

**РАБОТАТА НА СТОМАНОБЕТОННИТЕ ТРАВЕРСИ В
МЕЖДУРЕМОНТНИЯ ПЕРИОД НА ЖЕЛЕЗНИЯ ПЪТ - ОСНОВА
ЗА ТЯХНОТО ИЗЧИСЛЕНИЕ**

Борис Константинов Иванов

e-mail: ts@vtu.acad.bg

ВТУ "Тодор Каблешков"
ул. Гео Милев №158, София, България

***Ключови думи:** стоманобетонни траверси, метод Монте Карло, статистическо моделиране, вероятностна оценка.*

***Анотация:** Изследването на стоманобетонните траверси е процес, крайния резултат от който е проектиране на конструкция, способна да бъде достатъчно надеждна и същевременно да има дълъг експлоатационен живот. В резултат от приложението на метода Монте Карло за статистическо моделиране с ЕИМ се получава информация за параметрите, необходими за изследване работата на стоманобетонните траверси и обработка на получените резултати с вероятностната им оценка.*

Като междинен елемент от горното строене на железния път, траверсите поемат от релсите силовите въздействия от подвижния състав и ги предават на баластовото легло и земното платно. При това траверсата е подложена на натиск в зоната на предаване на този товар и вследствие реакцията на баластовата основа. Върху нея действат и разнообразните атмосферни условия, които също предизвикват вътрешни напрежения и деформации.

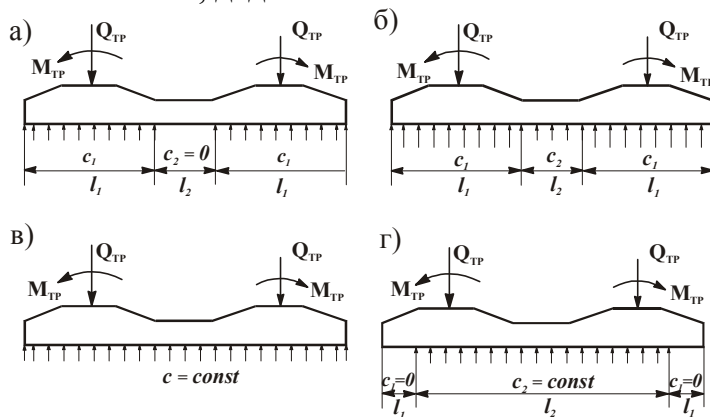
В зависимост от редица фактори, като план на железопътната линия, конструкция на горното строене, осово натоварване, скорост на движение на подвижния състав, състояние на ходовата част на возилата, състояние на железния път и др., силите действащи върху траверсата могат да се променят в широки граници, както по стойност, така и по направление.

С променлив характер в процеса на експлоатация е и взаимодействието на траверсата с баластовото легло. Под действие на динамичното натоварване от возилата в баластовия слой под траверсата непрекъснато се натрупват остатъчни деформации, особено при наличие на неравности по релсите. В резултат на това схемата на работа на траверсата на огъване може значително да се променя.

Изчислението на стоманобетонните траверси се извършва за най-перспективните от съществуващите видове подвижен състав. Такива перспективни видове подвижен състав за БДЖ са електровозите и тежкотоварните вагони. В изчисленията се приемат локомотивите с най-големи осови натоварвания и скорости на движение. Важно е да се отбележи, че съвременните локомотиви, дори и с по-големи осови натоварвания, оказват по-малко динамично въздействие върху пътя, отколкото някои излизащи от употреба. Това не е неочаквано, а само отражение на прогреса в науката и техниката на локомотивостроенето. За това няма основание да се очаква появата на локомотиви с по-голямо динамично въздействие върху железния път от съществуващите най-тежки електровози и вагони.

Опитът от проектирането и експлоатацията на стоманобетонните траверси показва, че по същество изчислението на стоманобетонните траверси се свежда до проверка на носещата способност и пукнатиноустойчивостта на основните напречни сечения на траверсите, проектирани на базата на предварителни съображения и коригирани на тази основа. В качеството на основни сечения обикновено се приемат подрелсовото сечение и сечението по средата на траверсата.

