

**ВЛИЯНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК ТРАНСПОРТА НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ****INFLUENCE OF SHOCK LOADS OF TRANSPORT FOR SEISMIC STABILITY OF
CULVERTS CONSTRUCTIONS**

Алынган теориялык эсептөөлөр суу өткөрүүчү курулмалардын сейсмоторуктуулугун төмөндөткөн транспорттун кыймылдуу абалындагы кошумча жүктүүлүгүн баалоого мүмкүнчүлүк берет.

***Ачык сөздөр:** жер титирөө, автоунаа жолдору, темир жолдор, суу өткөрүүчү курулмалар, кошумча сокмо жүктөр, жыштык мүнөздөмөлөр.*

Полученные теоретические расчеты позволяют оценить дополнительные нагрузки на водопропускные сооружения от движущегося транспорта, что снижает сейсмостойкость сооружения.

***Ключевые слова:** землетрясение, автомобильные дороги, железные дороги, водопропускные сооружения, дополнительные ударные нагрузки, частотные характеристики.*

The theoretical calculations allow to estimate the additional load on the culverts by moving transportation which reduces the Earthquake Engineering.

***Keywords:** earthquake, roads, railways, culverts, additional shock loads, frequency characteristics.*

Анализ последствий средних и сильных землетрясений в странах СНГ и за рубежом свидетельствует о том, что водопропускные сооружения на автомобильных и железных дорогах часто разрушаются при 6 и 7 бальных сейсмических воздействиях, несмотря на то, что были рассчитаны на 8 и 9 баллов. Все это говорит не о правильности расчетов и подборе конструкций, а о том, что воздействия транспорта на эти сооружения недостаточно точно определяются. При этом водопропускные сооружения подвергаются ударным и вибрационным воздействиям от движения автомобилей и подвижного состава железных дорог, т.е. на время воздействия сейсмических сил эти сооружения находятся в предварительно напряженном состоянии дополнительно к расчету до 30 – 40%. Это частично подтверждается, что дополнительные нагрузки от транспорта снижают сейсмостойкость дорогостоящих водопропускных сооружений на 1 – 2 балла.

Известно, что в процессе эксплуатации дорог земляное полотно в зоне водопропускных сооружений часто проседает. Расчеты и экспериментальные исследования позволяют установить, что проседание насыпи земляного полотна над водопропускным сооружением увеличивает ударную нагрузку на 10% при просадке $S = 1$ см, 20% при $S = 2$ см и 40% при $S = 3$ см.

От действия многократных ударных нагрузок от транспорта водопропускные сооружения получают напряжения в конструкциях и не могут полностью освободиться по природе инерции и являются дополнительной нагрузкой до 30% к постоянным нагрузкам.

Для определения воздействия транспорта на водопропускные сооружения определим кинематику взаимодействия колеса транспорта на дорожное покрытие, которое передает эти ударные нагрузки на конструкции сооружения.

Предположим по теории, что по идеально гладкому бетонному покрытию перемещается вертикально колесо, связанная с движущимся со скоростью ϑ транспортом и дающее кривую изгиба бетонной плиты.

Скорость колеса в вертикальной плоскости определяется векторным равенством:

$$\vartheta_{ок} = \vartheta_{в} + \vartheta_{ор}$$

(1)

где $\vartheta_{ок}$ — абсолютная скорость оси колеса;

$\vartheta_{в}$ — скорость покрытия (балки);

$\vartheta_{ор}$ — скорость оси колеса относительно элемента покрытия.

Абсолютная скорость колеса может быть разложена на относительную и переносную составляющие (Рис. 1).

