

С.Х.Достанова¹, С.Б. Шаяхметов¹, К.Е.Токпанова², З.Т.Калпенова¹

¹Сатпаев университети, ²Евразия технологиялык университети
Алматы Казакстан

¹Сатпаев Университет, ²Евразийский технологический университет
Алматы, Республика Казахстан

S.Kh.Dostanova¹, S.B. Shayakhmetov¹, K.E.Tokpanova², Z.T. Kalpenova¹

¹Satpayev University, ²Eurasian Technological University
Almaty, Republic of Kazakhstan

dostanova0109@mail.ru zaure.kalpenova@mail.ru kamila1907@mail.ru

ДИНАМИКА ЖЕСТКИХ ПОКРЫТИЙ АВТОДОРОЖНЫХ ПУТЕПРОВОДОВ АВТОЖОЛ ӨТМӨКТӨРҮНҮН КАТУУ КАПТАМАЛАРЫНЫН ДИНАМИКАСЫ DYNAMICS OF RIGID ROAD OVERPASS COVERINGS

Изилдөөнүн максаты кыймылдуу жүктөрдүн таасири астында динамикалык мүнөздөмөлөрдү жогорулатуу аркылуу көпүрө конструкцияларынын жүк көтөрүмдүүлүгүн бекемдөө болуп саналат. Келечекте изилдөөнүн милдети эстакаданын динамикалык мүнөздөмөлөрүн жана алардын жүк көтөрүү жөндөмдүүлүгүнө тийгизген таасирин аныктоо болуп саналат. Макалада аналитикалык эсептөөлөрдү жана аспаптык өлчөөлөрдү колдонуу менен жол эстакадаларынын катуу жабындарынын динамикалык эсептөөлөрүнүн натыйжалары берилген. 2 жол эстакадасынын эсептөө схемасы жана математикалык модели иштелип чыккан. Чечим үчүн Рэйли-риц методуна негизделген аналитикалык метод колдонулган. Колдоочу структуралар менен ар кандай интерфейстердеги аралыктардын динамикасы каралат. Табигый жыштыктардын теориялык маанилери жана инструменталдык өлчөөлөр менен алынган диапазондордун термелүүсүнүн графиктери берилген. 20,2 м/с кыймылдуу жүк ылдамдыгы үчүн динамикалык коэффициенттин маанилери алынган.

Түйүндүү сөздөр: катуу плиталар каптоо. модель, эсептөө ыкмасы, табигый жыштыктар.

Целью исследований является усилить несущую способность мостовых конструкций за счет повышения динамических характеристик при действии подвижных нагрузок. В дальнейшем задачей исследования является определение динамических характеристик путепровода и их влияние на несущую способность. В статье представлены результаты динамического расчета жестких покрытий автодорожных путепроводов с использованием аналитических расчетов и инструментальных измерений. Разработаны расчетная схема и математическая модель для 2 автодорожных путепроводов. Для решения использованы аналитический метод, основанный на методе Рэлея Ритца. Рассмотрена динамика пролетных строений при различных сопряжениях с опорными конструкциями. Представлены теоретические значения собственных частот и графики колебаний пролетных строений, полученные инструментальными измерениями. Для скорости подвижной нагрузки, равной 20,2 м/с получены значения динамического коэффициента.

Ключевые слова: жесткие плиты покрытий. модель, метод расчета, собственные частоты.

The purpose of the research is to strengthen the load bearing capacity of bridge structures by increasing the dynamic characteristics under the action of moving loads. In the future, the task

of the study is to determine the dynamic characteristics of the overpass and their impact on the load-bearing capacity. The article presents the results of dynamic calculations of hard pavements of road overpasses using analytical calculations and instrumental measurements. A calculation scheme and a mathematical model for 2 road overpasses have been developed. For the solution, an analytical method based on the Rayleigh Ritz method was used. The dynamics of spans at various interfaces with supporting structures are considered. Theoretical values of natural frequencies and graphs of vibrations of spans obtained by instrumental measurements are presented. For a moving load speed of 20.2 m/s, the values of the dynamic coefficient were obtained.

Key words: rigid coating slabs. model, calculation method, natural frequencies.

Введение. До настоящего времени учет динамического воздействия транспортных средств на мосты в нормативных документах проводится на основании обобщения экспериментальных данных. Изучение динамического воздействия существующих в настоящее время видов подвижной нагрузки на мостовые сооружения становится актуальным и требует совершенствования теории и методов расчета. Возникает настоятельная необходимость в создании на базе современных технологий универсального метода динамического анализа мостовых конструкций, позволяющего корректно учесть важнейшие особенности взаимодействия существующей и перспективной подвижной нагрузки с различными типами мостовых сооружений. Исследования в области динамики сооружений для конструкций, воспринимающих подвижные нагрузки, обладающие массой, имеют большое значение для проектирования и расчета современных транспортных сооружений и обеспечения безопасности движения [1-5]. Особенно актуальными эти задачи стали в последние годы, в связи с возрастанием скорости движения и грузоподъемности транспортных средств, в частности, автодорожного подвижного состава.

