

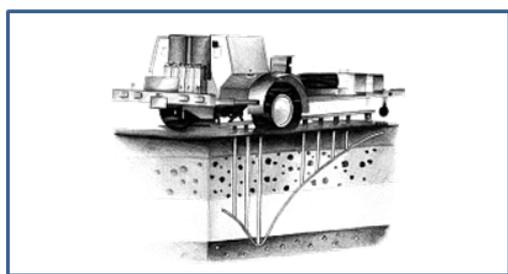
**КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАСЧЕТА  
МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ  
КОНСТРУКЦИИ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**



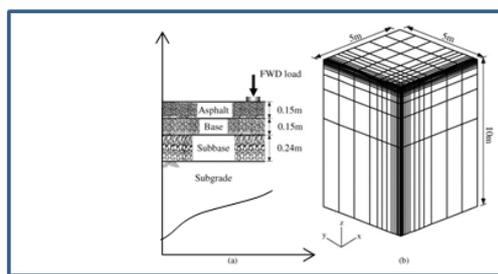
Процедура расчета модулей упругости слоев дорожной конструкции на стадии эксплуатации базируется на методе «backcalculation» или методе «обратного» расчета. Данный метод является наиболее эффективным для обработки данных, получаемых при регистрации чаши прогибов дорожной конструкции в натуральных условиях с использованием установки ударного нагружения (FWD).

Расчет модуля упругости в рамках данного метода осуществляется путем сопоставления и последующей корректировки чаши прогибов, построенной с использованием расчетной модели дорожной конструкции и экспериментальной чаши прогиба, замеренной с использованием установок FWD (рисунок 1).

**I этап: Регистрация экспериментальной чаши прогибов дорожной конструкции**



**II этап: Построение расчетной чаши прогибов дорожной конструкции**



**III этап: Определение модулей упругости слоев дорожной конструкции на этапе эксплуатации**

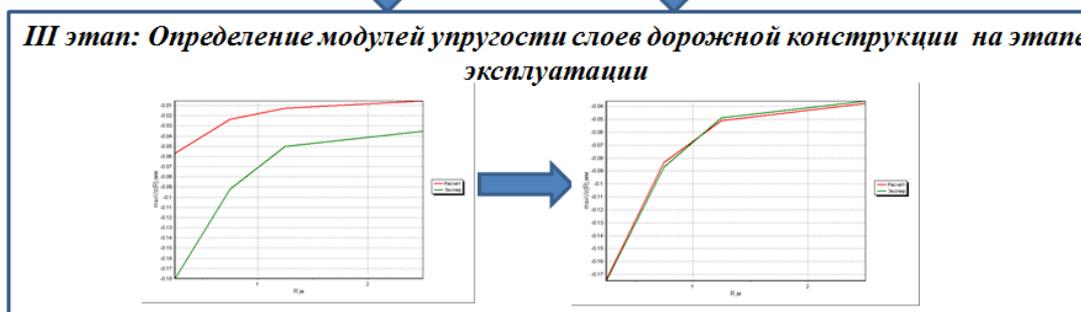


Рисунок 1 – Укрупненный алгоритм определения модулей упругости слоев дорожной конструкции

Пересчет модулей упругости слоев дорожной конструкции, осуществляется одновременно с корректировкой расчетной чаши прогибов дорожной конструкции относительно экспериментальной.

Программные комплексы, реализующие метод определения модулей упругости слоев дорожной конструкции приведены в таблице 1:

Программы	Типы дорожных конструкций	Метод корректировки чаш прогиба	Базовые модели анализа НДС дорожной конструкции
-----------	---------------------------	---------------------------------	---

<b>Evercalc 5.0</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Weslea)
<b>Bousdef</b>	Нежесткие	Метод абсолютной суммы	Линейно-упругая многослойная модель, (Метод Буссинеска)
<b>Modcomp 5.0</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Многослойная линейно/нелинейно – упругая модель, (ChevLay2)
<b>PEDD</b>	Нежесткие	Метод минимизации абсолютных разностей	Линейно-упругая многослойная модель (Elsym 5)
<b>Michback</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Chevron)
<b>Umped</b>	Нежесткие	Метод минимизации абсолютных разностей	Линейно-упругая многослойная модель (Chevron)
<b>Elmod</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Метод Одемарка –Буссинеска (Метод эквивалентных толщин)
<b>Modulus 5.0</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Weslea)
<b>Rosy Design (Primax)</b>	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Метод Одемарка –Буссинеска (Метод эквивалентных толщин)
<b>АЭМ</b>	Нежесткие	Метод последовательной корректировки	Аналитическая модель динамического НДС дорожной конструкции

**Таблица 1 – Программные комплексы, реализующие метод определения модулей упругости слоев дорожной конструкции**

В 2013 году Государственной компанией «Российские автомобильные дороги» была приобретена установка FWD Primax 1500. Данная установка была приобретена с комплектом программного обеспечения. В последней версии данного программного обеспечения основные функции программы Rosy Design интегрированы в программный комплекс Primax.

