© А.С. Миронов, В.Н. Гусев,
А.А. Козлов, 2012

УДК 622.838:69.059.22

А.С. Миронов, В.Н. Гусев, А.А. Козлов

ОРГАНИЗАЦИЯ И ВЫПОЛНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ВЫЕМКЕ СВИТЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПОД ЛИНЕЙНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА ШАХТНОМ ПОЛЕ ОАО «РАСПАДСКАЯ»

Дана методика организации и выполнения деформационного мониторинга линейных сооружений на конкретном участке шахтного поля ОАО «Распадская». Приводится неординарный подход к выполнению мониторинговых наблюдений за состоянием линии ЛЭП с высоким напряжением с помощью электронного тахеометра, имеющего безотражательный режим измерения расстояний. В результате обеспечиваются безопасные условия работы наблюдателей, не нарушая нормальной эксплуатации ЛЭП.
Ключевые слова: угольные пласты, шахтное поле, линии ЛЭП, линейные сооружения.

На шахтном поле ОАО «Распадская» линейными сооружениями являются: технологические железная дорога и автодорога, проходящие на разрез «Ольжерасский», линия ЛЭП 110 кВ и теплотрасса. Эти сооружения располагаются на земной поверхности вдоль русла реки «Ольжерас» и приурочены к восточному участку 4-го блока шахтного поля (рис. 1).

Первоначально при разработке угольных пластов рабочей свиты на малых глубинах, от их выходов под наносы, под указанными сооружениями, как и под руслом реки «Ольжерас», были оставлены предохранительные целики. Первичная подработка этих линейных сооружений произошла в 2003 году на минимальной глубине 165 метров лавой 5а-10-14 по пласту 10-му, являющегося на этом участке шахтного поля верхним пластом разрабатываемой свиты. Далее одноразовая подработка рассматриваемых объектов была произведена и другими пластами на этом участке шахтного поля: 6-6а лавой 5а-6-16 в 2003 году, 3-3а лавой 5а-3-4 в 2009 году и снова пластом 10-м лавами 5а-10—16 и 5а-10-18 в 2005 и 2009 годах соответственно. При расчетах прогнозных деформаций для условий однократной подработки линейных сооружений и сравнений их с допустимыми, как правило, не требовалось применения каких-либо мер их охраны. Фактические деформации земной поверхности, полученные по результатам натурных измерений по грунтовым реперам наблюдательных станций над каждой лавой, практически совпали с расчетными значениями.

На начало 2010 года, при развитии горных работ на севере рассматриваемой площади шахтного поля, уже произошла повторная подработка линейных сооружений лавой 5а-7-26 по пласту 7-7а (в 2009 году) после их подработки верхним пластом 10-ым лавами 5а-10-16 и 5а-10-18 (см. рис. 1).

