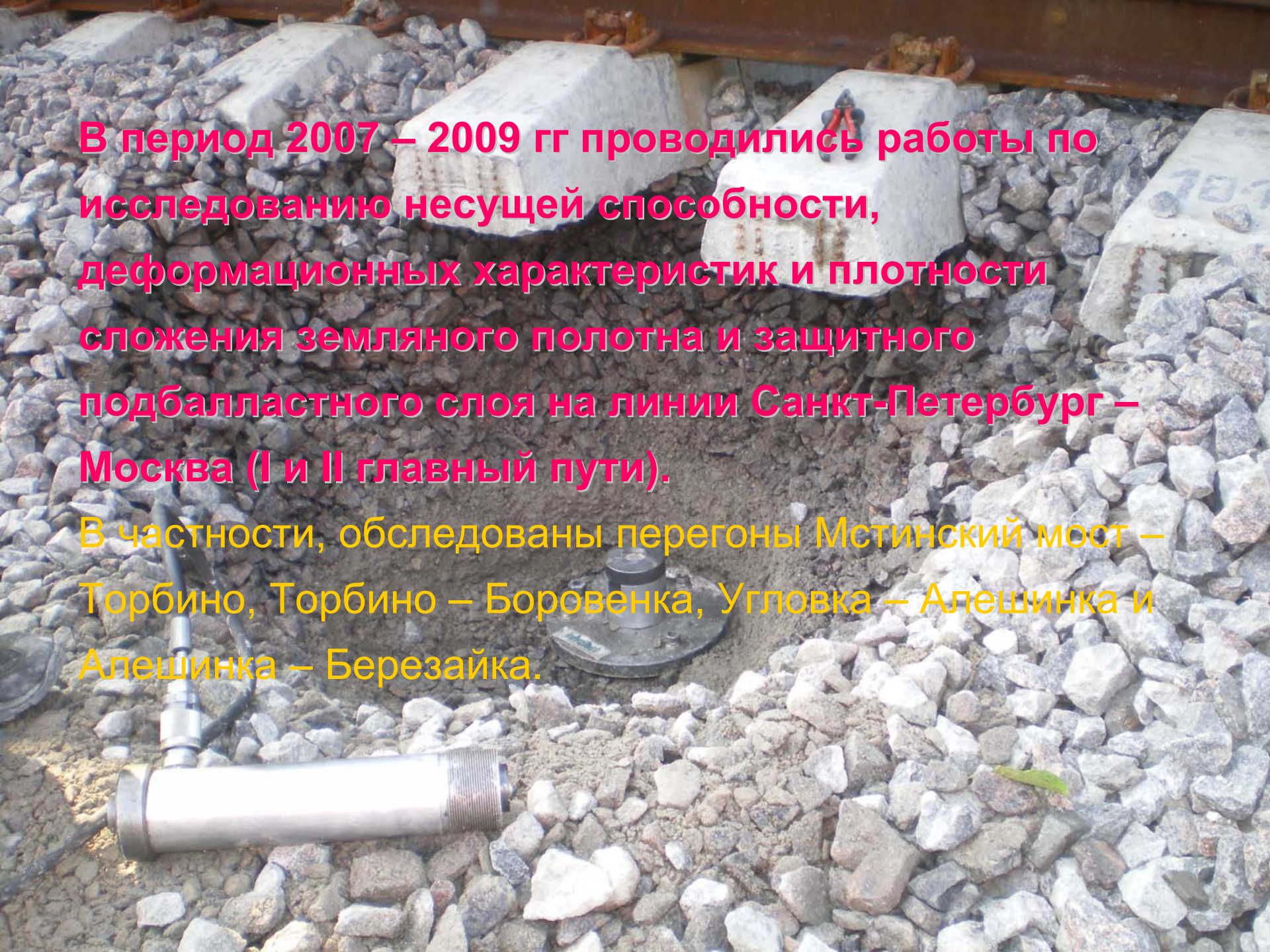
A photograph of a railway track with overhead power lines, set against a background of a forest and a cloudy sky. The tracks are made of steel rails on concrete sleepers, with gravel ballast. The overhead lines are supported by metal poles. The text is overlaid in the center of the image.

**Исследования на
Октябрьской железной
дороге**





В период 2007 – 2009 гг проводились работы по исследованию несущей способности, деформационных характеристик и плотности сложения земляного полотна и защитного подбалластного слоя на линии Санкт-Петербург – Москва (I и II главный пути).

В частности, обследованы перегоны Мстинский мост – Торбино, Торбино – Боровенка, Угловка – Алешинка и Алешинка – Березайка.

Исследования 2007 – 2009 гг включали в себя:

2007 г – проведение обследования реконструированных участков Мстинский мост – Торбино, Торбино – Боровенка, Окуловка – Угловка, Угловка – Алешинка и Алешинка – Березайка. Осуществлялось обследование общего состояния подбалластного слоя и земляного полотна, проводились штамповые испытания земляного полотна и подбалластного слоя статическим штампом и динамическим штампом; исследования плотности сложения земляного полотна и подбалластного слоя плотномером водобаллонного типа. Работы проводились по первому и второму главному пути.

2008 г – проведение испытаний штамповым методом на поверхности защитного подбалластного слоя (ЗПС) на перегоне Мстинский Мост – Торбино (II главный путь) в процессе эксплуатации пути; проведение испытаний штамповым методом на поверхности слоя ЗПС непосредственно после работ по его отсыпке, уплотнению и укладке на него рельсошпальной решетки на перегоне Торбино – Боровенка (II главный путь).

2009 г – работы по исследованию деформативных свойств ЗПС на участках, возведенных в 2008 году (в рамках мониторинга данных участков). По вновь утвержденной МИИТом и ВНИИЖТом методике проводились штамповые испытания статическим и динамическим штампами, проверка плотности слоя плотномером водобаллонного типа.

Исследования 2007 г

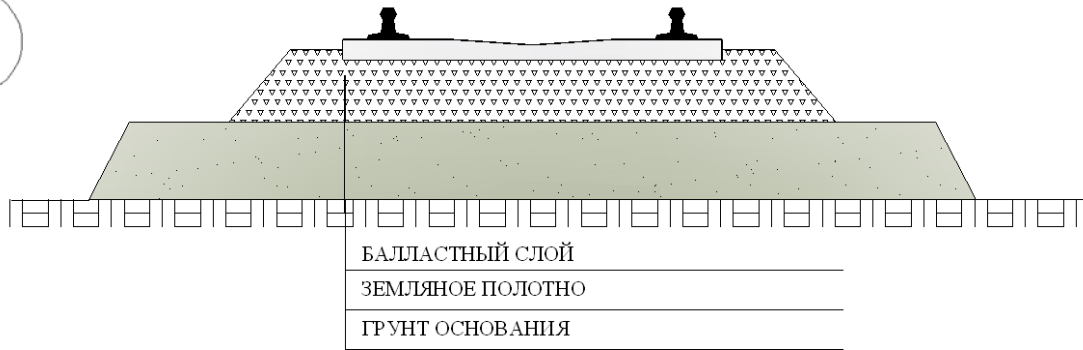
Обследования проводились как на «старых», так и на реконструированных участках I и II главных путей линии Санкт-Петербург – Москва.

Испытания деформационных характеристик подбалластного слоя и земляного полотна определялись по методике, изложенной в ГОСТ 20276-99 и ВСН 46-83.

