

EnergyCS Line

в ОАО "ВНИПИгаздобыча"

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

Одно из основных направлений деятельности ОАО "ВНИПИгаздобыча" — проектные работы (в том числе связанные с электроснабжением) по обустройству газовых месторождений ОАО "Газпром", расположенных на Крайнем Севере, то есть в районах с отрицательными среднегодовыми температурами и чрезвычайно морозными зимами (температурный минимум, зафиксированный в этих краях, -65°C).

При проектировании электроснабжения одними из наиболее трудоемких являются работы по проектированию линий электропередач среднего напряжения: приходится решать целый комплекс задач, связанных прежде всего с обработкой большого объема информации о плане трассы, полученной от изыскателей, и механическим расчетом проводов проектируемой линии.

Выбор программного комплекса. Почему именно EnergyCS Line?

Для выполнения расчетов, предусмотренных ПУЭ, рассматривалось программное обеспечение нескольких комплексов, в том числе комплекс EnergyCS Line (разработчик — CSoft Development). Изучение возможностей EnergyCS Line при проектировании электроснабжения позволило говорить о следующих достоинствах комплекса:

- EnergyCS Line позволяет пользователю настраивать программу под требования конкретной организации. В частности, возможно вести базу данных собственного применяемого оборудования, формировать различные выходные документы. Исходные данные могут вводиться как из внешних электронных таблиц, так и в графическом представлении непосредствен-

но из AutoCAD. Результаты оформляются не только как табличные и графические печатные документы, но и в электронном виде, пригодном для дальнейшей обработки.

- Решение всего комплекса задач осуществляется в одной программе — без лишних переходов от приложения к приложению. Непосредственно в EnergyCS Line реализована визуализация результатов.

- Программа позволяет выполнить расстановку промежуточных опор без обращения к шаблонам. При этом расстановка выполняется с использованием данных о профиле трассы, опорах, пересечениях, допустимом габарите провисания провода, а также с учетом информации о возможности установки опор по показаниям грунта. Расстановку можно выполнять многократно — до получения оптимального результата, причем программа не препятствует проектировщику корректировать результаты этой операции.

- В EnergyCS Line реализованы подходы, которые позволяют использовать один и тот же программный комплекс для проектирования линий низкого и среднего напряжения, а также высоковольтных воздушных линий электропередач. Метод механического расчета проводов позволяет выполнять расчеты для любых пролетов, в том числе и для больших переходов.

- Формирование табличных документов осуществляется в виде документов MS Word по шаблонам, заранее настроенным в соответствии со стандартами предприятия.

- Формирование графических документов осуществляется в AutoCAD на

листах документов, полученных в качестве исходных данных.

- При возникновении проблем система технической поддержки и разработчики в кратчайшие сроки помогают устранить все коллизии.

- Цена лицензии на программный продукт также оказалась приемлемой.

На выбор программы повлияло и использование в ней алгоритмов для механического расчета проводов, основанных на разработках известного специалиста в этой области профессора А.Д. Бошняковича. Приобретению EnergyCS Line предшествовали проверочные расчеты по уже завершенным проектам, а результаты сопоставлялись с теми, что были получены по старым методикам. Проверка показала совпадение результатов — при том что в EnergyCS Line применяются другие методы расчета провисания провода и расстановки опор.

Специалисты ОАО "ВНИПИгаздобыча" параллельно проектируют несколько объектов — соответственно потребовалось приобрести и достаточное количество лицензий EnergyCS Line. Сегодня программа установлена на компьютерах электротехнического отдела, а также на ноутбуке, который используется при выездах — для решения вопросов на месте.

Первое применение

Первым объектом, на котором был применен программный комплекс, стала небольшая линия электропередач на одном из газовых месторождений в Ямало-Ненецком АО.

В качестве исходных данных использовался чертеж района прохождения ВЛ, на котором были нанесены высотные отметки местности и инженерные коммуникации, выполненные другими отдела-

ми института, — в частности, автомобильная дорога, вдоль которой пройдет ВЛ. Кроме того, на чертеже были отмечены положения начала и конца трассы.

