УДК 622.833/.838:622.84/.85

В.Н.ГУСЕВ, *д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru*
А.С.МИРОНОВ, *канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, mironov1940@mail.ru*
В.Л.ТРУШКО, *д-р техн. наук, профессор, trushko@spmi.ru*
НГУЕН СУАН БАК, *аспирант, kmd@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.N.GUSEV, *Dr. in eng. sc., professor, kmd@spmi.ru*
E.S.MIRONOV, *PhD in geol. & min. sc., leading research assistant, mironov1940@mail.ru*
V.L.TRUSHKO, *Dr. in eng. sc., professor, trushko@spmi.ru*
NGUEN SUAN BAK, *post-graduate student, kmd@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ПОДРАБОТКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП И МОНИТОРИНГ ЗА ИХ СОСТОЯНИЕМ

Приведен способ предрасчета провиса и поднятия проводов, подвешенных к опорам воздушных ЛЭП, находящихся в зоне влияния горных работ. Изложена методика проведения мониторинга высоковольтной воздушной ЛЭП при ее подработке.

Ключевые слова: воздушная ЛЭП, прямые и угловые опоры, наклоны, горизонтальные сдвижения, провис и поднятие проводов, мониторинг ЛЭП.

LOOK-AHEAD ESTIMATION OF CONSEQUENCES MINES WORKS UNDER HIGH-VOLTAGE LINE OF ELECTRIC TRANSFERS AND MONITORING BEHIND THEIR CONDITION

The way of precalculation downing and raisings of the wires suspended to support air Line of electric transfers, being in a zone of influence of mountain works is resulted. The technique of carrying out of monitoring high-voltage air Line of electric transfers is stated at it mines works.

Key words: air Line of electric transfers, direct and angular support, inclinations, horizontal displacement, has sagged also a raising of wires, monitoring Line of electric transfers.

В 2011 г. ОАО «Междуреченская угольная компания – 96» (ОАО «МУК-96») проектировало отработку лавы 5-15-22(1), в зону влияния которой попадают четыре ЛЭП: № 1 (35кВ), № 2 (6кВ), № 3 (6кВ), № 4 (6кВ). Положение опор ЛЭП № 1, попадающих в границы зоны влияния (мульды сдвижения) лавы 5-15-22(1), показано на рис.1. Положение опор ЛЭП № 2-4, которые оказались в границах зоны влияния (мульды сдвижения), показано на рис.2. На этих рисунках граница зоны влияния горных работ (мульды сдвижения) построена по граничным углам, граница опасных деформаций – по углам сдвижения, линия максимального оседания – по углу максимального оседания. Границы зоны влияния горных работ (мульды сдвижения) и границы опасных деформаций от лавы 5-15-22(1) определялись по геологическому разрезу VI разведочной линии (р.л.) с учетом угла его направления относительно направления главного сечения мульды сдвижения вкрест простирания пласта. В результате были рассчитаны граничные углы (β'_0, γ'_0) и углы сдвижения (β', γ') в направлении разреза VI р.л., по которым и были определены границы мульды сдвижения и границы опасных деформаций (рис.3).