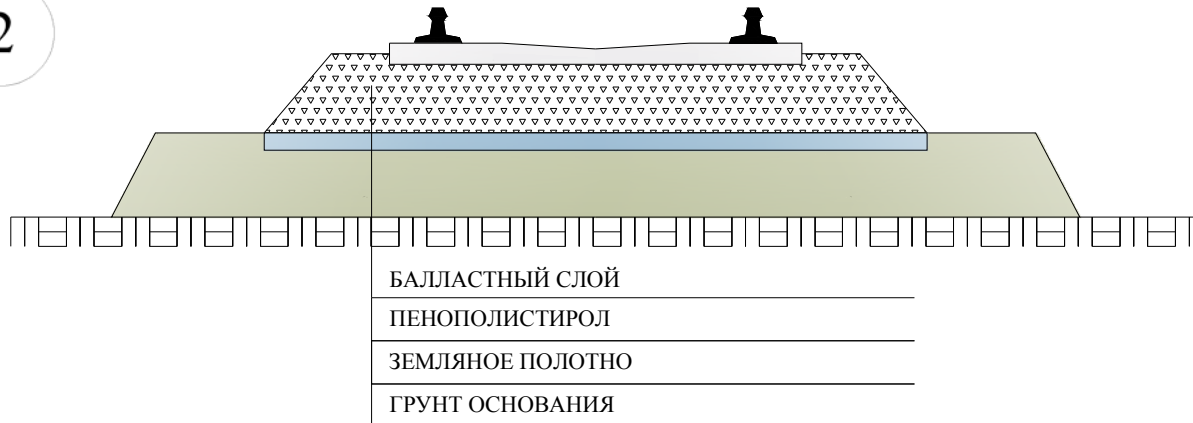
Деформативные характеристики основной площадки определялись при величине давления штампа на основание до 0,2 МПа (2 кгс/см²).

В процессе обследований испытаны 5 типов конструкции подбалластного слоя:

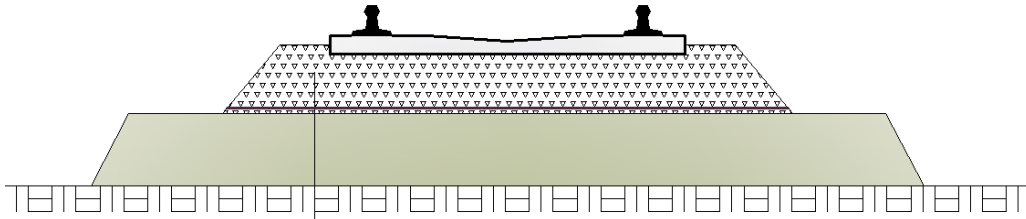
1



2



3



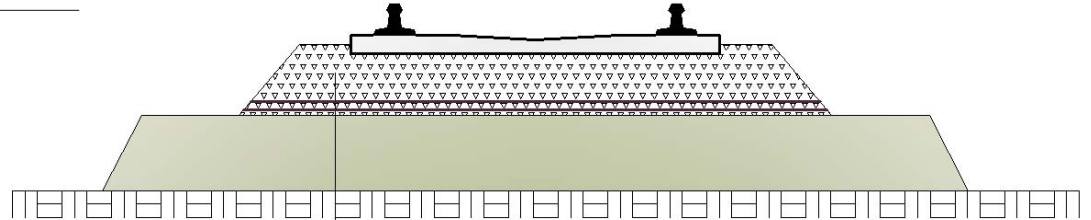
БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ

ГЕОТЕКСТИЛЬ

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

ГРУНТ ОСНОВАНИЯ

4



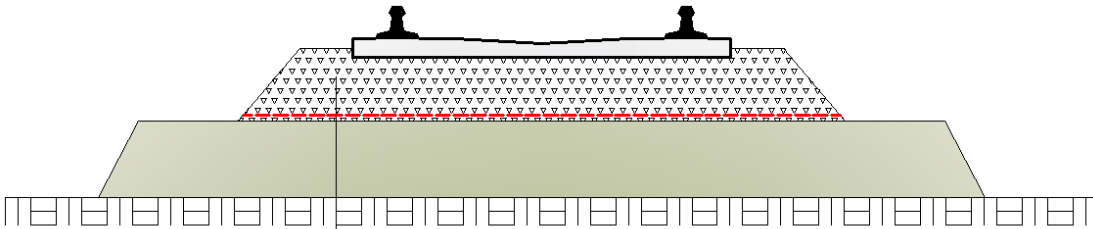
БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ

2 СЛОЯ ГЕОТЕКСТИЛЯ

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

ГРУНТ ОСНОВАНИЯ

5



БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ

ГЕОКОМПОЗИТ TENSAR SS30G

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

ГРУНТ ОСНОВАНИЯ

Всего за 2007 год проведено около 250 штамповых испытаний.

Некоторые выдержки по итогам проведенных испытаний:

1) «Традиционная конструкция» балластной призмы и земляного полотна (характерная точка – ПК 294+5 перегона Угловка-Алешинка, II главный путь):

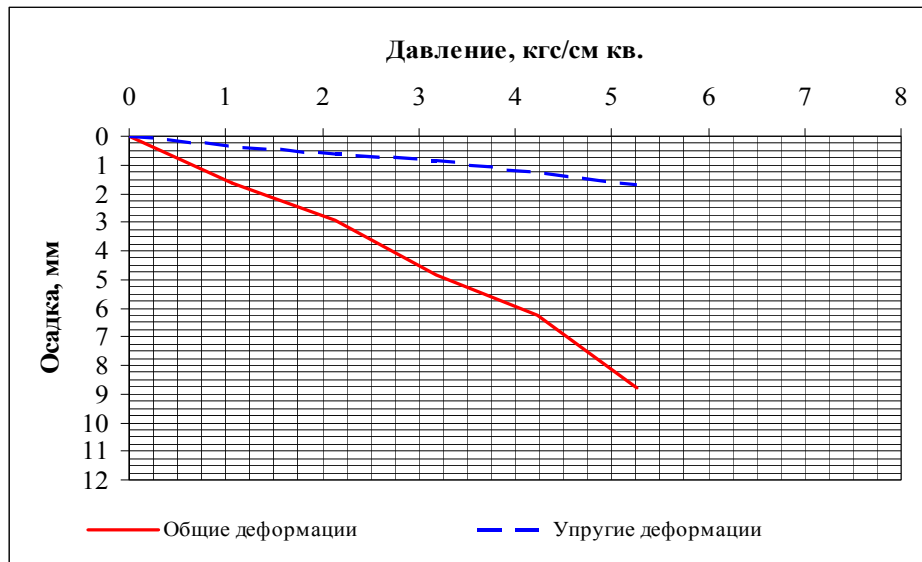


График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1кгс/см ² | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 192.2(19.22) | 1081.9(108.19) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 249.7(24.97) | 1391.0(139.10) |

Испытываемое основание обладает достаточно низкими деформативными характеристиками. Имеет место накопление остаточных деформаций, упругие деформации крайне малы. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 5,6$ (на хорошо уплотненном и "неподатливом" основании эта величина должна составлять 2-2,5 раза и менее). Следовательно, земляное полотно состоит из грунтов с низкими деформативными характеристиками и неуплотнено; балластный слой также недоуплотнен.

2) Основная площадка (верхняя поверхность земляного полотна) с использованием прослойки пенополистирола (характерная точка – ПК 205+6 перегона Мстинский мост-Торбино, I главный путь):



График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1 кгс/см ² | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 152,1(15,21) | 912,8(91,28) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2 кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 129,5(12,95) | 1024,9(102,49) |

Испытываемое основание обладает достаточно низкими деформативными характеристиками. На уровне основной площадке находится податливая прослойка в виде пенополистирола способная в значительной мере снижать деформативные характеристики и накапливать остаточные деформации. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 6-8$ (на хорошо уплотненном и "неподатливом" основании эта величина должна составлять 2-2,5 раза и менее).

3) Основная площадка (верхняя поверхность земляного полотна) с использованием слоя геотекстиля (характерная точка – ПК 288+6 перегона Угловка-Алешинка, II главный путь):



График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1 кгс/см ² | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 289,2(28,92) | 635,0(63,50) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2 кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 230,0(23,00) | 1062,2(106,22) |

Испытываемое основание обладает достаточно низкими деформативными характеристиками, хотя они несколько выше, чем у традиционной конструкции. Имеет место накопление остаточных деформаций, упругие деформации малы. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 2,2-4,6$ (на хорошо уплотненном и "неподатливом" основании эта величина должна составлять 2-2,5 раза и менее). С увеличением давления на основание деформационные характеристики снижаются; подстилающий слой разуплотнен.

Следовательно, земляное полотно состоит из грунтов с низкими деформативными характеристиками и неуплотнено; требуется ряд конструктивных мер для повышения деформативных характеристик и несущей способности основания.