Основната структура на изпълняваните в БДЖ пътноремонтни работи се състои от подновяване, среден ремонт, междинен ремонт и текущо поддържане. В подновяването и средния ремонт на железния път една от основните видове работи е цялостното пресяване на баластовата призма с допълване на баласт за възстановяване на нормалните ѝ размери. По време на изпълнение на тези ремонти и за времето на експлоатация на железния път до следващ подобен ремонт, разпределението на еластичността на баласта под траверсите може да се отчете на една от схемите, дадени на Фиг. 1.



Фиг.1

Възприетата в БДЖ периодичност на ремонтите, изразена в години в зависимост от типа на релсите и товаро-напрежението е дадена в т.нар. "Заповед 861" на Министерство на транспорта. Средната ориентировъчна стойност на периодичността на средния ремонт при товаронапрежение 12 до 15 млн.бр. t при релса тип 49 е 6 години. Работата на траверсите в железния път за времето на един междуремонтен период от 6 години (100%), условно може да се приеме:

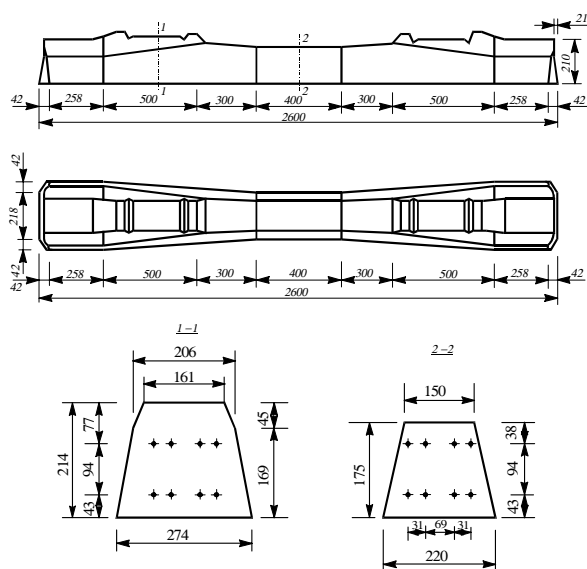
I схема (Фиг.1.а) - вероятност от появата на този случай има само в началния период след полагане на траверсите, а съгласно [2] до извършване на III нивелация на железния път(5 до 10 дни) или 0,45 %.

II схема (Фиг.1.б) отговаря на известен преходен период, когато средната част на траверсата започва да се опира върху баласта; при това еластичността на баласта под средната част на траверсата е по-малка от тази в подрелсовите части. Наблюденията показват, че окончателна стабилизация на баластовата призма при средно натоварени участъци или продължителност от 2 - 3 месеца [1], т.е. 3.65 %.

III схема (Фиг.1.в) е граничен случай на нормално подпиране на траверсата, като по цялата дължина еластичността на баласта е еднаква ($c=\text{const}$). Вероятността за работа на траверсата по тази схема е приета половината от останалото време, т.е. 47.95 %.

IV схема (Фиг.1.г) отразява започналото намаление на уплътнението на баласта под краищата на траверсата или в случая на неправилно подбиване на средната ѝ част. Вероятността за работа на траверсата по тази схема е приета както при схема III- 47.95 %.

На базата на приета методика за изследване на стоманобетонната траверса СТ-6 (фиг.2) е съставен алгоритъм и разработена програма за изчисление с



Фиг. 2

използване на вероятностен подход. Програмният продукт е разработен в два модула. Чрез първия модул се определят усилията и деформациите от външно натоварване (подвижен товар) в оразмерителните сечения на стоманобетонните траверси. С втория модул се изчислява носимоспособността на траверсата в зависимост от якостните характеристики на вложените материали. От приложението на метода Монте Карло се получават законите за разпределение на параметрите на стоманобетонните траверси, свързани с нормалната работа на конструкцията им. Резултатите от двата програмни модула служат за сравнение и анализи.

Натоварването върху траверсата е прието вероятно определено, получено от четириосен товарен вагон на талига БТ-6 с осово натоварване 225 kN при скорост 100 km/h.

Този вид подвижен товар упражнява най-неблагоприятно динамично въздействие върху железния път.