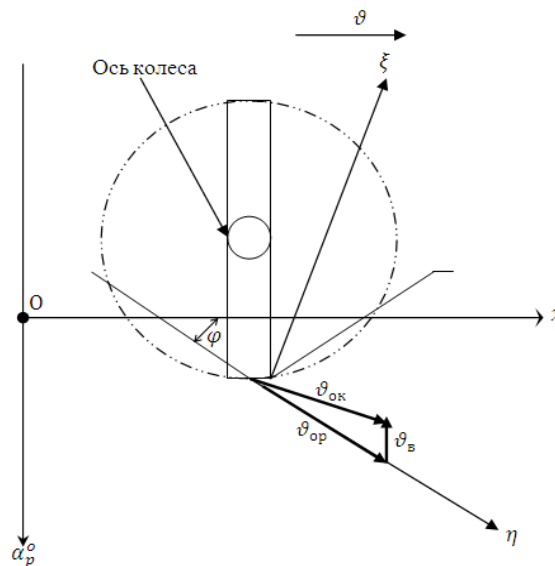


Рис. 1. Диаграмма сложения движущейся сложения оси колеса

Ось η имеет направления по касательной к кривой изгиба покрытия в точке касания колеса, а ось ξ — по нормам к кривой в точке касания.

Проектируя векторное равенство (1) на вертикальную ось α_p^0 получим:

$$\vartheta_{ка} = \vartheta_{ва} + \vartheta_{ра};$$

(2)

Учитывая соотношение: $\vartheta_{ра} = \vartheta \frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u}$;

(3)

Уравнение (2) можно представить в виде:

$$\vartheta_{ва} = \vartheta_{ка} - \vartheta \frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u};$$

(4)

$$\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} = \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right] - \vartheta \frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u};$$

(5)

полученной в работе [1], видим, что если величина $\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t}$ — вертикальная скорость покрытия дороги $\vartheta_{ва}$, то величина $\left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]$ представляет собой скорость оси колеса $\vartheta_{ка}$. Если

в сечении $x = \vartheta t$ находится колесо, то скорость его в вертикальной плоскости определяется равенством:

$$\vartheta_{k\alpha} = \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]_{x=\vartheta t};$$

(6)

Рассмотрим ускорение покрытия и движущегося по нему оси колеса – рис. 2. Ось колеса совершает сложное движение, ее ускорение определяется векторным уравнением:

$$\mathbf{W}_{ок} = \mathbf{W}_в + \mathbf{W}_р + \mathbf{W}_{кор};$$

(7)

где: $\mathbf{W}_{ок}$ – абсолютное ускорение оси колеса;

$\mathbf{W}_в$ – ускорение покрытия;

$\mathbf{W}_р$ – ускорение оси колеса относительно покрытия;

$\mathbf{W}_{кор}$ – кориолисовое ускорение.

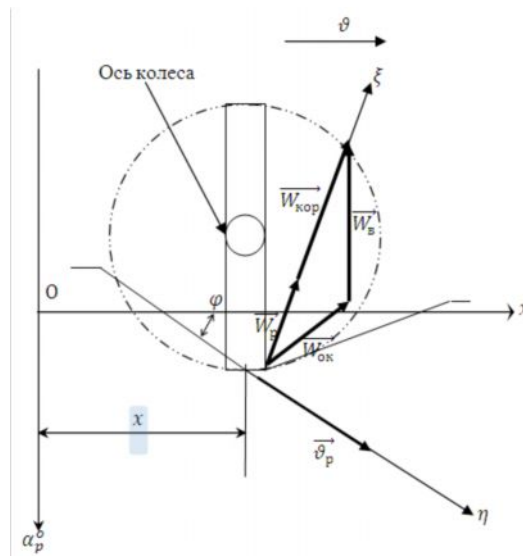


Рис. 2. Диаграмма сложения ускорения движущейся оси колеса

В качестве системы координат примем прямоугольную систему ξ, η .

При движении оси колеса относительно кривой изгиба покрытия в точке – x возникает центростремительное ускорение $\mathbf{W}_р$, направленное к центру кривизны, проекция которого на ось ξ равна

$$\mathbf{W}_{p\xi} = \left(v \frac{1}{\cos\varphi} \right)^2 k_0$$

(8)

где $\varphi = \arctg \frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u}$ – угол наклона кривой изгиба покрытия в точке – x ;
 k_0 – кривизна покрытия в точке x .

$$\text{Учитывая равенство: } k_0 = \frac{\frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2}}{\left[1 + \left(\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u} \right)^2 \right]^{3/2}} = \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2} \cdot \cos^3 \varphi;$$

(9)

Уравнение (8) будет иметь выражение:

$$W_{pc} = v^2 \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2} \cos \varphi; \quad (10)$$

Кориолисово уравнение определим из векторного уравнения:

$$W_{кор} = 2 \vec{\omega}_0 \rightarrow \vartheta \mathbf{0}; \quad (11)$$

где $\vec{\omega}_0$ — вектор угловой скорости переносной системы координат ξ, η .