Цель исследований. Для определения фактического технического состояния конструкций и наиболее эффективной оценки надежности конструкций мостов и установления соответствия между расчетной схемой и действительной работой сооружений, на магистральных линиях Республики Казахстан, необходимо осуществлять периодический мониторинг напряженно-деформированного состояния сооружений под эксплуатационными нагрузками с применением программно-аппаратных комплексов.

Надежность и прочность транспортных сооружений зависит от множества факторов и инженерных решений, среди которых важное значение имеет точность теории, соответствие принятых моделей и методов расчета. Особенно это касается динамики, т.к. в процессе движения транспорта появляются значительные инерционные силы соизмеримые со статической нагрузкой. Одним из важных этапов динамического расчета является определение собственных форм колебаний и соответствующих им частот [6-9], т.к. нормальная работа всех сооружений должна проходить вне резонансной зоны. Целью исследований является усилить несущую способность мостовых конструкций за счет повышения динамических характеристик при действии подвижных нагрузок. В дальнейшем задачей исследования является определение динамических характеристик путепровода и их влияние на несущую способность. Для принятой расчетной схемы разработана математическая модель и приведены результаты численного и аналитического расчетов.

Методы исследования. Расчетные схемы жестких дорожных покрытий: в работе представлен динамический расчет жестких покрытий путепровода с использованием аналитического и численного методов [10-11].

1 модель: расчетная схема дорожной одежды - жесткие плиты покрытий (Рисунок 1а), шарнирно опертые по краям, нагруженные сосредоточенной нагрузкой от движущегося транспорта.

2 модель: расчетная схема дорожной одежды - жесткие плиты покрытий (Рисунок 1а), защемленные по краям, нагруженные сосредоточенной нагрузкой от движущегося транспорта.

Математические модели.

Собственные колебания изотропной пластины описываются следующим уравнением [7-9]:

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} w + \frac{gD}{h\gamma} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^4} w + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} w + \frac{\partial^4}{\partial y^4} w \right) = 0$$

Обозначая $h\gamma=q$, уравнение можно записать в виде:

$$\frac{q}{gt} \frac{\partial^2}{\partial t^2} w + \frac{\partial^2}{\partial x^4} w + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} w + \frac{\partial^4}{\partial y^4} w = 0 \quad (1)$$

$w=w(x,y,t)$ – нормальные перемещения или прогибы точек срединной плоскости; D – цилиндрическая жесткость при изгибе пластины; h – толщина пластины; γ – удельный вес материала; g – ускорение свободно падающего тела.

Свободные колебания плиты шарнирно опертой по краям. При отсутствии внешней динамической нагрузки пластина совершает свободные поперечные колебания, вызванные начальными возмущениями, которые задаются в виде начальных условий [7-8]:

$$w(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad \frac{\partial w}{\partial t}(x, y, 0) = \psi(x, y). \quad (2)$$

Рассматриваются гармонические колебания, поэтому решение уравнений (1) описывается фундаментальными балочными функциями. Для случая, когда плита шарнирно оперта по контуру, неизвестные функции в разрешающих уравнениях (2) представляются в виде:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \omega_{mn} t,$$

$$\varphi(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \omega_{mn} t,$$

$$\psi(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \psi_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \omega_{mn} t.$$

Функция прогиба удовлетворяет граничным условиям:

$$\text{При } x=0 \text{ и } x=a \quad w = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} w = 0$$

$$\text{При } y=0 \text{ и } y=b \quad w = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial y^2} w = 0 \quad (3)$$

В (3) a, b – размеры плиты в плане, t – время, в правой части $\varphi_{mn}, \psi_{mn}, w_{mn}$ неизвестные коэффициенты, ω_{mn} частота свободных колебаний.

Используется энергетический метод Ритца. После интегрирования полная энергия деформации зависит от параметров $\varphi_{mn}, \psi_{mn}, w_{mn}$. Учитывая, что в стационарном состоянии

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \varphi_{mn}} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \psi_{mn}} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial w_{mn}} = 0, \quad (4)$$

в результате получается система линейных однородных уравнений относительно неизвестных коэффициентов $\varphi_{mn}, \psi_{mn}, w_{mn}$. Приравняв детерминант системы (4) к нулю, получаем уравнение относительно частоты свободных колебаний пластины ω_{mn} :

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varphi \\ w \\ \psi \end{vmatrix}_{mn} = 0 \quad b_{11} = - \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \frac{5hG}{6D} \right\} \frac{ab}{4} \quad b_{21} = - \frac{\pi mb}{4}, \quad (5)$$