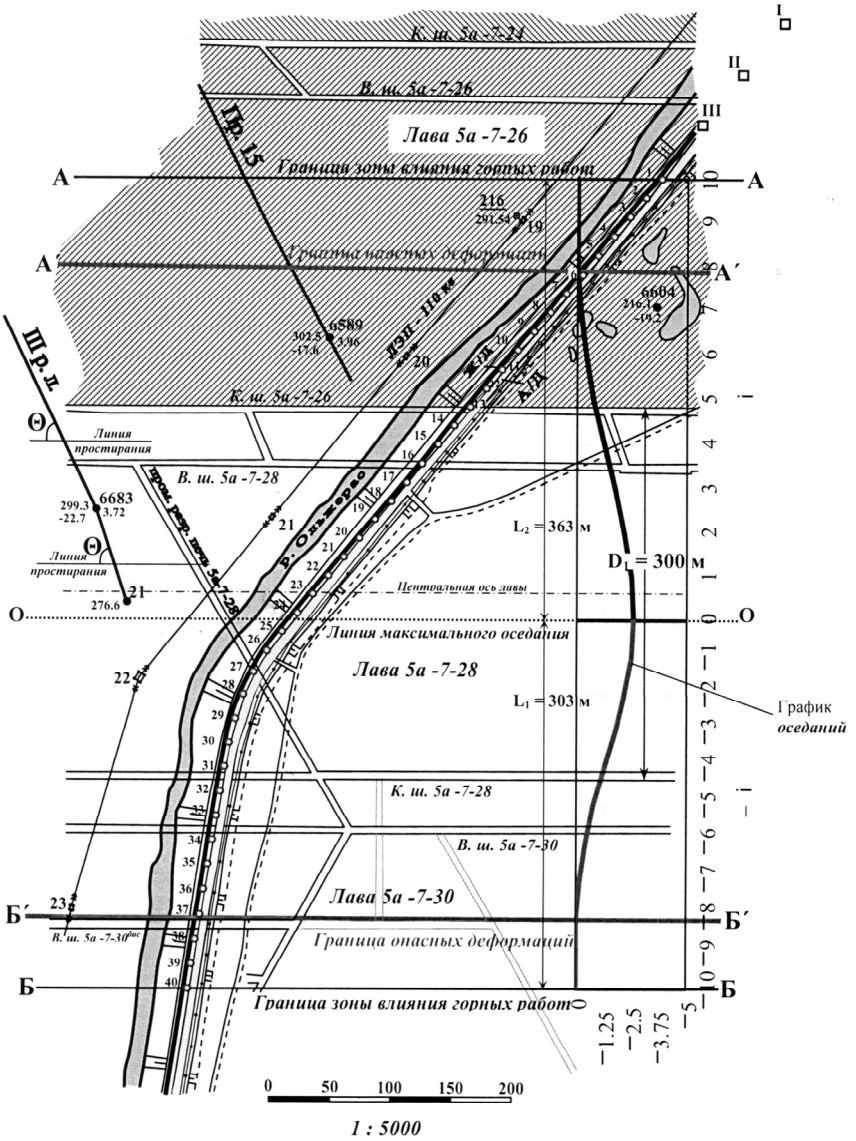

Рис. 1. Границы зоны опасных деформаций и мульды сдвижения, которые сформируются при отработке лавы 5а-7-28:
о — рабочие реперы профильной линии; ▫ — опорные реперы для профильной линии

Выполнение 1-го этапа деформационного мониторинга иллюстрируется примером для лавы 5а-7-28 по пласту 7-7а, которая будет повторно подрабатывать названные линейные сооружения на земной поверхности в 2010 году. На плане горных выработок (см. рис. 1), в первую очередь, проводятся границы мульды сдвижения по граничным углам, зоны опасных деформаций по углам сдвижения и линия максимального оседания по

углу максимального оседания в соответствии с действующими «Правилами охраны…» [1]. Положения границ влияния лавы 5а-7-28 по соответствующим угловым параметрам процесса сдвижения определялись по геологическому разрезу (рис. 2) с учетом его диагонального направления к главному сечению мульды сдвижения вкрест простирания пласта. Кроме этого, при определении угловых и деформационных характеристик учитывалось влияние повторной подработки (смежные выработки, вышележащие пласты). Длина участка железной дороги, находящегося в зоне влияния горных работ — 780 м, в зоне опасных деформаций — 620 м (рис. 1).

Железная дорога по своим характеристикам согласно упомянутым «Правилам охраны …» относится к транспортным сооружениям IV категории. В этом случае отработка лавы 5а-7-28 под железной дорогой может производиться, если максимальные расчётные деформации от отработки этой лавы не превысят следующих значений допустимых деформаций: $\varepsilon_{доп} = 8 \cdot 10^{-3}$; $i_{доп} = 10 \cdot 10^{-3}$; $R_{доп} = 6{,}5$ км, $\varepsilon_{доп}$, $i_{доп}$, $R_{доп}$ соответственно допустимые горизонтальные деформации, наклоны и радиус кривизны.

Согласно прогнозным расчётам максимальные деформации от отработки лавы 5а-7-28 составили: $\varepsilon_{max} = 9{,}7 \cdot 10^{-3}$, $i_{max} = 21{,}.0 \cdot 10^{-3}$, $R_{max} = 4{,}269$ км. Из этого следует, что для рассматриваемых горно-геологических условий отработки лавы 5а-7-28 получается, что $\varepsilon_{max} > \varepsilon_{доп}$, $i_{max} > i_{доп}$ и $R_{max} < R_{доп}$ (т. е. кривизна $K_{max} > K_{доп}$). В этом случае отработка лавы 5а-7-28 под железной дорогой может производиться только с применением горной меры охраны, например, такой, как выемка пласта 7-7а на неполную мощность.