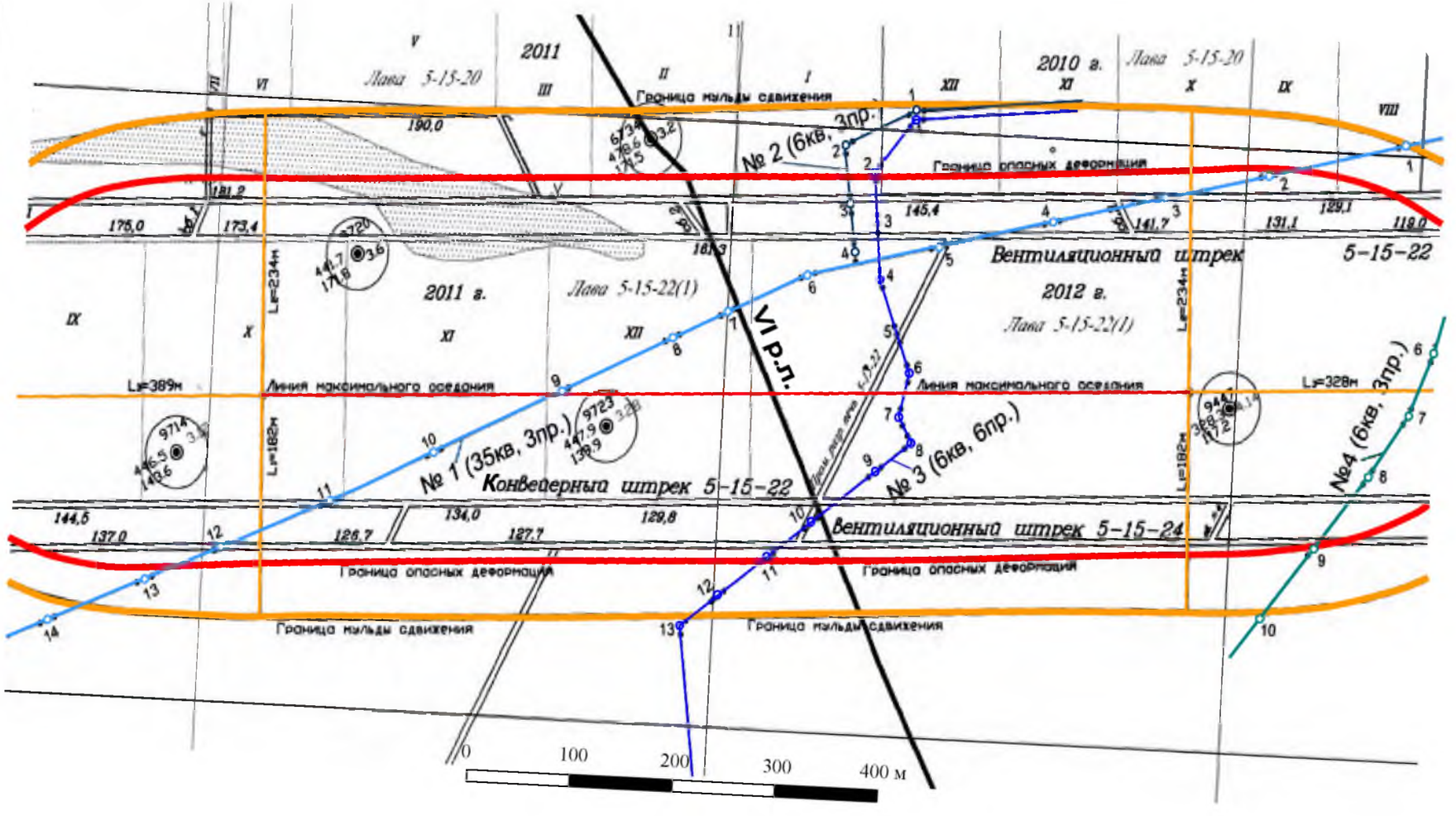


Рис.1. Местоположение ЛЭП № 1 относительно границ мульды сдвижения лавы 5-15-22 (1)

