

## ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ПРЕДНАПРЯЖЁННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ШПАЛАХ

**Сычевски М.** д-р.техн. наук, профессор  
ВША Ломжа, Польша

**Syczewski Mikołaj** prof. dr hab.  
WSA, Łomża, Polska

**Аннотация.** В статье представлена техническая характеристика преднапряжённых шпал, трещинообразование после длительного периода эксплуатации и определены причины появления трещин.

### 1. Технические характеристики шпал INBK-7D

В Польше железнодорожная колея равна 1435 мм. Преднапряжённые, струнобетонные шпалы типа INBK-7D производились и применялись в строительстве железнодорожного пути с 1970 года. Технические характеристики шпал INBK-7D следующие: длина 250 см, поверхность опирания на балласт  $6310 \text{ см}^2$ , напрягающая арматура  $8 \times 7\emptyset 25$  мм. Поперечное сечение шпалы непостоянное по её длине. В подрельсовом сечении ширина нижней грани составляет 300 мм, а верхней – 176 мм. В средней части шпалы, при нижней грани на длине 700 мм, ширина была уменьшена на 120 мм. Уменьшение ширины нижней грани способствовало снижению отрицательных изгибающих моментов в средней части шпалы [1, 2].

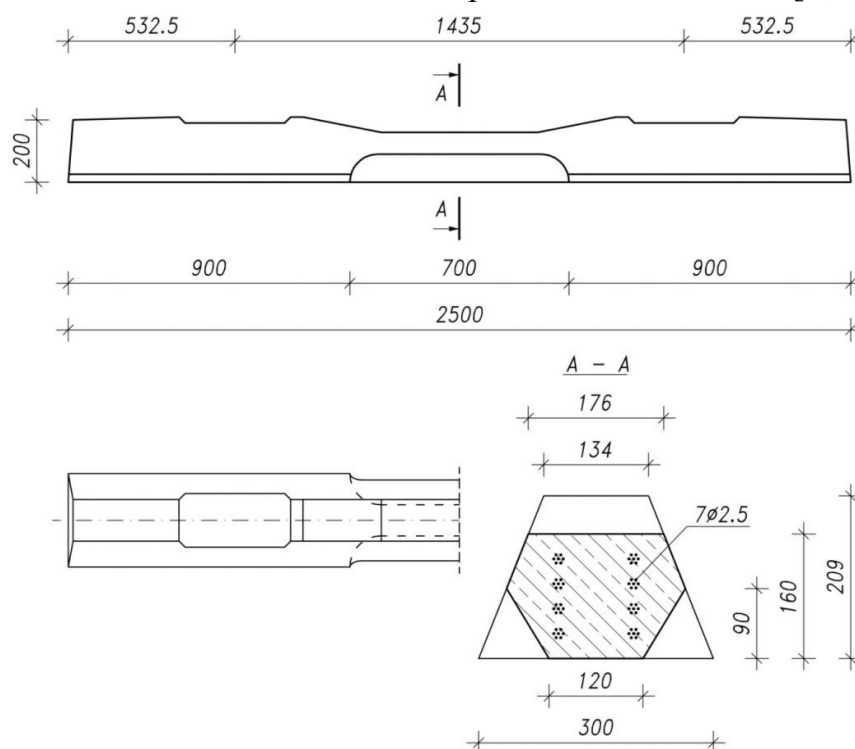


Рисунок 1 – Преднапряженная шпала INBK-7D

Шпалы проектировали как одиночные балки на упругом основании. Применялись две схемы внешней нагрузки и опирания на балласт. В первой

схеме нагрузки составляли две вертикальные силы  $Q=140$  кН, действующие в подрельсовых сечениях и одна горизонтальная сила  $H=60$  кН действующая на головку рельса (рисунок 2).