Начало работы с EnergyCS Line потребовало выполнения ряда подготовительных работ, обеспечивающих ввод исходных данных в программу:

- в AutoCAD Civil 3D по отметкам местности была сформирована 3D-поверхность местности, где предстоит пройти ВЛ (рис. 1);
- с помощью макроса собственной разработки по сформированной триангуляции поверхности и нанесенной на чертеже линии трассы была построена таблица профиля проектируемой ВЛ (формат таблицы — CSV);
- исходя из принятой конфигурации ВЛ, на чертеже были расставлены анкерные опоры (рис. 2), представляющие собой блоки с соответствующими атрибутами. Средствами AutoCAD координаты размещения опор и их позиционные обозначения переданы в таблицу формата CSV.

Далее работа строится следующим образом.

После загрузки программы и сохранения файла вводятся общие данные для проекта, представленные на рис. 3.

В общих данных определяются значимые для расчетов параметры климатического района, предпочтительные типы анкерных и промежуточных опор, линейной арматуры, арматуры подвески проводов и т.д.

Описание профиля трассы и анкерных опор (рис. 4, 5) вводится в соответствующие таблицы программы с помощью команды *Загрузить из файла*.

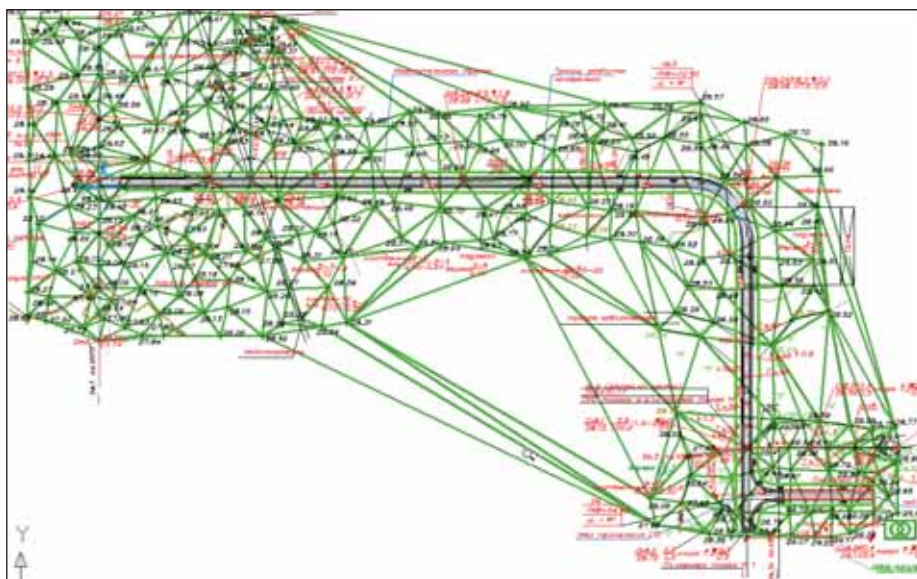


Рис. 1

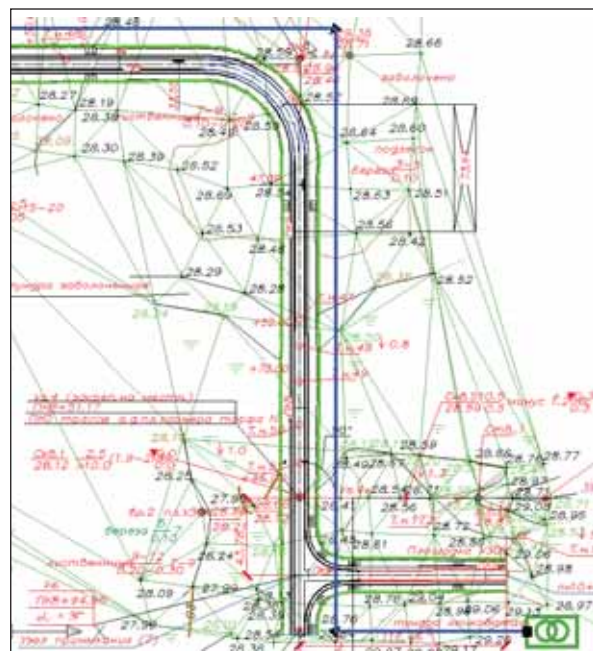


Рис. 2

Описание трассы линии №1											
№	Дистанция, м	Уровень, м	Пикет	Азимут	Уровень, м	Уровень, м	Выс. опор	Группа	Тип пересечения	Ось, зона	Ширина, м
0	28.58	ПК0+0	0	28.58	28.58						
1	10.66	28.54	ПК0+10.7	0	28.54	28.54					
1	18.40	28.56	ПК0+18.5	0	28.56	28.56					
1	35.95	28.54	ПК0+36	0	28.54	28.54					
1	42.03	28.53	ПК0+42	0	28.53	28.53					
1	45.9	28.64	ПК0+45.9	0	28.64	28.64					
1	75.97	28.71	ПК0+76	0	28.71	28.71					
1	78.18	28.71	ПК0+78.2	0	28.71	28.71					
1	79.96	28.6	ПК0+79.9	0	28.6	28.6					
1	79.35	29	ПК0+79.3	0	29	29					
1	80.63	29.2	ПК0+80.6	0	29.2	29.2					
1	127.17	29.3	ПК1+27.2	0	29.3	29.3					
1	136.77	29.3	ПК1+36.8	0	29.3	29.3					
1	144.92	29.2	ПК1+44.9	0	29.2	29.2					
1	161.32	29	ПК1+61.3	0	29	29					
1	174.89	28.6	ПК1+74.7	0	28.6	28.6					
1	186.47	28.4	ПК1+86.5	0	28.4	28.4					
1	196.93	28.34	ПК1+96.9	0	28.34	28.34					
