



ИМАНАЛИЕВ Т.О.

КГУСТА им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

IMANALIEV T.O.

KSUCTA n.a. N.Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

Imanaliev.tariel@mail.ru

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

CALCULATION OF NATURAL FREQUENCIES AND VIBRATION MODES OF ENGINEERING STRUCTURES

Бул макалада бөлүнгөн балкаларды (көпүрө курулуштардын алдындагы чыналуу алдындагы көндөй плита түрүндө) эки таянычта шарнирдик бекитүүсү каралган, анын максаты өздүк термелүү жыштыгы менен термелүүнүн формаларын иликтөө болуп саналат. (б.а. төмөн карыш узундугу 15 метр үчүн). Инженердик курулуштарды талдоо, бетон менен кысылган аймакта бийиктигин эсептөө, кайчылаш-бөлүмдөрү, диаметри жана арматуранын санын эсептөө материалдарды тандоо берилген..

Өзөк сөздөр: инженердик курулмалар, көпүрө, бөлүнгөн устундар, көңдөй плита устундары, алдына чыңалучу устундар, бетондун баштапкы серпилгичтик модулу, бетондун жылышчактык коэффициенттери, өздүк жыштык, ийилүү.

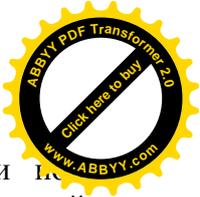
В данной статье мы рассматриваем разрезную балку (в виде преднапрягаемой пустотелой плиты перекрытия мостовых сооружений) на двух опорах с шарнирным креплением (шарнирно опертым), с целью исследования собственных частот и форм колебаний, также рассчитывается в зависимости от длины плиты (т.е. малой длины пролетного строения до 15 метров). Проведен обзор и анализ инженерных сооружений, также подбор материалов с расчетом высоты сжатой зоны бетона, сечений, диаметра и количества арматуры.

Ключевые слова: инженерные сооружения, мост, разрезная балка, пустотелые плиты перекрытия, преднапрягаемые балки, начальный модуль упругости бетона, коэффициент ползучести бетона, собственная частота, прогиб.

In this article, we consider a split beam (in the form of a prestressed hollow slab of bridge structures) on two supports with hinged fastening (hingedly supported), in order to study the natural frequencies and modes of oscillation, is also calculated depending on the length of the plate (i.e. small length of the span up to 15 meters). A review and analysis of engineering structures, as well as the selection of materials with the calculation of the height of the compressed zone of concrete, sections, diameter and number of reinforcement were carried out.

Key words: engineering structures, bridge, split beam, hollow core slabs, prestressed beams, initial modulus of elasticity of concrete, concrete creep coefficient, natural frequency, deflection.

Актуальность темы исследования. В связи ростом экономики идет рост грузоперевозок и рост большегрузных автомобилей, что влияет на надежность инженерных сооружений. Возникает необходимость в расчете собственных частот и



форм, нередко возникает при анализе динамического поведения конструкции и под действием переменных нагрузок. при проектировании требуется убедиться в малой вероятности возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс.

Существуют противорезонансные мероприятия, использующие различные механические устройства, которые принципиально меняют спектральные характеристики инженерных сооружений и поглощают энергию колебаний (например, демпферы, виброизоляторы). Известно, что резонансы наблюдаются на частотах, близких к частотам собственных колебаний конструкции при проектировании изделия имеется возможность оценить спектр собственных частот инженерных сооружений, то можно с большей долей вероятности прогнозировать риск возникновения резонансов в известном диапазоне частот внешних воздействий. Чтобы избежать или для значительного уменьшения вероятности появления резонансов необходимо, чтобы большая часть нижних собственных частот конструкции не лежала в диапазоне частот внешних воздействий, для оптимизации спектра собственных частот конструкции прежде всего необходимо оценить эти частоты на этапе проектирования инженерных сооружений.

Основные характеристики мостовых сооружений приведены ниже:

По статической схеме мосты делятся на балочные, распорные и комбинированные.

Малый (длиной до 25 м включительно) [1].

– на мосты малых пролетов: 9, 12, 15, 18, 24 м; автодорожные и город.

