

М П С С С С Р  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

КАФЕДРА «ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ  
И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ»

Аспирант *И. В. ЖЕРЕБЦОВ*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

*Научный руководитель — доктор технических наук профессор М. Н. ГОЛЬДШТЕИН*

Днепропетровск — 1967

НТБ  
ДНУЖТ

М П С С С С Р  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

КАФЕДРА «ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ  
И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ»

Аспирант *И. В. ЖЕРЕБЦОВ*

2992a  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

*Научный руководитель — доктор техниче-  
ских наук профессор М. Н. ГОЛЬДШТЕИН*

Днепропетровск — 1967

НТБ  
ДНУЖТ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации аспиранта И. В. ЖЕРЕБЦОВА «Исследование влияния подземных выработок на железнодорожный путь», представленной в Ученый Совет к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Отзывы по автореферату (в двух экземплярах) просьба направлять по адресу: г. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2. ДИИТ. Ученому секретарю совета.

*Защита состоится в конце июня 1967 г.*

НТБ  
ДНУЖТ

## **I. ПРЕДИСЛОВИЕ**

В связи с деформациями пути и других сооружений железных дорог в угольных бассейнах, Министерство путей сообщения СССР в 1957 г. поручило ДИИТу исследование вопроса о влиянии шахтных подработок на деформации железнодорожного пути и искусственных сооружений. Выполнение этой работы было возложено на автора, и полученные им результаты послужили основой диссертации, посвященной вопросам расчета зоны влияния подработки на поверхность и воздействия подработок на железнодорожный путь.

Натурные наблюдения за подрабатываемыми участками железнодорожного пути проведены автором на ряде участков Донецкой, Северо-Кавказской, Свердловской и Южно-Уральской дорог.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 1959—1967 гг. и отдельные выводы использованы в нормативных документах. Так, в действующих «Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок в Донецком угольном бассейне», изданных в 1960 г., учтены исследования ДИИТа, показавшие, что при любой существующей глубине разработки угля возникают деформации пути и сооружений железных дорог. В 1962 году органами Госгортехнадзора по согласованию с Министерством путей сообщения утверждена разработанная с участием автора «Инструкция о порядке согласования подработки железных дорог в Донецком угольном бассейне».

## **II. ПЕРВЫЕ ПОСТАНОВЛЕНИЯ ОБ ОХРАНЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК**

Во введении к диссертации кратко пояснены используемые понятия и термины и приведены сведения из истории вопроса о защите железных дорог от воздействия подработок.

Первые правительственные указания в России по вопросу охраны железных дорог от влияния горных выработок, пожалуй, относятся к 1873 г., когда были утверждены технические условия по сооружению Уральской горнозаводской железной до-

роги. Этот вопрос был затронут также в технических условиях для Донецкой каменноугольной железной дороги с ветвями Луганской и Никитовской. Путьцы первые обратили внимание на необходимость законодательного урегулирования вопроса об охране поверхности, и в 1886 г. было опубликовано приложение к статье 153 «Общего устава Российских железных дорог», в котором говорилось: «Производство подкапываний для рудников, копей, водопроводов и вообще работ под полосой отчужденной для железной дороги земли допускается не иначе, как по соглашению с Управлениями железных дорог и по особым для каждого случая проектам, утверждаемым Министерством путей сообщения».

Организатором исследований по охране железных дорог и других сооружений от влияния горных выработок в начале XX века был профессор Екатеринославского горного института П. М. Асентовский, написавший в 1921 г. первые «Правила об охране сооружений и вод от вредного влияния рудничных обрушений и оседаний пород в каменноугольных районах», которые легли в основу разработанных с его участием и утвержденных горным отделом ВСНХ СССР в 1923 г. «Временных правил оставления предохранительных целиков под охраняемыми зданиями и сооружения на рудниках Донбасса».

### III. «БЕЗОПАСНАЯ» ГЛУБИНА РАЗРАБОТОК И УГЛЫ СДВИЖЕНИЯ

В главе I рассматриваются вопросы о терминах «угол сдвига», «границный угол», «безопасная» глубина разработок и освещены действующие нормативы по охране существующих железных дорог на угольных и сланцевых месторождениях.

К началу 60-х годов оказалось, что углы сдвига в большинстве главнейших угольных бассейнов СССР определены, исходя из следующих величин критических деформаций земной поверхности: наклоны — 4 мм/м, радиус вертикальной кривизны — 5000 м, растяжения — 2 мм/м, в то время как согласно действующим положениям по содержанию пути на железных дорогах СССР даже меньшие деформации не допускаются. Анализ инструментальных наблюдений Донецкого (ныне Украинского) филиала ВНИИМ показывает, что отсекаемые концы мульды составляют от 23' — 70" полной длины мульды, причем длина отсекаемых концов увеличивается с возрастанием глубины разработки. Без учета такого условного характера углов сдвига сооружений, под которыми оставляются целики, попадают на край мульды сдвига и подвергаются деформациям. По-

строение предохранительных целиков по углам сдвижения  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , а не по граничным углам сдвижения  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\delta_0$  (углам влияния подработки), например, в Донбассе уменьшает размеры целиков примерно в 1,5—2 раза. Фактически наблюдавшиеся углы сдвижения в ряде случаев были значительно меньше, чем принятые в Правилах и Указаниях по охране. Так, в отдельных случаях эти отклонения по углу  $\beta$  достигали  $10^\circ$  (Донбасс) и даже  $15^\circ$  (Челябинский бассейн), по углу  $\delta$  —  $20^\circ$  (Кузбасс), а по углу  $\gamma$  даже  $37^\circ$  (Карагандинский бассейн).