В дальнейшем приведена краткая ознакомительная инструкция по определению модулей упругости слоев дорожной одежды в среде Primax.

Входными данными для расчета чаши прогибов в среде Primax являются:

- Параметры дорожной конструкции
- Толщины слоев дорожной конструкции, см;
- Модули упругости слоев дорожной конструкции, МПа.
- Параметры ударного воздействия

- нагрузка на покрытие дорожной конструкции, кН (импортируется автоматически)

- Параметры исследуемой области

Координаты точек наблюдения, соответствующие точкам расположения датчиков-геофонов при проведении экспериментальных замеров (импортируется автоматически).

На рисунке 2 приведено окно программного комплекса PRIMAX, отображающее панель для выполнения расчета модулей упругости слоев дорожной конструкции

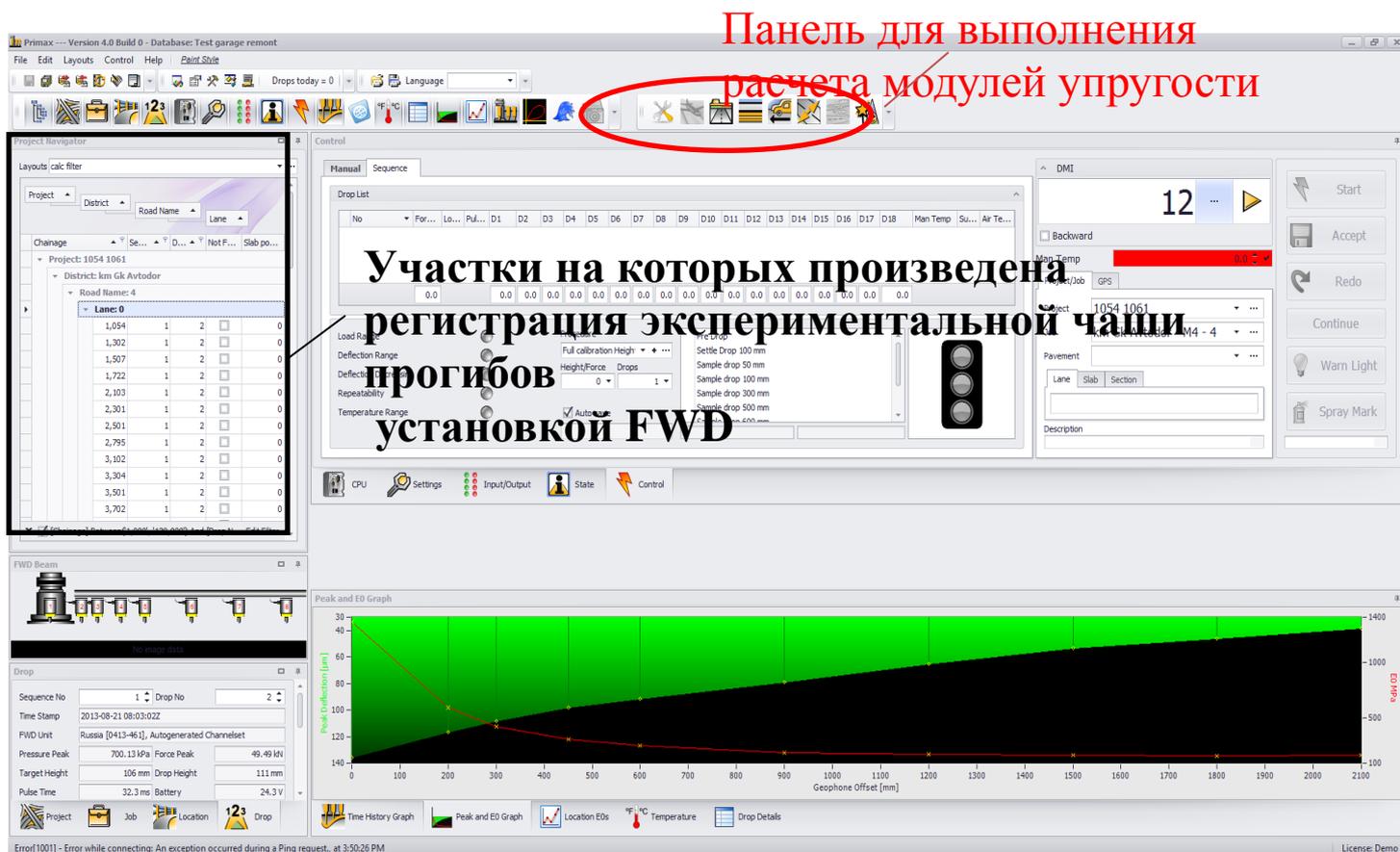


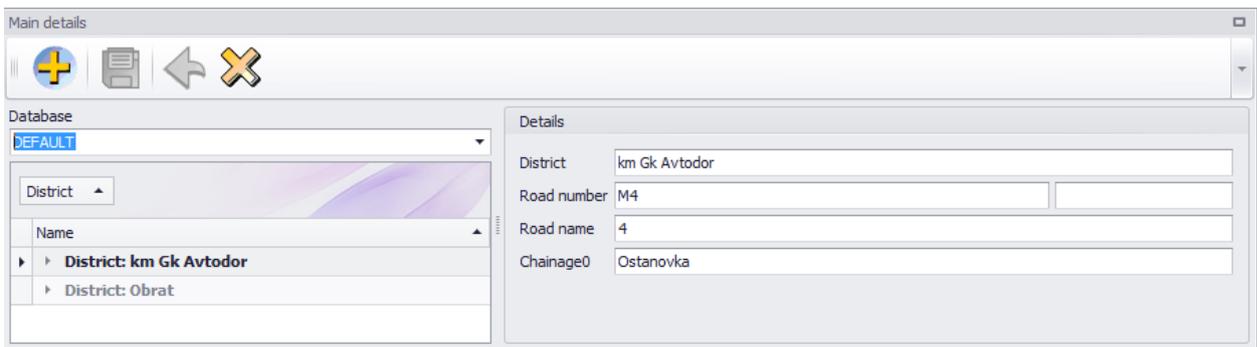
Рисунок 2 – Окно программного комплекса Primax

Далее приводим краткую пошаговую инструкцию по расчету модулей упругости слоев дорожных одежд в программном комплексе PRIMAX.

### Шаг 1 – Внесение данных об участке проведения экспериментальных работ для которого будет производиться расчет модулей упругости слоев дорожных конструкций



- Вкладка «Main Details»



В данной вкладке задаются расположение участка для которого проводится расчет модулей упругости слоев дорожной конструкции, наименование и номер дороги к которой принадлежит данный участок, а также точка от которой началось проведение экспериментальной регистрации чаши прогибов (задается словесно).

## Шаг 2 – Внесение данных об участке проведения экспериментальных работ для которого будет производиться расчет модулей упругости слоев дорожных конструкций



