расстояния в пролете ВЛ от провода до земли или пересекаемого объекта при заданных условиях окружающей среды, текущей токовой нагрузке и конфигурации пролета; определять допустимую токовую нагрузку, при которой наименьшие допустимые расстояния от провода до земли и/или до пересекаемого объекта не нарушаются.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] РД 34.20.547 Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов для действующих линий электропередачи (МТ 34-70-037-87).
- [2] Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – Издание шестое, глава 1.3.
- [3] МЭК 61597 (1995) Провода электрические для воздушных линий электропередачи. Методы расчета для скрученных голых проводов.
- [4] Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – Издание шестое и седьмое, глава 2.5.

ДАТА: 05.07.2010, ВРЕМЯ СУТОК: ДЕНЬ (11:30 – 14:00). НАГРЕВ ПРОВОДА ТОКОМ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Время	Скорость ветра, м/с	Угол атаки, °	Температура воздуха, $t_{\text{возд}}, ^\circ\text{C}$	Температура провода, $t_{\text{пров}}, ^\circ\text{C}$	Солнечная радиация*, Вт/м ²	Плотность тока, А/мм ²	Ток измеренный, кА	Ток расчетный, кА
11:30	0,45	50	24,3	39,0	860	1,0	240,0	251,5
11:50	0,56	50	25,0	42,1	860	1,3	312,0	323,4
12:20	0,52	60	25,0	53,0	850	2,0	480,0	479,5
12:50	0,60	50	25,5	67,0	850	2,6	625,0	622,1
13:20	0,60	60	26,0	77,0	845	3,0	720,0	707,9
14:00	0,65	60	27,0	99,0	830	3,5	840,0	847,2

* - данные получены по результатам актинометрических измерений на метеостанции Москва-МГУ

Таблица 1

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДОВ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

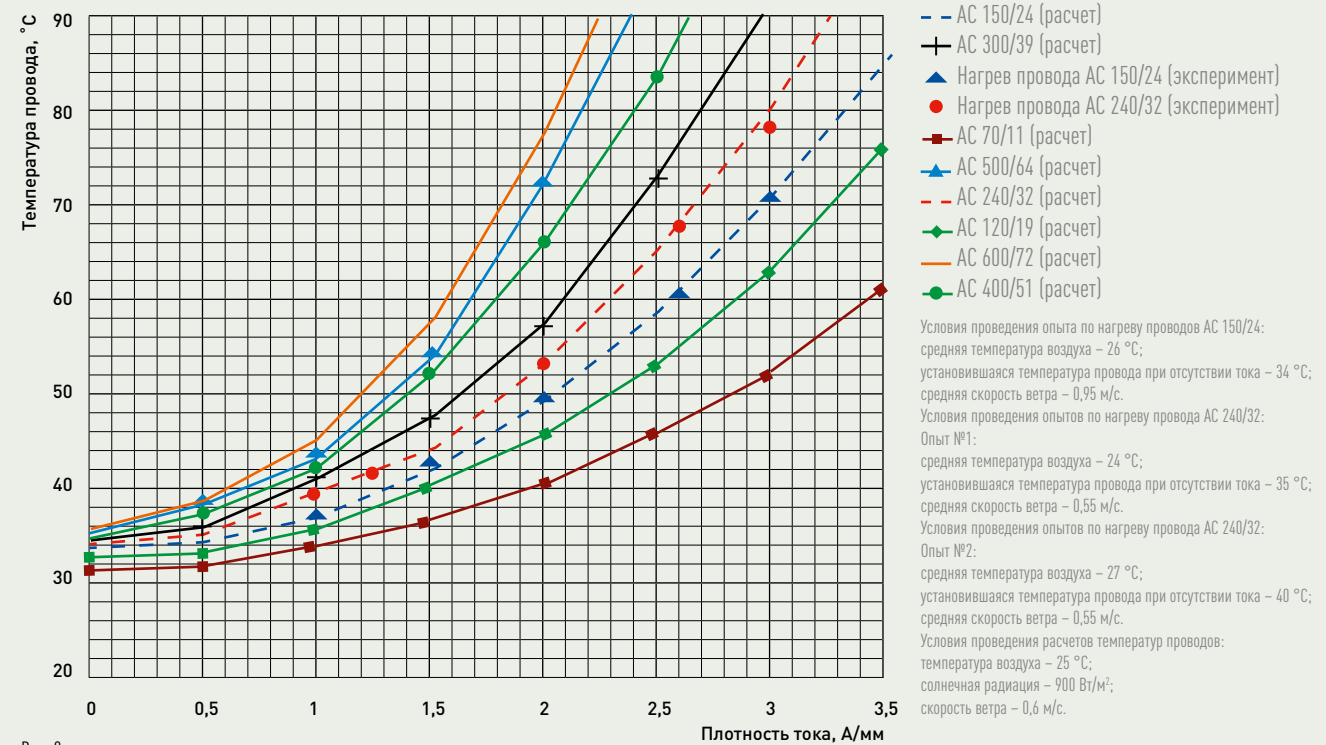


Рис. 9

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ – 900 ВТ/М², СКОРОСТЬ ВЕТРА – 0,6 М/С, ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА – 25 °С

Плотность тока, А/мм ²	Расчетная температура провода, °C							
	АС 70/11	АС 120/19	АС 150/24	АС 240/32	АС 300/39	АС 400/51	АС 500/64	АС 600/72
0	31,5	32,25	32,6	33,4	33,8	34,08	34,4	34,608
0,5	32,0	33,05	33,6	34,55	35,3	35,96	36,6	37,15
1,0	34,1	35,5	36,6	38,3	39,8	41,7	43,2	44,82
1,5	36,7	39,7	41,7	44,45	47,5	51,4	54,6	58,0
2,0	40,7	45,6	49,0	53,4	58,2	65,65	71,3	77,41
2,5	46,0	53,5	58,5	65,3	73,0	84,7	94,0	104
3,0	52,7	63,2	70,8	80,55	91,8	109,6	123,5	138,7
3,5	61,0	75,35	85,8	99,6	115	141	160	181,99

Таблица 2