ISSN 0135-3500. Записки Горного института. Т.199

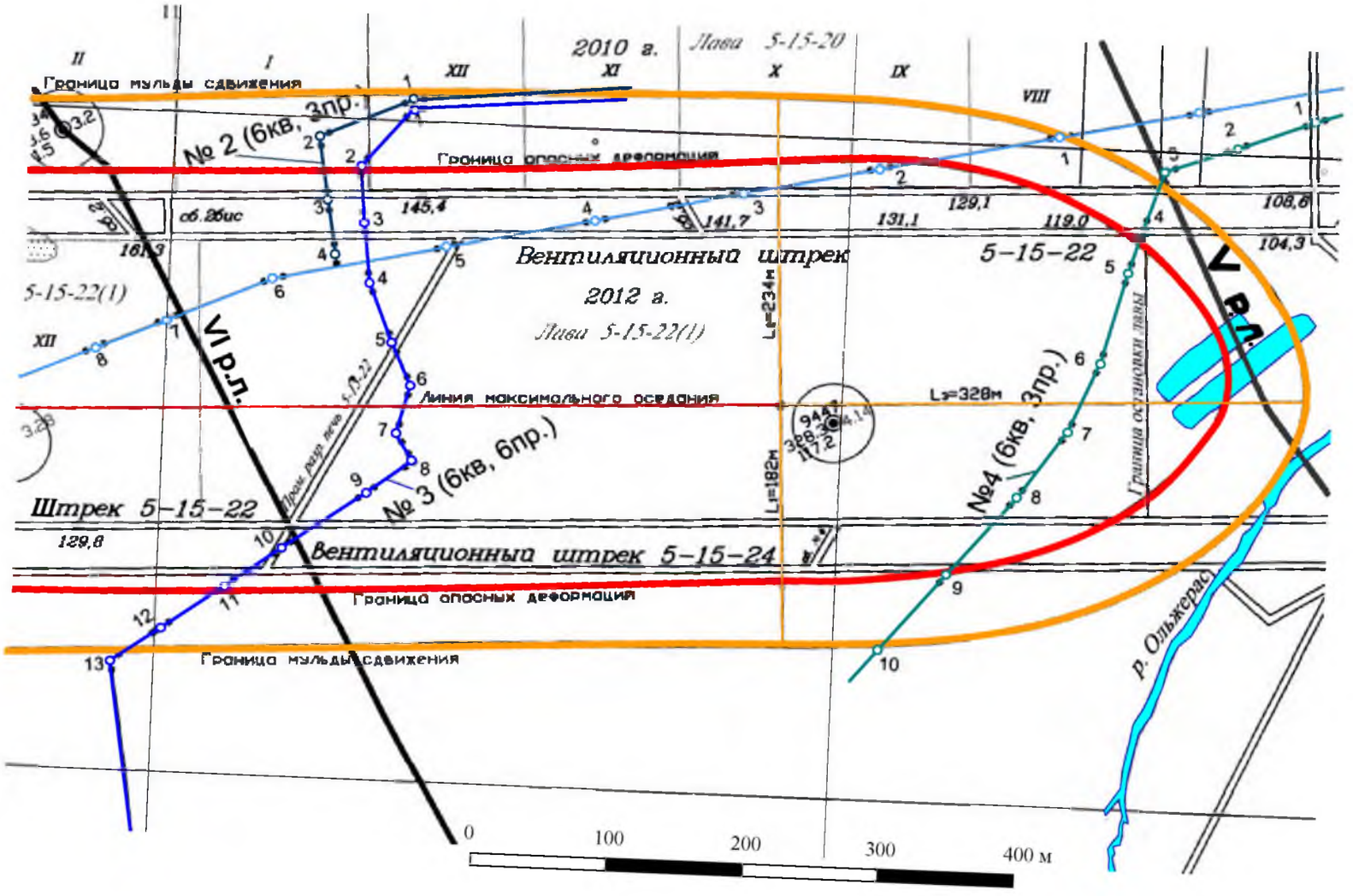


Рис.2. Местоположение ЛЭП № 2-4 относительно границ мульды сдвижения лавы 5-15-22 (1)