4) 2 слоя геотекстиля: в балластном слое и на поверхности основной площадки (характерная точка – ПК 304+6 перегона Алешинка-Березайка, II главный путь):

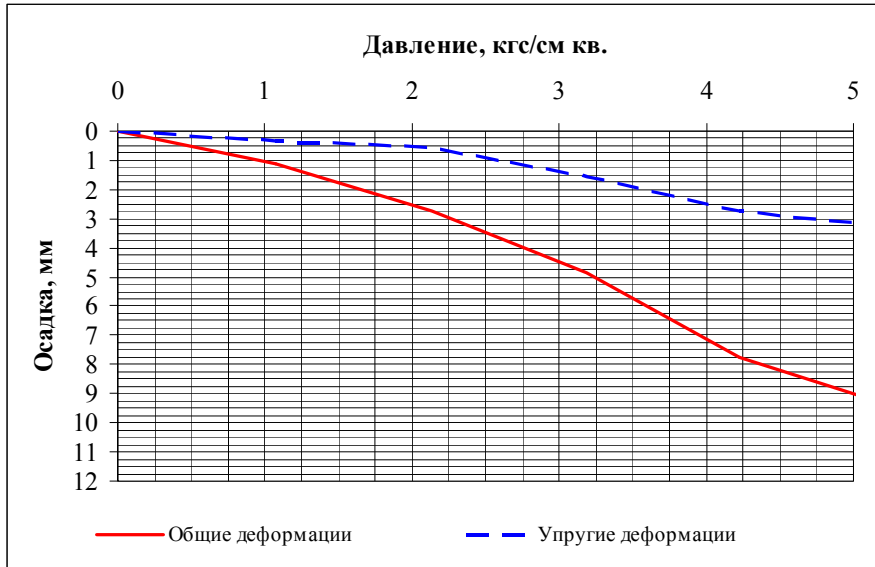


График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1 кгс/см ² | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 263,2(26,32) | 912,8(91,28) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2 кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 214,8(21,48) | 1024,9(102,49) |

Результаты испытаний данной конструкции схожи с результатами на предыдущей конструкции. Однако соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 3,5-4,8$, следовательно, верхний конструктивный слой пути(балластный слой) уплотнен хуже, чем в предыдущей конструкции.

5) Геокомпозит Tensar SS30G в основании балластного слоя (характерная точка – ПК 279+7 перегона Угловка-Алешинка, I главный путь):

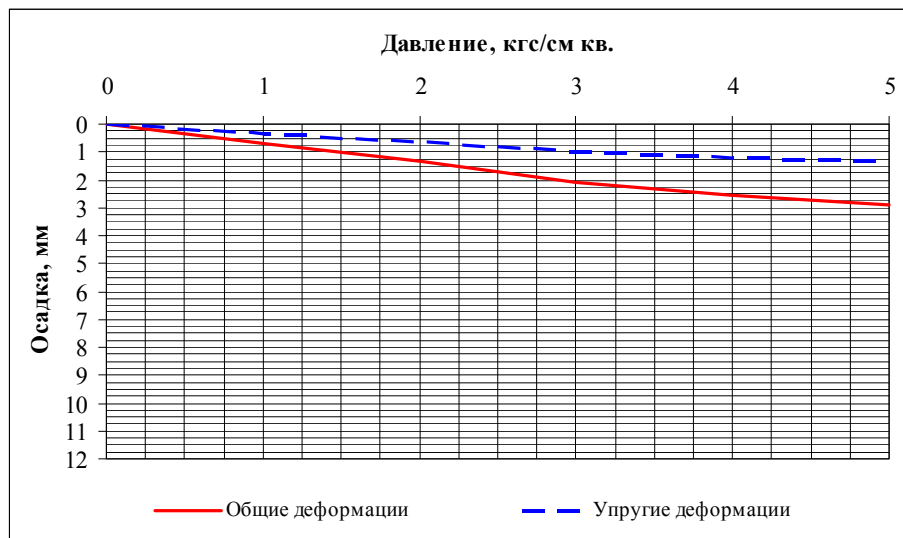
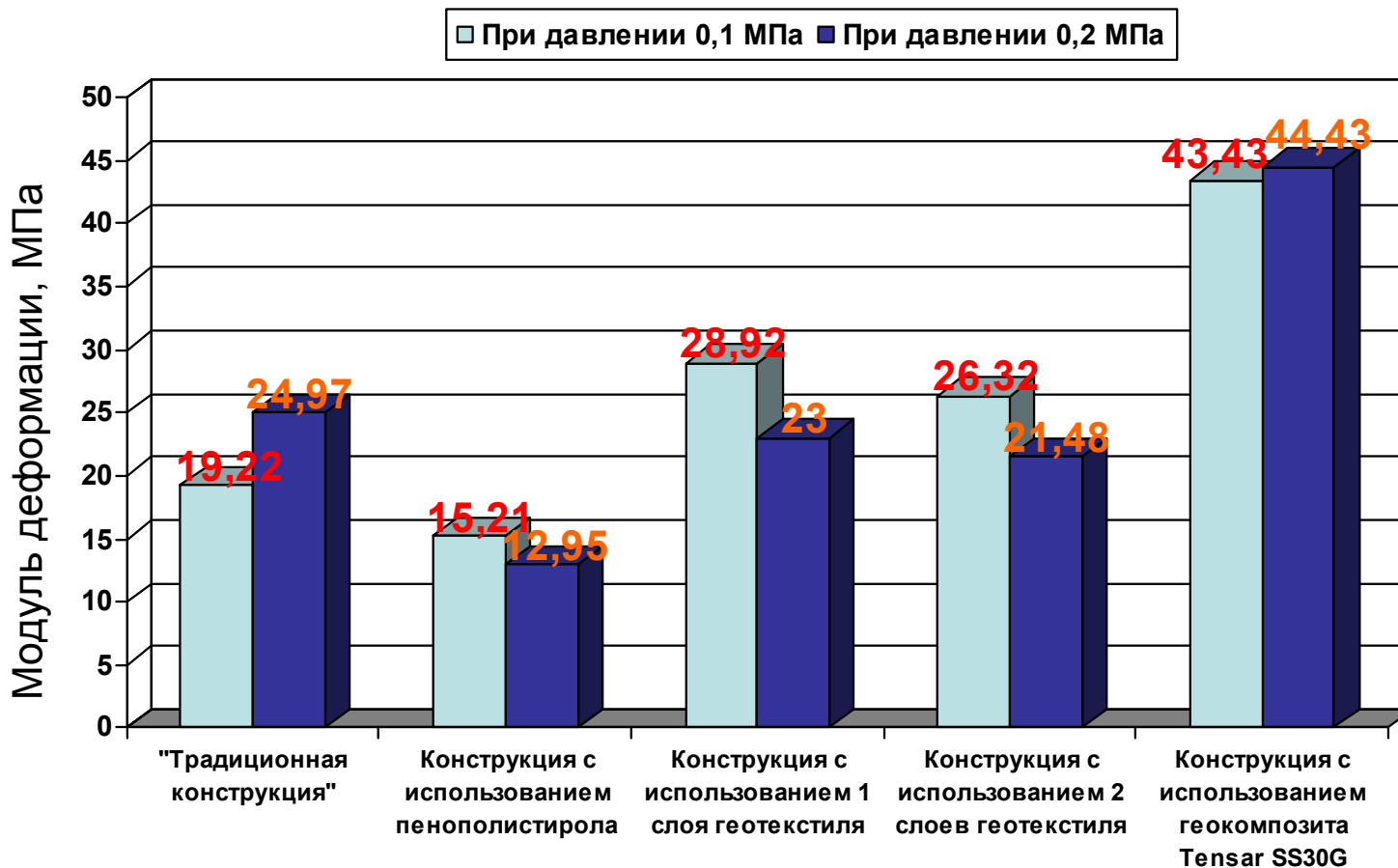


График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1 кгс/см ² | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 434,3,2(43,43) | 855,9(85,59) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2 кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 444,3(44,43) | 909,4(90,94) |

Испытываемое основание обладает наиболее высокими деформативными характеристиками из всех испытываемых типов конструкций. С увеличением нагрузки на основание деформативные свойства также возрастают, график общих деформаций выполаживается. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 1,97-2,05$. Это говорит о том, что благодаря использованию в конструкции основной площадки геокомпозита Tensar SS30G созданы оптимальные условия для уплотнения балластного слоя и земляного полотна.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГРАФИК ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОНСТРУКЦИИ ПОДБАЛЛАСТНОГО СЛОЯ



Исследования 2008 г

Обследования проводились в августе – октябре 2008 года на участке II главного пути линии Санкт-Петербург – Москва до и после реконструкции.