### Вкладка «Pavement»

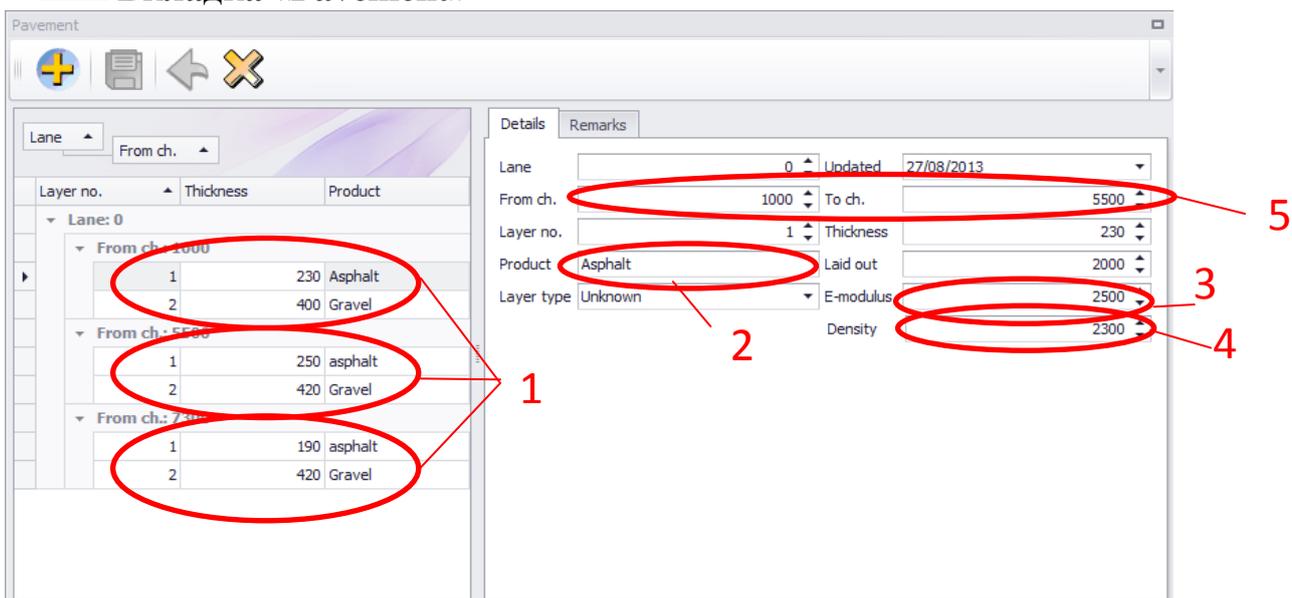


Рисунок 3 – Данные о дорожной конструкции

В данном окне программного комплекса Primax вносятся данные необходимые для построения расчетных чаш прогибов:

1 – Данные о материалах слоев дорожной конструкции на участках для которых производится расчет модулей упругости слоев дорожной конструкции;