Действующие Правила охраны, например, по Донбассу (1960 г.) предусматривают ряд мер (применение полной закладки, оставление предохранительных целиков, осуществление дополнительных конструктивных мероприятий, изменение режима эксплуатации и др.) по защите подрабатываемых сооружений. В случае подработки железнодорожного пути на перегонах при минимально допускаемых Правилами охраны кратностях подработки, называемых «коэффициентами безопасности»  $K_\delta$ , только от выемки одного пласта с обрушением кровли, деформации поверхности достигают величин, приведенных в табл. 1.

Таблица 1.

| Категории железных дорог        | Угол падения пласта, град. | $K_\delta = m$ | Деформации земной поверхности |                            |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|                                 |                            |                | наклон в $^\circ/\infty$      | растяжение, сжатие, в мм/м |
| Магистральные дороги            | 45                         | 150            | 8                             | 6                          |
|                                 | 46                         | 200            |                               |                            |
| Линии местного значения и ветви | $\alpha \leq 45$           | 100            | 10                            | 7,5                        |
|                                 | $\alpha \quad 46$          | 150            |                               |                            |

Величины деформаций основания, имеющие место при ведении горных разработок на «безопасной» глубине  $H_\delta = K_\delta m$  ( $m$  — толщина пласта) и ниже ее, для рельсового пути недопустимы. Поэтому Правила охраны предусматривают ограничение скорости движения поездов при подработке пути, установление дополнительного надзора и ремонта пути. В связи с изменением профиля пути или в связи с ограничением скорости движения поездов до 15 км/ч при ремонте пути и сооружений, вызванном подработкой, может потребоваться изменение расчетных условий движения (применение дополнительной тяги или подталкивания, усиление пропускной способности и др.).

При установлении мер охраны магистральных железных дорог на новых и малоосвоенных угольных месторождениях, для которых отсутствуют утвержденные правила или указания по охране сооружений, Указания по охране 1951 г. предусматривают, что в зависимости от группы месторождений по классификации и угла падения пластов  $K_6 = 150-300$  (II категория охраны). Эти Указания почему-то не предусматривают согласования проекта подрезки с Управлением дороги, если глубина ведения горных работ больше «безопасной», определенной по I категории охраны ( $K_6 = 250-400$ ), хотя, как показал опыт эксплуатации подрезанных участков железных дорог в Донецком и Кизеловском бассейне, и при такой глубине подрезки, как правило, требуется надзор, ремонт и уменьшение скорости движения поездов. Аналогичным недостатком страдают Правила и Указания по Кизеловскому, Карагандинскому и Печорскому бассейнам, по месторождениям Средней Азии, Приморского и Хабаровского краев, в которых не предусматривается согласование проекта подрезки с управлением дороги, если глубина разрезки под железнодорожными путями МПС равна или больше «безопасной», определенной по I категории охраны.  $K_6$  для I категории охраны составляет: Кизеловский бассейн 150—200; Карагандинский и Печорский бассейны, месторождения Средней Азии 250—300; месторождения Приморского и Хабаровского краев 250—400. Деформации поверхности при этом могут достигать значительных величин (см., например, табл. 2), требующих осуществления мероприятий по защите железнодорожного пути от заиливания горных выработок.

Таблица 2

| Название бассейна | Год издания Правил | $K_6$   | Деформации грунта из-за подрезки |                           |
|-------------------|--------------------|---------|----------------------------------|---------------------------|
|                   |                    |         | наклон в мм/м                    | растяжение, сжатие в мм/м |
| Кизеловский       | 1958, 1962         | 150—200 | 4                                | 2                         |
| Карагандинский    | 1958               | 250—300 | 6                                | 4                         |

Все возрастающий объем перевозок приводит к такой грузонапряженности железных дорог СССР, какой не знает ни одна другая страна. Высокая грузонапряженность и уже реализуемые

движения поездов предъявляют повышенные требования — охрана пути и сооружений в районах горных разработок. В связи с этим ныне действующие Правила или Указания по охране нуждаются в пересмотре. Так, при безопасной глубине подработки железных дорог МПС, в том числе и железнодорожных магистралей, ожидаемые деформации земной поверхности (грунта) достигают весьма значительных величин (см., например, табл. 1-3), требующих осуществления мер по защите железнодорожного пути от влияния горных выработок, что приводит к нарушению нормальных условий его эксплуатации. О — например, в Дополнениях к Правилам охраны в Кизеловском бассейне изд. 1962 г. ожидаемые деформации грунта (при  $K = K_0$ ) названы предельно-безопасными\*) или критическими. Это положение противоречит не только ПТЭ железных дорог, но и самим Правилам и Указаниям по охране, которые требуют подрабатывать железные дороги, если  $K > K_0$ , при условии установления дополнительного надзора, ремонта, ограничения скорости движения поездов и др.