Плитные с пролетом шириной высотой вес

6 м	100см	30см	1,8т
9м	100см	45см	2,6т
12м	100см	60см	3,6т
15м	100см	60см	4,6т

Также применяются балочные пролетные строения (Т)-образной формы

Балочные пролетом шириной высотой толщ.стенки δ вес

12 м	210см	90см	16см	12т
15м	210см	90см	16см	15т
18м	210см	90см	16см	18т
24м	210см	120см	16см	24т

Средний (длиной более 25 и до 100 м включительно)

– мосты средних пролетов: 33, 42 м; в основном применяются балочные пролетные строения (Т)-образной формы

пролетом шириной высотой толщ.стенки δ вес

33 м	210см	150см	18см	33т
42 м	210см	210см	18см	42т

Большие (длиной более 100 м или с пролетом 60 м и более)

– мосты больших пролетов: 63, 84, 105, 124, 147 м.

пролетные строения (Т)-образной формы

пролетом шириной высотой толщ.стенки δ вес

63 м	250см	250см	20см	63т
------	-------	-------	------	-----

Общее дифференциальное уравнение свободных колебаний при отсутствии сопротивления рассмотрены ниже:

$$\ddot{y} + \kappa^2 y = 0 \quad (1)$$

решая это уравнение получаем закон движения

$$y = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (2)$$

при $A = C \cos \varphi$ и $B = C \sin \varphi$ то получаем

$$y = C \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

где C-амплитуда колебаний; φ -сдвиг фазы.

При разных частотах наблюдаются разные формы колебаний.



Частота свободных колебаний $\omega_k = \sqrt{\frac{E}{y_{cr}}}$ (4)[2]

y_{cr} - прогиб балки, как видно из формулы частоты свободных колебаний *к-зависит* от формы колебаний.

Окончательно запишем закон движения $y = C \sin \frac{k\pi z}{l}$ (5)

На значение деформаций ϵ , y_{cr} -прогиба балки, будут влиять не только нормальные Напряжения σ , возникающие в поперечных сечениях, но и множество других факторов

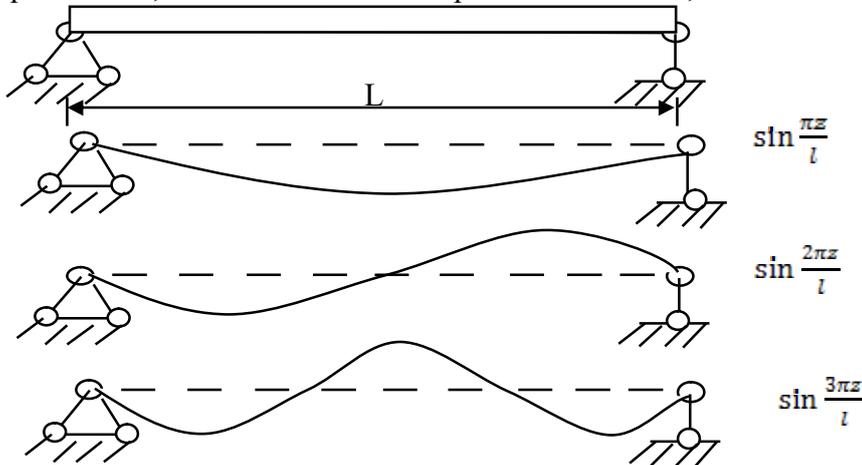


Рис 1.Формы колебаний балки

Начальный модуль упругости бетона зависит от класса бетона. Значение Начального модуля упругости можно определить по следующей таблице 1:

Таблица 1 - Начальные модули упругости бетона (согласно СП 52-101-2003)

Значение начального модуля упругости бетона при сжатии и растяжении										
Eb, Мпа*1000, при классе бетона по прочности на сжатие.										
B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
19	24	27.5	30	32.5	34.5	36	37	38	39	39.5

При кратковременном действии нагрузки деформации бетона почти прямо пропорциональны напряжениям, кроме того такие деформации остаются упругими. При расчетах на кратковременное действие нагрузки (до 1-2 часов) значение приведенного модуля упругости на участках без трещин определяется по формуле:

$E_{bn} = \varphi_{b1} E_b$ где $\varphi_{b1} = 0.85$ - для тяжелых, мелкозернистых и легких бетонов на плотном мелком заполнителе; $\varphi_{b1} = 0.7$ - для поризованных и легких бетонов на пористом мелком заполнителе. ползучестью бетона –это процесс нарастания пластических деформаций с течением времени при постоянных нормальных напряжениях, где

$\epsilon_{b1} = 0.6 R_{b,n} / E_{b1}$, E_{b1} - при кратковременном действии нагрузки принимается равным E_b , а при длительном действии нагрузки определяется по следующей формуле:

$$E_{b1} = E_b / (1 + \varphi_{b,cr}) \quad (6)$$

где $\varphi_{b,cr}$ - коэффициент ползучести бетона, определяемый в зависимости от класса бетона и влажности окружающей среды.