Однако вышеприведённые расчёты сдвижений и деформаций выполнены по принятой в «Правилах охраны…» методике расчёта, которая не учитывает наличие во вмещающих породах Распадского месторождения мощных слоёв песчаников и алевролитов, труднообрушаемых (тяжёлых) кровель и зависание крепких слоёв песчаника в зоне сдвижения горных пород. Поэтому были выполнены расчёты сдвижений и деформаций с учётом литологического состава пород вмещающей толщи. Согласно этим расчётам максимальные деформации от отработки лавы 5а-7-28 составили: $R_{max} = 6{,}690$ км, $\varepsilon_{max} = 5.328 \cdot 10^{-3}$, $i_{max} = 13{,}0 \cdot 10^{-3}$. Сравнение расчётных деформаций с допустимыми показало следующее: R_{max} будет на 3 % больше допустимого ($R_{доп} = 6{,}5$ км) и следовательно K_{max} будет на 3 % меньше допустимой $K_{доп}$; ε_{max} — на 34 % меньше допустимой ($\varepsilon_{доп} = 8 \cdot 10^{-3}$); i_{max} — на 30 % больше допустимого ($i_{доп} = 10 \cdot 10^{-3}$). В этом случае подработка железной дороги может производиться без применения горных мер с обязательной закладкой наблюдательной станции вдоль железной дороги в пределах зоны влияния горных работ по лаве 5а-7-28 с организацией систематических инструментальных наблюдений с целью оперативного решения вопросов по выправлению железнодорожного полотна от действия горизонтальных деформаций, наклонов и кривизны.

Автомобильная дорога, подрабатываемая лавой 5а-7-28, относится к разряду объектов, которые охраняются от образования под ними провалов и больших трещин. Выемка пластов под таким объектом может производиться на глубинах ($H_{провал}$) не менее 20*m* при углах падения пластов $\alpha \leq 45º$. В рассматриваемых горно-геологических ус-

ловиях α = 7º, следовательно: $H_{провал}$ = 20 × 3,83 = 76,6 м. Поскольку глубина горных работ по лаве составляет 306 м, то провалов и больших трещин в полотне автомобильной дороги не будет.

Отработка лавы 5а-7-28 под опорами № 19, № 20, № 21, № 22, № 23 высоковольтной воздушной ЛЭП-110 кВ согласно «Правилам охраны …» может производиться на глубине не менее безопасной рассчитанной по формуле: $H_б = K_б \cdot m$, где m — вынимаемая мощность пласта (по лаве 5а-7-28 она составляет 3,83 м); $K_б$ — коэффициент безопасности, который для промежуточных угловых опор ЛЭП-110 кВ (опора № 23) составляет $K_б$=75, а для промежуточных прямых (опоры № 19, № 20, № 21, № 22) — $K_б$ = 60.

Учитывая, что разрыв во времени между отработкой пласта 10-го лавой 5а-10-18 и пласта 7-7а лавой 5а-7-28 превышает продолжительность процесса сдвижения в данных условиях (8 мес.) и принятая схема отработки лавы 5а-7-28 не даёт накопления однозначных деформаций от предыдущей отработки (отработка лавы 5а-10-18), безопасная глубина может подсчитываться отдельно для пласта 7-7а (как для одиночного пласта): безопасная глубина для промежуточной угловой опоры № 23 ЛЭП-110 кВ $H_б = K_б \cdot m$ = 75 · 3,83 м = 287 м; для промежуточных прямых опор (опоры № 19, № 20, № 21, № 22) $H_б = K_б \cdot m$ = 60 · 3,83 м = 230 м.

Так как глубина горных работ по лаве 5а-7-28 на участке подработки опор № 19, № 20, № 21, № 22, № 23 составляет 306 м, то из этого следует, что горные работы по лаве 5а-7-28 будут проводиться ниже горизонта безопасной глубины, что не потребует применение горных и конструктивных мер охраны. Но поскольку опоры ЛЭП, находящиеся в пределах границы мульды сдвижения, испытывают влияние наклонов и горизонтальных сдвижений, то в качестве охранных мероприятий потребуется выравнивание опор и перепуск проводов для выравнивания их натяжения до нормы.

Изменение натяжения проводов на участках между опорами происходит за счёт наклона опор и горизонтальных сдвижений. Совместное действие этих факторов определяет насколько опустилась или поднялась середина пролёта проводов между опорами. Опускание середины пролёта соответствует уменьшению натяжения проводов, поднятие — увеличению натяжения. На данном этапе деформационного мониторинга был произведен прогноз увеличения-уменьшения провиса проводов между опорами от действия на опоры наклонов и горизонтальных сдвижений, а на рис. 3 приведена принципиальная схема воздействия этих факторов на изменение натяжения проводов между подрабатываемыми опорами № 19, № 20, № 21, № 22, № 23.