Таблица 3

| Название бассейна<br>или месторождения | Год<br>издания<br>Правил<br>или<br>Указаний | $K_0$   | Деформации грунта<br>из-за подработки |                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------------------------------|
|                                        |                                             |         | наклон<br>в мм/м                      | растяжение,<br>сжатие<br>в мм/м |
| Кизеловский                            | 1958, 1962                                  | 100—150 | 8                                     | 3                               |
| Карагадинский                          | 1958                                        | 150—200 | 11                                    | 7                               |
| Ленинградское                          | 1957                                        | 150     | 15                                    | 6                               |

Одним из недостатков Правил и Указаний по охране, в том числе и при охране железнодорожных магистралей по I категории, есть то, что критерии, принятые при определении углов сдвигания, являются неудовлетворительными с точки зрения обеспечения постоянной прочности, устойчивости и положения всех элементов железнодорожного пути, полностью гарантирую-

\* Согласно «Инструкции по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и за подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях» (ВНИМИ). «предельные безопасные (критические)» деформации земной поверхности — это наибольшие деформации земной поверхности, не вызывающие повреждения сооружений и не нарушающие их нормальную эксплуатацию.



щих безопасность движения поездов с максимальными скоростями и сохранение плавности хода.

В угольной промышленности СССР выемку угля производят обычными системами работ (наиболее часто, с обрушением кровли) по всему шахтному полю, в том числе под городами и железными дорогами, ниже горизонта «безопасной» глубины при условиях, оговоренных в Правилах или Указаниях по охране сооружений. Ежегодно из охранных («предохранительных») целиков под сооружениями добываются миллионы тонн угля. Важное значение имеет определение зоны влияния подработки на путь, в пределах которой возникают деформации пути и в пределах которой необходимо своевременное осуществление профилактических мер (усиленный надзор, ремонт, ограничение скорости и др.) по обеспечению безопасности движения поездов. Поэтому углы сдвижения необходимы не только в целях определения размеров и границ целика, но и для определения границ, начиная от которых горные работы должны вестись с соблюдением профилактических мероприятий. Поэтому особо важное значение имеет определение таких величин углов сдвижения, которые характеризовали бы границы мульды сдвижения, т. е. граничных углов  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\delta_0$ . Определение ожидаемых границ мульды также необходимо и в тех случаях, когда очистные работы ведутся за предохранительным целиком, но в зоне влияния подработки на железнодорожный путь, здания и другие сооружения.

#### **IV. ДЕФОРМАЦИИ ПУТИ НАД ШАХТНЫМИ ПОДРАБОТКАМИ И МЕРЫ ОХРАНЫ**

В главе 2 кратко описаны данные натурных наблюдений за деформациями железнодорожного пути над подработками и изложены рекомендации по защите пути от воздействия подработок.

Из-за выемки угля в зоне влияния горных выработок на железнодорожный путь возникают неравномерные сдвиги земляного полотна в вертикальной и горизонтальной плоскости, вызывающие деформации верхнего строения пути и искусственных сооружений, вследствие чего в местах шахтных подработок приходится усиливать надзор и содержание пути и сооружений, вести внеплановый ремонт их, ограничивать скорость движения поездов. Наблюдения показали, что подработанный горными выработками земляное полотно оседает неравномерно как во времени, так и по длине пути, образуя в профиле так называемую

мульду сдвижения (оседания). Шахты при подработке железной дороги обязаны вести инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности по реперам, заложенным вдоль пути через 10—30 м (в зависимости от глубины разработки).

Земляное полотно и балластный слой в местах шахтных подработок следуют за сдвигающейся земной поверхностью и увлекают за собой рельсо-шпальную решетку, которая, обладая определенной жесткостью, оказывает сопротивление этому и зависит над неравномерно оседающим основанием. Это зависание рельсо-шпальной решетки проявляется под поездкой нагрузкой в виде динамической (называемой более точно по Г. М. Шахуняццу «силовой») неровности с уклоном в несколько раз большим уклона силовой неровности, принимаемого обычно при расчетах пути на прочность.

Рельсо-шпальная решетка, зависая, вписывается в мульду оседания, повторяя по головке рельса (геометрическая неровность) неравномерность наклонов основания при длине интервала, соответствующем пролету зависания. При этом в незагруженном поездной нагрузкой рельсе возникают дополнительные напряжения от изгиба рельса в вертикальной плоскости при подработке. Кроме того, под поездом в мульде сдвижения рельсы испытывают дополнительное динамическое воздействие при проходе колес по неровностям на пути, обусловленное в первую очередь силами инерции необрессоренных масс, а также, по-видимому, и усиленными колебаниями надрессорного строения. Величина этого воздействия зависит как от величины неравномерности наклонов, так и от скорости движения поездов. Возникающие при подработке пути пустоты под шпалами и рельсами, а также геометрические неровности необходимо устранять. На время до ликвидации неисправностей пути в местах шахтных подработок приходится ограничивать скорость движения поездов.

В зимнее время возможности не только ремонта, но даже частичной выправки пути ограничены. При обычном костыльном скреплении и деревянных шпалах величина возможной выправки пути в профиле зимой зависит от длины применяемых костылей (нормальные — 165 мм, удлиненные — 205, 230, 255, 280 мм) и толщины деревянных подкладок (карточек, башмаков, нашпальников). Так, при пришивке рельсов к шпалам нор-

мадьными костылями длиной 165 мм выправка пути в профиле за счет укладки карточек может быть произведена лишь на величину до 25 мм. Даже при применении костылей длиной 280 мм, сквозных надшпальников и карточек путь в профиле может быть выправлен максимум на 115 мм, что в несколько раз меньше величин оседания пути из-за шахтных подрботок.