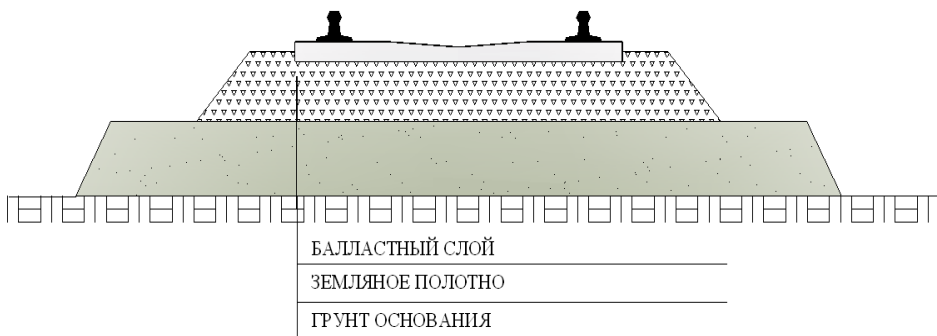
Испытания деформационных характеристик подбалластного слоя и земляного полотна определялись по методике, изложенной в ГОСТ 20276-99 и ВСН 46-83.

Деформативные характеристики основной площадки определялись при величине давления штампа на основание до 0,2 МПа (2 кгс/см²).

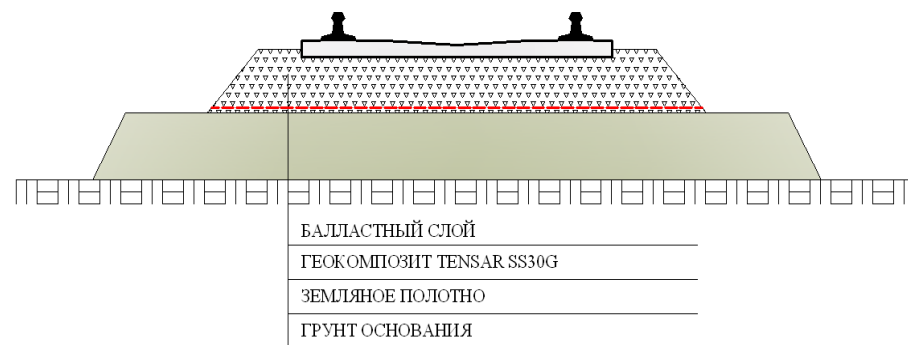
В процессе обследований испытаны 3 типа конструкции подбалластного слоя:

ДО РЕКОНСТРУКЦИИ:

ТИП 1

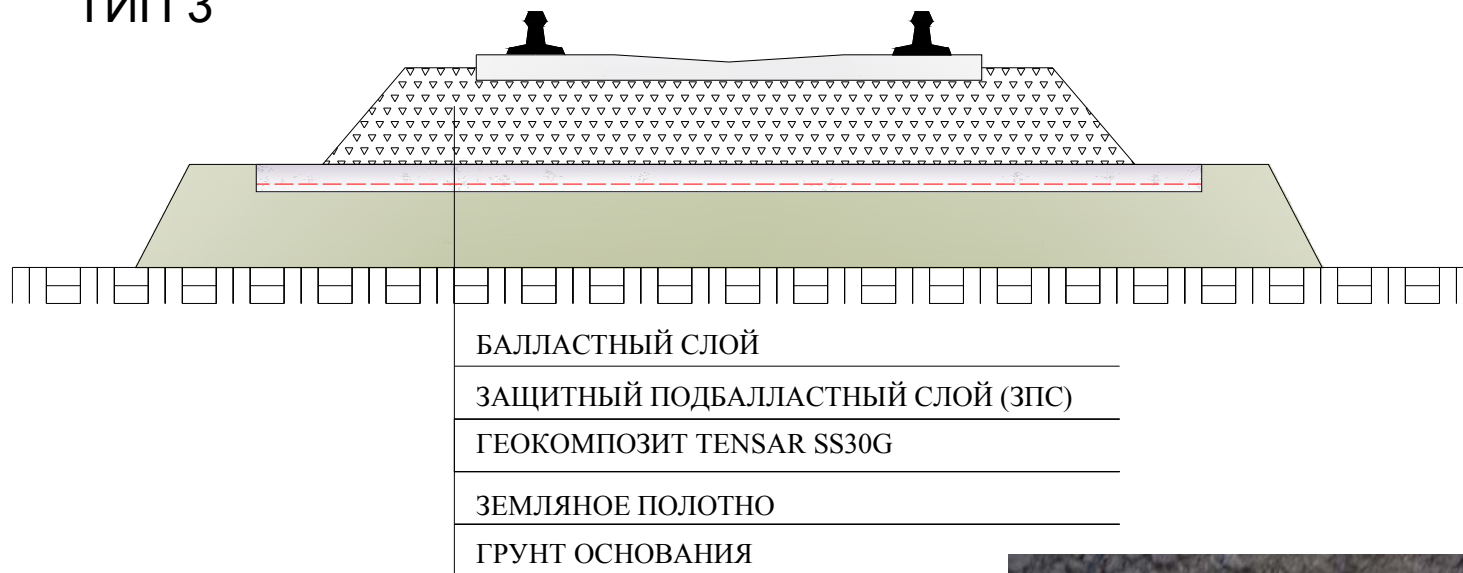


ТИП 2



ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ:

ТИП 3



Защитный подбалластный слой представляет из себя слой специально подобранной щебеночно – гравийно – песчаной смеси толщиной $t = 20$ см (на исследованных участках).



Сравним результаты испытаний до и после реконструкции в одних и тех же точках.

ДО РЕКОНСТРУКЦИИ:

1) «Традиционная конструкция» балластной призмы и земляного полотна (характерная точка – ПК 223+7 перегона Торбино-Боровенка, II главный путь):

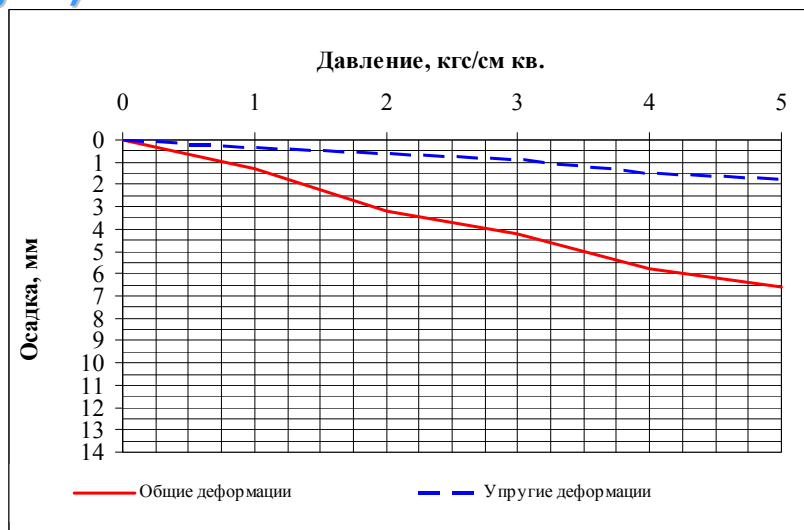


График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1кгс/см ² | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 215,0(21,50) | 780,0(78,00) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 171,2(17,12) | 895,1(89,51) |

Испытываемое основание обладает достаточно низкими деформативными характеристиками. Имеет место накопление остаточных деформаций, упругие деформации крайне малы. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 3,6 - 5,2$ (на хорошо уплотненном и "неподатливом" основании эта величина должна составлять 2-2,5 раза и менее). Следовательно, земляное полотно состоит из грунтов с низкими деформативными характеристиками и неуплотнено; балластный слой также недоуплотнен.