- Значение коэффициента ползучести определяется по следующей таблице (2):



Таблица 2 - Коэффициенты ползучести бетона

Отн. влажность воздуха окол. среды, %	Значение коэффициента ползучести φ_{b1} при классе бетона на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Выше 75	2.8	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
40-75	3.9	3.4	2.8	2.5	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4
Ниже 40	5.6	4.8	4.0	3.6	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.0

Примечание: Относительную влажность воздуха окружающей среды принимают по СНиП 23-01 как среднюю относительную влажность наиболее теплого месяца для района строит.

а значения деформаций ε_{b0} и ε_{b2} при необходимости (если нормальные напряжения больше $0.6R_b$) определяются по таблице 3: При длительном действии нагрузки того же значения, деформации начинают увеличиваться до некоторого предела, $\sigma = R_b$. После снятия нагрузки пластические деформации $\varepsilon_{пл}$ останутся, часто расчетами на прочность допускается наличие в сжатой области пластического шарнира, при котором изменяется эпюра напряжений и соответственно увеличивается значение деформаций (Табл.3):

Таблица 3 – Относительные деформации бетона (согласно СП 52-101.2003)

Относительная влажность воздуха окружающей среды, %	Относительная деформации бетона при продолжительном действии нагрузки					
	При сжатии			При растяжении		
	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{b2} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{b1} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{bt2} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{bt1,red} \cdot 10^3$
Выше 75	3.0	4.2	2.4	0.21	0.27	0.19
40-75	3.4	4.8	2.8	0.24	0.31	0.22
Ниже 40	4.0	5.6	3.4	0.28	0.36	0.26

Также на модуль упругости влияют t (темп) окружающей среды и интенсивность радиоактивного излучения. Значение начальных модулей упругости, приведенных в таблице 1, соответствует температуре окружающей среды $+20 \pm 5^\circ\text{C}$ и нормальному радиационному фону, пределах ± 20 от указанного значения влияние температуры на модуль упругости можно не учитывать. А при больших изменениях температуры следует учитывать еще и температурные деформации бетона. В целом уменьшение температуры приводит к увеличению модуля упругости, но и к повышению хрупкости материала, а увеличение температуры - к уменьшению модуля упругости и к увеличению пластичности материала.

Имеется железобетонная прямоугольная плита перекрытия - шарнирно опертая балка размерами $h = 30$ см, $b = 100$ см; h_0 (диаметр отверстия) = 22 см; пролетом $l = 5,6$ м; бетон класса B25 (начальный модуль упругости $E_b = 300000$ гс/см²; R_{bser} (R_{bn})=112 кгс/см² $R_b = 85$ кгс/см²);

Растянутая арматура класса A400 ($E_s = 2 \cdot 10^6$ кгс/см²) $R_s = 4350$ кгс/см²

-Сначала выясним, какими будут параметры сечения при расчетном модуле упругости E_{b1} . из таблицы 2, при классе бетона B25 и при влажности 40-75%:

Из формулы (6) $E_{b1} = 85710$ кгс/см²



- Тогда высоту сжатой части приведенного сечения посередине балки можно найти, составив уравнение: $M - R_b \cdot b \cdot x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = 0$ (7)

Решение этого уравнения для рассматриваемой плиты занесем в таблицу 4.

- Определим значение максимальных нормальных напряжений.

Расчетная постоянная нагрузка на 1 м² плиты состоит из веса плиты и веса конструктивных слоев проезжей части, $q = \sum \gamma_i \cdot \delta_i \cdot \gamma$ (8)

где γ_i - коэффициенты надежности, δ_i - толщина (каждого слоя), м;

γ - его удельный вес, кН /м² .

- Собственный вес плиты $q_1 = 8.25$ кН/м

-Выравнивающий слой $q_2 = 1.25$ кН/м

-Оклеенная гидроизоляция $q_3 = 0.23$ кН/м

-Защитный слой бетона $q_4 = 1.25$ кН/м

-Асфальтобетонное покрытие $q_5 = 2.42$ кН/м

-общая на 1 м² плиты $q_{\text{пост}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 13,4$ кН/м

Временная нагрузка должна рассматриваться от нагрузки полного груза пополам.