При шурунном скреплении рельсов со шпалами и скреплении с двухслойной клеммой выправка пути в профиле зимой даже на несколько миллиметров крайне затруднена. Поэтому применять эти скрепления в местах шахтных подрботок не следует.

Известно, что костыли при проходе поездов наддергиваются. Вследствие этого при неравномерном оседании основания отдельные шпалы могут оседать независимо от рельса, причем между рельсом и подкладкой образуются пустоты. Если летом такие неисправности устраняются подсыпкой или подбивкой пути, то зимой при замерзшем балласте или наличии снега для их устранения приходится укладывать в путь деревянные подкладки.

Неплотность прилегания подошвы рельса к подкладке более 1 мм не допускается. Несоблюдение этого требования, особенно зимой, может привести к излому рельса под поездом. Поэтому при костыльном скреплении в местах подрботок зимой требуется многократная выправка пути на деревянных подкладках. Частая расшивка и зашивка пути даже при применении пластинок-закрепителей приводит к разработке костыльных отверстий и, как следствие, к нарушению ширины колеи. Исходя из этих соображений, применение костыльного скрепления в местах шахтных подрботок нежелательно. В этом отношении лучше раздельное скрепление марки К, при котором рельс плотно прикреплется к шпале. Однако, конструкция раздельного скрепления, например, марки К2, допускает выправку неровностей путем замены прокладок-амортизаторов между рельсом и подкладкой всего на величину до 10—12 мм (путем укладки вместо амортизатора толщиной 4 мм прокладок-амортизаторов суммарной толщиной до 14—16 мм).

Величины неравномерных оседаний поверхности при подрботках пути необходимо уменьшить. Это может быть достигнуто полной закладкой выработанного пространства. Полная закладка широко применяется для охраны поверхности в ПНР, ФРГ, Франции, Бельгии и ряде других стран.

При определении дополнительных расходов, вызванных на поверхности подработкой, необходимо учитывать не только затраты на подготовку и усиление пути и сооружений перед подработкой, на усиление надзора, текущего содержания и ремонта, на окончательную выправку пути и сооружений после затухания процесса сдвижения, но также убытки из-за снижения скоростей движения поездов, введения подталкивания, предоставления «окон» для ремонта и т. п.

## **V. РАСЧЕТ ПУТИ НАД ПОДЗЕМНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ. КРИТЕРИИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОДРАБОТОК НА ПУТЬ**

Вопросам расчета пути и отдельных его элементов в обычных условиях (не над подработками), вопросам теории движения колеса по неровности на пути и возникающих при этом динамических сил, вопросам ремонта и содержания пути посвящены работы В. Г. Альбрехта, С. В. Амелина, В. И. Ангелейко, К. Г. Арутюняна, В. С. Безручко, М. С. Боченкова, Е. М. Бромберга, М. Ф. Вериги, Ю. Д. Волошко, В. Н. Данилова, О. П. Ершкова, Н. Б. Зверева, А. Ф. Золотарского, И. Ф. Исакова, С. И. Клинова, П. Г. Козийчука, В. П. Крачковского, С. С. Кривокогорского, П. И. Колесникова, М. И. Кулагина, В. А. Лазаряна, И. С. Леванкова, И. Б. Лехно, В. Н. Лященко, М. А. Маркарьяна, Н. Т. Матюшина, К. Н. Мищенко, А. Н. Наумова, А. Н. Орловского, С. П. Першина, Н. П. Петрова, С. Д. Поваренкова, А. Г. Полевиченко, Ю. К. Полосина, Б. В. Сорокина, В. Н. Стельмашова, А. Тиля, С. П. Тимошенко, И. Я. Туровского, В. Ф. Федулова, М. А. Фришмана, А. А. Холодецкого, М. А. Чернышева, М. Т. Членова, Г. И. Шабалина, В. С. Шаройко, В. И. Шатеркова, Г. М. Шахунянца, С. С. Шустрева, М. С. Якова и других авторов. В работах Н. Н. Канцельс, Х. Кратцша, Ю. П. Нехорошева, П. Хильбича предпринята попытка расчета влияния сдвижений земной поверхности на путь без учета совместного влияния подработки, температурных и временной поездной нагрузки, без рассмотрения работ по ремонтам пути.

В главе 3 и в приложении к диссертации приведены методика и примеры расчета рельсового пути на прочность и устойчивость в случае его подработки, рассмотрены вопросы о работе бесстыкового пути над подработками и о критериях для определения зоны влияния подработок (оседаниях, наклонах, растяжениях и сжатиях, сдвигах поперек пути).