2 – Название слоя, для которого вносятся его основные параметры;

3 – Модуль упругости слоя, МПа (в примере принят в виде средневзвешенного значения пакета асфальтобетонных слоев по ОДН 218.046-01)

4 – Плотность слоя, (кг/м<sup>3</sup>)

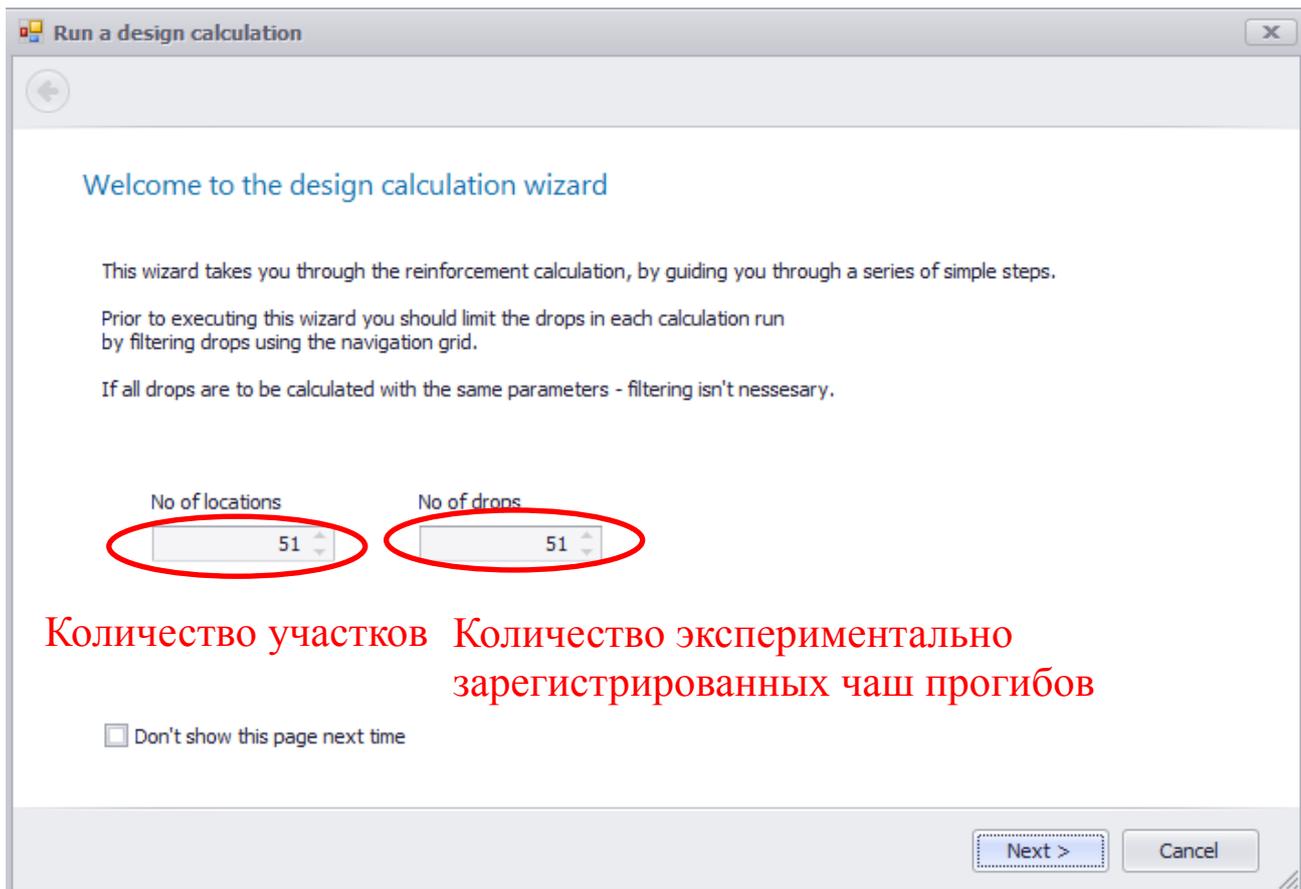
5 – Границы участка автомобильной дороги с одинаковой дорожной конструкцией