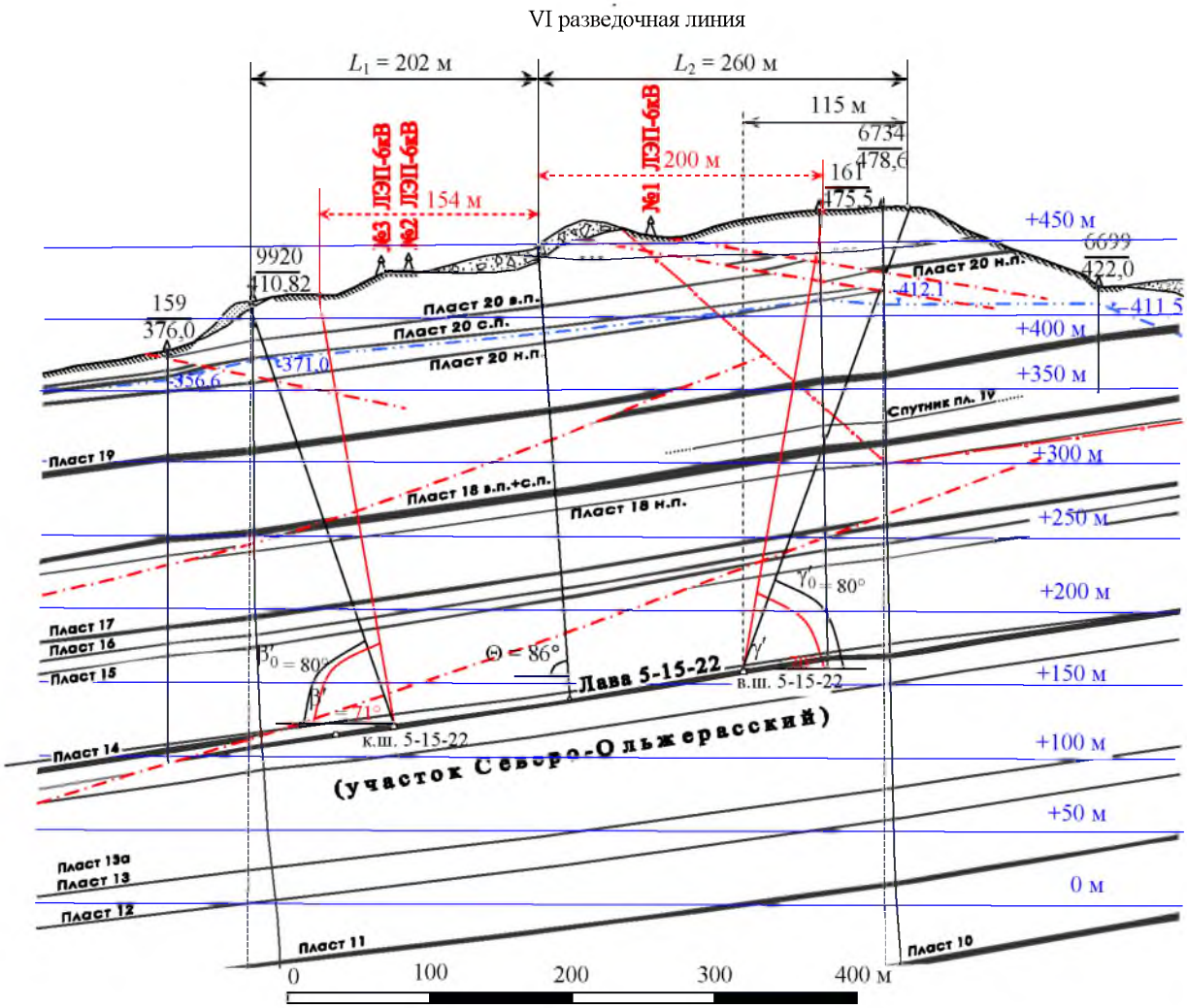


Рис.3. Геологический разрез по VI р.л. и угловые параметры процесса сдвижения вследствие отработки лавы 5-15-22(1)

В результате в зоне влияния горных работ от лавы 5-15-22(1) окажутся опоры 1-14 ЛЭП № 1; опоры 1-4 ЛЭП № 2; опоры 1-13 ЛЭП № 3; опоры 1-10 ЛЭП № 4 (см. рис.1 и 2).

Отработка лавы 5-15-22(1) под опорами высоковольтных воздушных ЛЭП № 1-4 согласно «Правилам охраны»* может производиться на глубине, не менее безопасной рассчитанной по формуле

$$H_б = K_б m,$$

где $K_б$ – коэффициент безопасности, для промежуточных угловых опор ЛЭП 6кВ или 35кВ $K_б = 75$, для промежуточных прямых $K_б = 60$; m – вынимаемая мощность пласта.

По лаве 5-15-22(1) вынимаемая мощность $m = 3{,}76$ м, отсюда безопасная глубина разработки под ЛЭП № 1-4:

- для угловых опор $H_{бу} = 75m = 282$ м;
- для прямых опор $H_{бп} = 60m = 226$ м.

Глубина горных работ под опорами ЛЭП № 1-3 колеблется в пределах 285-355 м, что больше безопасной глубины в этих условиях для угловых ($H_{бу}$) и прямых ($H_{бп}$) опор, т.е. горные работы под опорами этих ЛЭП будут вестись ниже горизонта безопасной глубины. В этом случае не по-

* Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ВНИМИ. СПб, 1998. 291 с.

Rules of protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mountain workings out on coal deposits / VNIMI. Saint Petersburg, 1998. 291 p.

требуется применение защитных мероприятий. Глубина горных работ под опорами ЛЭП № 4 колеблется в пределах 208-210 м, что в среднем $H_{лэп4} = 209$ м. Поскольку $H_{лэп4} < H_{бп}$, горные работы под опорами этой ЛЭП будут вестись выше горизонта безопасной глубины. А в этом случае подработку прямых опор можно осуществить только с применением мероприятий защитного характера. Угловые опоры в зоне подработки ЛЭП № 4 отсутствуют.

Поскольку опоры ЛЭП, попавшие в пределах границы мульды сдвижения, будут испытывать влияние наклонов и горизонтальных сдвижений, в качестве охранных мероприятий, независимо от того, где будут вестись горные работы – выше или ниже горизонта безопасной глубины, потребуется выравнивание отдельных опор и перепуск проводов для приведения их натяжения к норме.

Изменение натяжения проводов на участках между опорами происходит за счет наклона опор и горизонтальных сдвижений. Совместное действие этих факторов определяет, насколько опустилась или поднялась середина пролета проводов между опорами. Опускание середины пролета соответствует уменьшению натяжения проводов, поднятие – увеличению натяжения. Механизм увеличения или уменьшения провиса середины пролета проводов между опорами от действия на опоры наклонов и горизонтальных сдвижений, который приводит к изменению натяжения проводов, показан схематично на рис.4.