1	210.79	28.46	ПК2+10.8	0	28.46	28.46					
1	243.36	28.53	ПК2+43.4	0	28.53	28.53					
1	251.32	28.56	ПК2+51.3	0	28.56	28.56					
1	279.75	28.71	ПК2+79.8	0	28.71	28.71					
1	296.97	28.71	ПК2+97	0	28.71	28.71					
1	290.18	28.71	ПК2+90.2	0	28.71	28.71					
1	321.39	28.83	ПК3+21.4	0	28.83	28.83					
1	331.61	28.89	ПК3+31.6	0	28.89	28.89					
1	349.66	29.01	ПК3+49.7	0	29.01	29.01					
1	360.49	29.06	ПК3+60.5	0	29.06	29.06					
1	374.15	28.95	ПК3+74.1	0	28.95	28.95					
1	390.54	28.97	ПК3+90.5	0	28.97	28.97					
1	406.66	28.77	ПК4+06.7	0	28.77	28.77					
1	421.86	28.76	ПК4+21.9	0	28.76	28.76					
1	435.46	28.64	ПК4+35.5	0	28.64	28.64					
1	447.69	28.64	ПК4+47.7	0	28.64	28.64					
1	455.72	28.63	ПК4+55.7	0	28.63	28.63					
1	461.99	28.6	ПК4+62	0	28.6	28.6					
1	491.52	28.96	ПК4+91.5	0	28.96	28.96					
1	487.26	28.96	ПК4+87.3	0	28.96	28.96					

Рис. 4

Общие данные	
Длина	Пикет
1. Наименование ВЛ	Угол СПР
2. Среда	6
3. Номинальное напряжение ВЛ, кВ	Один провод
4. Конструкция ВЛ	ВЛ
5. Вид проекта (расчет)	6
6. Допустимый габарит до провода, м	Не определен
7. Климатический район	63
8. Температура зимой (та), °C	-7.8
9. Температура среднесуточная (та), °C	34
10. Температура летом (та), °C	15
11. Температура уличной активности (та), °C	-10
12. Температура наибольшего ветрового ветра (та), °C	400
13. Нормативный скоростной напор ветра (та), Па	25.208
14. Нормативная скорость ветра (та), м/с	10
15. Температура образования гололеда (та), °C	15
16. Толщина слоя гололеда (та), мм	140.63
17. Нормативный напор ветра при гололеде (та), Па	15
18. Нормативная скорость ветра при гололеде (та), м/с	A
19. Преобладающий тип местности	1.1
20. Региональный коэф. по ветровой нагрузке (та)	1
21. Региональный коэф. по гололедной нагрузке (та)	1
22. Район по степени загрязнения для изоляторов	1
23. Марка провода большинства участков ВЛ	PAS 1x120
24. Предпочтительный тип анкеров	1
25. Стандартный изолятор анкерной опоры	1
26. Арматура подвески провода	1
27. Предпочтительный тип промежуточной опоры	1
28. Стандартный изолятор промежуточной опоры	1
29. Арматура подвески провода	1
30. Тип и количество фазных проводов	1
31. Допустить один кабель выбран на проект	Нет