### **Шаг 3 – Запуск расчета модулей упругости слоев эксплуатируемой дорожной конструкции**



#### **Вкладка «Run a design calculation»**

При нажатии на данную вкладку, вызывается окно программного комплекса Primag, в котором отображается количество участков на которых чаша прогибов была зарегистрирована экспериментально и количество экспериментальных чаш прогиба относительно которых будет происходить корректировка расчетных чаш прогибов. **Важно чтобы количество участков на которых была произведена регистрация чаш прогиба совпадало с количеством, зарегистрированных чаш прогиба.** (рисунок 4)

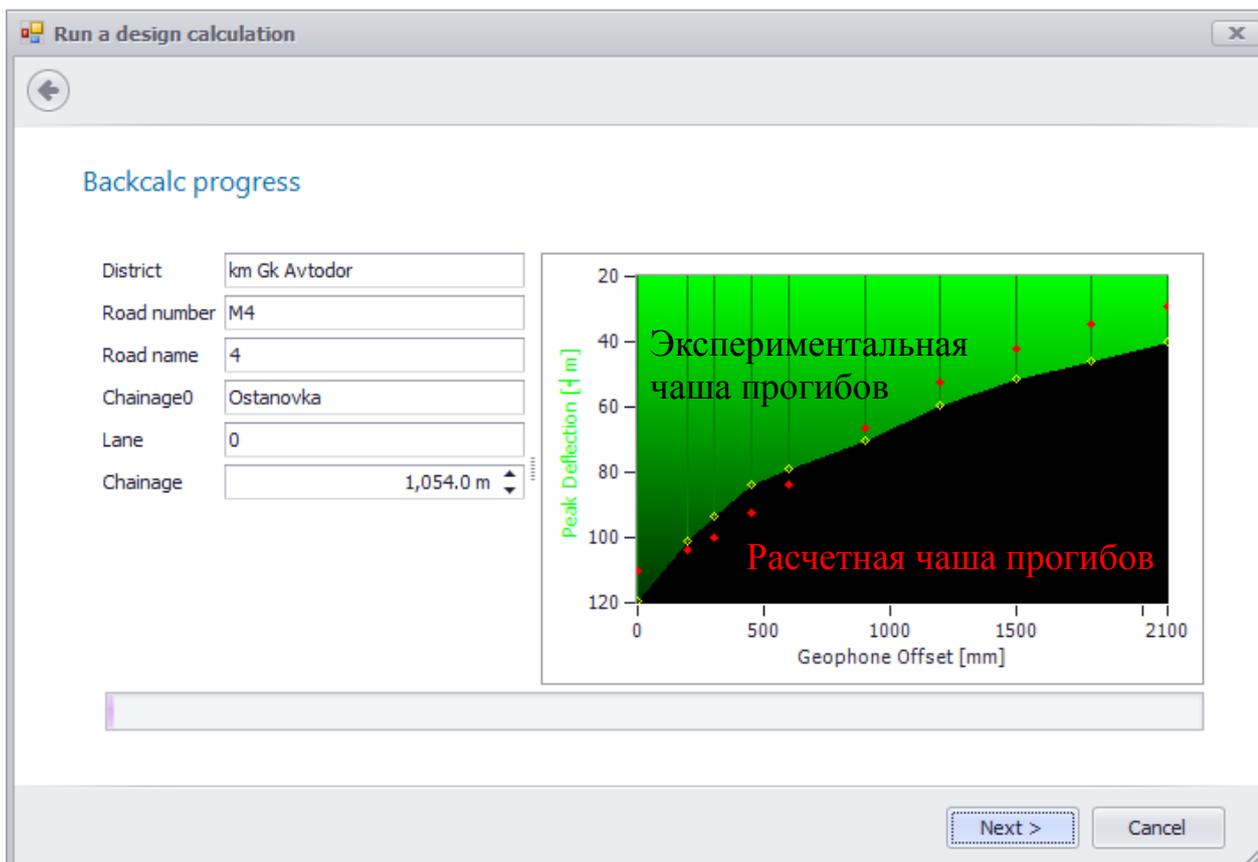


**Рисунок 4 - Вкладка «Run a design calculation»**

## **Шаг 4 – Запуск расчета модулей упругости слоев эксплуатируемой дорожной конструкции**

### **Сопоставление расчетных и экспериментальных чаш прогибов**

После нажатия кнопки  автоматически начинается процесс корректировки расчетной чаши прогибов относительно экспериментальной (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Сопоставление расчетной и экспериментальной чаш прогибов дорожной конструкции**

Корректировка чаш прогибов осуществляется следующим образом:

1. Определяется модуль упругости грунта земляного полотна, как среднее арифметическое значений модулей упругости, рассчитанных по формуле

$$E_{0(r)} = \left[ \frac{(1-\nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a^2}{r \cdot d_r} \right], \text{ на расстоянии } 0.9 - 2.5 \text{ м от точки приложения нагрузки.}$$

$\nu$  – коэффициент Пуассона,

$a$  – радиус области контакта, мм

$\sigma_0$  - нагрузка, передаваемая на покрытие, кН

$r$  – расстояние на котором зарегистрирован прогиб, мм

$d_r$ - величина прогиба, мм

2. Осуществляется итеративная процедура подбора модулей упругости слоя основания и покрытия дорожной одежды до достижения соответствия между

расчетной и экспериментальной чашами прогибов (погрешность в программном комплексе PRIMAX составляет не более 10 %).

## Шаг 5 – Вывод отчета о результатах определения модулей упругости

После завершения корректировки чаш прогибов выводится отчет с результатами определения модулей упругости слоев дорожной конструкции (рисунок 6)