Например 40 тонная авто с шириною 2метра наступает на две с шириною по 1метру балки симметрично продольной оси авто, т.е. 20тонн на $q_{\text{вп}} = 33,3$ кН/м.

- Итоговая $q_l = q_{\text{пост}} + q_{\text{вп}} = 46.7$ кН/м.

Увеличение деформаций следует учитывать только при действии постоянных и длительных нагрузок, то значение момента от таких нагрузок составит:

$$\sigma = M/W = ql^2/8W \quad (9)$$

$$\sigma = 54.46 \text{ кгс/см}^2 < 0.6R_b, n = 0.6 \cdot 112 = 67.2 \text{ кгс/см}^2$$

Это означает, что для дальнейших расчетов плиты на действие длительных нагрузок можно использовать полученное значение модуля упругости бетона без каких-либо дополнительных поправок.

-Расчитаем площадь сечения и количество арматуры и занесем в таблицу 4.

$$A_s = \frac{R_b \cdot b \cdot h_0 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot a_m})}{R_s} \quad (10)$$

Расчетный момент инерции составит Тогда при такой высоте сжатой зоны сечения приведенный момент сопротивления и инерции составит и занесем в таблицу 4:

$$W = \frac{bH^3 - 2bh^3}{6H} \quad (11)$$

$$J_p = W \cdot x \quad (12)$$

-Определим значение прогиба при действии постоянных и длительных нагрузок составит и занесем в таблицу 4:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{E_b J_p} \quad (13)$$

$$y_{\text{ст}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{1}{r} \cdot l^2 \quad (14)$$

-Определим частоту свободных колебаний и занесем в таблицу 4. $\omega_k = \sqrt{\frac{g}{y_{\text{ст}}}}$ (15)

Таблица 4 - Результаты расчетов пустотелых плит(пролетных строений)

L- длина	Фарм - Площ	Диам етр арм	n- Кол	X- выс сжат.	У _{ст} -см прогиб	У _{чис} -см прогиб	Wсм ³ Iсм ⁴	ω1 ωл1	ω2 ωл2	ω3 ωл3
5,7м	19,63	25	4	7,6	2,5	1,52	11095	18,85	70,22	155,9



							84327			
8,7м	32,17	25	6	12,495	3,8	2,9	24970 311900	15,54	50,46	105,8
11,7м	48,25	32	6	18,74	5,2	4,5	38720 628300	13,27	38,98	80,22
14,7м	61,07	36	6	23,7	7,3	6,6	55580 1085000	11,36	30,74	61,66

1. увеличение высоты сжатой зоны дает уменьшение модуля упругости бетона, а значение нормальных напряжений, как показал расчет, не превышает $0.6R_{b,n}$.
2. Из расчетов видно, что прогибы плит при ручном счете в диапазоне от 86-98% от допустимых пределов.
3. При численном расчете с помощью программы Лира САПР 2018 результаты прогибов меньше на 30% меньше чем при ручном счете.
4. Собственные частоты колебаний соответствуют колеблются от 11,36 до 18,85 герц в зависимости от длины балки при 1 форме колебаний, при 2 форме от 30,74 до 70,22 герц, при 3 форме от 61,66 до 155,9 герц эти частоты надо учитывать при рассмотрении вынужденных частот.

Список литературы

1. Назаренко Б.П. Железобетонные мосты [Текст] / Б.П. Назаренко. – М.: 1964. – 428 с.
2. Кисилев В.А. Динамика и устойчивость сооружений [Текст] / В.А. Кисилев. - М.: 1980. - 616с.
3. Заикин В.И. Конструирование железобетонных балочных мостов [Текст]: учебное пособие / В.И. Заикин. – М.: 2008. – 134 с.
4. Барченков А.Г. и др. Динамический расчет автодорожных мостов [Текст] А.Г. Барченков. и др. – М.: Транспорт, 1976. - 199с.
5. Джаманкулов К.М. Применение метода однородный полей напряжений для прочностного расчета железобетонных перемычек и простенков, работающих на сдвиг. [Текст] / К.М.Джаманкулов, У.Б.Мамытов, Абдыжапару.А., Тилек у. Н. / Вестник КГУСТА. -2018. - №2 (60). – с.90-94.
6. Абдужабаров А.Х. Расчет и конструктивные решения сейсмостойкости подземных пешеходных переходов и подземных коммуникаций [Текст] / А.Х.Абдужабаров, Н.М.Хасанов, А.О.Якубов // Вестник КГУСТА. -2017. -№3(57). – с.127-131.