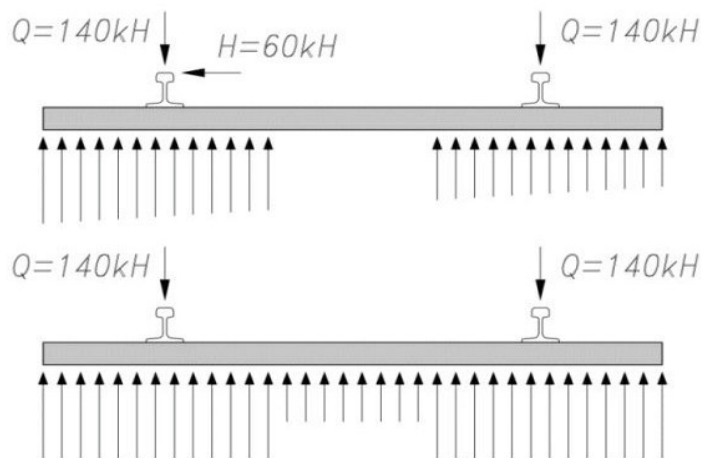


Рисунок 2 – Расчетные схемы нагрузки и опирания на балласт

В среднем фрагменте длиной 700 мм шпала не опиралась на балласт. Во второй расчётной схеме шпала опиралась на балласт по всей длине, но в средней части пассивное давление принято меньше, чем в остальных. Нагрузка шпала принята в виде двух вертикальных сил  $Q=140$  кН сосредоточенных в подрельсовых сечениях. С целью уменьшения изгибающего момента в средней части принято уменьшенную ширину шпала и трапецевидную её форму.

## 2. Трещиностойкость шпал

Шпалы у производителя подвергались испытаниям трещиностойкости в подрельсовых сечениях [5]. Трещиностойкость определялась при испытаниях на изгиб подрельсового фрагмента шпалы [6]. Схема испытаний шпал представлена на рисунке 3.

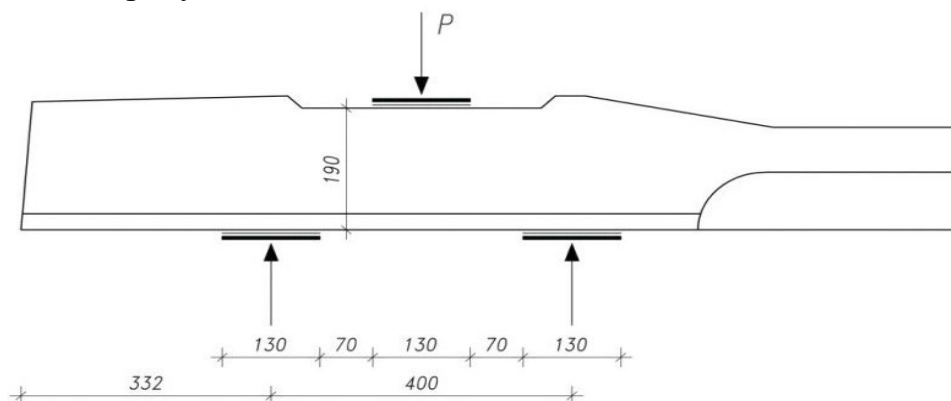


Рисунок 3 – Схема проверки трещиностойкости подрельсового сечения шпалы

Сила нагрузки и сила реакции опор передавались на шпалу через резиновые прокладки. Сила нагрузки, при которой может образоваться трещина в подрельсовом сечении, определяется по формуле

$$P_r = \frac{8M_r}{2L-l}, \quad (1)$$

в которой

$M_r$  - изгибающий момент при котором может образоваться трещина

$L=400$ мм – расстояние опор

$l=300$ мм – длина, на которой на оси подрельсового участка шпалы распределяется сила  $P_r$ .

Изгибающий момент, при котором может образоваться трещина, определенный внутренними геометрическими и механическими характеристиками преднапряженной шпалы в подрельсовом сечении можно представить в форме

$$M_r = W_{op} (\sigma_{bv} + 1,7R_{bzk}), \quad (2)$$

в которой  $W_{op}$  - момент сопротивления,

$\sigma_{bv}$  - нормальные напряжения на нижней крайней грани шпалы от преднапряжения,

$R_{bzk}$  - прочность бетона на растяжение.

В зависимости от величины силы нагрузки, при которой образуется трещина в подрельсовом сечении, шпалы зачислялись к одному из трех классов: I (250кН), II (230кН), III (210кН). В каждой шпале предназначенной к проверке трещиностойкости использовали оба подрельсовые сечения. В среднем сечении шпалы на трещиностойкость не проверялись.

### 3. Трещинообразование шпал

Струнобетонные шпалы INBK-7D были изготовлены и уложены в железнодорожный путь в 1980 году. Шпалы INBK-7D были спроектированы с тщательным соблюдением условий содержания железнодорожного пути [3]. Дополнение щебня и подбивку шпал следует выполнять на крайних фрагментах шпал длиной 900мм, с исключением средней части длиной 700мм. После добавки щебня, его уплотнения и подбивки шпал, уровень щебня должен быть ниже верхней грани шпал[4].

В железнодорожном пути рассматриваемым в данной статье, добавка щебня и подбивка шпал выполнялись неправильно. Уровень щебня получился слишком высокий, а подбивка шпал была выполнена в средней их части.

На железнодорожном пути было помечено шесть участков, в которых трещинообразование было интенсивным. Характеристика трещинообразования шпал представлена в таблице 1.