Вероятностно моделиране с отсечен закон за нормално разпределение са величините:

◆ коефициентът на леглото "с" в граници от $8 \cdot 10^4$ до $40 \cdot 10^4$ kN/m³;

◆ начален модул на еластичност на бетона в граници от $3,4 \cdot 10^7$ до $3,6 \cdot 10^7$ kN/m²;

Величините с вероятностен характер са моделирани в съответствие със зависимостта:

$$(1) \quad X = E_x + \sigma_x \cdot r$$

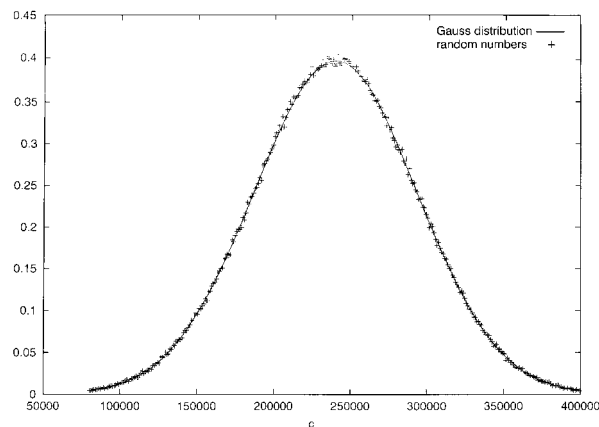
където r е случайно число, получено с генератор на псевдослучайни числа с Гаусово разпределение, E_x е математическо очакване, а σ_x е средноквадратично отклонение.

Използван е генератор на псевдослучайни числа с Гаусово разпределение - функция GRAND, която връща независими, нормално разпределени псевдослучайни числа със средна стойност 0 и стандартно отклонение 1. Функцията GRAND използва функцията RAND, генерираща псевдослучайни числа, които са независими и равномерно разпределени в интервала $[0,1]$. GRAND може да се разглежда като функция, която преобразува равномерно разпределени числа в нормално разпределени числа. На Фиг. 3 и Фиг.4 са дадени плътностите на разпределение на случайните величини "с" и "Е" и съответното вероятностно разпределение при генерирани 10^6 случайни числа.

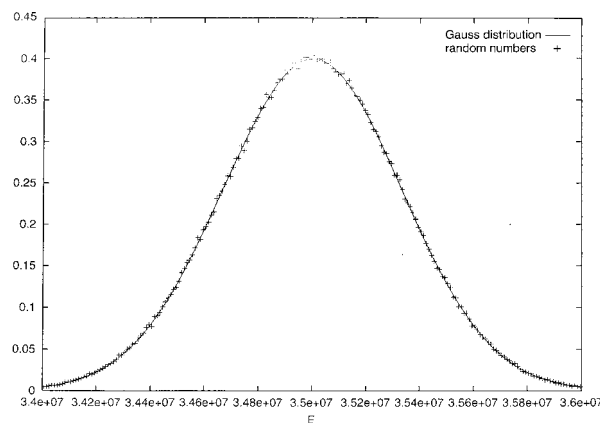
Извършени са изчисления с m комплекта случайни величини. Осъществява се обработка на получените резултати:

- ◆ определят се максималните и минималните стойности;
- ◆ определя се математическото очакване на получените величини по формулата:

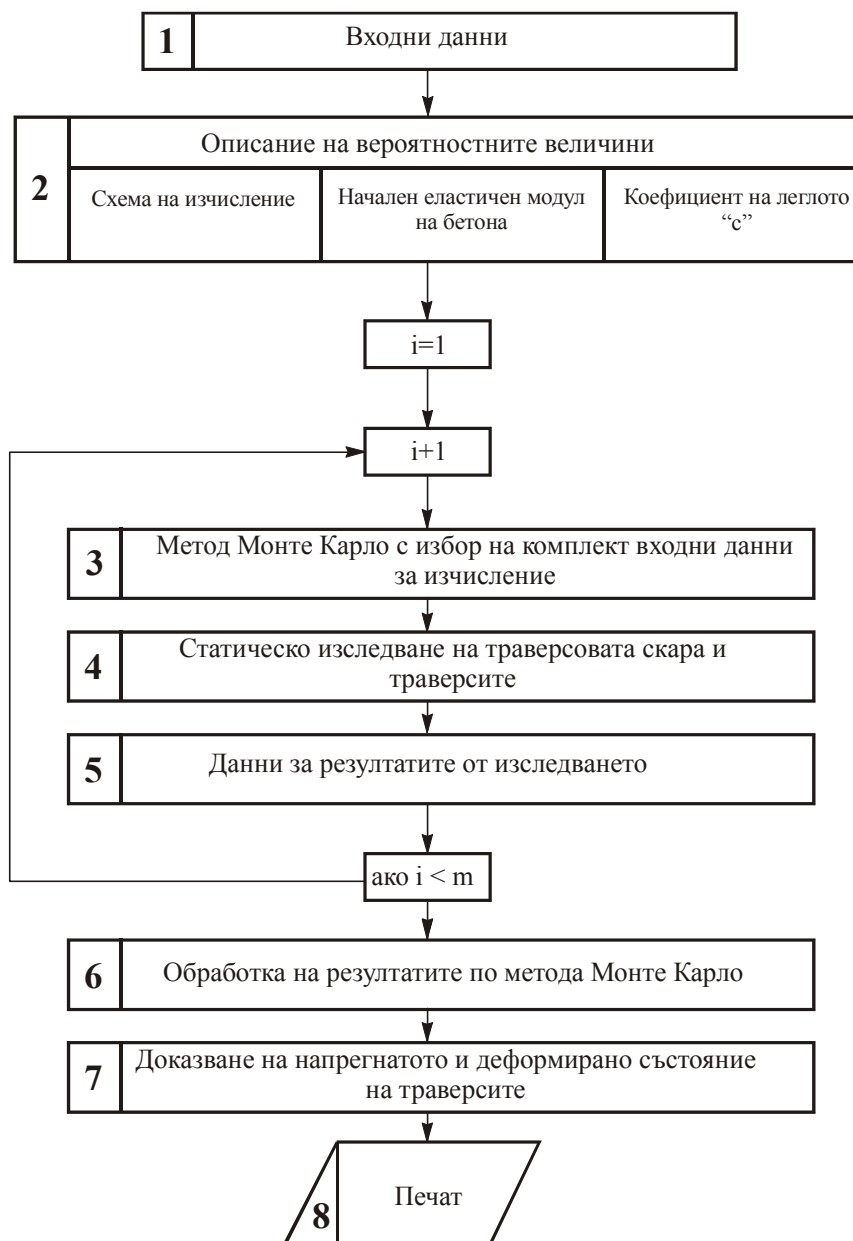
$$(2) \quad \bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

При изчисленията всички необходими параметри за класовете бетон са взети "Норми за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции", 1988 г., а за стоманата "Техническа спецификация за "Траверси стоманобетонни за нормални ж.п. линии 1435 mm тип -СТ-6" на БДЖ.

В резултат на изчисленията с първия модул на програмния продукт се определят като вероятно моделирани величини слягането и огъващите моменти или четирите възможни схеми Фиг. 1 в трите сечения на траверсата: край на траверсата (y_0 и M_0), подрелсово сечение (y_p и M_p) и средно сечение (y_λ и M_λ).

С втория модул се извършват изчисления със същия брой комплекта случайни величини, както при първия, като се осъществява същата обработка на получените резултати. От изчислението се определят като вероятно моделирани величини:

- ◆ пукнатиноустойчивост на бетона в опънатата зона на подрелсовите и средното сечения ($M_{пук,д}, M_{пук,1}$);
- ◆ носимоспособност на бетона в подрелсовите и средното сечения на траверсата ($MHG, MH1$);
- ◆ носимоспособност на най-силно опънатата армировка в подрелсовото и средното сечения на траверсата ($MA, MA1$);
- ◆ стойностите на напречната сила по условията на пукнатиноустойчивост на траверсата в подрелсовите и средното сечения ($Q_{пук}, Q_{пук,1}$);

На Фиг. 5 е дадена блок - схема на първия модул от програмния продукт - вероятно изследване от експлоатационно натоварване на траверсата. Блок-схемата на втория модул - вероятно изследване на носимоспособността и пукнатиноустойчивостта на стоманобетонната траверса е както при първия модул с разлика в блок 7, където се получава съответната изходна информация, посочена по-горе.