2) Геокомпозит Tensar SS30G в основании балластного слоя (характерная точка – ПК 227+1 перегона Торбино-Боровенка, II главный путь):



График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1 кгс/см ² | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 445,0(44,50) | 941,4(94,14) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2 кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 410,5(41,05) | 1014,3(101,43) |

Испытываемое основание обладает достаточно высокими деформативными характеристиками. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 2,07-2,5$. Это говорит о том, что благодаря использованию в конструкции основной площадки геокомпозита Tensar SS30G созданы оптимальные условия для уплотнения балластного слоя и земляного полотна.

ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ:

3) Геокомпозит Tensar SS30G в основании подбалластного слоя ЗПС (характерная точка – ПК 223+7 перегона Торбино-Боровенка, II главный путь):



График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1кгс/см ² | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 525,0(52,50) | 827,3(82,73) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 520,0(52,00) | 1114,3(111,43) |

Благодаря использованию в конструкции основной площадки ЗПС, армированного геокомпозитом Tensar SS30G, значение модуля деформации основания возросло в 2,4 раза, соответственно, значительно увеличилась несущая способность. С увеличением нагрузки на основание график общих деформаций выполаживается. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 1,6-2,1$. Это говорит о том, что благодаря использованию в конструкции основной площадки геокомпозита Tensar SS30G созданы оптимальные условия для уплотнения балластного слоя и слоя ЗПС.

4) Геокомпозит Tensar SS30G в основании подбалластного слоя ЗПС (характерная точка – ПК ПК 227+1 перегона Торбино-Боровенка, II главный путь):

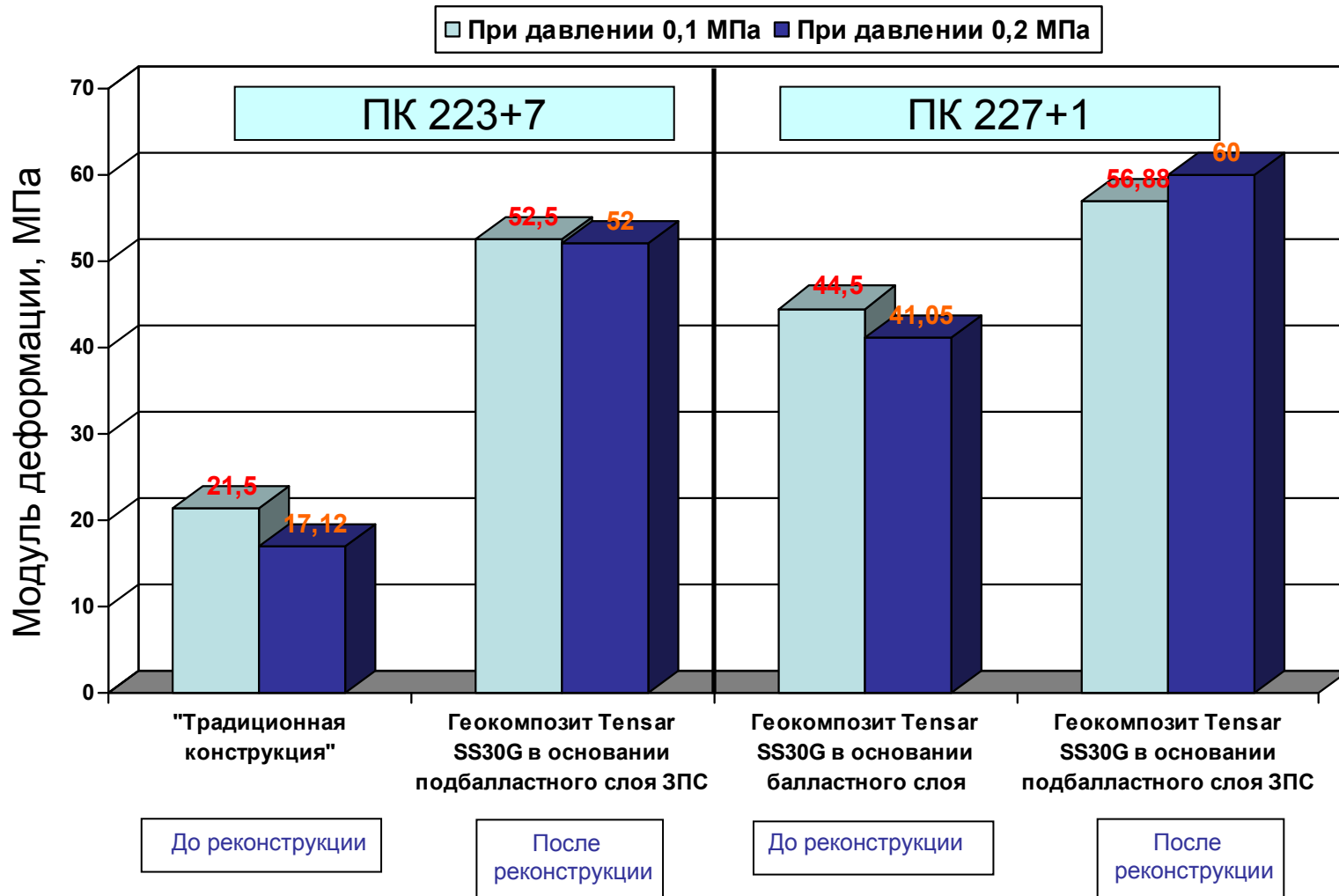


График зависимости полных и упругих деформаций от давления

| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 1кгс/см ² | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 568,8(56,88) | 1316,7(131,67) |
| Значения, полученные прямыми штамповыми испытаниями на основной площадке при давлении 2кгс/см ² | |
| Модуль деформации кгс/см ² (МПа) | Модуль упругости кгс/см ² (МПа) |
| 600,0(60,00) | 1316,7(131,67) |

Благодаря использованию в конструкции основной площадки ЗПС, армированного геокомпозитом Tensar SS30G, значение модуля деформации основания по сравнению с конструкцией, где геокомпозит подстилает балластный слой, возросло в 1,3 раза, то есть незначительно по сравнению с эффектом при замене «традиционной конструкции». С увеличением нагрузки на основание график общих деформаций выполаживается. Соотношение модуля упругости и модуля деформации $E_{упр}/E_{деф} = 2,2-2,3$. Это говорит о том, что благодаря использованию в конструкции основной площадки геокомпозита Tensar SS30G созданы оптимальные условия для уплотнения балластного слоя и слоя ЗПС.

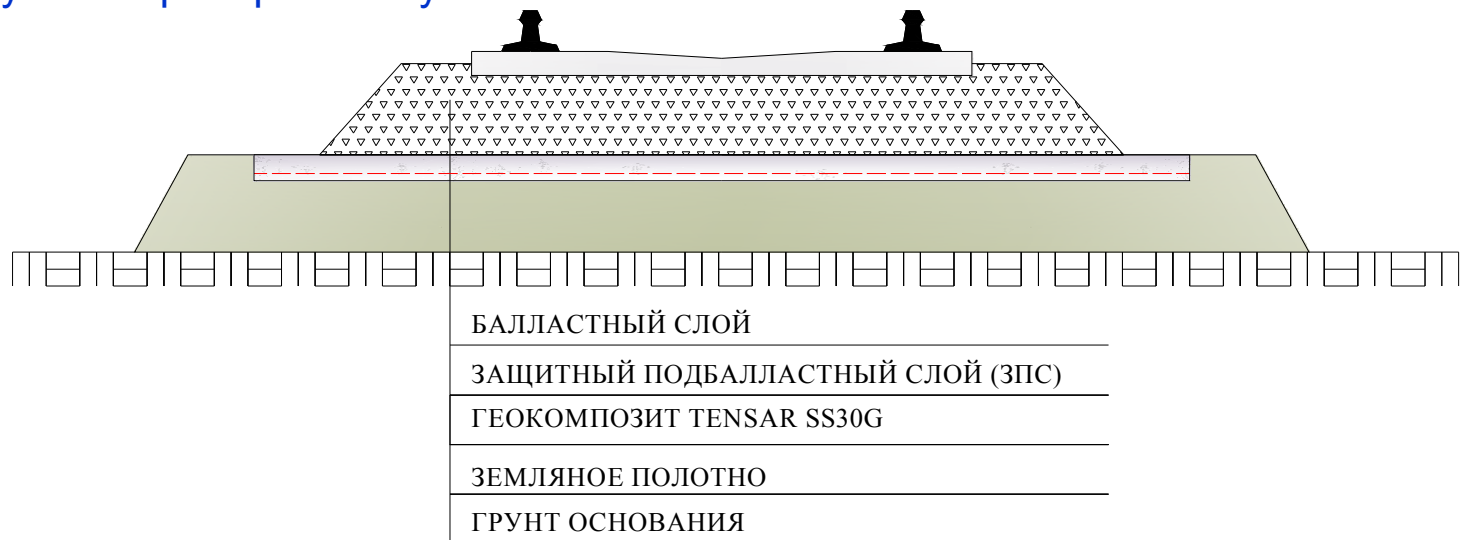
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГРАФИК ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОДБАЛЛАСТНОГО СЛОЯ ДО И ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ



Исследования 2009 г

Обследования проводились в рамках мониторинга действующего пути в сентябре – октябре 2009 года на участке II главного пути линии Санкт-Петербург – Москва, возведенном в ходе реконструкции в 2008 году.