Рис. 3

Анкерные опоры												
№	Обозначение	X м	Y м	Дистанция м	Пикет	Марка опоры	Нижнее траверсы	Дополнит. гирлянды	Комплект оборудования	Комплект арматуры	Детали опоры	Примечание
1.1	A1	225.1	665.8	0	ПК0+0	АС10ПИ-1А	7.585	-	Разъед. КР-1 и муфта	Анкерный-RUS	-	
1.2	A2	225.1	620	45.8	ПК0+45.8	АУС10ПИ-1А	7.585	-	-	Анкерный-RUS	-	
1.3	A3	835.1	620	665.8	ПК6+65.8	АУС10ПИ-1А	7.585	-	-	Анкерный-RUS	-	
1.4	A4	834.9	277.9	997.9	ПК9+97.9	АУС10ПИ-1А	7.585	-	-	Анкерный-RUS	-	
1.5	A5	943.4	277.9	1106.4	ПК11+6.4	АС10ПИ-1А	7.585	-	Разъед. КР-1 и муфта	Анкерный-RUS	-	

Рис. 5

Пересечения линии НЛ													
№	Дистанция, м	Пикет базы	Ось/Зона	Наименование пересечения	Тип	Ширина м	Угол °	Доп.расст. до опоры	Уровень м	Высота м	Доп.расст. до провода	Положение новой ВЛ	Режим тр, °С
1	965.9	ПК9+65.9	Ось	Автострада	-	6	90	10	30.648	2.1	7	Выше	Высшая температура

Рис. 6

Анкерные участки ВЛ																
№	Код	Анкерная опора 1	Анкерная опора 2	Местность	Азимут °	Длина участка	Макс. длина пролета	Допустимый габарит	Марка провода	Допустимое натяжение	Допустимое напряжение	Число фаз	Марка опоры промежуточной	Изоляторы фазы	Арматура фазы	Вн. кр.
1	1	A1	A2	A	180	45.8	45.8	6	PAS 1x120	3600	30	3	ПС10ПИ-2А	ЛК70/10 II УХЛ	Подвесной-RUS	9
2	2	A2	A3	A	90	610	70	6	PAS 1x120	3600	30	3	ПС10ПИ-2А	ЛК70/10 II УХЛ	Подвесной-RUS	9
3	3	A3	A4	A	-180	342.1	70	6	PAS 1x120	3600	30	3	ПС10ПИ-2А	ЛК70/10 II УХЛ	Подвесной-RUS	9
4	4	A4	A5	A	90	108.5	50	6	PAS 1x120	3600	30	3	ПС10ПИ-2А	ЛК70/10 II УХЛ	Подвесной-RUS	9