где

$$b_{12} = - \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^3 + \frac{1}{4} \left(\frac{m\pi}{a} \right) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \frac{5hG}{6D} \frac{m\pi}{a} \right\} \frac{ab}{4}, \quad b_{32} = - \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{n\pi}{b} \right)^3 + \frac{1}{4} \left(\frac{n\pi}{b} \right) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 - \frac{5hG}{6D} \frac{n\pi}{b} \right\} \frac{ab}{4},$$

$$b_{13} = -\frac{1+\nu}{2} \left(\frac{m\pi}{a} \right) \left(\frac{n\pi}{b} \right) \frac{ab}{4}, \quad b_{31} = -\frac{ma}{4}, \quad b_{22} = b_{22}^* - \omega_{mn}^2 b_{22}^{**},$$

$$b_{33} = -\left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \frac{5hG}{D} \right\} \frac{ab}{4}, \quad b_{22}^* = \frac{Eh^3\pi^4}{48(1-\mu^2)ab} \left(\frac{b}{a} m^2 + \frac{a}{b} n^2 \right)^2,$$

$$b_{22}^{**} = \frac{ab}{4g} [\gamma h], \quad (6)$$

где g – ускорение свободно падающего тела, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$, γ – удельный вес материала плиты, D – цилиндрическая жесткость плиты, E, G – модули упругости на растяжение и сдвиг материала плиты.

Решение уравнения (5) дает следующую формулу для определения собственных частот поперечных колебаний пластины:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{b_{22}^* (b_{11}b_{33} - b_{13}b_{31}) - b_{11}b_{23}b_{32} - b_{12}(b_{21}b_{33} - b_{31}b_{23}) - b_{13}b_{21}b_{32}}{b_{22}^{**} (b_{11}b_{33} - b_{13}b_{31})} \quad (7)$$

Для плиты, шарнирно опертой по всем краям, частота, соответствующая первому тону колебаний ($m=n=1$), имеет следующий приближенный вид:

$$\omega = \pi^2 \left[\frac{D}{\rho h} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right)^2 \right]^{0,5} \quad (8)$$

Свободные колебания плиты жестко заземленной по краям. Приближенное решение ищется в виде ряда [7-8]:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y) \sin \omega_{mn} t \quad (9)$$

$$w_{m,n} = \left(x^2 - \frac{a^2}{4} \right)^2 \left(y^2 - \frac{b^2}{4} \right)^2 x^m y^n \quad (10)$$

Эти функции удовлетворяют граничным условиям:

$$\text{При } x = \pm \frac{a}{2} \quad w_{mn} = \frac{\partial w_{mn}}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

$$\text{При } y = \pm \frac{b}{2} \quad w_{mn} = \frac{\partial w_{mn}}{\partial y} = 0$$

Для первого приближения:

$$w = \left(x^2 - \frac{a^2}{4} \right)^2 \left(y^2 - \frac{b^2}{4} \right)^2 xy \quad (12)$$

По аналогии с (4), используя метод Рэлея-Ритца, получаем следующую формулу для определения собственных частот свободных колебаний:

$$\omega = \pi^2 \left[\frac{D}{\rho h} \left(\frac{1,506^4 m^4}{a^4} + \frac{1,506^4 n^4}{b^4} + 2 \frac{1,248^2 m^2 n^2}{a^2 b^2} \right) \right]^{0,5} \quad (13)$$

ρ – плотность материала плиты.

Для плиты, заземленной по всем краям, частота, соответствующая первому тону колебаний ($m=n=1$), имеет следующий приближенный вид:

$$\omega = \frac{22,45}{b^2} \left[\frac{g}{\gamma h} \left(\frac{D6^4}{a^4} + \frac{0,571Db^2}{a^3} + D \right) \right]^{0,5} \quad (14)$$

D – цилиндрическая жесткости, h – толщина, a, b – размеры в плане γ – удельный вес материала плиты.

Рассмотрим вынужденные колебания пластины, загруженной сосредоточенной силой.

Вынужденные колебания плиты шарнирно опертой по краям. Вынужденные колебания изотропной пластины под действием внешней нагрузки $F(x,y,t)$ описываются следующим уравнением [7-9]:

$$\frac{q}{gD} \frac{\partial^2}{\partial t^2} w + \frac{\partial^2}{\partial t^4} w + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} w + \frac{\partial^4}{\partial y^4} w = \frac{F(x,y,t)}{D} \quad (15)$$

$w=w(x,y,t)$ – нормальные перемещения или прогибы точек срединной плоскости; D – цилиндрическая жесткость при изгибе пластины; h – толщина пластины; $q=h\gamma$, – вес плиты, отнесенный к единице поверхности, γ – удельный вес материала; g – ускорение свободно падающего тела, $F(x,y,t)$ – внешняя сила, отнесенная к единице поверхности. Полагаем, что внешняя нагрузка является периодической функцией времени:

$$F(x,y,t)=f(x,y) (A \cos \theta t + B \sin \theta t) \quad (16)$$

$f(x,y)$ – распределение внешней нагрузки в плоскости x,y ; θ – частота внешней нагрузки. Если сосредоточенная сила находится в некоторой точке A с координатами ξ, η , то внешнюю нагрузку можно обозначить $P(\xi, \eta)=P$ (Рисунок 1б). Если точка A находится в середине пластины, то $\xi=a/2, \eta=b/2$, если действуют несколько сосредоточенных сил, то необходимо суммировать нагрузку и решение состоит из суммы решений для каждой нагрузки в отдельности.