Из приведённого прогноза влияния подработки на опоры и провода воздушной ЛЭП вытекают следующие оценочные положения:

- наибольшее изменение натяжения проводов в сторону увеличения (или уменьшения провиса проводов) будет между опорами № 19 и № 20, № 22 и № 23;
- наибольшее изменение натяжения проводов в сторону уменьшения (или увеличения провиса проводов) будет между опорами № 21 и № 22;
- самое большое влияние наклонов и горизонтальных сдвижений при отработке лавы 5а-7-28 будет оказано на опоры № 21 и № 22 и провода между ними.

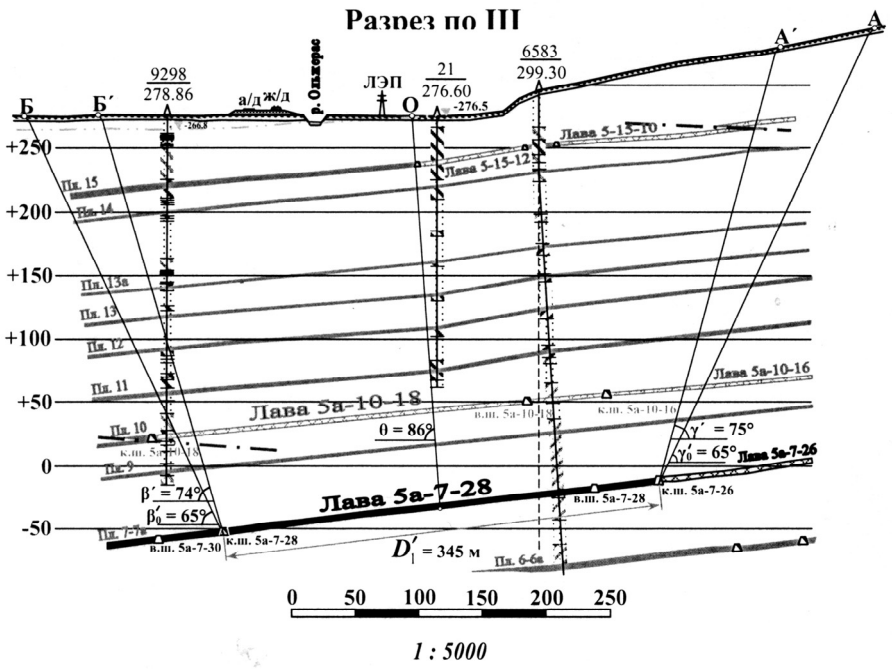

Рис. 2. Геологический разрез по III р.л.

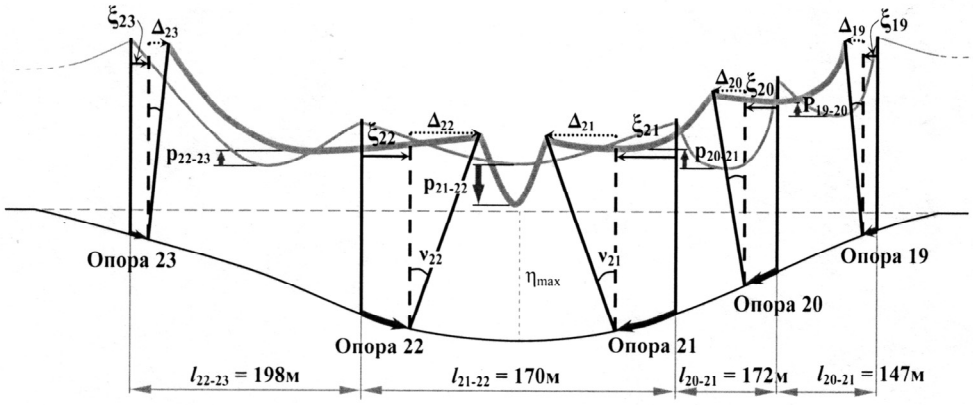

Рис. 3. Схема к прогнозному расчёту увеличения провиса проводов вследствие подработки опор ЛЭП: Δ_{19}, Δ_{20}, Δ_{21}, Δ_{22}, Δ_{23} — смещение точки подвеса проводов к верхней траверсе опоры за счёт действия наклонов в местах расположения опор относительно границ мульды сдвижения; ξ_{19}, ξ_{20}, ξ_{21}, ξ_{22}, ξ_{23} — горизонтальные сдвижения в местах расположения опор относительно границ мульды сдвижения; ν_{21}, ν_{22}, … — углы наклона опор, соответствующие наклонам участков их расположения; $P_{19\text{-}20}$, $p_{20\text{-}21}$, $p_{21\text{-}22}$, $p_{22\text{-}23}$ — опускание-поднятие середины провеса (пролёта) проводов; $l_{20\text{-}21}$, $l_{20\text{-}21}$, $l_{21\text{-}22}$, $l_{22\text{-}23}$ — расстояния между опорами