Рис. 7

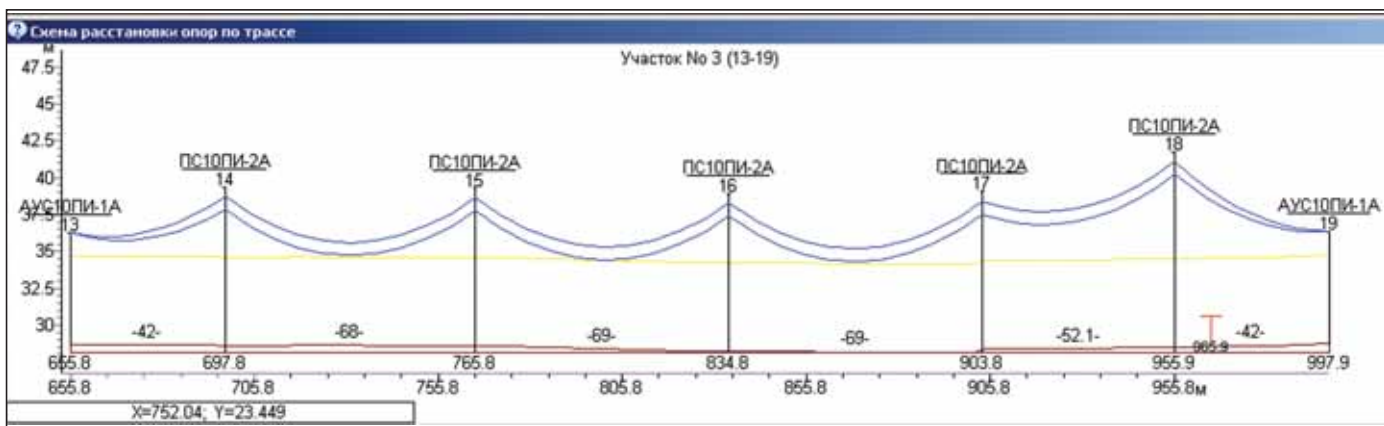


Рис. 8

Дополнительная информация о трассе, связанная с описанием пересечений, может вводиться непосредственно в таблицу пересечений (рис. 6) или в специальные поля описания профиля. На сегодня данные о пересечениях вводятся вручную, но в дальнейшем планируется вводить их из таблицы формата CSV, которая будет формироваться аналогично таблице анкерных опор.

Следующая задача состоит в том, чтобы описать топологические участки линии, определяющие ее конфигурацию. Линия может состоять из множества топологических участков, которыми являются основная линия ВЛ и ответвления от нее либо от других ответвлений (сложность конфигурации линии программа не ограничивает). В свою очередь каждый топологический участок может быть образован множеством анкерных участков, то есть независимых по механическому расчету участков между двумя анкерными или угловыми опорами. В каче-

стве угловых опор при небольших углах поворота могут использоваться промежуточные опоры — в этом случае анкерные участки, разделенные промежуточными угловыми опорами, рассматриваются в расчете совместно. Результат описания топологии ВЛ в виде совокупности анкерных участков приведен на рис. 7.

Далее следует расставить промежуточные опоры — в каждом анкерном участке по отдельности. При наличии EnergyCS Line эта работа не покажется трудоемкой: программа выполняет начальную расстановку, учитывая профиль трассы, высоту опор, наличие пересечений, а также условия грунта. При расстановке опор автоматически обеспечиваются горизонтальные габариты пересечений. Вертикальные габариты проектировщик контролирует самостоятельно, но в помощь ему EnergyCS Line предоставляет специальное средство — окно отображения схемы расстановки опор (рис. 8).

В окне показаны и профиль трассы, и места установки опор, и кривые провисания провода, и обозначение пересечений в масштабе. Любая опора может быть вручную передвинута вправо или влево по трассе, установлена на искусственном возвышении или заглублена. В рассматриваемом проекте эта возможность использовалась для обеспечения величин пролетов, смежных с анкерными опорами, равными $0.6 \cdot L_{\text{габ}}$ в соответствии с требованиями производителя опор. Начиная с любой точки можно изменить тип устанавливаемой опоры. Перед автоматической расстановкой программа определяет исходный (наиболее тяжелый) и расчетный (с наибольшей стрелой провисания) режимы для выбранного провода и указанного типа промежуточной опоры. Осуществляется визуальный контроль над процессом. При расстановке постоянно контролируется длина приведенного пролета, а результат не требует последующей про-

Монтажные стрелы провеса						
Участок А2 - А3; Lпр=56,502 м; Провод PAS 1х120, SM=30 Н/кв.мм, Sа=25 Н/кв.мм t=10°C, Вит=15 мм, Wит=140,63Па, tр=34°C, Вр=0, Wр=0						
t(°C)/M	30	40	50	60	70	80
-40	0.45881	0.81567	1.2745	1.8353	2.498	3.2627
-35	0.47024	0.83598	1.3062	1.881	2.5602	3.3439
-30	0.48142	0.85595	1.3373	1.9257	2.621	3.4234
-25	0.49236	0.87531	1.3677	1.9694	2.6806	3.5012
-20	0.50309	0.89437	1.3975	2.0123	2.739	3.5775
-15	0.5136	0.91307	1.4267	2.0544	2.7963	3.6523
-10	0.52392	0.93141	1.4553	2.0957	2.8524	3.7256
-5	0.53405	0.94942	1.4835	2.1362	2.9076	3.7977
0	0.544	0.96712	1.5111	2.176	2.9618	3.8685
5	0.55379	0.98451	1.5383	2.2152	3.0151	3.9381
10	0.56341	1.0016	1.565	2.2537	3.0675	4.0065
15	0.57288	1.0185	1.5913	2.2915	3.119	4.0738
20	0.58221	1.035	1.6172	2.3288	3.1698	4.1401
25	0.59139	1.0514	1.6428	2.3656	3.2198	4.2054
30	0.60044	1.0674	1.6679	2.4018	3.2691	4.2698
35	0.60936	1.0833	1.6927	2.4374	3.3176	4.3332
40	0.61816	1.0989	1.7171	2.4726	3.3656	4.3958