С изложеното до тук се предлага начин за моделиране работата на конструкцията на стоманобетонната траверса. Необходимостта от предлаганата методика произтича от обстоятелството, че стойностите на физическите и геометрическите характеристики на траверсите не винаги при изпълнението съвпадат с проектните. Например получените класове бетон може да се различават от предписаните. Ето защо с предложената методика, за конкретния случай, при необходимата за конструкциите сигурност (99,7%) могат да се направят изследвания за възможната допустима долна граница на класа на бетона на траверсите с гарантиране на нормативната сигурност.

Резултатите от изчисленията с 1000, 10000, 100000 и 1000000 комплекта случайни величини са дадени в таблица 1.

Таблица 1

Сечение на траверсата	Експлоатационно натоварване	Носимоспособност			
	M_{cp} kNm	$M_{пук,cp}$ kNm	$M_{пук,max}$ $M_{пук,min}$ kNm	$Q_{пук,cp}$ kN	$Q_{пук,max}$ $Q_{пук,min}$ kN
1000 случайни величини					
подрелсово	8,880	16,091	16,234	116,704	119,772
			15,951		113,705
средно	7,518	11,236	11,309	88,765	90,979
			11,166		86,597
10000 случайни величини					
подрелсово	8,891	16,092	16,234	116,735	119,776
			15,951		113,701
средно	7,495	11,237	11,309	88,788	90,982
			11,166		86,594
100000 случайни величини					
подрелсово	8,888	16,093	16,235	116,752	119,777
			15,951		113,700
средно	7,501	11,238	11,309	88,800	90,983
			11,166		86,594
1000000 случайни величини					
подрелсово	8,889	16,093	16,235	116,748	119,777
			15,951		113,700
средно	7,499	11,237	11,309	88,797	90,983
			11,166		86,594

В таблицата са дадени стойностите в оразмерителните сечения на траверсата. От първия модул на програмния продукт са дадени средните стойности на вероятно моделираните величини от експлоатационно натоварване. От втория модул са посочени средните, максималните и минималните стойности на съответно определените вероятностни величини.

От приведените в Таблица 1 резултати могат да се направят следните изводи:

◆ Стойностите на всички величини при 1000, 10000, 100000 и 1000000 комплекта случайни величини се различават с по-малко от 3%, с изключение на огъващия момент от експлоатационно натоварване в средата на траверсата, където разликата е до 9 %.

◆ Средните стойности на моментите по носимоспособност са по-големи от средните стойности от експлоатационно натоварване и при четирите случая на избор на комплекти случайни величини, както в подрелсовите, така и в средното сечения на траверсата. В подрелсовите и средното сечения и минималните възможни стойности на моментите по носимоспособност са по-големи от тези от експлоатационно натоварване.

◆ Максималните стойности на моментите от експлоатационно натоварване в подрелсовите сечения при четирите случая на избор на случайни величини се получават от III схема на подпиране (фиг. 1), докато при средното сечение на траверсата - предимно от II схема.

◆ Огъващите моменти в напречните сечения на траверсата, включително и максималните им стойности от експлоатационно натоварване са по-малки от допустимите 17 kN.m.

В заключение може да се приеме, че стоманобетонната траверса СТ-6 отговаря на всички експлоатационни изисквания за полагане по всички категории ж.п. линии на БДЖ.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] ИВАНОВ, Г., Горно строене и поддържане на железния път, С, Техника, 1980.
- [2] СЪББЕВ, М., Поддържане и ремонт на железния път, С., Техника, 1985.

The work of steel-concrete sleepers in the inter remedial period of the railway – the base for their calculation

Boris Konstantinov Ivanov

***Key words:** steel-concrete sleepers, Monte Carlo method, statistical modeling, probability estimation*

***Summary:** The survey of steel-concrete sleepers is a process, the final result of which is a construction, capable to be enough reliable and with a long exploitation life. As a result of the applying the method Monte Carlo for statistical modeling with computer the information about the parameters necessary for the investigation of the work of steel-concrete sleepers and the treatment of the results obtained with their probability estimation has been achieved.*