Совместное действие наклонов и горизонтальных сдвижений на смещение опор в мульде сдвижения (см. рис.4) происходит вдоль направления вкрест простирания пласта, а ЛЭП чаще всего направлена диагонально по отношению к направлению вкрест простирания пласта (рис.5). В этом случае расчетные значения общего смещения опор δ_i откладываются вдоль линии вкрест простирания по направлению к линии максимального оседания, определяя этим самым положение опор после подработки. Сближение («–») или удаление («+») опор пролетов проводов ЛЭП определится по формуле (см. рис.5)

$$X_i = S_i - S_{0i}.$$

При этом сближение опор уменьшает натяжение проводов, что проявляется через опускание (провис) средней части пролета проводов, а удаление опор увеличивает натяжение проводов, что проявляется через поднятие средней части пролета проводов.

Наклоны и горизонтальные сдвижения для каждой опоры ЛЭП № 1-4, попавшей в границы мульды сдвижения от лавы 5-15-22(1), рассчитывались в соответствии с разделом 4.2.1 и 4.2.2 «Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» 1998 г., на основании которых определялись смещения указанных опор. Расстояния между опорами ЛЭП до и после подработки (S_{0i} и S_i) определялись путем геометрических построений по схеме рис.5 в среде AutoCAD. На основании расчетов сближения («–») или удаления («+») опор пролетов проводов ЛЭП (X_i) делался прогноз, опустится или поднимется середина пролета проводов между опорами в результате их подработки. В основу алгоритма решения этой задачи был заложен алгоритм определения поправки за провес рулетки.

Результаты расчетов сближения (удаления) опор пролетов и прогноза значений провиса (поднятия) середины пролета проводов по ЛЭП № 1 приведены в табл.1.

Из приведенного в табл.1 прогноза влияния подработки на опоры и провода воздушной ЛЭП № 1 вытекает следующее:

1. Наибольшее уменьшение натяжения проводов от подработки будет между опорами 9 и 10. Уменьшение расстояния между этими опорами составит 0,467 м, что соответствует увеличению провиса (опусканию) середины пролета проводов между ними на 2,003 м.

2. Наибольшее увеличение натяжения проводов от подработки будет между опорами 10 и 11. Увеличение расстояния между этими опорами составит 0,121 м, что соответствует поднятию середины пролета проводов между ними на 0,924 м.

Результаты расчетов сближения (удаления) опор пролетов и прогноза значений провиса (поднятия) середины пролета проводов по ЛЭП № 2 приведены в табл.2.

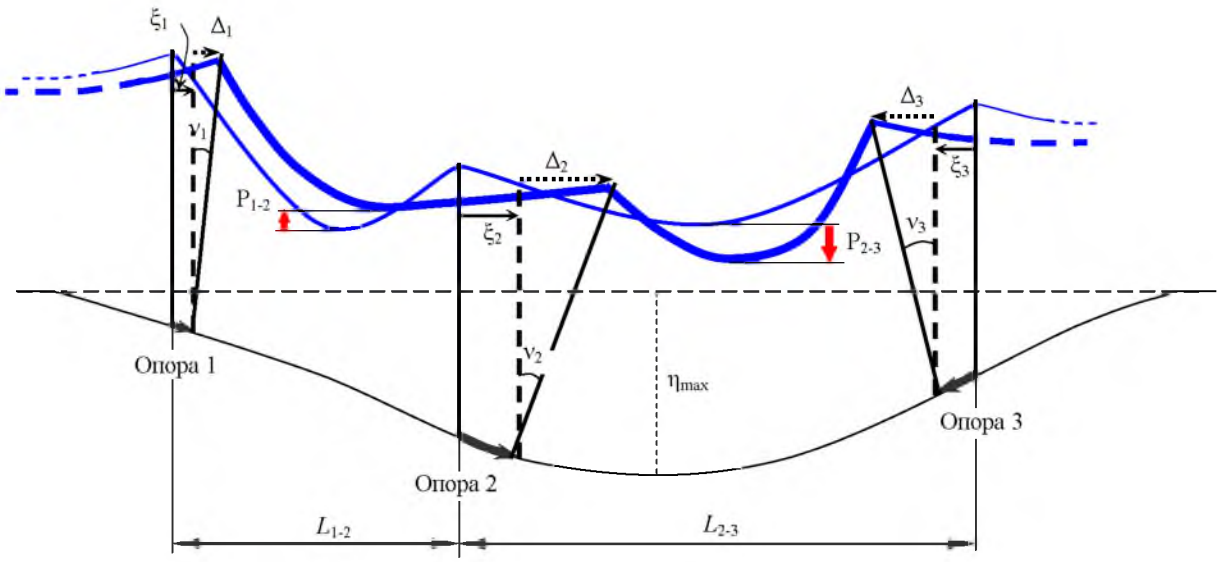


Рис. 4. Схема воздействия наклонов и горизонтальных сдвижений на опоры ЛЭП, приводящего к изменению провиса и натяжения проводов