Для обеспечения нормальной работы пути в местах шахтных подработок по условию прочности рельсовых плетей требуется, чтобы суммарное напряжение, возникающее в рельсе от воздействия подвижного состава в месте шахтной подработки  $\sigma_{\text{кш}}$  с учетом коэффициента запаса прочности  $k_n$  и в результате искривления подработанного рельса в вертикальной  $\sigma_\eta$  и горизонтальной  $\sigma_\xi$  плоскостях, вследствие продольных горизонтальных деформаций  $\sigma_\varepsilon$  и изменения температуры  $\sigma_t$ , а также с учетом начальных напряжений от укладки рельса в кривые участки пути  $\sigma_R$ , не превосходило допускаемого  $[\sigma]$ , т. е.

$$k_n \sigma_{\text{кш}} + \sigma_\eta + \sigma_\xi + \sigma_\varepsilon + \sigma_t + \sigma_R \leq [\sigma], \quad (1)$$

из которого

$$\sigma_{t_c} \leq [\sigma] - k_n \sigma_r - \sigma_{r_c} - \sigma_{\xi_c} - \sigma_{\varepsilon_c} - \sigma_{R_c}; \quad (2)$$

$$\sigma_{t_p} \leq [\sigma] - k_n \sigma_n - \sigma_{r_p} - \sigma_{\xi_p} - \sigma_{\varepsilon_p} - \sigma_{R_p}, \quad (3)$$

где  $\sigma_r$  и  $\sigma_n$  — нормальные напряжения в кромках, соответственно, головки и подошвы подработанного рельса от изгиба и кручения его под нагрузкой от колес подвижного состава в  $\text{кГ/см}^2$ ;

$\sigma_{r_c}$  и  $\sigma_{r_p}$  — напряжения от изгиба рельса в вертикальной плоскости в месте шахтной подработки, соответственно, сжатия для кромки головки рельса и растяжения для его подошвы в  $\text{кГ/см}^2$ ;

$\sigma_{\xi_c}$  и  $\sigma_{\xi_p}$  — напряжения от дополнительного изгиба рельса в горизонтальной плоскости в месте шахтной подработки, соответственно, сжатия для внутренней кромки головки рельса и растяжения для наружной кромки подошвы в  $\text{кГ/см}^2$ ;

- $\sigma_{\varepsilon c}$  и  $\sigma_{\varepsilon p}$  — напряжения в поперечном сечении рельса от действия продольных деформаций, соответственно, сжатия и растяжения из-за подработки в  $\text{кг/см}^2$
- $\sigma_{Rc}$  и  $\sigma_{Rp}$  — начальные напряжения от укладки рельса в кривые участки пути, соответственно, сжатия для внутренней кромки головки рельса и растяжения для наружной кромки его подошвы в  $\text{кг/см}^2$ ;
- $\sigma_{tc}$  и  $\sigma_{tp}$  — напряжения в поперечном сечении рельса от действия сжимающих и растягивающих температурных сил, возникающих, соответственно, при повышении и понижении температуры рельса по сравнению с его температурой при закреплении в  $\text{кг/см}^2$ ;
- $[\sigma]$  — допускаемое напряжение, принимаемое равным условному нормальному пределу текучести рельсовой стали  $[\sigma] = \sigma_T$ ;
- $k_n$  — коэффициент запаса прочности, принятый равным 1,3.

Допустимая величина растяжения и сжатия на длину одного рельса из-за подработок, при которой не требуется дополнительных работ по регулировке и разгонке зазоров определяется из условия

$$\Delta \lambda_r = \frac{1}{2} [(t_2 + 2 t_n + t_n + t_1 - T_A) \alpha l + \lambda_{max} - 2 \Delta \lambda]. \quad (4)$$

Расчет рельсового бесстыкового пути на прочность и устойчивость с учетом вредного воздействия на него горных выработок, проведенный автором, показал, что укладка бесстыкового пути на подрабатываемых территориях недопустима.

## VI. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УГЛОВ СДВИЖЕНИЯ

По расчету сдвижений земной поверхности над подземными выработками имеются предложения С. Г. Авершина, И. М. Бахурина, С. А. Батугина, В. Будрыка, П. Ф. Гертнера, Ю. Голецкого, М. Н. Дедюкина, Н. М. Ершова, М. А. Иофиса, Д. А. Казаковского, Ж. М. Канлыбаевой, Н. Н. Кацнельсона, С. Кнотте, Э. Ковальчика, С. П. Колбенкова, М. В. Короткова, Т. Кохманьского, Л. С. Лapidуса, А. Лисовского, Р. А. Муллера,

А. Н. Медянцева, И. А. Петухова, Н. Г. Русакова, А. Сазустановича, К. Трояновского, С. Южkevича и других авторов. Расчету устойчивости отколов посвящены работы М. Н. Гольдштейна, А. Г. Дорфмана, В. В. Соколовского, К. Терцаги, Г. Л. Фисенко и др.

В параграфе «Обзор гипотез определения зоны влияния подработок на поверхность» кратко описаны: правило отвесов, правило нормалей, Вестфальские и Дортмундские правила, предложение А. Шульца, правило  $45^\circ$ , предложения С. Г. Борисенко, М. А. Резникова и др. Отмечается, какие из этих рекомендаций используются в действующих Правилах охраны.

§§ 2—11 главы 4 посвящены вопросу устойчивости массива грунта (против бокового сдвижения) при проведении выработки. В основу положено исследование устойчивости бокового клина ( $00_1$  на рис. 1) после обрушения кровли выработки, с учетом

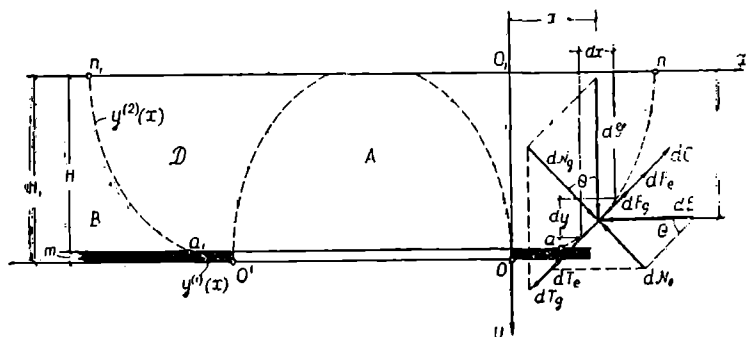


Рис. 1. Схема к расчету кривой бокового сдвижения при горизонтальном залегании пласта угля и горизонтальной поверхности земли.

