

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 16-18 сентября 2008 г., г. Алматы, Республика Казахстан

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 3-6 ноября 2008 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 6 ноября 2008 г.

Примечание. Теряет силу I издание Памятки от 26.06.1990 г.

**Р
767/1**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО МЕТОДАМ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА НА ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ОСЕВЫХ
НАГРУЗОК И СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ**

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Земляное полотно работает в более сложных условиях в связи с увеличением грузонапряженности, нагрузок вагонов и повышением скоростей движения поездов. Введение в обращение поездов повышенной массы и длины позволяет обеспечить потребности народного хозяйства в перевозках.

1.2. Многократные воздействия на грунт повышенных по интенсивности поездных нагрузок с учетом влияния климатических факторов могут привести к следующим отрицательным последствиям:

- образованию в земляном полотне балластных корыт, балластных лож, балластных мешков;
- к изменению структуры, свойств и состояния грунта и образованию трещин и ослабленных по прочности зон грунта;
- к нарушению устойчивости откосов высоких насыпей из глинистых грунтов.

Возникновение деформаций и повреждений в земляном полотне создают угрозу безопасности движения поездов, приводят к ограничению скоростей, а иногда и к перерывам в движении поездов.

1.3. Оценка динамического воздействия подвижного состава на земляное полотно в условиях повышения осевых нагрузок и скоростей движения выполнена на основе экспериментальных исследований напряжений в различных точках земляного полотна, упругих деформаций (осадок) грунтов от каждой оси экипажа (или группы осей), колебаний (вибраций) грунта.

1.4. Рекомендации могут быть использованы дорогами-членами ОСЖД в качестве основы для разработки национальных технических документов, учитывающих конкретные условия эксплуатации железнодорожного пути.

II. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ

Метод измерения напряжений

2.1. Для измерения динамических напряжений в земляном полотне рекомендуется использовать тензорезисторные мессдозы (датчики давления) (рис. I). Отношение между высотой и диаметром (h/D) этих датчиков должно быть не более 0.3, и отношение модулей между датчиком и испытательной средой (E_m/E_s) должно быть не менее $60 \times h/D$. Для уточнения согласованности используемых датчиков необходимо проводить анализ или испытание.

Схема мессдозы (датчики давления) с гидропреобразователем

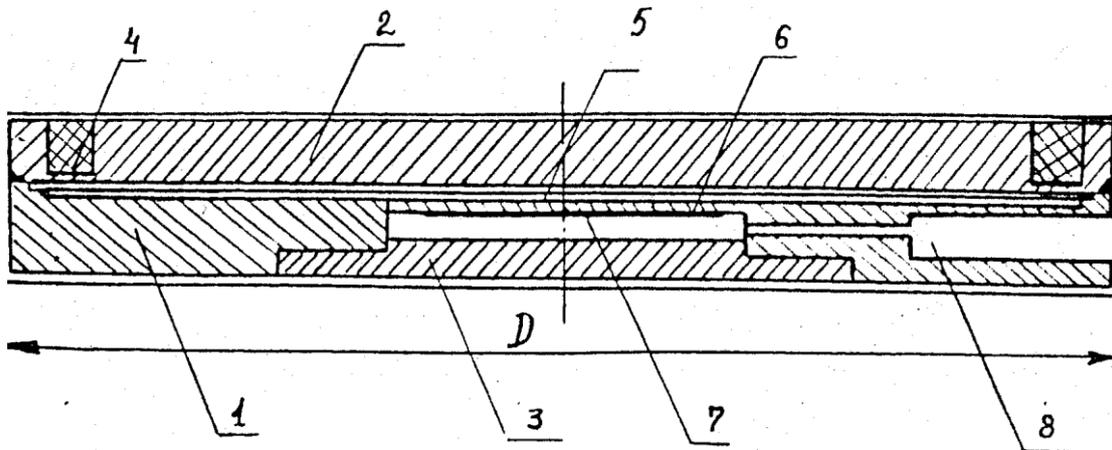
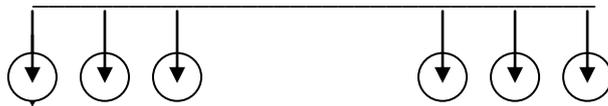


Рис. 1

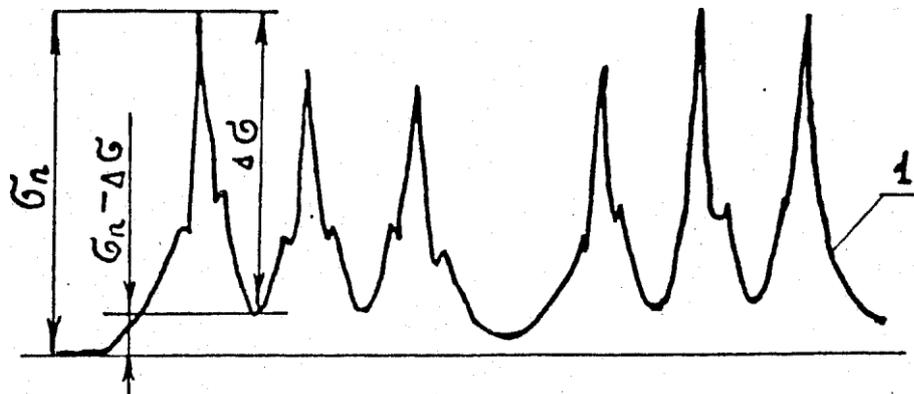
1 - корпус датчика; 2 - приёмный поршень; 3 - крышка; 4 - кольцевая мембрана;
5 - полость гидропреобразователя; 6 - измерительная мембрана; 7 - фольговый тензорезистр;
8 - кабельный ввод.

Осциллограмма напряжений в подрельсовом сечении основной площадки при скорости движения локомотива $V_{gb} = 80$ км/ч

Локомотив



Вертикальное напряжение σ_1



Горизонтальные поперечные напряжения G_y

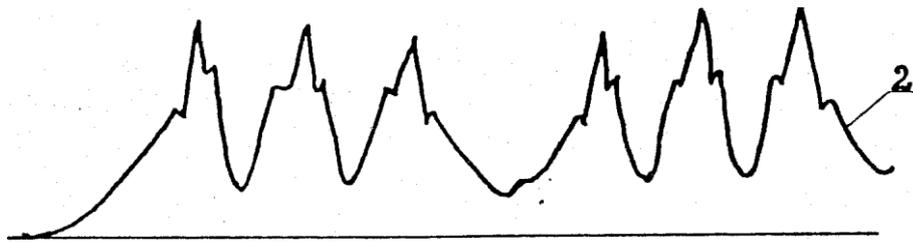


Рис. 2

В месдозах (датчиках давления) (рис. 1) давление грунта передается через верхнюю жесткую диафрагму 2, связанную с корпусом 1 датчика при помощи кольцевой мембраны 4, на несжимаемую жидкость 5 и через нее, в виде гидростатического давления, на упругую измерительную мембрану 6. Деформация мембраны воспринимается наклеенным на нее фольговым тензорезистором 7 и преобразуется в электрический сигнал. Система: приемный поршень - жидкость - измерительная мембрана является гидравлическим преобразователем.