Второй этап деформационного мониторинга для железной дороги заключается в заложении в ее полотне до подработки лавой 5а-7-28 наблюдательной станции с грунтовыми реперами с целью определения его профиля через 20 м. Положение профильной линии наблюдательной станции определяется, исходя из границ зоны влияния горных работ (см. рис. 1) с учётом возможного наращивания насыпи в процессе ведения горных работ. При разработке проекта наблюдательной станции следует руководствоваться рекомендациями действующей «Инструкции по наблюдениям …» [2]. В проекте станции необходимо предусмотреть нивелирование железнодорожного пути по головкам рельс напротив мест заложения грунтовых реперов. Частота наблюдений в период активной стадии процесса сдвижения по грунтовым реперам — не реже одного раза в 2 недели, нивелирование по головкам рельс не менее одного раза в неделю.

Для принятия решения по выравниванию опор и перепуску проводов в период отработки лавы 5а-7-28 необходимо проводить специальные мониторинговые наблюдения за состоянием ЛЭП. Учитывая специфику объекта, заключающуюся в его реакции на подработку, предлагается следующий способ второго этапа деформационного мониторинга технического состояния ЛЭП [3]. 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 трёх точек на проводе между опорами, подвешенном к самой высокой траверсе:

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

Такие измерения повторяют на всех опорных точках, заложенных вдоль подрабатываемого участка ЛЭП, и 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 5а-7-28 больше, чем ($H \cdot \mathrm{ctg}\,\delta$), где H — глубина до середины лавы; δ — угол сдвижения на разрезе по простиранию пласта. Вторая серия наблюдений проводится на момент когда расстояние в плане между ЛЭП и линией забоя лавы равно ($H \cdot \mathrm{ctg}\,\delta$). Последующие серии наблюдений проводятся с указанной частотой в течение периода опасных деформаций (для рассматриваемых условий он составляет — 3 мес.). Разность координат соответствующих точек подвеса провода к траверсам, определённых в разных сериях, даст представление о смещении опор. Разность координат соответствующих середин пролёта провода, определённых в разных сериях, покажет величину поднятия или опускания середин пролётов проводов. Результаты определения координат указанных трёх точек пролётов провода каждой серии для оперативности обработки данных целесообразно загружать в *AutoCAD* и в этой программной среде непосредственно получать, без каких-либо вычислений, необходимые параметры смещений: опускание (поднятие) середин пролётов провода и изменение положения точек подвеса

провода к траверсам (смещение опор), учитывая оседание опорных точек в плане и по высоте.

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

Наконец заключительный третий этап деформационного мониторинга состоит в интерпретации натурных наблюдений за сдвижением земной поверхности, сопоставлении фактических параметров деформаций с расчетными значениями, анализе результатов наблюдений за состоянием подрабатываемых сооружений и на основе этого — в принятии, при необходимости, оперативных мер по охране этих сооружений и обеспечению нормальных условий их эксплуатации.

Результаты деформационного мониторинга, выполненного при повторной подработке рассматриваемых линейных сооружений вышерасположенной по восстанию пласта 7-7а лавой 5а-7-26 в аналогичных горно-геологических условиях показали практическое совпадение фактических и расчетных значений оседаний земной поверхности. Каких-либо нарушений режима эксплуатации подработанных сооружений отмечено не было, их техническое состояние осталось удовлетворительным и применение мер по их охране не потребовалось. Все это доказывает, что процесс сдвижения поверхности в данных горно-геологических условиях носит плавный характер, который обеспечивается, по-видимому, равномерным распределением деформаций за счет зависания мощных «пластов–мостов» (песчаников, алевролитов) в подработанной толще горных пород, являющихся отличительной особенностью Распадского месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. *Инструкция* по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989.

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

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Миронов А.С. — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Научного центра геомеханики и проблем горного производства,

Гусев В.Н. — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой маркшейдерского дела. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), rectorat@spmi.ru

Козлов А.А. — главный маркшейдер шахты «Распадская».