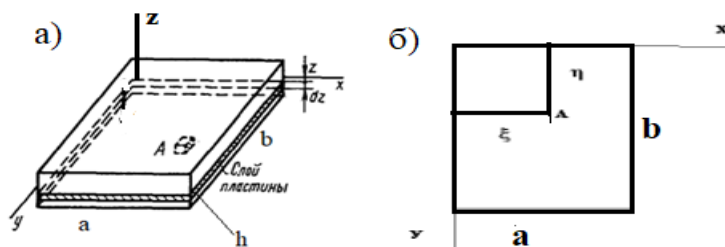


Рисунок 1 - Жесткая пластина. а) прямоугольная пластина; б) координаты точки A приложения внешней силы

Приближенное решение уравнения (15) можно представить в виде [7-8]:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y) \sin \theta t$$

Где $w_{m,n}(x,y,t)=w_{m,n}(x,y) \sin \theta t$

Используя метод Навье, получаем выражение для прогиба $w(x,y)$ в виде двойного тригонометрического ряда:

$$w = \frac{4Pb^3}{\pi^4 a} \sum_{m=1}^{\infty} S_m \sin \frac{m\pi\xi}{a} \sin \frac{m\pi x}{a} \quad (17)$$

где коэффициент S_m определяется следующим выражением:

$$S_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi\eta}{b} \sin \frac{n\pi y}{b}}{\left(\frac{m^2 b^2}{a^2} + n^2 \right)^2}$$

Решение (17) удовлетворяет граничным условиям (3). Решение уравнения (15) имеет вид:

$$w(x, y, t) = \left[\frac{4Pb^3}{\pi^4 a} \sum_{m=1}^{\infty} S_m \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} \right] \sin \theta t \quad (18)$$

Изгибные усилия определяются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right); & Q_x &= -D \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 w; \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); & Q_y &= -D \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 w; \end{aligned} \right\} \quad H = -(1-\nu) D \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

В первом приближении решение для прогиба имеет вид:

$$w(x, y, t) = \left[\frac{4Pb^3}{\pi^4 a} S_1 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \right] \sin \theta t, \quad S_m = \frac{\sin \frac{\pi m}{b} \sin \frac{\pi y}{b}}{\left(\frac{b^2}{a^2} + 1 \right)^2}$$

Вынужденные колебания плиты защемленной по краям. Рассмотрим прямоугольную пластину с размерами $a \times b$ в плане и постоянной толщиной h с заделкой по всем краям (Рисунок 2). Поместим начало системы координат XOY в центр пластины. Будем считать, что сила F приложена в центре в виде равномерно распределенной нагрузки q (X, Y), на малом прямоугольном участке с размерами $u \times v$. Изогнутая срединная поверхность пластины, защемленной по контуру, определяется с использованием технической теории пластин, следующим дифференциальным уравнением изгиба:

$$D \nabla^2 \nabla^2 W(X, Y) = -q(X, Y)$$

и граничными условиями:

$$\begin{aligned} W &= 0, & \frac{\partial W}{\partial X} &= 0 & \text{при } X &= \pm \frac{a}{2}, \\ W &= 0, & \frac{\partial W}{\partial Y} &= 0 & \text{при } Y &= \pm \frac{b}{2}. \end{aligned} \quad (19)$$

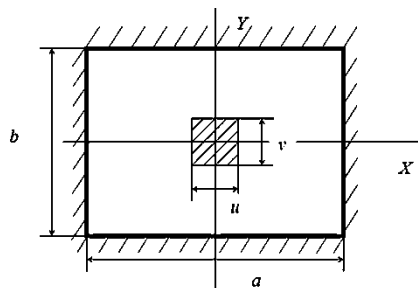


Рисунок 2 - Защемленная пластина под действием поперечной нагрузки, распределенной на малом участке

Поперечную симметричную нагрузку, следуя Навье [1], представим двойным рядом Фурье:

$$q(X, Y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} q_{ks} \cos \frac{\pi s X}{a} \cos \frac{\pi k Y}{b}, \quad q_{ks} = \frac{4}{ab} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} q(X, Y) \cos \frac{\pi s X}{a} \cos \frac{\pi k Y}{b} dX dY. \quad (20)$$