2.2. Выходные сигналы месдоз (датчиков давления) при проходе поездов через тензометрическую усилительную аппаратуру усиливаются как сигналы напряжения и записываются на цифровое оборудование через преобразование А/Д системой сбора данных. Значение уровней оцифровки должно быть не меньше 12. Усиление сигнала прибора необходимо установить в соответствии с необходимой чувствительностью измерительного канала и поддиапазоном оборудования записи.

2.3. Датчики давления градуируются в камере стабилметра перед установкой в грунт и после извлечения их из грунта по окончании измерений. Градуировочный (тарировочный) коэффициент определяется как среднее из всех градуировок для данной месдозы.

2.4. На правильность полученных результатов по измерению динамических напряжений большое влияние оказывает технология установки месдоз в эксплуатируемое земляное полотно. В зависимости от поставленных задач месдозы устанавливаются на основной площадке на глубине 0,4-0,6 м или в теле земляного полотна на различных горизонтах до глубин порядка 2 м.

2.5. При установке месдоз в тело земляного полотна рекомендуется следующая технология. Опытную шпалу (под которую необходимо установить месдозы) вынимают из пути и на этом месте устраивают прорезь необходимой глубины шириной до двух соседних шпал. Чтобы щебень и песок из-под шпал не высыпались, прорезь крепят досками. Поверхность грунта выравнивают (по уровню) и при помощи отвеса и мерной ленты определяют положение каждой месдозы. После этого вокруг месдоз подсыпают грунт и осторожно уплотняют его ручной трамбовкой. Далее вся прорезь засыпается слоем грунта толщиной примерно 5-7 см, который тщательно уплотняют. После установки месдоз на всех горизонтах и засыпки прорези шпалу устанавливают в первоначальное положение, балластную призму тщательно уплотняют ручной трамбовкой и, кроме того, тщательно подбивают балласт под шпалами, а в междушпальных ящиках, на плечах и откосах балластный слой тщательно трамбуют.

2.6. Для стабилизации грунта в местах установки мессдоз путь в течение длительного времени (порядка I месяца) обкатывают поездами и производят, в случае необходимости, выправку пути. После стабилизации пути начинают измерять напряжения. Неизменность показаний мессдоз во времени является показателем работы грунта земляного полотна в упругой стадии. Образец осциллограммы напряжений в земляном полотне приведен на рис. 2.

Метод измерения упругих деформаций земляного полотна

2.7. Для измерения упругих деформаций земляного полотна рекомендуется скважинный деформометр. Сдвиг противоположных стоек на разной глубине скважины измеряется относительно расположенной в доннике скважины стойки. При скорости поездов более 120 km/h, для измерения верхних деформаций земляного полотна можно измерять ускорение площадки земляного полотна инерционным сервоблоком и высчитывать динамическую деформацию земляного полотна двойным интегрированием.

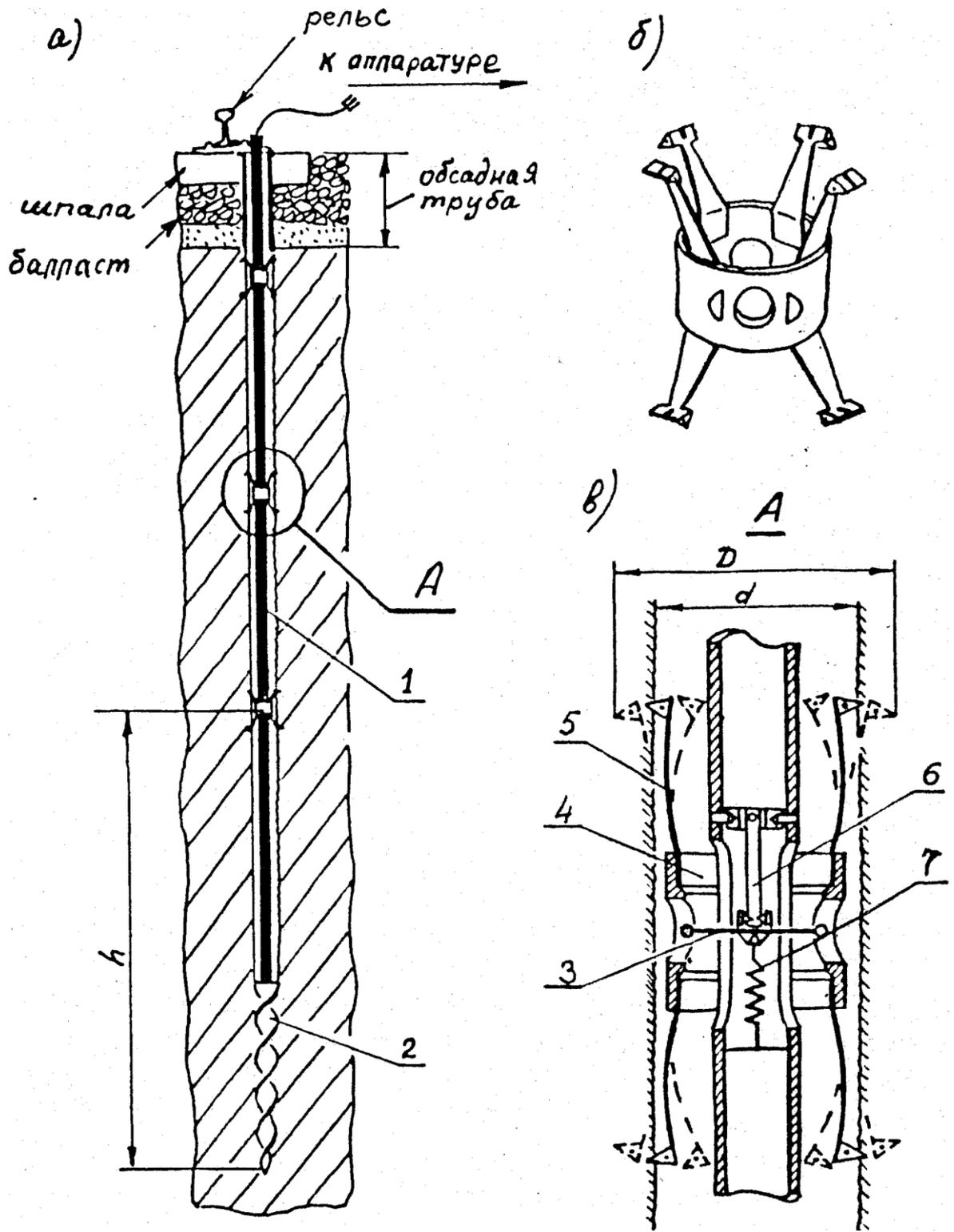
Прибор названный скважинным деформометром (рис.3), представляет собой расположенную в скважине стойку 1, которая закрепляется в забое скважины наконечником 2. Стойка имеет трубчатое сечение. Вдоль стойки через определенные интервалы имеются сквозные овальные прорезы, в которых располагаются упругие элементы 3, снабженные тензорезисторами. На стойку нанизываются специальные анкера, которые шарнирно соединяются с петлями упругих элементов 3. Анкер изготовлен в виде полого цилиндра 4, к краям которого в диаметрально противоположном порядке прикреплены пластинчатые пружины 5 с заостренными выступами на концах. Внутренний диаметр корпуса анкера несколько больше наружного диаметра стойки, что обеспечивает наличие кольцевого зазора между их поверхностями и гарантирует свободное (без трения) перемещение анкера при отклонениях оси стойки, от оси скважины. Пластинчатые пружины 5 в местах прилегания к обрезу корпуса анкера имеют излом, создающий размер D , несколько больший, чем диаметр скважины $d = 70$ мм.