Рис. 10

Выгрузки из программы									
Трасса №1									
Опора концевая № А1, АС10ПН-1А									
№	Наименование режима	Ta Н	Ga Н	Wa Н	Tb Н	Gb Н	Wb Н	Tc Н	Gc Н
1	Среднегодовой температуры: b=0, W=0, t=-7,8°C	14040	2870.7	0	14040	2870.7	0	14040	2870.7
2	Нижней температуры: b=0, W=0, t=-63°C	14040	2870.7	0	14040	2870.7	0	14040	2870.7
3	Гололед, без ветра: b=15мм, W=0, t=-10°C	3593.2	317.2	0	3593.2	317.2	0	3593.2	317.2
4	Наибольший скоростной напор ветра: b=0, W=400Н/кв.мм, t=-10°C	2919.2	2850.8	290.15	2919.2	2850.8	290.15	2919.2	2850.8
5	Гололед, ветер вдоль трассы: b=15мм, W=140.63Н/кв.мм, t=-10°C	4680	317.3	363.05	4680	317.3	363.05	4680	317.3

Рис. 9

Ведомость опор с оборудованием													
№	Наименование	Марка	Чертеж	Стандарт	Изготовитель поставщик	Ед. изм.	Количество	Вес в кг	Вес т	Наименование оборудования	Обозначение комплекта	Чертеж	Примечание
1	Опора анкерная	АС10ПН-1А	ЗЛ-ТП.010.06-12	ТУ	ЗАО "ВНПО Э	Шт	2	268.5	0.537	Установка разьём	КР-1	ЗЛ-ТП.010.06-34	1,22;
2	Опора анкерная	АУС10ПН-1А	ЗЛ-ТП.010.06-14	ТУ	ЗАО "ВНПО Э	Шт	3	273.5	0.8206				2,13;19;
3	Опора промежу	ПС10ПН-2А	ЗЛ-ТП.010.06-04	ТУ	ЗАО "ВНПО Э	Шт	16	282.5	4.52				3,4,5,6,7
4	Опора промежу	ПС10ПН-2А	ЗЛ-ТП.010.06-04	ТУ	ЗАО "ВНПО Э	Шт	1	282.5	0.2625				H=2.5 м

Рис. 11

Ведомость пересечений													
№	Дистанция м	Пикет базы	Ось/Зона	Наименование пересечения	Тип	Ширина м	Угол °	Отметка м	Опора 1	Марка опоры 1	Номер черт.	Опора 2	Марка опоры 2
1	955.9	ПК9+65.9	Ось	Автострога	-	6	90	30.648	3-5	ПС10ПН-2А	ЗЛ-ТП.010.06-04	А4	АУС10ПН-1А
												ЗЛ-ТП.010.06-14	PAS 1х120
													Марка троса
													Длина пролета
													Расстояние до опор