действия горизонтального давления по кривой сдвижения, и предложена методика расчета граничных углов сдвижения.

Исследование выполнено вариационным методом. Принято, что в несдвинувшемся массиве горных пород и вдоль опаснейшей кривой сдвижения до обрушения клина имеет место распределение давлений по А. Н. Диннику, когда коэффициент бокового давления равен коэффициенту компрессионного распора  $\bar{\sigma}_0$ . Функционал устойчивости бокового клина  $R$  выражен как интеграл разности сил удерживающих и сдвигающих по кривой сдвижения.

$$R = \int_{x_0}^{x_1} (F - \Phi) dx, \quad (5)$$

где  $F$  и  $\Phi$  — функции, определяющие, соответственно, удерживающие и сдвигающие силы по кривой сдвижения.

При  $R > 0$  боковой клин устойчив; при  $R < 0$  — неустойчив; при  $R = 0$  имеем состояние предельного равновесия, что соответствует коэффициенту устойчивости равному единице, если коэффициент устойчивости определять как отношение удерживающего фактора к сдвигающему.

При  $c \neq 0$ ,  $\varphi \neq 0$  и  $0 < \xi_0 < 1$  функции  $F$  и  $\Phi$  описываются следующими выражениями (рис. 1).

$$F = \frac{d(C + F_g + F_e)}{dx} \quad (6)$$

$$F = c \frac{ds}{dx} + \gamma y \cos \Theta \operatorname{tg} \varphi + \gamma y \xi_0 \sin \Theta \operatorname{tg} \varphi \frac{dy}{dx} =$$

$$= c [1 + y'^2] + \frac{\gamma y \operatorname{tg} \varphi}{[1 + y'^2]} + \frac{\gamma y \xi_0 \operatorname{tg} \varphi}{[1 + y'^2]}; \quad (7)$$

$$\Phi = \frac{d(T_g + T_e)}{dx} = \gamma y \sin \Theta + \gamma y \xi_0 \cos \Theta \frac{dy}{dx} =$$

$$= - \frac{\gamma y' \gamma (1 + \xi_0)}{[1 + y'^2]} \quad (8)$$

Функционал устойчивости бокового клина (вертикального откоса)

$$R = \int_{x_0}^{x_1} \left[ \frac{\gamma y \operatorname{tg} \varphi - \gamma y'^2 \gamma \xi_0 \operatorname{tg} \varphi - \gamma y' \gamma (1 + \xi_0)}{[1 + y'^2]} + \right.$$

$$\left. + c [1 + y'^2] \right] dx. \quad (9)$$

Первый интеграл уравнения экстремалей, определенный по Л. Эйлеру, при расчете устойчивости бокового клина имеет вид

$$\gamma y \operatorname{tg} \varphi [(2 + \xi_0) y'^2 - 1] + \gamma y' \gamma (1 + \xi_0) y'^2 c + c = 0, \quad (10)$$



из условия трансверсальности в точке  $n$  следует, что постоянная интегрирования  $C_1 = 0$ .

При  $c \neq 0$ ,  $\varphi = 0$  и  $0 < \xi_0 < 1$  функционал устойчивости бокового клина

$$R = \int_{x_0}^{x_n} \left[ c \sqrt{1+y'^2} + \frac{yy'\gamma(1+\xi_0)}{\sqrt{1+y'^2}} \right] dx, \quad (11)$$

а первый интеграл уравнения экстремалей

$$y'^3 y \gamma (1 + \xi_0) + y'^2 c + c = 0. \quad (12)$$

Положив  $y' = \frac{dy}{dx} = p$ , в результате решения получаем уравнение экстремали в параметрическом виде

$$y = \frac{-c}{\gamma(1+\xi_0)} \left( \frac{1}{p} - \frac{1}{p^3} \right); \quad (13)$$

$$x = \frac{-c}{\gamma(1+\xi_0)} \left( \frac{1}{2p^2} + \frac{3}{4p^4} \right) + C_2. \quad (14)$$

Функционал устойчивости бокового клина в параметрической форме имеет вид

$$R = \frac{c^2}{\gamma(1+\xi_0)} \int_{p_0}^{p_n} \left( \frac{1}{p^3} + \frac{2}{p^5} - \frac{3}{p^7} \right) \sqrt{1+p^2} dp. \quad (15)$$