Другие скважинные деформометры являются аналогичными. Для измерения относительного сдвига между анкерами и стойкой можно использовать тензометрическую аппаратуру, а также дифференциальный трансформатор (ДТ) или измерения сдвиговых деформаций вихретоковым методом.

2.8. Скваженный деформометр может работать в скважинах со стенками, находящимися в период проведения измерений в устойчивом состоянии, и при соответствующей гидроизоляции электрической цепи. Чтобы избежать ссыпания балласта в скважину, в ее устье устанавливают обсадную трубу (см. рис. 3), имеющую на верхнем конце фланец, который препятствует опусканию трубы в скважину.

2.9. Последовательность операций при установке и работе прибора следующая. В пробуренную до намеченной глубины скважину прибор опускают целиком или по частям. При этом концы анкерных пружин прижаты к стойке, как показано штриховыми линиями на рис. 3 в. После того, как прибор ввинчен своим наконечником в забой скважины, пружины освобождаются при помощи вышеупомянутого механизма и, выпрямляясь, упираются заостренными выступами в стенки скважины. Это дает надежное сцепление анкера с окружающим грунтом.

Принципиальная схема устройства скважинного деформометра



а – общий вид; б – анкер; в – узел А; 1 – стойка; 2 – наконечник;
 3 – упругий элемент с тензорезисторами; 4 – корпус анкера; 5 – анкерная пружина;
 6 – шарнирная подвеска; 7 – пружина

Рис. 3

2.10. Провода от датчиков подключаются к соответствующему усилителю и цифровому оборудованию. При воздействии поездных нагрузок на путь каждый слой земляного полотна ΔS между наконечником и анкером сжимается на некоторую величину. Очевидно, что на эту же величину относительно стойки перемещается и анкер. Сигналы от датчиков поступают в соответствующий усилитель и регистрируются на цифровом оборудовании. С помощью тарировочных коэффициентов на осциллограммах определяют фактические значения деформаций.

Чувствительность измерительного канала (деформометр-усилитель-осциллограф) достаточно высокая; могут быть измерены упругие деформации слоев грунта под воздействием поездной нагрузки до 4,5 - 5 мм с точностью до 0,005 мм.

2.11. По окончании цикла измерений с помощью того же механизма концы анкерных пружин прижимаются к стойке, после чего прибор извлекается из скважины. Максимальное закрепление наконечника может быть осуществлено на глубине порядка 7 м от подошвы шпалы при измерении деформаций слоев грунта на различных глубинах. Проведение одновременного или последовательного измерения с помощью скважинных деформометров в характерных точках поперечного сечения земляного полотна дает возможность получить данные о распределении упругих деформаций по этому сечению в процессе движения подвижного состава.

Метод измерений колебаний (вибраций) грунта

2.12. В основу измерений колебаний грунта земляного полотна под воздействием поездной нагрузки положен общеизвестный принцип, состоящий в том, что кинематические параметры колебательного процесса преобразуются в электрические сигналы, которые затем регистрируются с помощью электроизмерительной аппаратуры. Основным преимуществом такого принципа измерений колебаний является возможность дистанционного измерения и одновременной регистрации колебаний во многих точках.

2.13. Для измерения колебаний грунта рекомендуются электродинамические сейсмоприемники, в которых используется инерционный принцип измерения колебаний (рис. 4). Для определения колебаний грунта насыпей на прочном основании могут быть применены сейсмоприемники для регистрации вертикальной и горизонтальной составляющей. Для измерения колебаний грунта насыпей на слабом основании целесообразно использовать сейсмоприемники, которые позволяют регистрировать без блоков усилителей составляющие вибросмещений или виброскоростей колебательного процесса в диапазоне частот от 0,5 Гц до 100 Гц.