Строение пути на проверяемом участке:



Помимо испытаний статическим круглым жестким штампом на этих же участках проводили испытания динамическим штампом в шурфах на поверхности ЗПС и земляного полотна и определяли плотность сложения слоя ЗПС плотномером водобаллонного типа БПД-КМ.

Интересен тот факт, что испытания деформационных характеристик подбалластного слоя и земляного полотна статическим штампом определялись не только по методике, изложенной в ГОСТ 20276-99 но и **по немецкому стандарту DIN 18134** (методика, отработанная на железных дорогах Германии).

Комплекс исследований 2009 года был основан на программе, разработанной МИИТ и ОАО «ВНИИЖТ» по результатам штамповых испытаний 2007-2008 годов.

В ходе испытаний статическим штампом на поверхности слоя ЗПС на проверяемом участке были получены следующие результаты:

- Значения модуля деформации $E_{\text{деф}}(E_0)$ согласно ГОСТ 20276-99 для нагрузки на слой ЗПС до 0,2 МПа в диапазоне 48,01-102,7 МПа;
- Значения модуля первичного нагружения E_{v1} согласно DIN 18134 в диапазоне 52,02-112,34 МН/м²;
- Значения модуля вторичного нагружения E_{v2} согласно DIN 18134 в диапазоне 112,74-210,63 МН/м²;
- Соотношение E_{v2}/E_{v1} в среднем составляет 1,9 – 2,3, что говорит о хорошем качестве уплотнения слоя ЗПС.

Наиболее низкие деформативные характеристики слоя ЗПС и земполотна получены в выемках и «нулевых» местах.

Исследования 2010 г

```
graph TD; A([Исследования 2010 г]) --> B([Техническое перевооружение железнодорожного пути с обустройством безбалластного пути на участке Экспериментального кольца ст. Щербинка]); A --> C([Техническое перевооружение железнодорожного пути с обустройством безбалластного пути на участке Саблино-Тосно по 2 главному пути с 45-47 км Октябрьской ж.д.]);
```

**Техническое перевооружение
железнодорожного пути с
обустройством безбалластного
пути на участке
Экспериментального кольца
ст. Щербинка**

**Техническое перевооружение
железнодорожного пути с
обустройством безбалластного
пути на участке Саблино-Тосно
по 2 главному пути с 45-47 км
Октябрьской ж.д.**

Экспериментальное кольцо ст. Щербинка

Работы проводились в 2 этапа

I этап

Штамповые испытания поверхности земляного полотна (основной площадки) до реконструкции после снятия щебеночного балласта

II этап

Штамповые испытания поверхности земляного полотна (основной площадки) после реконструкции

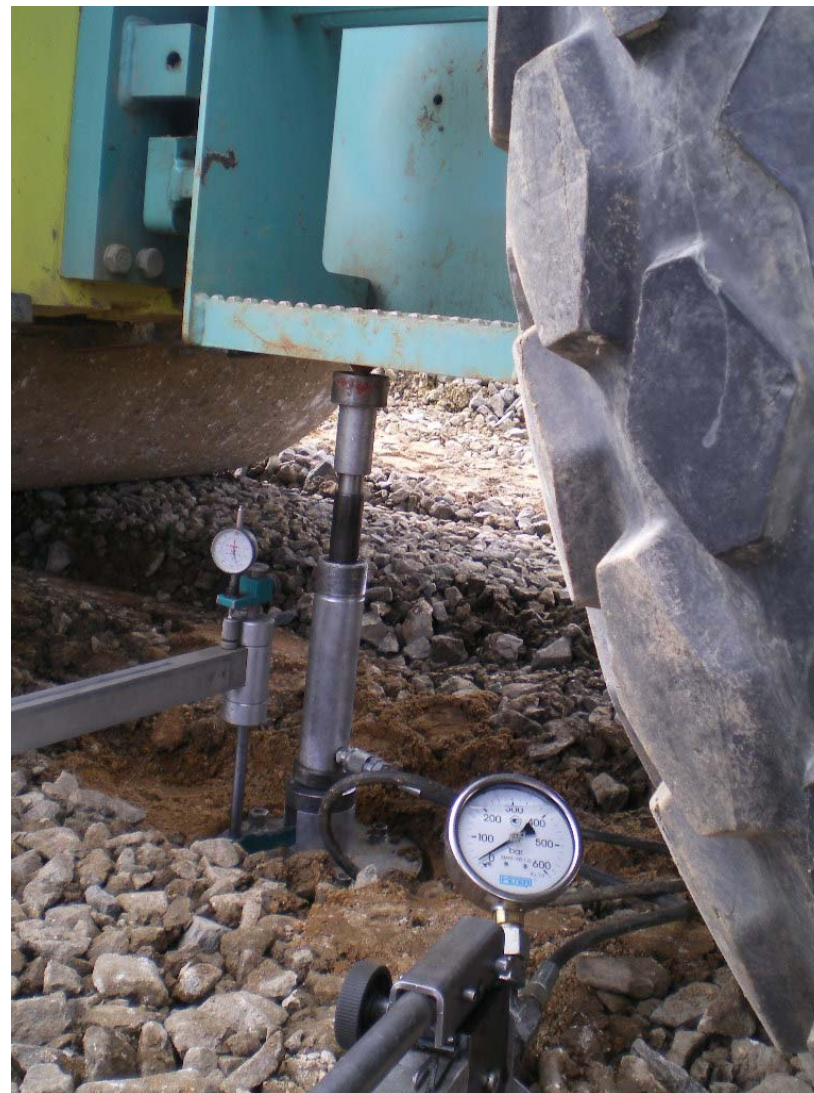
Работы проведены в соответствии с методикой, изложенной в "Программе испытаний по определению модуля деформации подбалластного защитного слоя на линии Санкт-Петербург – Москва в 2009 году" (Пункт 4), разработанной в МИИТ и ОАО "ВНИИЖТ".

Снятие рельсо-
шпальной решетки и
балластного слоя



до основной площадки
(поверхность
земляного полотна)