Δ_1, Δ_2, Δ_3 – смещение точки подвеса проводов к верхней траверсе опоры за счет действия наклонов в местах расположения опор относительно границ мульды сдвижения; ξ_1, ξ_2, ξ_3 – горизонтальные сдвижения в местах расположения опор относительно границ мульды сдвижения; ν_1, ν_2, ν_3 – углы наклона опор, соответствующие наклонам участков их расположения; $P_{1\text{-}2}$, $P_{2\text{-}3}$ – соответственно поднятие и опускание середины провеса (пролета) проводов; $L_{1\text{-}2}$, $L_{2\text{-}3}$ – расстояния между опорами

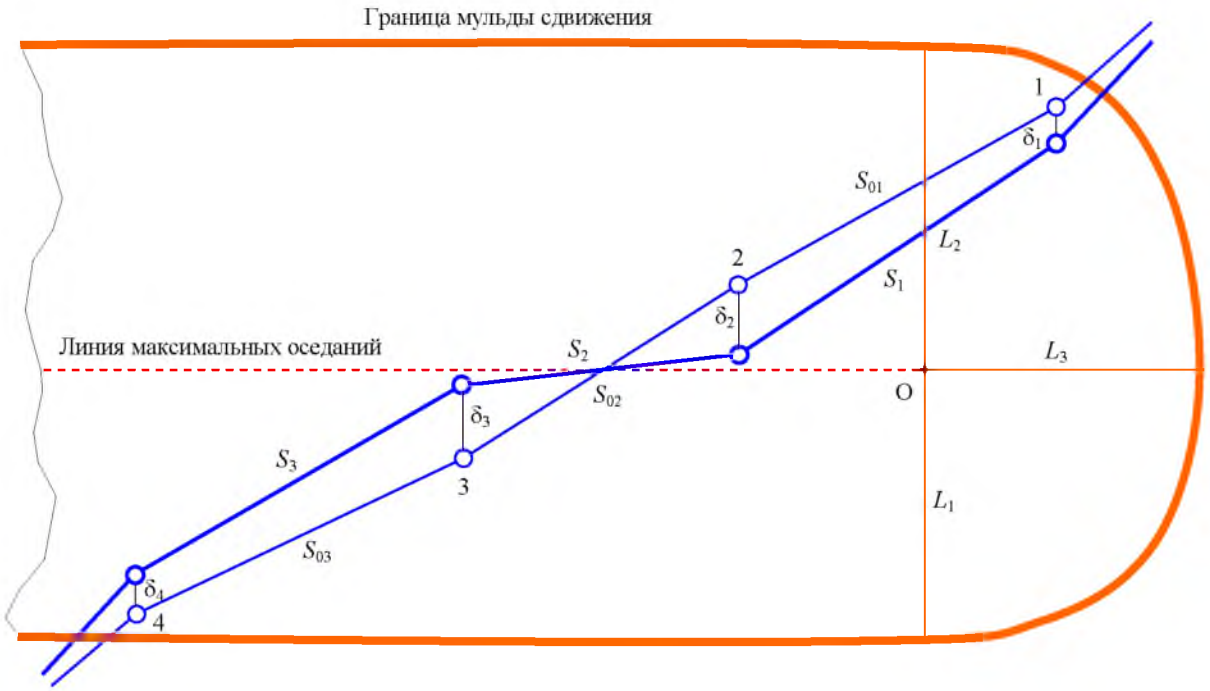


Рис.5. Схема к определению изменения расстояний между опорами ЛЭП, диагонально расположенной относительно оси подрабатывающей лавы

○ – опоры ЛЭП до подработки; ● – опоры ЛЭП после подработки; S_{01}, S_{02}, S_{03} – расстояние между опорами до подработки; S_1, S_2, S_3 – расстояние между опорами после подработки; δ_1, δ_2, δ_3, δ_4 – соответственно общее смещение опор 1, 2, 3 и 4 за счет наклонов и горизонтальных сдвижений; L_1, L_2, L_3 – длины полумульд соответственно по падению, по восстанию и по простиранию пласта; O – точка максимального оседания поверхности

Таблица 1

Опускание (поднятие) середины пролета проводов ЛЭП № 1 (35кВ)