Схема устройства электродинамического сейсмоприемника

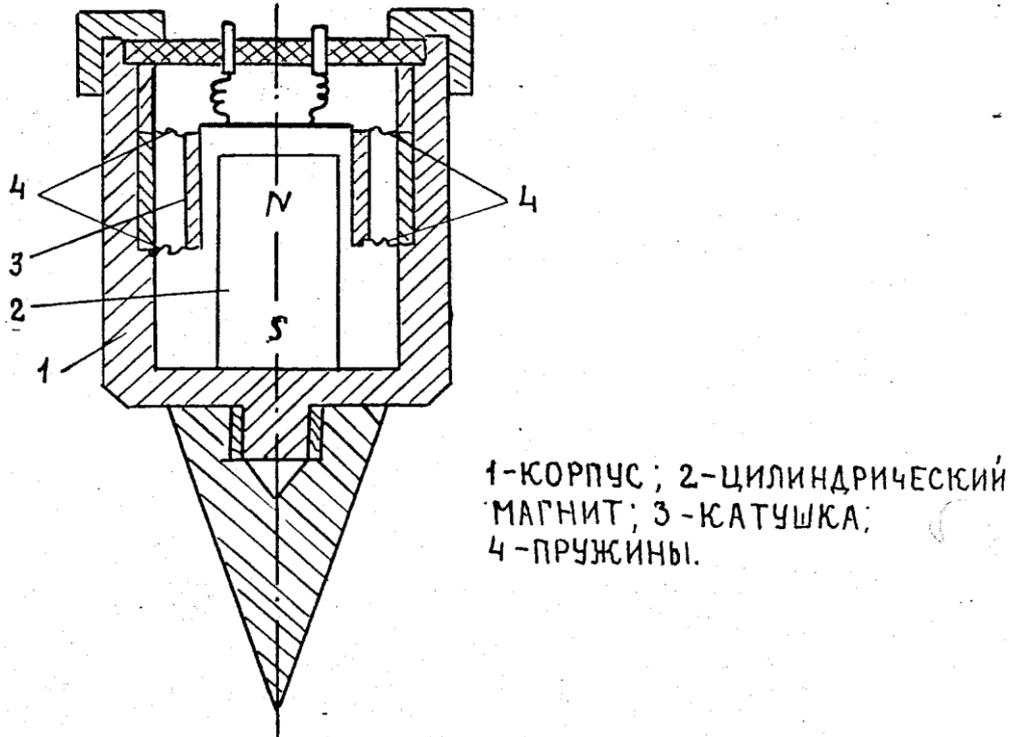
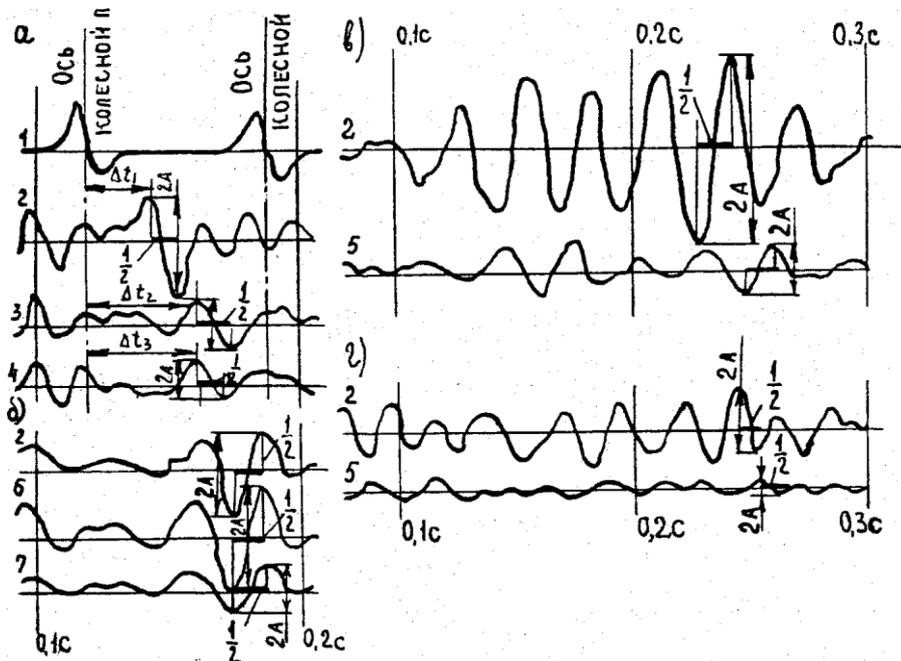


Рис. 4

Примеры осциллограмм скоростей колебаний грунта в откосе насыпи



а - по длине откоса насыпи при движении локомотива со скоростью 130 км/ч; б - по глубине балластного шлейфа на бровке основной площадки; в - по длине откоса насыпи в сечении против стыка рельсов при движении локомотива со скоростью 90 км/ч; г - то же, в средней части звена; 1 - отметка осей поезда; 2 - фрагменты записей колебаний при расположении сейсмоприемников на бровке насыпи ($L = 0$); 3 - то же, на откосе насыпи при расстоянии от бровки $L = 2$ м; 4 - то же при $L = 4$ м; 5 - то же, при $L = 8$ м; 6 - сейсмоприемник на глубине 0,6 м; 7 - 4 - то же, при глубине 0,8 м

2.14. Перед измерениями производится калибровка аппаратуры на вибростенде с целью определения количественных характеристик, необходимых для пересчета данных, выдаваемых аппаратурой, в величины, определяющие исследуемые колебания. Под калибровкой понимается определение чувствительности и снятие амплитудно-частотных характеристик измерительных каналов. Пример осциллограмм с записями грунта на откосах насыпи приведен на рис. 5.

2.15. В зависимости от поставленных задач могут быть приняты различные схемы установки сейсмоприемников. На небольшой глубине под рельсошпальной решеткой сейсмоприемники устанавливаются в шурфы с последующей засыпкой грунтом и тщательной его трамбовкой (аналогично установке мессдоз). На откосах насыпей и выемок сейсмоприемники помещают в небольшие лунки глубиной 10-15 см с обеспечением плотного контакта сейсмоприемников с грунтом. При установке сейсмоприемников в земляное полотно на глубине до 5-7 м целесообразно датчики помещать при помощи специальных захватов в буровые скважины с присыпкой сверху небольшого количества грунта с последующей его трамбовкой. Засыпка скважины улучшает условия контакта датчика с грунтом и, следовательно, условия передачи колебаний.

2.16. Обработка полученных экспериментальных данных (напряжений, упругих деформаций и колебаний) выполняется общеизвестными методами с определением необходимых статистических характеристик и вычислением амплитудно-частотных спектров динамических процессов. Эффективность исследования может быть повышена при использовании системы записи динамических параметров на цифровое оборудование с последующим вводом в ЭВМ.

III. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЕЗДНОЙ НАГРУЗКИ

Зоны динамического воздействия поездной нагрузки на земляное полотно

3.1. Наибольшее воздействие поездная нагрузка оказывает на ядро земляного полотна непосредственно под рельсошпальной решеткой (рис.6); при удалении от ядра в поперечном сечении и по глубине земляного полотна это воздействие уменьшается. Следовательно, отдельные части земляного полотна (и, прежде всего, насыпей) при движении поездов работают в условиях, отличающихся друг от друга по величине, интенсивности и виду вибродинамического воздействия. Границы между зонами зависят от ряда факторов, как инженерно-геологического, так и эксплуатационного характера и являются в известной степени условными. Тем не менее, они позволяют дифференцированно подойти к оценке работы земляного полотна под воздействием поездной нагрузки.

3.2. В условиях нормального содержания пути, т.е. при подбивке шпал в подрельсовых сечениях, наибольшие напряжения в земляном полотне от прохода поезда возникают в подрельсовых сечениях (сечения 1-1 на рис. 6).

3.3. Распределение напряжений на основной площадке вдоль шпалы можно характеризовать коэффициентами неравномерности Y_{o-k} и Y_{o-o} , которые представляют собой отношение напряжений в сечениях соответственно под концами шпалы и по оси колеи к аналогичным напряжениям в подрельсовом сечении.