Рис. 12

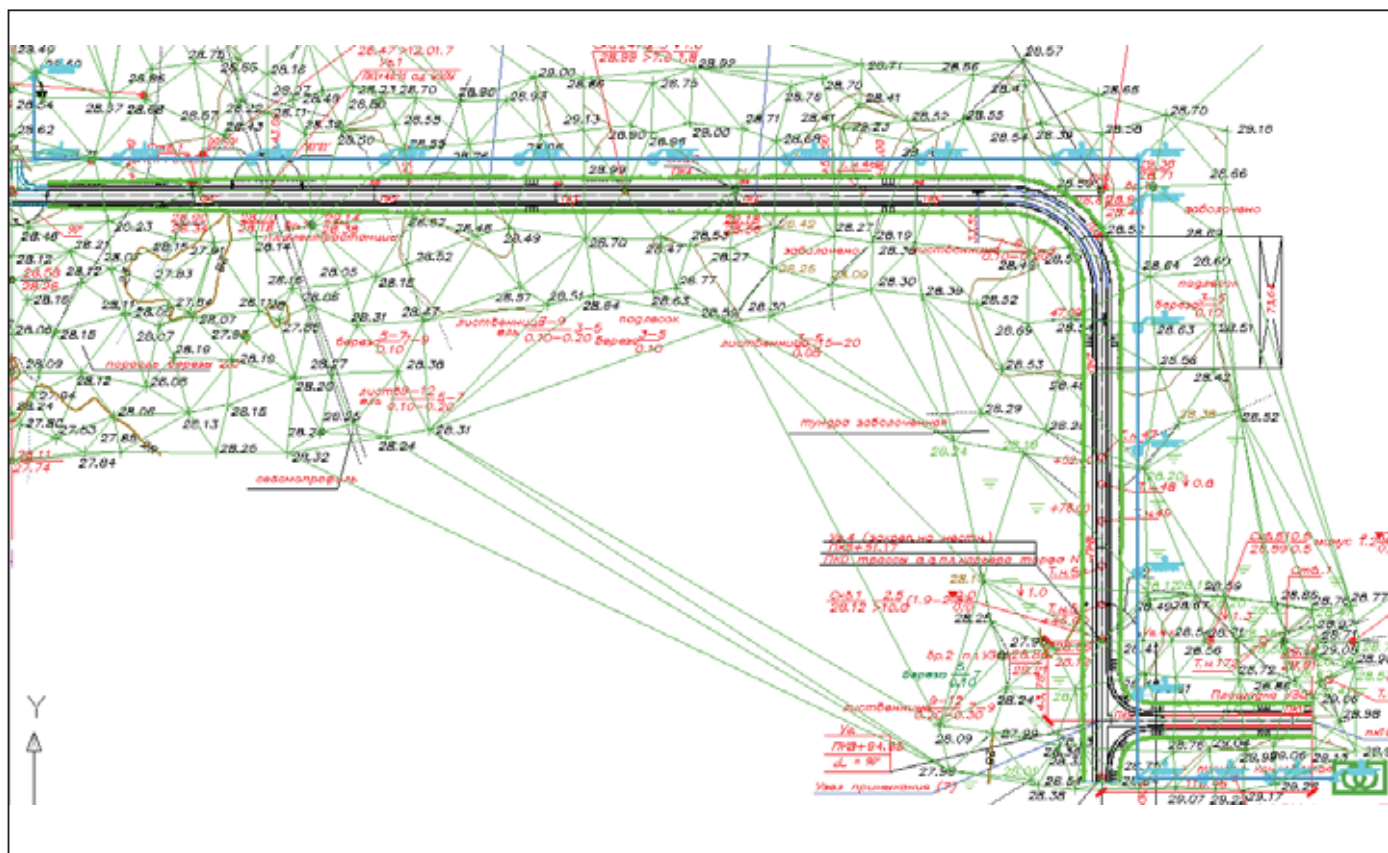


Рис. 13

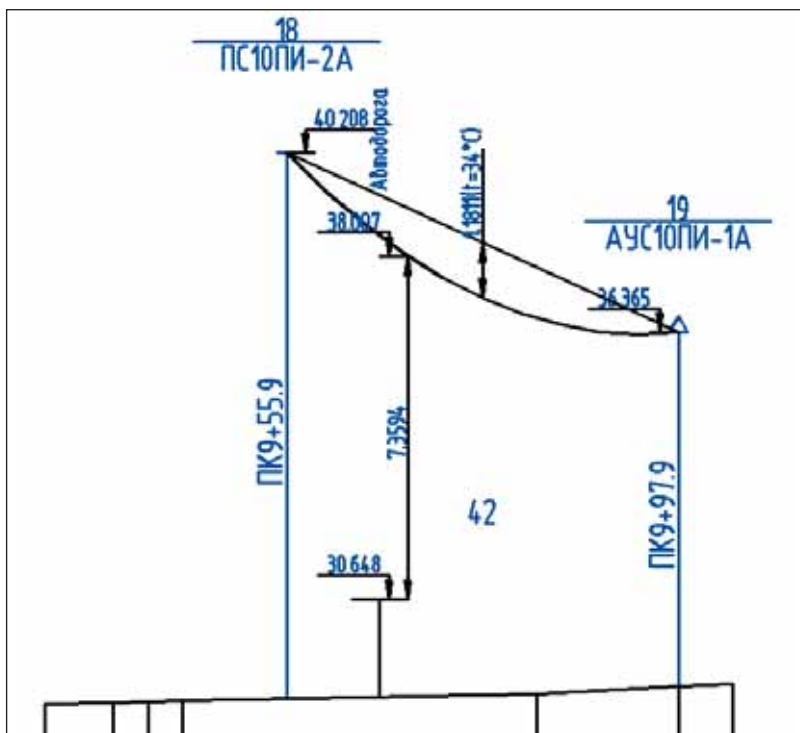


Рис. 14

верки, связанной с тем, что приведенный пролет может существенно отличаться от принятого расчетного. Кроме того, расстановку опор можно оптимизировать по длине последнего пролета. Такая расстановка существенно отличается от расстановки опор с использованием шаблонов и выполняется намного быстрее.