Section	Chainage [m]	Remarks	E1 [MPa]	E2 [MPa]	E3 [MPa]	E4 [MPa]	Crit. layer	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	Width [m]	Traffic ESA	LTE	Wester gaard	Res life [Yr]	Reinf. [mm]
1	1054	R	23574	367	172	NE	0	230	400	NE	3.8	4,829	NA	NA	0.0	300
1	1302	R	36622	236	196	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
2	1507	R	31211	198	216	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
3	1722	R	29485	195	236	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
4	2103	R	2575	2054	146	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
5	2301	R	215	356	55	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
5	2501	R	328	530	64	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
6	2795	R	8941	717	179	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
7	3102	R	1642	519	91	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
8	3304	R	486	665	90	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
9	3501	R	1200	632	97	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
9	3702	R	898	536	70	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
10	3902	R	1582	689	177	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
10	4101	R	735	900	116	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
10	4300	R	1863	939	114	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
10	4504	R	2541	533	103	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
11	4701	R	9257	917	144	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
11	5104	R	892	630	105	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
12	5317	R	790	418	117	NE	0	230	400	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
13	5593	R	3518	361	181	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
14	5806	R	10524	186	257	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
15	6004	R	533	341	129	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
15	6196	R	670	300	130	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
15	6400	R	1252	558	141	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300
16	6601	R	1150	682	165	NE	0	250	420	NE	3.8	4,830	NA	NA	0.0	300

**Рисунок 6 – Отчет о результатах расчета модулей упругости слоев дорожной конструкции.**