В средней части шпалы верхние напрягающие арматурные свивки  $7\emptyset 2,5$  расположены на расстоянии 25мм от верхней грани шпалы, а защитный слой бетона составляет только 21мм.

Таблица 1. Характеристика трещинообразования в шпалах в подозрительных участках пути

Символ участка пути	Длина участка пути	Количество шпал		
		общее	с трещинами	
	м	штук	штук	%
I	140	216	210	97
II	47	72	72	100
III	185	285	268	94
IV	153	235	204	87
V	212	328	266	82
VI	77	118	100	85

При широко раскрытых трещинах арматура подвергнута воздействию коррозии. Во время осмотра были обнаружены случаи полностью скорродированной арматуры, потери фрагментов бетона, что свидетельствует о полном разрушении сечений преднапряженных элементов.



Рисунок 4 – Широко раскрытые трещины на верхней поверхности межрельсовых фрагментов шпал

Недоброкачественное техническое состояние, а также неэстетичный вид привели к тому, что железнодорожный путь засыпали щебнем поэтапно до такого уровня, что видны только верхние головки рельсов ( рисунок 5).



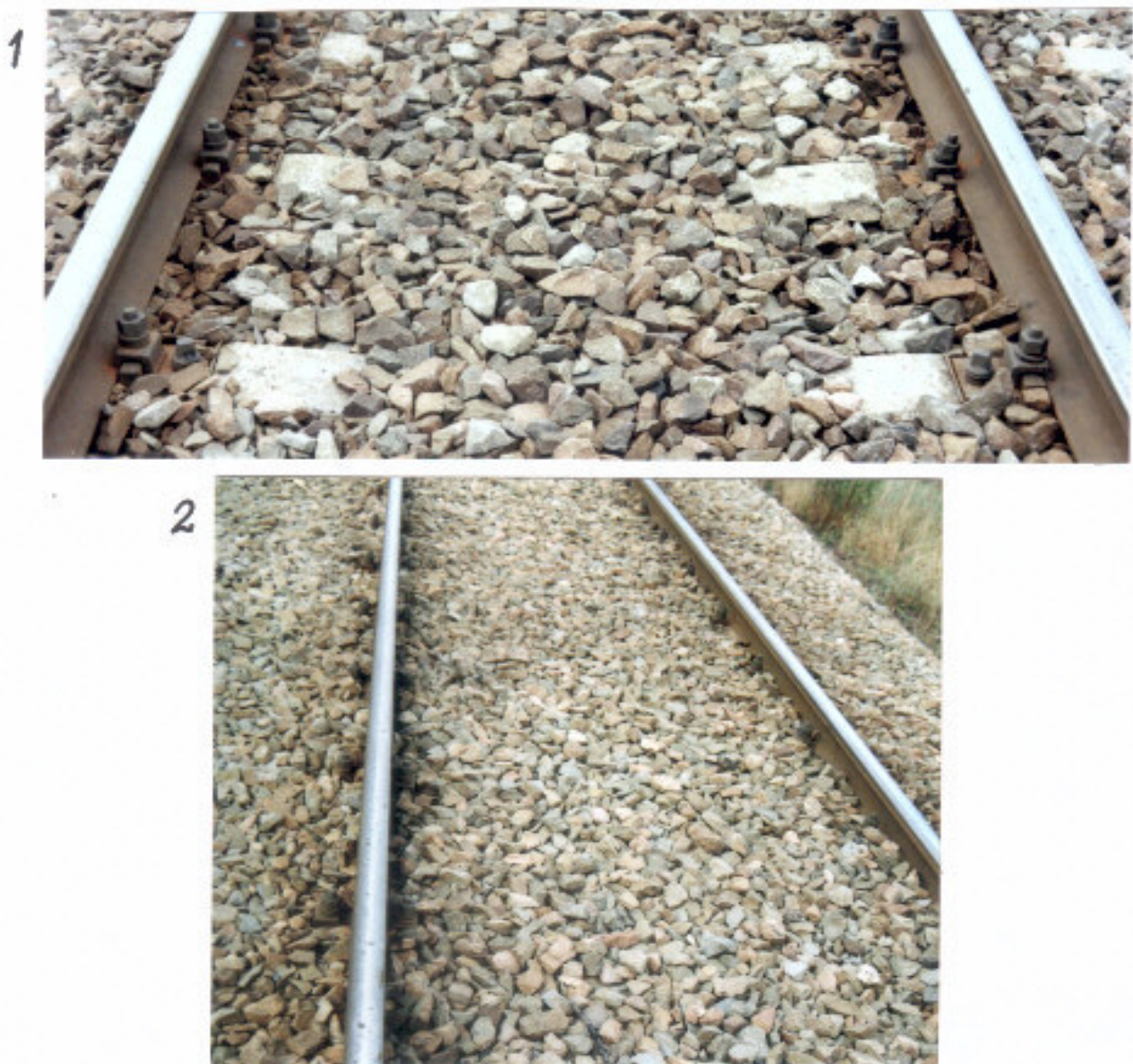


Рисунок 5 – Поэтапная маскировка трещин на верхней поверхности шпал.