№ п/п	Опоры, составляющие пролет	X_i, м		P_i, м	
		Сближение опор пролета	Удаление опор пролета	Опускание середины пролета	Поднятие середины пролета
1	1-2		+ 0.02		+ 0.418
2	2-3		+ 0.03		+ 0.445
3	3-4		+ 0.02		+ 0.379
4	4-5		+ 0.025		+ 0.424
5	5-6		+ 0.022		+ 0.429
6	6-7		0		0
7	7-8	– 0.06		– 0.473	
8	8-9	– 0.072		– 0.734	
9	**9-10**	**– 0.467**		**– 2.003**	
10	**10-11**		**+ 0.121**		**+ 0.924**
11	11-12		+ 0.119		+ 0.921
12	12-13		+ 0.072		+ 0.605
13	13-14		+ 0.038		+ 0.494

Примечание. Для опоры 10 максимальный угол наклона $\nu \approx 1°$.

Таблица 2

Опускание (поднятие) середины пролета проводов ЛЭП № 2 (6кВ)

№ п/п	Опоры, составляющие пролет	X_i, м		P_i, м	
		Сближение опор пролета	Удаление опор пролета	Опускание середины пролета	Поднятие середины пролета
1	1-2		+ 0.033		+ 0.397
2	**2-3**		**+ 0.169**		**+ 0.731**
3	**3-4**		**+ 0.178**		**+ 0.681**

Примечание. Для опоры 4 максимальный угол наклона $\nu \approx 0.5°$.

Из приведенного в табл.2 прогноза влияния подработки на опоры и провода воздушной ЛЭП № 2 вытекает следующее:

1. На участке подработки будет происходить только увеличение натяжения проводов между опорами.

2. Наибольшее поднятие середины пролета проводов будет зафиксировано между опорами 2 и 3 и достигнет 0,731 м, при этом расстояние между этими опорами увеличится на 0,169 м.

3. Наибольшее увеличение расстояния прогнозируется в пролете между опорами 3 и 4, оно составит 0,178 м, что соответствует поднятию середины пролета между этими опорами на 0,681 м (значение того же порядка, что и между опорами 2 и 3).

Результаты расчетов сближения (удаления) опор пролетов и прогноза значений провиса (поднятия) середины пролета проводов по ЛЭП № 3 приведены в табл.3.

Из приведенного в табл.3 прогноза влияния подработки на опоры и провода воздушной ЛЭП № 3 вытекает следующее:

1. Наибольшее уменьшение натяжения проводов от подработки будет между опорами 6 и 7. Уменьшение расстояния между этими опорами составит 0,769 м, что соответствует увеличению провиса (опусканию) середины пролета проводов между ними на 1,373 м.

2. Наибольшее увеличение натяжения проводов от подработки будет между опорами 9 и 10. Увеличение расстояния между

Таблица 3

Опускание (поднятие) середины пролета проводов ЛЭП № 3 (6кВ)

№ п/п	Опоры, составляющие пролет	X_i, м		P_i, м	
		Сближение опор пролета	Удаление опор пролета	Опускание середины пролета	Поднятие середины пролета
1	1-2		+ 0.101		+ 0.612
2	2-3		+ 0.177		+ 0.694
3	3-4		+ 0.19		+ 0.751
4	4-5	– 0.134		– 0.649	
5	5-6	– 0.189		– 0.655	
6	**6-7**	**– 0.769**		**– 1.373**	
7	7-8	– 0.219		– 0.591	
8	8-9		+ 0.03		+ 0.286
9	**9-10**		**+ 0.256**		**+ 1.108**
10	10-11		+ 0.107		+ 0.593
11	11-12		+ 0.076		+ 0.531
12	12-13		+ 0.047		+ 0.363

Примечание. Для опор 8 и 9 максимальный угол наклона $\nu \approx 0.9°$.

Таблица 4

Опускание (поднятие) середины пролета проводов ЛЭП № 4 (6кВ)

№ п/п	Опоры, составляющие пролет	X_i, м		P_i, м	
		Сближение опор пролета	Удаление опор пролета	Опускание середины пролета	Поднятие середины пролета
1	3-4		+ 0.006		+ 0.134
2	4-5		+ 0.118		+ 0.515
3	5-6	– 0.038		– 0.419	
4	**6-7**	**– 0.299**		**– 1.058**	
5	7-8	– 0.069		– 0.529	
6	8-9		+ 0.107		+ 0.736
7	**9-10**		**+ 0.138**		**+ 0.821**

Примечание. Для опоры 8 максимальный угол наклона $\nu \approx 0.4°$.