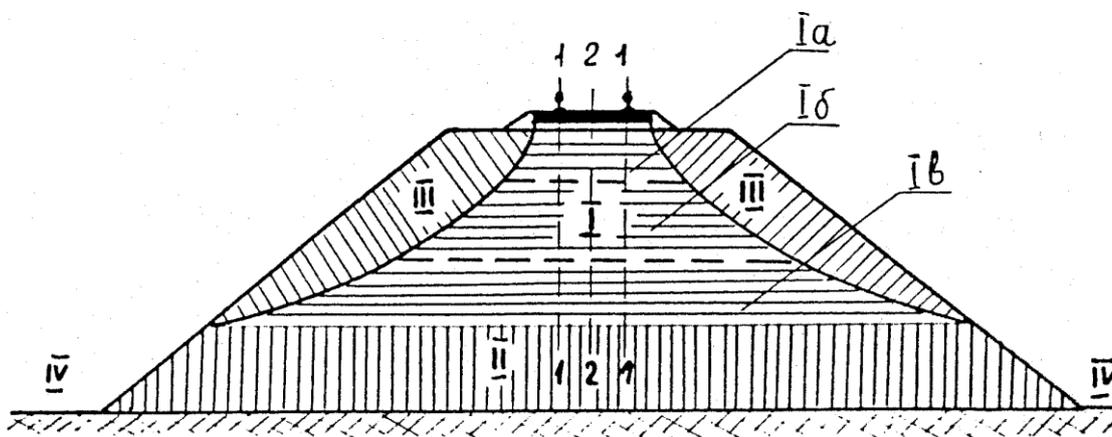
3.4. Проведенные испытания и выполненный расчет коэффициентов неравномерности Y_{o-k} и Y_{o-k} показал, что в процессе эксплуатации пути основная площадка испытывает давление, неравномерное не только по величине, но и по протяжению вдоль шпалы в зависимости от различных факторов, в том числе от плана пути (прямой участок или кривая) и типа шпал, технологии укладки железобетонных шпал (например, устройство канавки в балласте под серединой шпалы), вида подвижного состава и скорости его движения, состояния поверхности катания колеса по головке рельса.

3.5. В кривых участках пути характер загрузки основной площадки земляного полотна существенно зависит от возвышения наружного рельса и скоростей движения поездов: при малых скоростях движения сильнее загружается внутренняя часть основной площадки земляного полотна, при повышении скоростей – наружная, считая от вертикали, проходящей по оси колея. При этом напряжения остаются наибольшими соответственно под наружной и внутренней рельсовыми нитями.

При скоростях движения $V_{ур}$, при которых вертикальное воздействие поездной нагрузки на обе рельсовые нити будет уравновешено, характер распределения напряжений на основной площадке земляного полотна в кривых участках близок к характеру распределения напряжений в прямых участках пути.

3.6. По цикличности воздействия нагрузок зону I (см. рис. 6) земляного полотна по глубине можно подразделить на три части: 1а, 1б, 1в. В первой из них (до $h \approx 1м$) грунт испытывает отдельное силовое воздействие с последующей разгрузкой под каждой осью подвижного состава; цикличность этого воздействия зависит от расстояния между осями экипажа и скоростью движения. Обычно она не превышает 15-20 Гц. Во второй части зоны (1б) максимум силового воздействия возникает только под тележкой вагона и, следовательно, общее количество циклов нагрузки уменьшается примерно вдвое. И, наконец, для нижней части зоны (1в) характерным является максимум нагрузки на грунт, который образуется совместно смежными двумя тележками разных вагонов, и количество воздействия равно числу подвижных единиц в составе.

Зоны динамического воздействия поездов на земляное полотно



I - ядро насыпи; II - зона в нижней части насыпи; III - откосы;
IV - основание насыпи; 1-1 - сечение под рельсами; 2-2 - сечение по оси пути

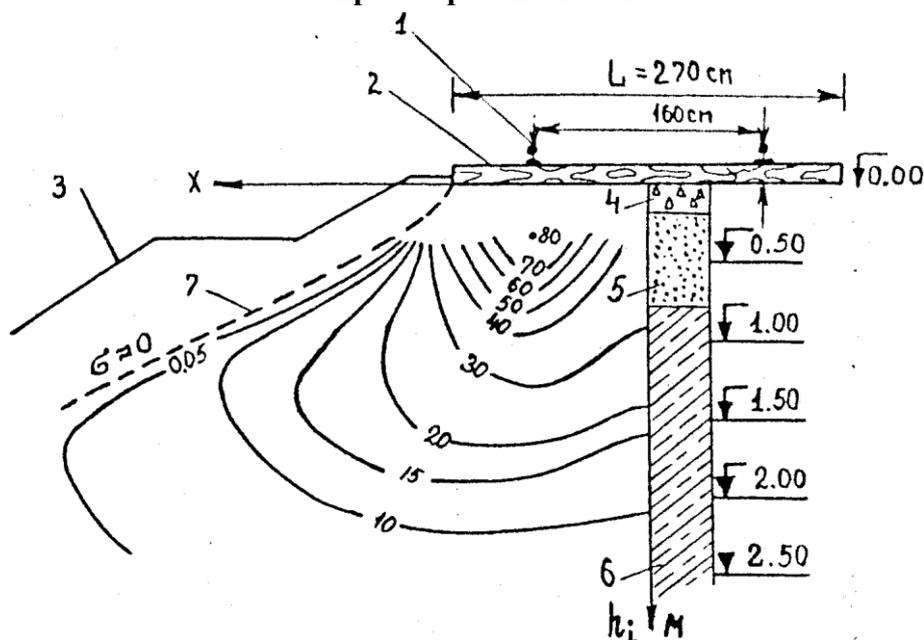
Рис. 6

3.7. В спектре скоростей колебаний грунта на основной площадке земляного полотна (зона 1а) вертикальная составляющая V_z находится в пределах 180 Гц; горизонтальные составляющие (поперек насыпи – V_y и вдоль насыпи – V_x) имеют, кроме того, в спектре отдельные максимумы амплитуд в диапазоне частот 200-300 Гц. Преобладающие частоты всех составляющих колебаний находятся в пределах 40-80 Гц. Амплитуды горизонтальных составляющих колебаний V_x не только приближаются по своим величинам к вертикальным V_z , но могут их превосходить, например, для высоких насыпей, кривых участков пути и при скоростях движения больших 100 км/ч.

3.8. Динамическое воздействие подвижной нагрузки сравнительно быстро затухает в поперечном сечении и по глубине земляного полотна. Характер распределения экспериментальных напряжений показан на рис. 7.

В полосе земляного полотна, ограниченной вертикальными сечениями, проходящими через торцы шпал, в каждом горизонтальном сечении наибольшие напряжения имели место под осями рельсовых нитей и наименьшие - по оси колеи. С глубиной напряжения постепенно выравнивались, хотя на глубине порядка 2 м от подошвы шпалы, где были выполнены измерения, напряжения сохранялись максимальными в подрельсовых сечениях.