Проведение штамповых испытаний на поверхности земляного полотна



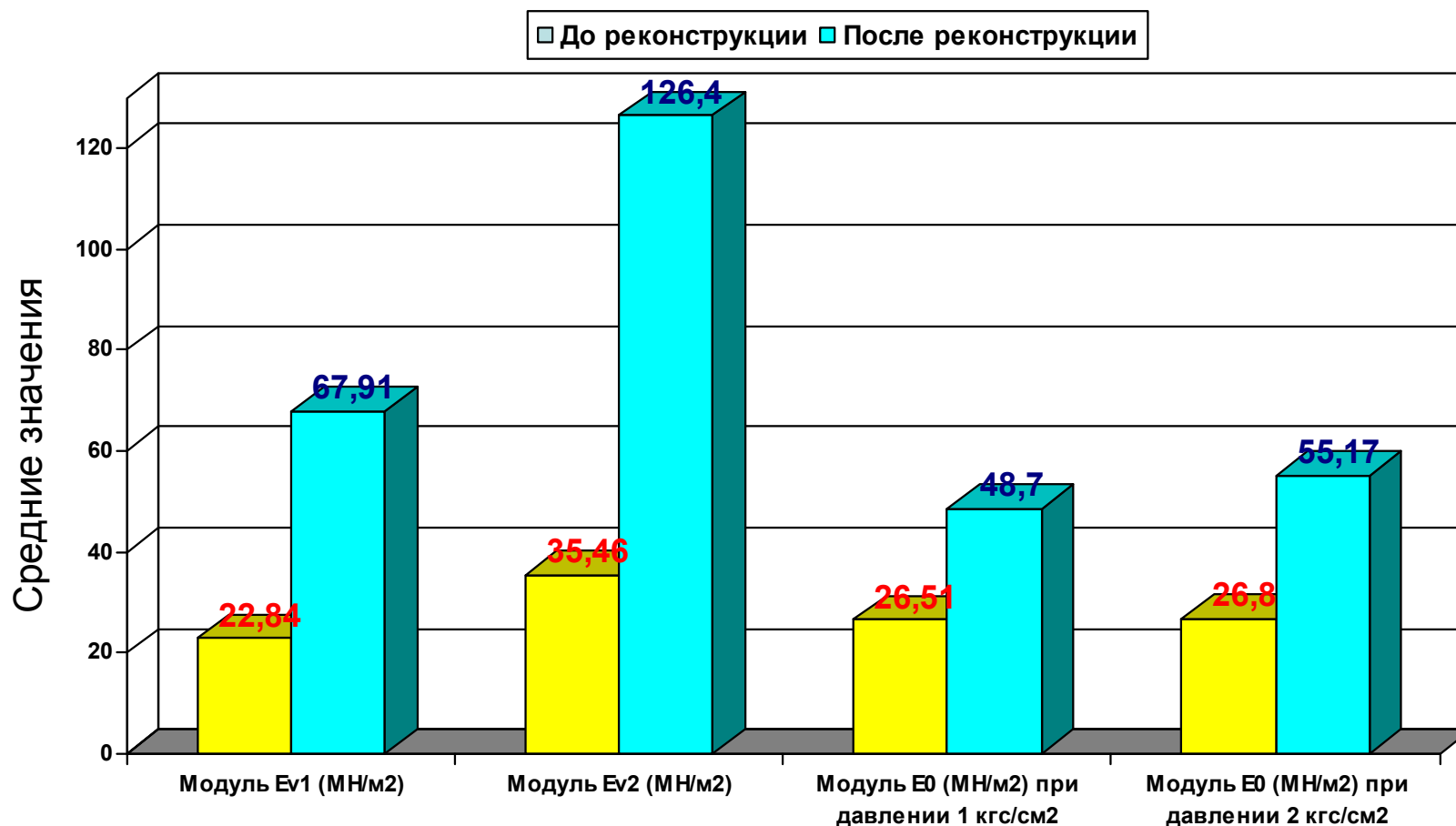


После реконструкции
земляного полотна

проведение повторных
штамповых испытаний



Обработка результатов выполнена как по DIN 18134 с определением величин E_{v1} и E_{v2} и соотношения E_{v2}/E_{v1} , так и по ГОСТ 20276-99 с вычислением величины модуля деформации E_0 .



Среднее значение соотношения E_{v2}/E_{v1} :

-до реконструкции 2,03

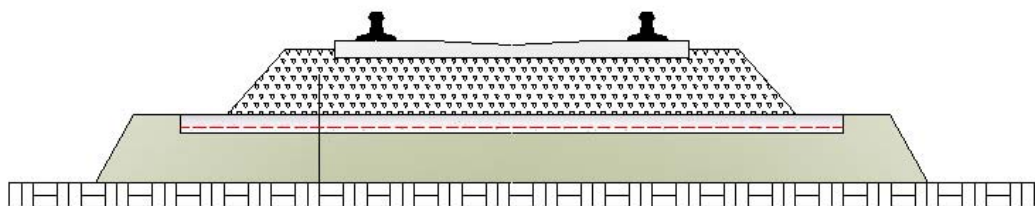
-после реконструкции 1,86

Участок Саблино – Тосно по II главному пути 45-47 км

Возведение в ходе реконструкции 2 типов земляного полотна

1

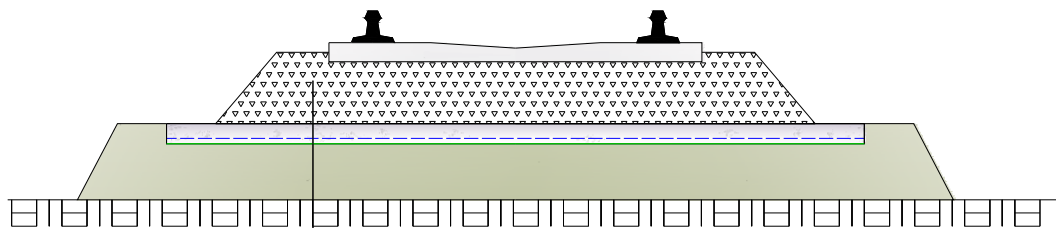
км44 – км45



| |
|-----------------------------------|
| БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ |
| ЗАЩИТНЫЙ ПОДБАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ (ЗПС) |
| ГЕОКОМПОЗИТ TENSAR TX 170G |
| ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО |
| ГРУНТ ОСНОВАНИЯ |

2

км46 – км47



| |
|-----------------------------------|
| БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ |
| ЗАЩИТНЫЙ ПОДБАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ (ЗПС) |
| ЯЧЕЙСТАЯ СИСТЕМА НЕОВЕБ |
| ГЕОТЕКСТИЛЬ |
| ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО |
| ГРУНТ ОСНОВАНИЯ |