этими опорами составит 0,256 м, что соответствует поднятию середины пролета проводов между ними на 1,108 м.

Результаты расчетов сближения (удаления) опор пролетов и прогноза значений провиса (поднятия) середины пролета проводов по ЛЭП № 4 приведены в табл.4.

Из приведенного в табл.4 прогноза влияния подработки на опоры и провода воздушной ЛЭП № 4 вытекает следующее:

1. Наибольшее уменьшение натяжения проводов от подработки будет между опорами 6 и 7. Уменьшение расстояния между этими опорами составит 0,299 м, что соответствует увеличению провиса (опусканию) середины пролета проводов между ними на 1,058 м.

2. Наибольшее увеличение натяжения проводов от подработки будет между опорами 9 и 10. Увеличение расстояния между этими опорами составит 0,138 м, что соответствует поднятию середины пролета проводов между ними на 0,821 м.

Несмотря на то, что горные работы под опорами ЛЭП № 4 будут проводиться выше горизонта безопасной глубины, наклон опор не превысит 0,4°, что меньше прогнозируемых углов наклона для опор рассмотренных выше ЛЭП, под которыми горные работы будут вестись ниже горизонта безопасной

глубины. Наибольшие поднятия и опускания середины пролета между опорами ЛЭП № 4 тоже получились меньше, чем для опор ЛЭП № 1-3. Все это свидетельствует о том, что опоры ЛЭП № 4 будут иметь меньшие последствия подработки, чем опоры ЛЭП № 1-3, под которыми горные работы будут вестись ниже горизонта безопасной глубины.

Для принятия решения по выравниванию опор и перепуску проводов в период подработки необходимо проводить специальные мониторинговые наблюдения за состоянием ЛЭП. Учитывая специфику объекта, заключающуюся в его реакции на подработку, предлагается следующий способ мониторинга технического состояния ЛЭП*.

На подрабатываемом участке ЛЭП между соседними опорами закладываются опорные точки, отстоящие в плане от линии ЛЭП на 50-100 м. Определяются координаты этих точек (можно в условной системе координат). Затем на одну из опорных точек устанавливают электронный тахеометр и с его помощью производят определение координат трех точек на подвешенном к самой высокой траверсе проводе между опорами:

- координаты точки подвеса к траверсе одной опоры;
- координаты точки подвеса к траверсе другой опоры;
- координаты середины пролета провода между опорами.

Такие измерения повторяют на всех опорных точках, заложенных вдоль подрабатываемого участка ЛЭП, они будут составлять одну серию наблюдений. Частота таких наблюдений – одна-две серии в месяц. Первую серию наблюдений необходимо провести до подхода лавы к ЛЭП, когда расстояние в плане между ЛЭП и линией забоя лавы больше, чем $H\mathrm{ctg}\delta$, где H – глубина до середины лавы; δ – угол сдвижения на разрезе по простиранию пласта.

Вторая серия наблюдений проводится, когда расстояние в плане между ЛЭП и линией забоя равно $H\mathrm{ctg}\delta$. Последующие серии наблюдений выполняют с указанной частотой в течение периода опасных деформаций (для рассматриваемых условий он составляет 3 мес.). Разность определенных в разных сериях координат соответствующих точек подвеса провода к траверсам, определенных в разных сериях, даст представление о смещении опор. Разность координат соответствующих середин пролета провода покажет размер поднятия или опускания середин пролетов проводов. Результаты определения координат трех указанных точек пролетов провода каждой серии для оперативности обработки данных целесообразно загружать в AutoCAD и в этой программной среде непосредственно (без каких-либо вычислений) получать необходимые параметры смещений: опускание (поднятие) середин пролетов провода и изменение положения точек подвеса провода к траверсам (смещение опор).

Электронный тахеометр для таких работ должен иметь режим безотражательного измерения расстояний. В этом случае измерения производят, наводя непосредственно на находящийся под высоким напряжением провод в требуемые точки. В результате мониторинг можно проводить, не нарушая нормальной эксплуатации ЛЭП и при соблюдении безопасности для наблюдателей.

* Патент 2294289 РФ. Способ определения удлинения проводов на участках между опорами высоковольтных линий электрических передач (ЛЭП) / В.Н.Гусев, Б.Н.Абрамович, Е.М.Волохов, А.Н.Евсеев. Опубл. 27.02.2007. Бюл. № 6.

The patent of the Russian Federation № 2294289. A way of definition of lengthening of wires on sites between support of high-voltage lines of electric transfers / V.N.Gusev, B.N.Abramovich, E.M.Volohov, A.N.Yevseyev. Publ. 27.02.2007. Bulletin № 6.