Когда опоры расставлены, можно предусмотреть установку на них дополнительного оборудования: разъединителей, муфт перехода с ВЛ на кабель, разрядников или ограничителей перенапряжений. Места расположения этого оборудования уже определены проектировщиком, требуется только ввести необходимую информацию: для анкерных опор — в таблицу "Анкерные опоры", а для промежуточных — в таблицу "Опоры участка". При этом оборудование будет учтено в спецификации проекта.

Нумерация всех опор проекта выполняется одной командой. Предварительно для каждого топологического участка должны быть определены начальные номера – например, литерные префиксы и постфиксы. При выполнении команды нумеруются только те опоры, которые не имеют обозначений, введенных проектировщиком, – то есть для перенумерации всех опор, возможно, понадобится очистка их обозначений. Программа позволяет сочетать ручную нумерацию с автоматической.

Для проектирования фундаментов
или выбора способа крепления опоры

в грунте необходима проверка нагрузок на опоры. В EnergyCS Line для получения нагрузок на любую выбранную опору линии достаточно одной команды *Нагрузки на опоры*. Результат может быть передан для дальнейшего использования — например, в строительный отдел. Программа также выполняет расчет серии режимов, определенных ПУЭ (для среднегодовой и низшей температуры, режимов гололеда без ветра, гололеда с ветром, максимального ветрового напора). Совокупность режимов отображается в таблице и на рисунке-схеме опоры (рис. 9). Кроме того, результаты (в формате MS Word) могут быть включены в итоговую документацию.

Следующий шаг – получение проектной документации. По результатам расстановки программа позволяет получить следующие итоговые документы:

- монтажные стрелы и монтажные тяжения или напряжения проводов (рис. 10) и, если необходимо, тросов;
- ведомость опор, ведомость опор с оборудованием (рис. 11). В программе предусмотрена возможность генерации двух вариантов ведомости опор: в одном случае одинаковые опоры группируются под список применимости, во втором – опоры с оборудованием выделяются в отдельные позиции. Средствами программы также формируются ведомость проводов и тросов, поопорная ведомость гирлянд изоляторов, ведомость арматуры и изоляторов по

всему проекту (из которой возможно формирование спецификации проекта) и ведомость пересечений (рис. 12) с описанием параметров пересечений и результатами проверки габаритов.

Помимо получения табличных результатов возможен вывод опор ВЛ непосредственно на чертеж, использованный в качестве исходных данных. К примеру, опоры могут быть нанесены на план (рис. 13) и профиль трассы (рис. 14) с указанием всех необходимых габаритов пересечений.

Таким образом, проект, на который уходило до нескольких рабочих дней (с учетом выполнения трудоемких вычислений комплекса механического расчета проводов – проверки допустимых габаритов в любом из пролетов и на пересечениях, монтажных стрел провеса проводов и др.), после предварительной настройки программы оказалось возможным выполнить менее чем за день. Как минимум, при этом гарантируется отсутствие арифметических ошибок, а все инженерные решения остались под контролем проектировщика.

Заключение

При выполнении проекта комплекс EnergyCS Line доказал свою эффективность. Ряд решений, касающихся представления результатов, был неприменим в условиях нашей проектной организации, но в результате взаимодействия с разработчиками программы удалось отладить технологию и получить приемлемое решение. Применение программы реально уменьшило затраты на наиболее трудоемкую часть проектирования ВЛ, механический расчет проводов, и тем самым существенно сократило сроки выполнения проекта, свело на нет риск появления арифметических ошибок, автоматизировало получение практически всех табличных проектных документов.

Несмотря на кажущуюся сложность интерфейса программы и обилие входных данных, освоение программного комплекса специалистами, ранее не работавшими с EnergyCS Line, не требует многого времени.

**Сергей Мыльников,
Валерий Яшков
ОАО "ВНИПИгаздобыча"
Тел.: (8452) 74-3184,
74-3818**

E-mail: YashkovVV@vnipigaz.gazprom.ru