Так как нагрузка интенсивностью $P(uv)$ в нашем случае задана на малом прямоугольном участке в центре пластины, то предыдущая формула дает:

$$q_{ks} = \frac{4P}{abuv} \int_{-\frac{u}{2}}^{\frac{u}{2}} \int_{-\frac{v}{2}}^{\frac{v}{2}} \cos \frac{\pi s X}{a} \cos \frac{\pi k Y}{b} dX dY = \frac{4P}{ab} \frac{\sin \frac{\pi su}{2a}}{\frac{\pi su}{2a}} \frac{\sin \frac{\pi kv}{2b}}{\frac{\pi kv}{2b}}. \quad q_{ks} = \frac{4P}{ab}, \quad (21)$$

Для сосредоточенной силы $u, v, 0 \rightarrow$, тогда и формула (21) примет вид:

$$q(X,Y) = \frac{4P}{ab} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \cos \frac{\pi s X}{a} \cos \frac{\pi k Y}{b}. \quad (22)$$

Решение дифференциального уравнения для прогибов имеет следующий вид:

$$w = \frac{Pa^2}{2\pi^3 D} \sum_{m=1,3,\dots,5}^{\infty} \frac{1}{m^3} \cos \frac{m\pi x}{a} \left[\left(th\alpha_m - \frac{\alpha_m}{ch^2\alpha_m} \right) ch \frac{m\pi y}{a} - sh \frac{m\pi y}{a} - \right. \\ \left. - \frac{m\pi y}{a} th\alpha_m sh \frac{m\pi y}{a} + \frac{m\pi y}{a} ch \frac{m\pi y}{a} \right] \quad \text{Где } \alpha^m = \frac{m\pi b}{2a}. \quad (23)$$

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты исследований представлены на 2-х примерах [10-11].

1 пример. Пролетное строение – железобетонное, трехпролетное, пролетное строение №1 и №3 состоит из тавровых железобетонных балок длиной 11,36 м, В поперечном сечении пролетного строения установлено 7 балок с шагом 1,6 м. Пролетное строение №2 состоит из сборных двутавровых балок длиной 16,76 м. В поперечном сечении пролетного строения установлено 5 балок с шагом 1,6 м. Длина моста и габарит проезжей части: полная длина путепровода между передними гранями шкафных стенок – 39,78 м. Расчетная схема жестких покрытий для каждого пролета представляют собой срединную плоскость плит (Рисунок 3). Покрытие состоит из 2 слоев: нижний слой, толщиной 0,3м – железобетон, верхний слой, толщиной 0,3м – асфальтобетон (Рисунок 3). Соответственно прочностные свойства учитываются модулями пропорциональности и коэффициентами Пуассона.

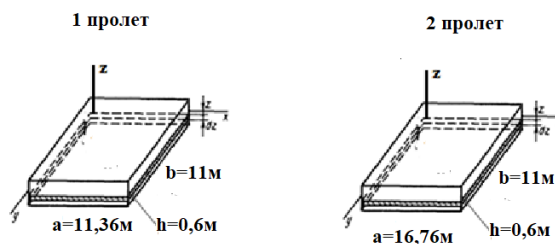


Рисунок 3 - Размеры пролетных покрытий

В таблице 1 приведены значения собственных частот для плит пролетных строений ω в гц для 2-х случаев закрепления: заделка по 2 сторонам и шарнирное опирание по сторонам[11].

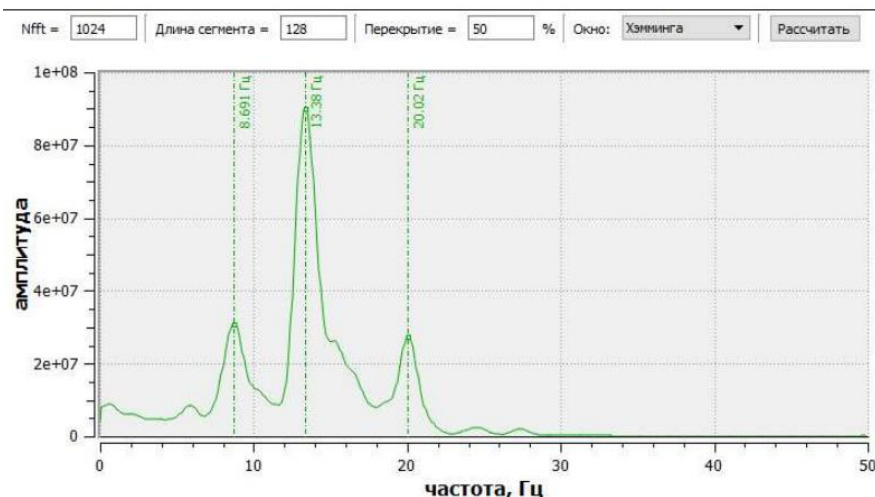
Таблица 1 - Значения собственных частот для плит пролетных строений для 2 случаев закрепления

№ пролета	Условия закрепления	Частота ω_1	Частота ω_2
1,3	Заделка с двух сторон	14,5	24
1,3	Два конца шарнирно-оперты	4,93	11,5
2	Заделка с двух сторон	8,61	16,2
2	Два конца шарнирно-оперты	3,85	7,80

Данные инструментальных измерений для частот вынужденных колебаний в гц при действии подвижной нагрузки $p=12т$ для 3 и 2 пролетов представлены на Рисунок 4а,б. Инструментальные измерения проведены с помощью измерительного комплекса «Тензор МС».