Неизвестные постоянные  $C_2$ ,  $p_0$ ,  $p_n$  определяются, исходя из граничных условий в точках  $O$  и  $n$ , где

$$x_0 = x(p_0) = 0; y_0 = y(p_0) = H; y_n = y(p_n) = 0. \quad (16)$$

*Определение критической высоты вертикального откоса.* Из граничных условий (16) и при значении  $R = 0$  определяются неизвестные постоянные  $p_0$ ,  $p_n$ ,  $C_2$  и критическая высота вертикального откоса

$$H_{кр} = \frac{3,8 c}{\gamma(1+\xi_0)} \quad (17)$$

При известных  $p_n$  и  $C_2$  величина  $x_n$  определится из выражения (14)

$$x_n = C_2 = \frac{3,37 c}{\gamma (1 + \xi_0)} \quad (18)$$

Чтобы определить условный расчетный критический угол сдвижения  $\delta_{кр}$ , требуется соединить точки  $O$  и  $n$  прямой линией и определить угол наклона прямой  $On$  к горизонту

$$\operatorname{tg} \delta_{кр} = \frac{H_{кр}}{x_n} = \frac{3,8}{3,37} = 1,127. \quad (19)$$

Как следует из выражения (19) при высоте откоса, равной критической  $H_{кр}$ , расчетный критический угол сдвижения  $\delta_{кр}$  равен  $48^\circ (48^\circ 25')$ , независимо от величины объемного веса грунта  $\gamma$ , удельного сцепления  $c$ , коэффициента  $\xi_0$  (при угле внутреннего трения  $\varphi = 0$ ). Величины  $c$ ,  $\gamma$ ,  $\xi_0$  определяют величину критической высоты откоса  $H_{кр}$ , при которой происходит обрушение бокового клина.

*Методика расчета граничных углов и кривой бокового сдвижения.* В случае вертикального откоса из однородного грунта высотой  $H$  и при  $H > H_{кр}$  для экстремальной кривой сдвижения имеем  $p_n = -\infty$ . Величина  $p_0$  определится из условия  $y_0 = y(p_0) = H$ , а величина функционала  $R$  может быть вычислена по формуле (15). Условный расчетный граничный угол сдвижения

$$\delta_p = \arctg \frac{H}{x_n} \quad (20)$$

*Учет слоистости.* Если клин сложен двумя (рис. 1) или несколькими разнородными слоями, причем в пределах каждого слоя породы однородны, то в этом случае необходимо учитывать условия сопряжения на контактах слоев (точка  $a$  на рис. 1).

В случае двухслойной среды функционал устойчивости

$$R = R_1 + R_2 = \int_{x_0}^{x_a} (F_1 - \Phi_1) dx + \int_{x_a}^{x_n} (F_2 - \Phi_2) dx, \quad (21)$$

где  $R_1$  — функционал устойчивости в первом слое по кривой  $Oa$ .

$R_2$  — функционал устойчивости во втором слое по кривой  $an$ .

Моделирование критической высоты вертикального откоса на большой центробежной машине ДИИТа подтверждает необходимость учета бокового давления при расчете устойчивости откосов.

## ВЫВОДЫ

Проблема защиты железнодорожного пути над подземными выработками является очень сложной, и настоящая работа, естественно, не претендует на бесспорное решение всех поставленных вопросов. Неоспоримыми являются следующие основные выводы и предложения, вытекающие из проведенных исследований:

В результате подземных разработок угля или горючего сланца в зоне их влияния на путь и сооружения железной дороги возникают деформации земляного полотна, верхнего строения пути и других сооружений, вследствие чего в местах шахтных подработок приходится усиливать надзор и содержание, вести внеплановый ремонт пути и сооружений, ограничивать скорость движения поездов.

Мертвой» глубины разработок нет, так как деформации железнодорожного пути возникают при любой существующей глубине очистных работ. Поэтому необходимо, чтобы шахты согласовывали с управлениями дорог вопрос о подработке железнодорожного пути независимо от глубины ведения горных работ, что регламентировано действующими Правилами охраны сооружений по Донбассу. Не учитывающие этого Правила или Указания по охране нуждаются в пересмотре, что, например, относится к нормативным документам по Кизеловскому, Карагандинскому и Печорскому бассейнам, по месторождениям Средней Азии, Приморского и Хабаровского краев и месторождениям с неизученным характером сдвижения горных пород, которые были утверждены в 1951—1957 гг.

2. Исследования устойчивости бокового клина (вертикально-откоса), произведенные при помощи вариационного метода, показали целесообразность применения вариационного метода и его дальнейшего развития применительно к задачам сдвижения горных пород и охраны поверхности.

Как следует из формул, полученных автором, боковое сдвижение имеет место и уравнение кривой обрушения в задаче об устойчивости бокового клина зависит не только от физико-механических свойств горных пород (объемного веса  $\gamma$ , удельного

сцепления с, угла внутреннего трения коэффициент Пуассона  $\mu$ ), но также от глубины ведения горных работ, если высота бокового клина больше критической.

Для случая однородной связной горной породы, не обладающей внутренним трением, решения получены автором в замкнутом виде.

При рассмотрении вопроса о возможности подработки пути необходимо исходить из результатов предрасчета величин, скоростей и продолжительности деформирования поверхности.

Необходимо заблаговременно определять условия возможности подработки железной дороги по перспективным планам горных разработок угольных предприятий и проводить предварительную подготовку пути и сооружений для максимального уменьшения возможного ущерба.

Весьма существенного снижения деформаций железнодорожного пути можно достичь при применении полной закладки выработанного пространства породой. С точки зрения охраны магистральных железнодорожных линий применение полной закладки необходимо в первую очередь в лавах шахт, разрабатывающих свиты крутопадающих пластов угля.