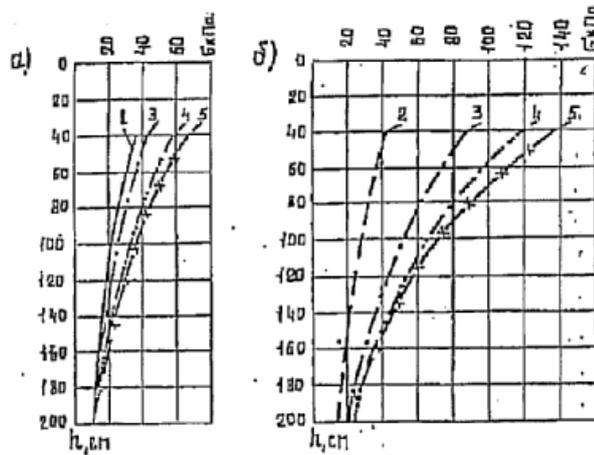
Распределение экспериментальных напряжений в верхних слоях земляного полотна под воздействием локомотива с осевой нагрузкой $P_{ст} = 21 \text{ тс/ось}$ при скорости 120 км/ч



1 - рельс; 2 - шпала; 3 - земляное полотно; 4 - щебень; 5 - песок; 6 - суглинок; 7 - кривая нулевых напряжений; 80,70... величина напряжений в кПа

Рис. 7

Затухание экспериментальных напряжений по глубине земляного полотна в подрельсовом сечении



А – ровные рельсы; б – рельсы с неровностью при скоростях движения:

1-3 км/ч; 3-70 км/ч; 4-100 км/ч; 5-120 км/ч

3.9. В поперечном сечении земляного полотна граница практического существования динамических напряжений от поездной нагрузки (переход от зоны I к зоне Ш на рис. 6) определяется зависимостью вида:

$$X_0 = \pm \frac{L}{2} \sqrt{1 + h^2 / t^2} \quad (1).$$

Эта формула показывает, что на глубине h_i в земляном полотне напряжения по горизонту отсутствуют на расстоянии x_0 . Здесь $\frac{L}{2}$ и t - параметры гиперболы, равные $\frac{L}{2} = 135$ см (половина длины шпалы), $t^2 = 3,44 \cdot 10^4$ (на основе обработки экспериментальных данных). Знак плюс или минус относится к случаям, когда гипербола строится соответственно по левую и правую сторону от оси колеи.

Построенная по формуле (1) гипербола (кривая 7) приведена на рис. 7 и применима для глубины в земляном полотне до 2 м от подошвы шпалы.

3.10. Напряжения в земляном полотне по вертикали с глубиной изменяются по кривым, близким к экспоненте (рис. 8). Для сечений под рельсами эта зависимость имеет следующий вид:

$$\sigma_{i-p} = \sigma_{o-p} e^{\lambda_p (h_i - h_o)} \quad (2),$$

где: σ_{i-p} - напряжения в земляном полотне на глубине h_i от подошвы шпалы;

σ_{o-p} - напряжения на основной площадке земляного полотна на глубине h_o от подошвы шпалы;

λ_p - коэффициент затухания напряжений с глубиной от уровня основной площадки.

Коэффициенты затухания напряжений по глубине земляного полотна λ_p находятся в линейной зависимости от скорости движения поезда V_{gb} . Для пути с деревянными шпалами эта зависимость имеет следующий вид:

$$\lambda = 0,0072 + 8,7 \cdot 10^{-6} V_{gb} \quad (3).$$

Наличие геометрических неровностей на рельсах приводит к более быстрому затуханию напряжений по глубине земляного полотна (рис. 8 б).

3.11. Относительная упругая сжимаемость отдельных слоев грунта также существенно изменяется по глубине насыпи. Так, в пределах первого метра происходит наибольшее сжатие грунта, составляющее 46-48 %, а для глубин от одного до двух метров - порядка 24-27 % от общего сжатия земляного полотна. Следовательно, упругость сжимаемого земляного полотна реализуется в пределах глубин до двух метров на 73 %, а до глубины трех метров - на 85 % от общего сжатия земляного полотна.

3.12. В практических случаях предельную глубину $h_{\sigma=0}$ существования динамических напряжений в земляном полотне от воздействия поездных нагрузок можно найти, задаваясь необходимым уровнем этих напряжений. При этом предполагается, что закон затухания напряжений, полученный для определенных интервалов глубин, сохраняется и на большую глубину. Для расчета $h_{\sigma=0}$ в подрельсовом сечении предложена следующая формула:

$$h_{\sigma=0} = h_0 + 2,302 \frac{\lg \sigma_{o-p} - \lg \sigma_{i-p}}{\lambda_p} \quad (3)$$

Здесь те же обозначения, что и в формуле (2).

Расчеты по формуле (3) показали, что напряжения не превышают 5 % наибольших напряжений на основной площадке (при $h_c = 40$ см) на глубине $h_{\sigma=0} = 6,9$ м; величина напряжений, равная 5 кПа, в этом случае имеет место при $h_{\sigma=0} = 5,7$ м.

О распространении напряжений от поездной нагрузки на глубину порядка 5-6 м свидетельствуют также непосредственно измеренные упругие деформации.

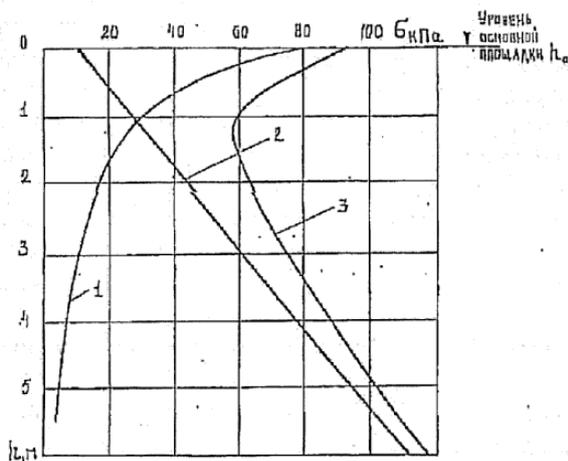
3.13. На глубине земляного полотна (зона II на рис. 7), где динамическое воздействие поездной нагрузки несущественно влияет на его прочность и устойчивость, преобладают статические напряжения от собственного веса грунта (рис. 9). Они составляют от 92 % (на глубине 4 м) до 98 % (на глубине 6 м) от полных напряжений, имеющих место на этих горизонтах в земляном полотне.

Спектр колебаний грунта в зоне II находится в пределах 15-60 Гц при максимуме амплитуд в диапазоне 25-35 Гц, а амплитуда этих колебаний составляет 3-5 % от максимальных значений на уровне основной площадки.

3.14. В откосах насыпи (зона III на рис. 7) динамические напряжения весьма незначительны или отсутствуют совсем; граница между зонами I и III была получена, как показано в п. 3.9, в виде гиперболической зависимости. Интенсивность колебаний грунта к бровке насыпи (на расстоянии порядка 4 м от оси пути) в зоне III уменьшается

примерно в 3 раза по сравнению с амплитудами на уровне основной площадки (зона I, сечение 1-1 на рис. 7).