а)

График колебаний пролетного строения №3 при проезде автомобиля



б)

График колебаний пролетного строения №2 при проезде автомобиля

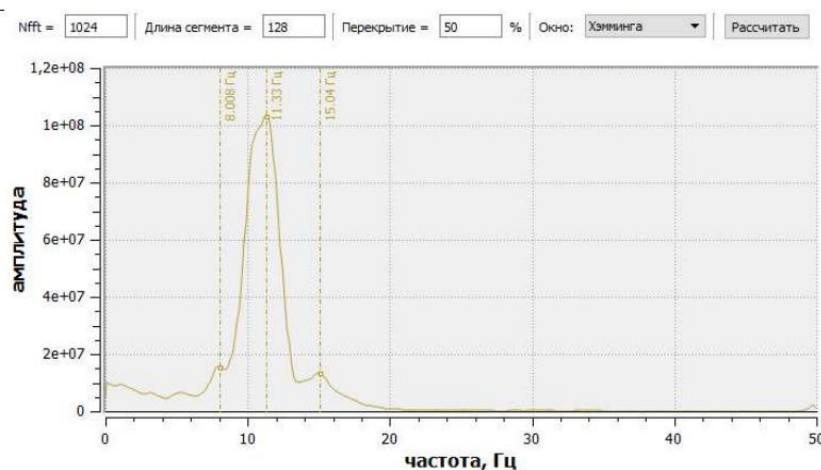


Рисунок 4 - Графики колебаний а - для 3-го и б- для 2-го пролетов при действии подвижной нагрузки

Из Рисунок 4 видно, что для 3-го пролета $\omega_1=13,57$ Гц, $\omega_2=17,80$ Гц, а для 2-го пролета $\omega_1=8,91$ Гц, $\omega_2=11,33$ Гц. Эти данные соответствуют жесткому закреплению несущих балок пролетных строений. Из графиков видно, что частоты максимальных вынужденных колебаний соответствуют теоретическим собственным частотам (расхождение составляет от 3,2% до 6,4%), причем они не всегда совпадают с первой частотой и могут соответствовать более высоким формам собственных колебаний.

2 пример. Пролетное строение: железобетонное, четырех пролетное, пролетное строение состоит из диафрагменных двутавровых балок длиной 22,16 м. В поперечном сечении пролетного строения каждого путепровода установлено по 12 балок с шагом 1,40 м. Расчетная схема жестких покрытий для каждого пролета представляют собой плиту. Покрытие состоит их 2 слоев: нижний слой, толщиной 0,3м – железобетон, верхний слой, толщиной 0,3м – асфальтобетон. Соответственно прочностные свойства учитываются модулями пропорциональности и коэффициентами Пуассона.

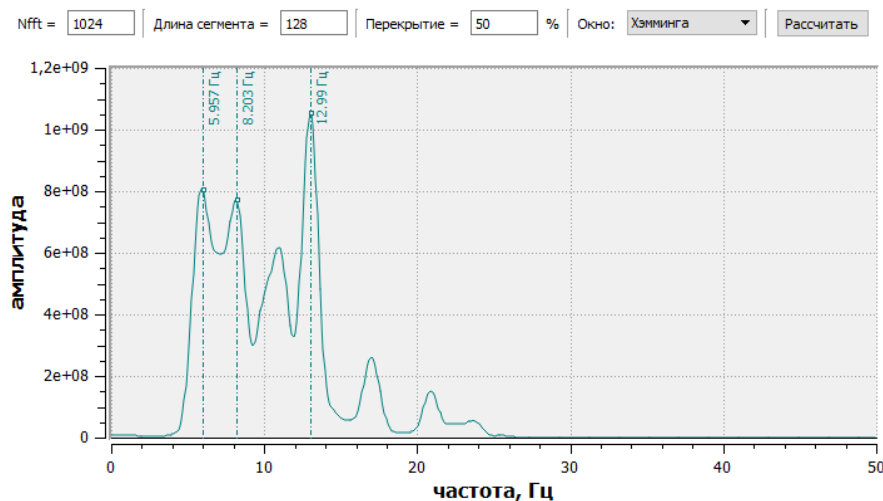
В таблице 2 приведены теоретические значения собственных частот для плит пролетных строений ω в Гц для 2 случаев закрепления: заделка по 2 сторонам и шарнирное опирание по 2-м концам [11].