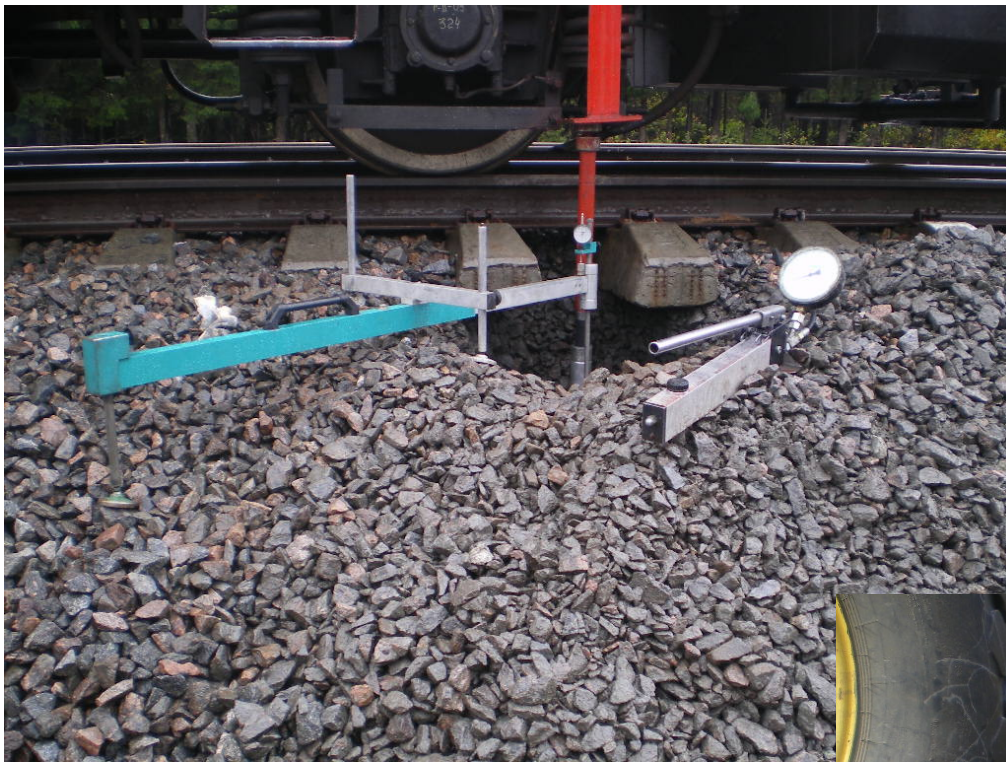
*



Укладка в ходе реконструкции
геокомпозита **Tensar TX170G**

Укладка в ходе реконструкции
ячеистой системы **НЕОВЕБ**



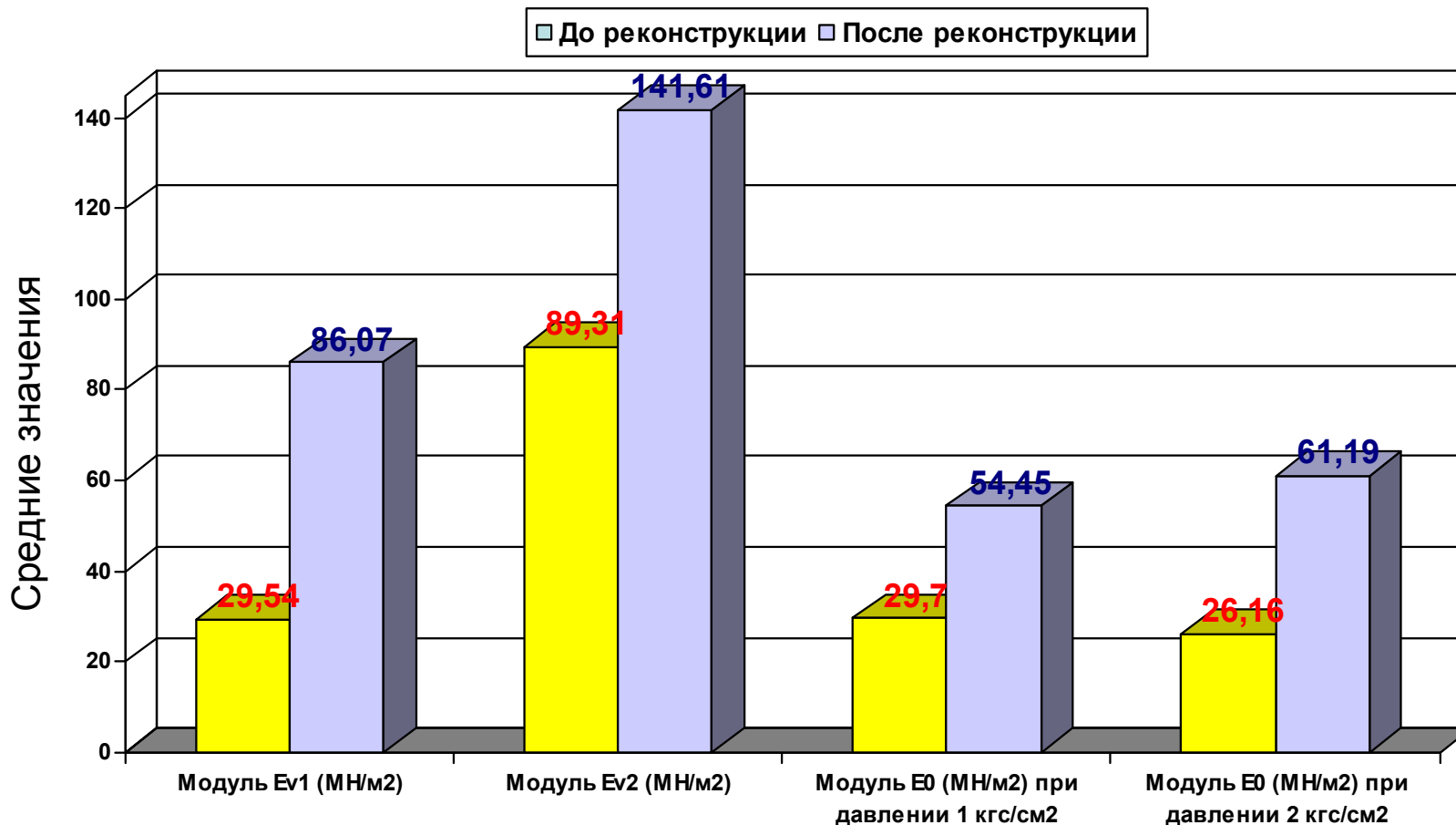


Проведение штамповых испытаний земляного полотна до реконструкции

Проведение штамповых испытаний земляного полотна после реконструкции



Значения результатов испытаний до и после реконструкции участка км44 – км45 (в ходе реконструкции – укладка геокомпозита TriAx170G)

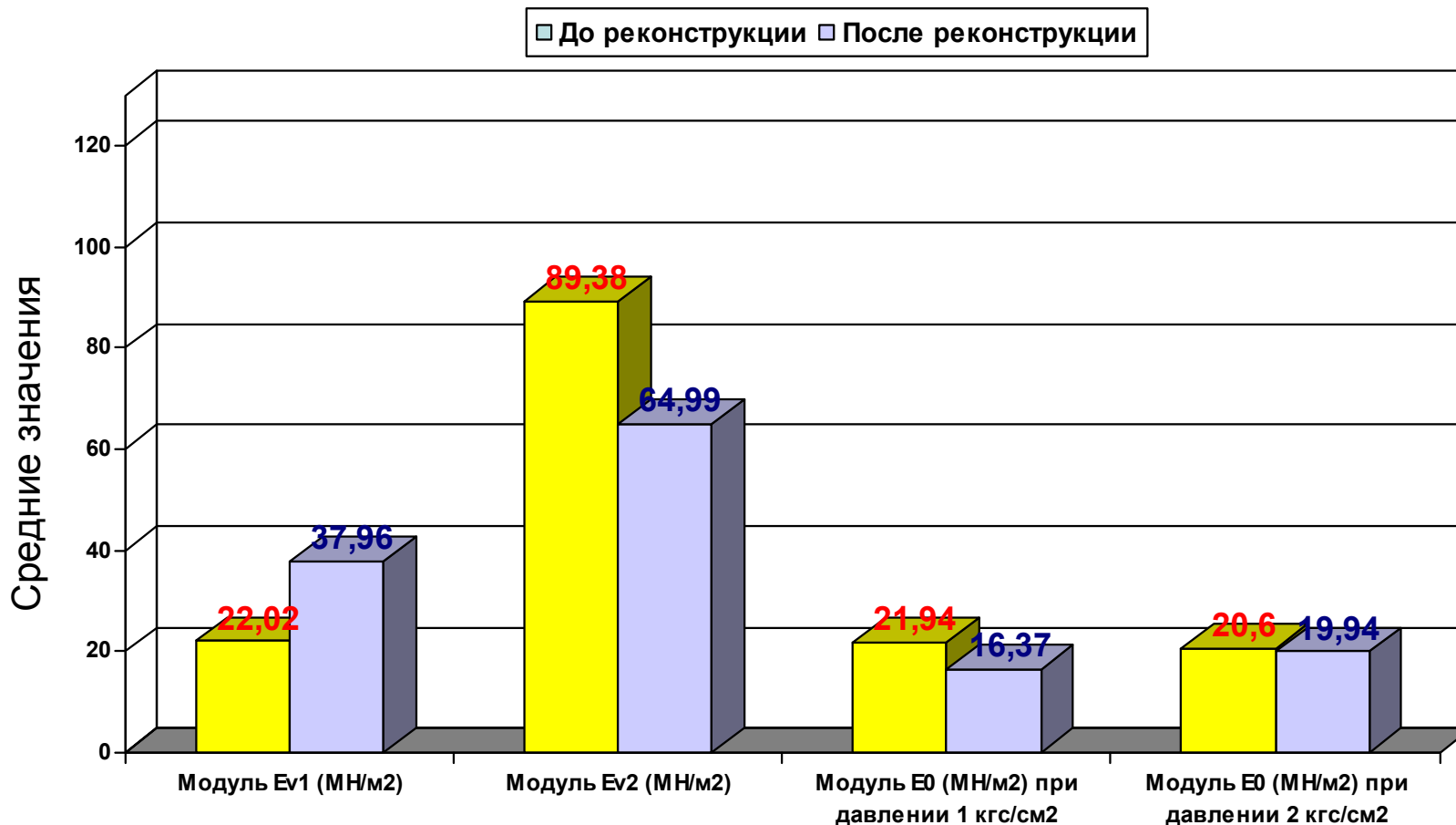


Среднее значение соотношения Ev2/Ev1 :

-до реконструкции 3,29

-после реконструкции 1,7

Значения результатов испытаний до и после реконструкции участка км46 – км47 (в ходе реконструкции – укладка ячеистой системы НЕОВЕБ)



Среднее значение соотношения Ev2/Ev1 :

-до реконструкции 3,32

-после реконструкции 2,1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГРАФИК ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