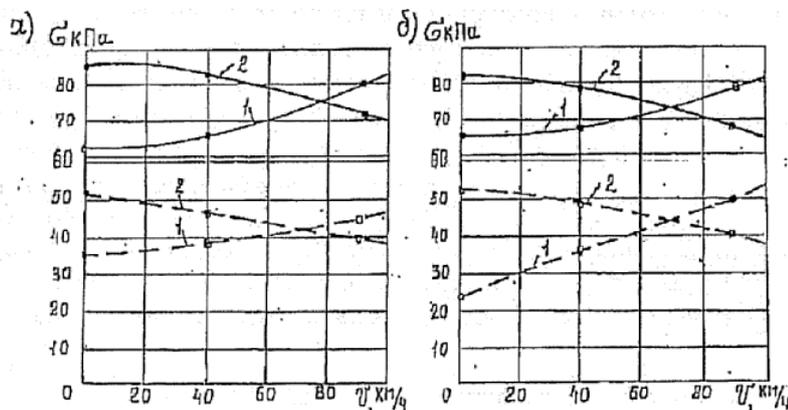
Сравнение затухания по глубине динамических напряжений (1), постоянных напряжений (2), полных напряжений (3)



- 1 σ_{i-p} - экспериментальные напряжения;
- 2 $\sigma_y + \sigma_{B.C.}$ - от собственного веса грунта и веса верхнего строения пути;
- 3 $\sigma_y + \sigma_{i-p}$ - полное напряжение.

Рис. 9

Зависимость напряжений на основной площадке земляного полотна от скорости движения в кривом участке пути



- а - под воздействием локомотива; б - под воздействием полувагона;
- 1 - под наружным рельсом; 2 - под внутренним рельсом; - - - средние;
- _____ максимальные вероятные значения

Рис. 10

При более высоких частотах амплитуды колебаний затухают быстрее, чем при низких, т.е. амплитуды высокочастотных колебаний хорошо фильтруются балластным слоем. Спектр пространственных колебаний ограничен частотами 120-140 Гц; при этом наибольшая вероятность появления максимальных амплитуд колебаний имеет место при частотах 40-60 Гц.

3.15. За пределами насыпи у ее основания (зона 1У на рис. 7) возникают колебания грунта, которые могут быть обнаружены на расстоянии до 200-300 м от движущегося поезда. Горизонтальная составляющая колебаний поперек пути здесь часто превышает вертикальную; в спектре отсутствуют низкочастотные составляющие колебаний.

Влияние скоростей движения поезда и повышенных нагрузок вагонов на земляное полотно

3.16. Вертикальные напряжения в основной площадке земляного полотна в подрельсовых сечениях $\sigma_{z(o-p)}$ на прямых участках пути в зависимости от скорости движения поездов в общем виде возрастают в соответствии с уравнением вида:

$$\sigma_{z(o-p)} = c + av_{gb} + bv_{gb}^2 \quad (4)$$

где c, a, b - постоянные коэффициенты, определяемые по способу наименьших квадратов;

v_{gb} - скорость движения, км/ч.

Характер увеличения этих напряжений для исправного подвижного состава в преобладающей степени зависит от состояния рельсового пути, например, от его однородности и жесткости, наличия сильно просевших шпал и т.п. Так, для некоторых условий зависимость вертикальных напряжений $\sigma_{z(o-p)}$ на основной площадке под грузовыми поездами может иметь прямолинейный характер в интервале 40-100 км/ч, (коэффициент $b = 0$), а затем интенсивность роста напряжений уменьшается, и при скоростях движения более 130-140 км/ч величина напряжений практически стабилизируется.

3.17. При наличии изолированных неровностей на поверхности катания головки рельсов, а также неровностей в зоне рельсовых стыков, напряжения на основной площадке резко возрастают с увеличением скоростей движения. Возрастание напряжений на основной площадке происходит не только в зоне самой неровности, но и на участках ровного рельса за пределами неровности. При этом повышение жесткости пути и увеличение необрессоренных масс колес подвижного состава приводит к более интенсивному росту напряжений на основной площадке земляного полотна.

3.18. Дополнительные напряжения на основной площадке земляного полотна при проходе изолированной неровности на рельсах можно приближенно оценить коэффициентом отношения напряжений K_n , образующихся при проходе экипажем неровностей или рельсовых стыков $\sigma_{нер}$ к напряжениям при проходе экипажа по пути с ровными рельсами, т.е. $K_n = \sigma_{нер} / \sigma_{ров}$

Расчеты коэффициентов K_n показали, что величина дополнительных напряжений на основной площадке, вызванных изолированными или стыковыми

неровностями может при скорости движения поезда 100 км/ч примерно в 2-3 раза превышать напряжения для пути с ровными рельсами.

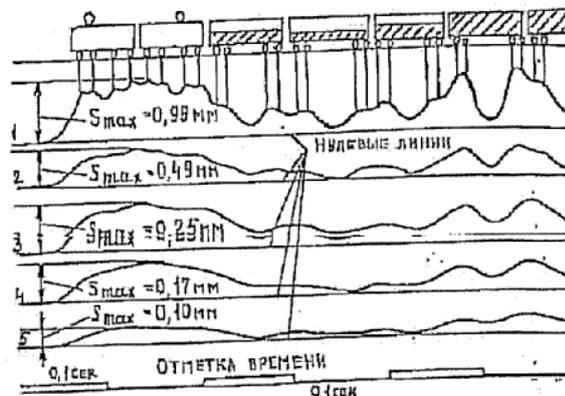
3.19. При увеличении скоростей движения горизонтальные поперечные силы, действующие на рельс от набегающих колес подвижного состава, становятся соизмеримыми с вертикальными, и оказывают влияние на земляное полотно. Зависимость горизонтальных поперечных напряжений на основной площадке от скорости движения поездов характеризуется увеличением напряжений во всем диапазоне возрастания скоростей, но с несколько меньшей интенсивностью увеличения при скоростях свыше 160 км/ч.

3.20. В кривых участках пути вертикальные напряжения на основной площадке земляного полотна с ростом скоростей движения увеличиваются под наружным рельсом и уменьшаются под внутренним рельсом (рис. 10). При скоростях движения, при которых воздействие поезда на обе рельсовые нити будет уравновешено $V_{ур}$, происходит выравнивание напряжений на основной площадке земляного полотна под наружным и внутренним рельсами.

3.21. Повышение скоростей движения подвижного состава приводит к увеличению амплитуд колебаний грунта земляного полотна. Интенсивность нарастания амплитуд зависит от расположения точки измерения относительно рельсошпальной решетки, передающей нагрузку от поезда на земляное полотно, состояния поверхности катания колеса по рельсу и интервала измерения скоростей движения.

При измерениях колебаний грунта основной площадки под воздействием высокоскоростного пассажирского поезда амплитуда вертикальной составляющей колебаний достигает наибольшего значения при $V_{gb} = 180$ км/ч, а затем снижается при дальнейшем увеличении скорости движения поезда.