Таблица 2 - Значения собственных частот для плит пролетных строений для 2 случаев закрепления: заделка по 4 сторонам и шарнирное опирание по краям

№ пролета	Условия закрепления	Частота ω_1	Частота ω_2
1,4	Заделка с двух сторон	7,08	9,71
1,4	Два конца шарнирно-оперты	4,45	7,09
2,3	Заделка с двух сторон	8,72	14,2
2,3	Два конца шарнирно-оперты	5,82	12,21

Инструментальные измерения проведены с помощью измерительного комплекса «Тензор МС» СМ-315. Данные инструментальных измерений для максимальных значений частот вынужденных колебаний при действии подвижной нагрузки $P=18\text{т}$ для 2-х пролетов представлены на Рисунок 5. Из Рисунок 5 а,б видно, что для 1-го пролета $\omega_1=6,25\text{Гц}$, $\omega_2=10,06\text{ Гц}$, а для 2-го пролета $\omega_1=6,15\text{Гц}$, $\omega_2=11,82\text{ Гц}$. Эти данные соответствуют шарнирному закреплению несущих балок пролетных строений. Из графиков видно, что частоты максимальных вынужденных колебаний соответствуют теоретическим собственным частотам (расхождение составляет от 3,2% до 5,3%), причем они также не всегда совпадают с первой частотой и могут соответствовать более высоким формам собственных колебаний.

а)



б)

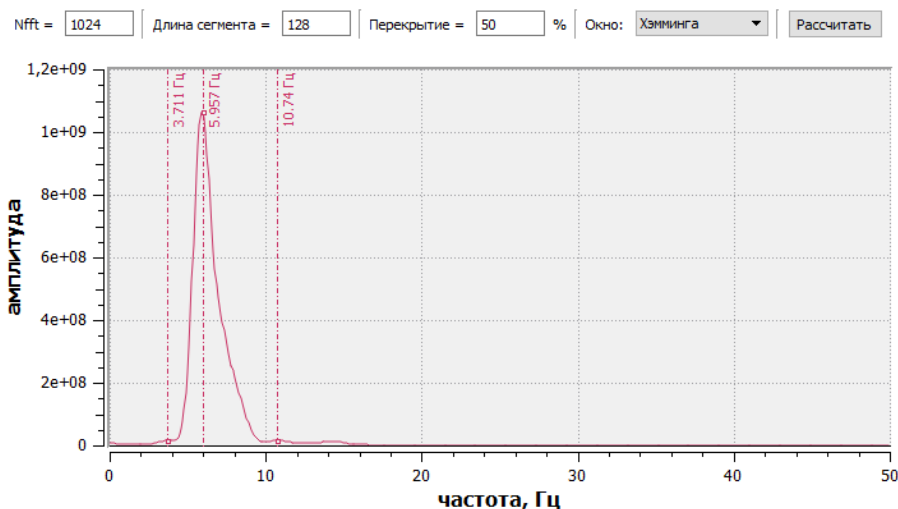


Рисунок 5 - График колебаний а - для 1-го, б - для 2-го пролетов при действии подвижной нагрузки

В таблице 3 представлены теоретические значения динамического коэффициента при скорости подвижной нагрузки равной 22, 1м/с при различных значениях собственных частот [11].

Таблица 3 - Теоретические значения динамического коэффициента при различных значениях собственных частот

Номер пролета	ω_1	ω_2	ω_3
1, 3 заделка по краям	1,56	1,45	1,25
1,3 шарнирное опирание	1,62	1,48	1,33
2, заделка по краям	1,67	1,44	1,31
2 шарнирное опирание	1,72	1,55	1,36

Согласно [4] РК полученные значения динамического коэффициента превышают их допустимые значения по первым частотам собственных колебаний. Наиболее опасному состоянию подвержен 2 пролет. Результаты теоретических исследований соответствуют экспериментальным данным, что говорит о правильности выбора расчетных схем и математических моделей. При дальнейшем проектировании необходимо учитывать условия закрепления плит покрытий с несущими продольными балками. При жестком закреплении динамический коэффициент уменьшается, что повышает несущую способность конструкции в целом. Варьируя граничные условия по всем пролетам можно оптимизировать работу конструкции при действии подвижных нагрузок.

Выводы. По результатам аналитических расчетов и инструментальных измерений можно сделать следующие выводы [6-9]:

1. Для усиления несущей способности путепроводов необходимо совершенствовать расчетные модели, регулировать скорости и интенсивность подвижной нагрузки, во избежания резонанса контролировать частоты и использовать для расчета современные методы. Как показывают инструментальные измерения нельзя ограничиваться 1-ой основной частотой, необходимо учитывать более высокие формы собственных колебаний.
2. В соответствии с требованиями п.5.6.5 норм СП РК 3.03-112-2013 “Мосты и трубы” в пролетных строениях расчетные периоды собственных колебаний по двум низшим формам не должны быть находиться в диапазоне от 0,45 до 0,60 сек – в вертикальной и от 0,9 до 1,2 сек – в горизонтальной плоскостях. Результаты расчетов пролетного строения путепровода на грузоподъемность показали, что несущая способность существующих пролетных строений недостаточна для пропуска современных транспортных нагрузок, особенно это касается 2-го пролета при шарнирном соединении концов с опорными продольными балками. Рекомендуются предусмотреть замену пролетных строений на обладающие необходимой грузоподъемностью для пропуска современных и перспективных нагрузок.