1-этап первый (видимы только фрагменты шпал)

2- этап второй (шпалы полностью прикрыты щебнем)

#### 4. Причины образования трещин в шпалах

В рассматриваемом пути подбивка шпал выполнялась неправильно, несогласно с техническими требованиями. Дополнение щебня и подбивка шпал выполнялись на всей длине, также в средних фрагментах шпал. В связи с тем образовалось увеличение опирания на балласт средних фрагментов шпал. При высоком уровне баласта, его уплотнению, а также при самоуплотнению, возникло увеличение пассивного давления баласта в средних фрагментах шпал. Следующим фактором было увеличение изгибающего момента в средних межрельсовых фрагментах шпал. Чрезмерное увеличение момента привело к образованию трещин, а затем к широко раскрытым трещинам.

Кроме основных, появились вторичные трещины, увеличилась ширина их раскрытия, что в итоге привело к тому, что трещины оставались широко раскрытыми, даже при отсутствии внешней нагрузки.

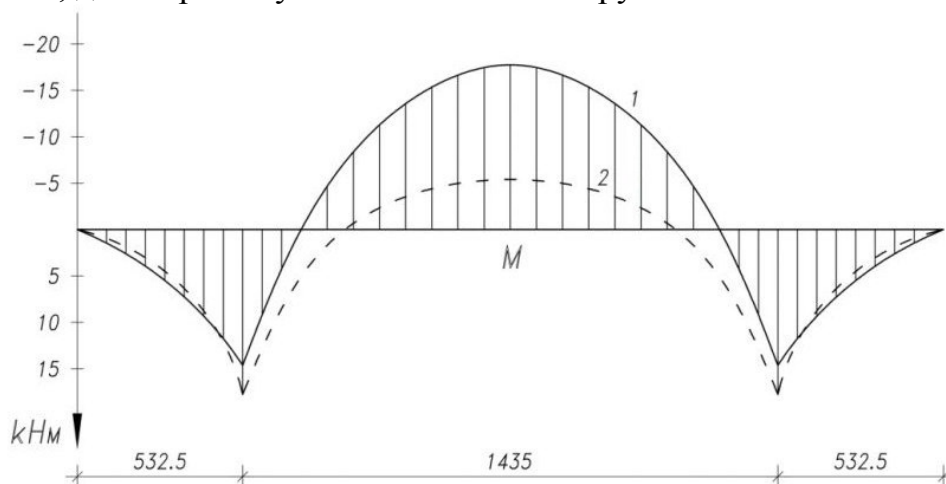


Рисунок 6 – Эпюры изгибающих моментов в шпале для второй расчетной схемы.  
1- шпала с постоянной шириной нижней грани шпала (300 мм), 2-шпала INBK-7D  
(ширина средней части шпала 120 мм)

Увеличение изгибающих моментов в среднем сечении шпалы вызванное увеличением ширины подошвы шпала с 120мм на 300мм представлено на рисунке 6. Увеличение пассивного давления баласта в среднем фрагменте шпалы существенно не влияет на величину изгибающих моментов в подрельсовых сечениях.

**Выводы.** 1. Основной причиной трещинообразования и разрушения преднапряженных шпал INBK-7D является неправильная их подбивка и дополнение щебня в средних фрагментах шпал. 2. Увеличение пассивного давления баласта на шпалы в средних частях (шпал) привело к предельному состоянию несущей способности. 3. Закрытие шпал щебнем маскирует трещины, но их не устраняет, а пользователям дает ложное самоудовлетворение.

**Литература.** 1. Basiewicz T. Nawierzchnia kolejowa z podkładami betonowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1969. 2. Dyśko A. Projekt podkładu z betonu sprężonego typu INBK -7. Praca COBiRTK nr D-109/z/s. Warszawa 1969. 3. Praca zbiorowa pod redakcją Jana Sysaka. Drogi kolejowe. PWN. Warszawa 1982. 4. Syczewski M. Czynniki określające jakość podkładów INBK-7. Drogi kolejowe nr 8/1982. 5. BN-75/8939-01 Nawierzchnia kolei normalnotorowej i wąskotorowej. Podkłady betonowe. 6. BN-85/8939-01/00 Nawierzchnia kolei normalno- i wąskotorowej. Wymagania i badania.