Изменение интенсивности упруго-деформированного состояния насыпи под воздействием различного по осевым нагрузкам вагонов грузового поезда при скорости движения 50 км/час



1 – упругие деформации на глубине $h = 1,2$ м; 2 – то же, при $h = 2,2$ м;
3 - то же, при $h = 3,2$ м; 4 - то же, при $h = 4,2$ м; 5 - то же, при $h = 5,2$ м
(масштаб записей разный)

Рис. 11

Зависимость напряжений на основной площадке земляного полотна в подрельсовом сечении от величины осевых нагрузок $P_{ст}$ 4-хосных вагонов ($V_{дв}=72$ км/ч)

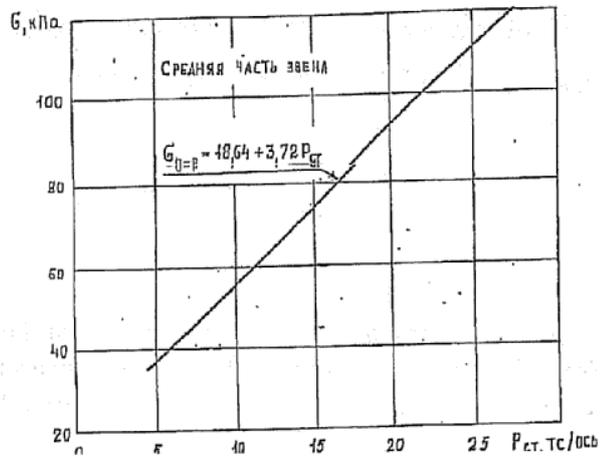
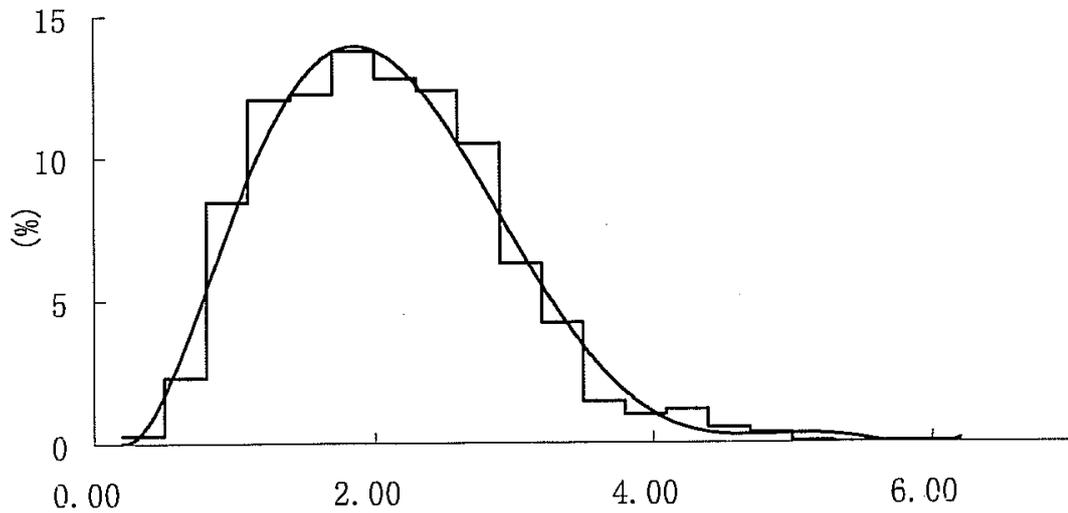


Рис. 12

Плотность частоты напряжений на площадку земляного полотна на основе нормализации осевой нагрузки (рельс-60kg/m, шпалы-типа Ш КЖД)



Динамическое напряжение от единичной осевой нагрузки (кПа/м)

Рис. 13

Зависимость скоростей грунта V_z на основной площадке под торцом шпалы от величины осевых нагрузок $P_{ст}$ ($V_{дв} = 72$ км/ч)

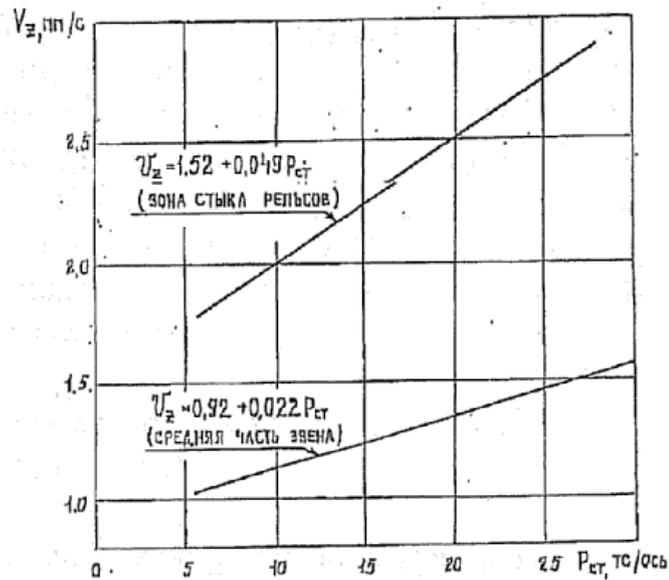


Рис. 14

3.22. На упругодеформированное состояние земляного полотна на различной глубине (зона I на рис. 6) существенное влияние оказывает загрузка вагонов (рис. 11). Было установлено, что между осевыми нагрузками подвижного состава $P_{ст}$ и вызываемыми ими упругими деформациями земляного полотна S существует зависимость, близкая к линейной, а также зависимость от типа рельсов. Целесообразно проводить испытание и анализ состояния земляного полотна при различных типах рельсов с учетом влияния многократного нагружения.

3.23. С увеличением осевой нагрузки четырехосных вагонов напряжения на основной площадке возрастают во всех сечениях под шпалой, при этом в наибольшей степени в сечениях под рельсовыми нитями (зона 1а на рис. 6). Зависимость напряжений от величины осевых нагрузок вагонов близка к линейной (рис. 12), а также зависит от типов рельсов и неровностей щебеночного балласта (рис. 13). Кроме статического воздействия необходимо учитывать и динамические воздействия на земляное полотно.

3.24. Виброскорости грунта основной площадки с ростом осевых нагрузок 4-х осных вагонов увеличиваются как для средней части звена, так и для зоны стыка рельсов (рис. 14). Влияние осевых нагрузок на виброскорости грунта откосов насыпей проявляется в значительно меньшей степени (зона III на рис. 6).

3.25. Рекомендуемые методы и представленные результаты исследований позволяют лучше изучить механизм образования деформаций и повреждений в земляном полотне, и тем самым прогнозировать состояние земляного полотна.

Полученные экспериментальные и расчетно-теоретические зависимости дают возможность оценить воздействие поездов на земляное полотно в условиях повышения осевых нагрузок и скоростей движения, а также на водопропускные трубы в насыпях, противопучинные и гидроизоляционные покрытия на основной площадке, подпорные стенки и т.п., и, тем самым, технически обоснованно наметить мероприятия для повышения стабильности эксплуатируемого земляного полотна.