Список литературы

1. Труфанова, О.И. Анализ факторов, влияющих на надежность и технические характеристики железобетонных путепроводов [Текст] / О.И.Труфанова, Л.В. Феськова // Мости та тунелі теория, дослідження, практика. – Днепропетровск: 2015. - №7. - С. 1-9.
2. Лазарев, И.В. Расчетно-теоретическое обоснование конструктивных предложений по восстановлению потребительских свойств пролетных строений железобетонных мостов [Текст] / И.В.Лазарев. - Хабаровск: ТГУ, 2019. - С. 219.
3. Мирошник, В. А. Проблемы аварийности мостовых конструкций [Текст] /В.А. Мирошник, С.В. Ключник, М.К. Журбенко. -УДУН и Т. - 2019. - 54-59с.
4. СП РК 3.03-112-2013 “Мосты и трубы”. - Алматы, 2015.
5. Материалы XLII Междунар. науч.-практ. конф. - КазАТК, 2018. – 4 т., 559 бет.

6. Кадисов, Г.М. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / Г.М.Кадисов. - М.: изд АСВ, 2007. - с. 272.
7. Огибалов, П.М. Изгиб, устойчивость и колебания пластинок [Текст] / П.М.Огибалов. – М.: Изд. МГУ, 1958. - С.389.
8. Тимошенко, С. Р. Пластины и оболочки [Текст] / С.Р.Тимошенко, С.Войовский-Кригер. – М.: Изд. Наука, Физ-мат лит., 1966. - с.635.
9. Кусаинов, А.А. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / А.А. Кусаинов, С.Х. Достанова, И.М. Полякова. -Алматы: 2016. - 265 с.
10. Достанова, С.Х. Математические и механические модели динамического состояния мостовых пролетов [Текст] / Сборник материалов МНПК Актуальные проблемы и перспективы развития строительства: инновации, модернизация и энергоэффективность // С.Х. Достанова, М.К. Наурызбаев, Р.Ж.Тулеушова. – Алматы: Изд. строитель и архитектор, 2017. – с. 199-203.
11. Достанова С.Х. Динамические модели мостовых пролетов [Текст] / Труды Международной научно-практической конференции «Современные тренды в архитектуре и строительстве: энергоэффективность, энергосбережение, BIM технологии, проблемы городской среды», 26-27 мая 2021 // С.Х.Достанова, З.Калпенова. – Алматы: - с. 148-153.

УДК 625.7, 624.21(691)

З.Т.Калпенова¹, С.Х. Достанова¹, С.Б.Шаяхметов¹, К.Е.Токпанова², Г.Т. Касимова³

¹Сатпаев университети, ²Евразия технология университети, ³Казакстан башкы архитектар курулуш академиясы
Алматы, Казакстан

¹Сатпаев Университет, ²Евразийский технологический университет, ³Казахская головная архитектурно-строительная академия
Алматы, Республика Казахстан

Z.T.Kalpenova¹, S.Kh. Dostanova¹, S.B. Shayakhmetov¹, K.E.Tokpanova², G.T. Kasimova³
¹Satpayev University, ²Eurasian Technological University, ³Kazakh Head Academy of Architecture and Civil Engineering

Almaty, Republic of Kazakhstan
zaure.kalpenova@mail.ru dostanova0109@mail.ru s.shayakhmetov@satbayev.university
kamila1907@mail.ru kasimova 63@mail.ru

ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НЕСУЩИХ ПРОДОЛЬНЫХ БАЛОК ТРАНСПОРТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ТРАНСПОРТ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫН ПАЙЫН ТИРЕГЕН УЗАТА БАЛКАЛАРЫНЫН ТУУРАСЫНАН ТЕРМЕЛИШИ

TRANSVERSE VIBRATIONS OF LOAD-BEARING LONGITUDINAL BEAMS OF TRANSPORT STRUCTURES

Транспорттук конструкциялардын коопсуздугу жана ишенимдүүлүгү алардын динамикалык мүнөздөмөлөрүнөн көз каранды, алар бышыктык жана күч ресурсуна таасир этет. Бул изилдөөлөрдүн максаты ар кандай интерфейстердеги транспорттук конструкциялардын жүк көтөрүүчү устундарынын динамикалык мүнөздөмөлөрүн таяныч байланыштары менен так аныктоо үчүн моделдерди жана алгоритмдерди иштеп чыгуу болуп саналат. Эсептөө схемасы жана математикалык моделдери иштелип чыккан.