Проекция вектора кориолисова ускорения на ось — ξ равна:

$$W_{кор\xi} = 2\vartheta \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \sin \alpha \quad (12)$$

где $\alpha = \frac{\pi}{2}$ — угол между векторами угловой — $\vec{\omega}_0$ и относительно — \vec{v}_0 скорости.

Угловая скорость вращения покрытия равна:

$$\omega_0 = \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right] - \vartheta \frac{\partial \varphi}{\partial w}; \quad (13)$$

где $\left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right]$ — абсолютная частотная производная от φ по времени — t .

Получим равенства:

$$\begin{cases} \left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right] = \frac{\partial \varphi}{\partial \varphi} \left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right] = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right]; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial w} = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial w}; \end{cases} \quad (14)$$

Учитывая соотношения: $\text{tg} \varphi = \frac{\partial \alpha_p^0}{\partial u}$, $\left[\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right] = \frac{\partial}{\partial u} \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]$;

(15)

$$\text{Из (15) получим равенство: } \omega_0 = \left[\frac{\partial \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]}{\partial u} - \vartheta \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2} \right] \cos^2 \varphi. \quad (16)$$

В частном случае, когда траектория оси колеса есть горизонтальная прямая, уравнения (16) примет вид:

$$\omega_0 = \vartheta \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2} \cos^2 \varphi; \quad (17)$$

Подставляя (16) в уравнение (12), получим

$$W_{кор\xi} = 2\vartheta \frac{\partial \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]}{\partial u} \cos \varphi - 2\vartheta^2 \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2} \cos \varphi; \quad (18)$$

Учитывая, что проекция ускорений покрытия на оси ξ и α_p^0 связаны соотношением $W_{в\xi} = W_{в\alpha} \cos \varphi$, и используя формулы (11) и (18), получим:

$$W_{в\alpha} \approx \frac{1}{\cos \varphi} W_{в\xi} = W_{оку} - 2\vartheta \frac{\partial \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]}{\partial u} + \vartheta^2 \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2}; \quad (19)$$

Сравнивая формулу (19) с равенством:

$$\frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial t^2} = \left[\frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial t^2} \right] - 2\vartheta \frac{\partial \left[\frac{\partial \alpha_p^0}{\partial t} \right]}{\partial u} + \vartheta^2 \frac{\partial^2 \alpha_p^0}{\partial u^2}; \quad (20)$$

полученным в работе [1] следует, что если величина $\frac{\partial^2 a_p^0}{\partial t^2}$ вертикальное ускорение покрытия, то величина $\left[\frac{\partial^2 a_p^0}{\partial t^2} \right]_{x=\delta t}$ — вертикальное ускорение оси колеса движущегося с транспортом.

В частном случае для сечения $x = \delta t$, в котором расположено колесо, действительно соотношение:

$$\vartheta_{k\alpha} = \left[\frac{\partial^2 a_p^0}{\partial t^2} \right]_{x=\delta t}; \quad (21)$$

Из равенства (21) следует, что вертикальная составляющая абсолютного ускорения колеса равна абсолютной частной производной второго порядка по времени от прогиба покрытия в сечении под колесом.

Определив частотные характеристики и ускорение от колеса на покрытие определяется влияние транспорта от скорости движения на водопропускные сооружения.

Список литературы

1. Саткыналиев К.Т. Исследование колебаний бетонного покрытия дорог и аэродромов от сейсмического воздействия [Текст] / К.Т.Саткыналиев // Вестник КГУСТА. – 2014. - 4 (46) Т.2. – с. 150.