5. Одним из важных элементов охраны железнодорожного пути от влияния горных выработок следует считать точные маркшейдерские инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности.

При наличии точных инструментальных наблюдений за граничными углами сдвижения на основе предложенной гипотезы возможно решить и обратную задачу, например, определить величину сцепления в массиве однородной горной породы.

6. При построении зоны влияния подработки на железнодорожный путь следует пользоваться углами влияния подработки (граничными углами), которые примерно на  $15-20^\circ$  больше углов сдвижения, записанных в Правилах охраны.

7. Расчет рельсового пути на прочность и устойчивость над горными выработками должен производиться с учетом совместного неблагоприятного влияния подработки, температурных сил и поездной нагрузки при езде по деформированному подработкой пути.

## **По теме диссертации сделаны доклады и сообщения:**

1. К вопросу об охране пути и сооружений железных дорог Донбасса от влияния шахтных подработок. (На научно-технической конференции по вопросу «Выемка угля под сооружениями и защита сооружений от вредного влияния подземных разработок». Донецк, 1959. Совместно с М. Н. Гольдштейном).
2. Вопросы проектирования железных дорог в районах шахтных подработок. (На научно-технической конференции по вопросам проектно-изыскательских работ на железнодорожном транспорте. Днепропетровск, 1959. Совместно с Е. Н. Губенко).
3. Исследования геотехстанции ДИИТа вопросов защиты сооружений от влияния шахтных подработок. (На IV научно-технической конференции Донецкой дороги, ДорНТО, ХИИТа и ДИИТа по вопросам путевого хозяйства. Донецк, 1962).
4. Исследование деформаций железнодорожного пути над шахтными подработками и охрана Донецкой дороги от влияния горных выработок. (На координационном совещании по проблеме «Строительство зданий и сооружений на подрабатываемых территориях». Донецк, 1965).
5. Об охране поверхности при угольных разработках. (На второй научно-технической конференции по вопросам развития угольной промышленности Западного Донбасса. Днепропетровск, 1965).
6. Об охране железнодорожного пути при подземных разработках угля. (На республиканской научно-технической конференции молодых ученых по проблемам угольной промышленности УССР. Днепропетровск, 1967).
7. Применение вариационного метода к некоторым задачам устойчивости пород при проходке выработок. (На 17-ой научно-технической конференции ДИИТа. Днепропетровск, 1967).

## **Основные положения диссертации опубликованы в статьях:**

1. К вопросу охраны пути и сооружений железных дорог Донбасса от вредного влияния горных разработок. В сб. конференции «Выемка угля под сооружениями и защита сооружений от вредного влияния подземных разработок», Донбасс, НТГО, июнь 1959 (совместно с М. Н. Гольдштейном, А. И. Церковнидкой, С. Е. Тольской).
2. Расчет радиуса кривизны мульды оседания. «Уголь Украины», 1963, № 5.
3. Инструкция о порядке согласования подработки железных дорог. «Безопасность труда в промышленности», 1963, № 2.
4. Деформации пути и сооружений над шахтными подработками. В сб. «Вопросы геотехники» № 8, изд. «Транспорт», М., 1964 (совместно с С. Е. Тольской).
5. Охрана железнодорожного пути и сооружений над шахтными подработками. В сб. «Вопросы геотехники» № 8, изд. «Транспорт», М., 1964 (совместно с М. Н. Гольдштейном, М. А. Фришманом, И. С. Леванковым, А. М. Розенбергом, Д. А. Белашовым).

6. Зарубежный опыт охраны железных дорог над шахтными подработками. В сб. «Вопросы геотехники» № 8, изд. «Транспорт», М., 1964 (совместно с М. Н. Гольдштейном, А. И. Церковницкой).

7. Дополнительные расходы при подработке железной дороги и при оставлении угля в целиках. В сб. «Вопросы геотехники» № 8, изд. «Транспорт», М., 1964 (совместно с Б. В. Яковлевым, Е. Н. Губенко).

8. К расчету допустимых деформаций сжатия и растяжения при подработке рельсового пути. «Уголь Украины», 1964, № 6.

9. Охрана поверхности при разработке угольных месторождений в Польской Народной Республике. «Уголь Украины», 1965, № 12 (совместно с В. А. Мизюмским).

10. Об условиях, допускающих подработку железнодорожного пути в угольных бассейнах. В сб. «Вопросы геотехники» № 9, изд. «Транспорт», М., 1965.

11. Применение вариационного метода к некоторым задачам устойчивости пород при проходке выработок. Тезисы докладов 17-ой научно-технической конференции ДИИТа, Днепропетровск, 1967.

12. Определение устойчивости бокового клина при обрушении кровли выработки. «Вопросы геотехники», сб. 12 (в печати).

НТБ  
ДНУЖТ

**Исследование влияния подземных выработок  
на железнодорожный путь.**

*Аспирант И. В. ЖЕРЕБЦОВ.*

*Научный руководитель—доктор технических наук  
профессор М. Н. ГОЛЬДШТЕЙН.*

---

Сдано в набор 15 V-67 г. Подписано к печати 15 V-67 г.  
Бумага 60x92 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, печ. л. 1 <sup>1</sup>/<sub>4</sub>. БТ 08728. Зак. № 3645, тир. 200 экз.

---

Никопольская гортитопография, Днепропетровского областного  
управления по печати  
г. Никополь, ул. К. Либкнехта, 40.