

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 13 (1988)

Artikel: Rohrleitungshängebrücken

Autor: Fridkin, W.M. / Krawzow, M.M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-13104>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Rohrleitungshängebrücken

Suspension Pipeline Bridges

Ponts suspendus pour conduites

W. M. FRIDKIN

Kand, d.t. Wiss.
Melnikow-Inst.
Moskau, UdSSR

Wladimir Fridkin, geboren 1938. Studium Institut für Verkehrswesen in Moskau. Spezialisierung als Ingenieur für Brückenbau. Tätigkeit bei der Untersuchung der Rechenverfahren weitgespannter Metallkonstruktionen.

M. M. KRAWZOW

Ingenieur
Melnikow-Inst.
Moskau, UdSSR

Michail Krawzow, geboren 1935. Studium Institut für Verkehrswesen in Moskau. Spezialisierung als Ingenieur für Brückenbau. Tätigkeit bei der Projektierung und Untersuchung von Metallkonstruktionen, insbesondere von Brücken.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden Wechselbeziehungen zwischen der Konstruktionsform und dynamischen Parametern – Perioden und Formen freier Schwingungen – von Rohrleitungshängebrücken mit einer Dreieckgitteraufhängung und Windgurten bei Stützweiten von 660 m bis 950 m bei veränderlicher Seilfachwerkform und Ausführung des Verbandes zwischen Windgurten und dem Versteifungsträger gegeben.

SUMMARY

In the report the interrelation between the structural form and dynamic response – periods and modes of natural vibration – of suspension pipeline bridges with a triangular lattice of suspenders and wind chords for spans from 660 m to 950 m while varying the lattice form and the type of bracing between the wind chords and the stiffening truss is described.

RÉSUMÉ

L'article étudie les relations entre la forme structurale et le comportement dynamique – période et mode de vibration naturelle – de ponts suspendus pour conduites. Ces ponts d'une portée de 660 m à 950 m ont des suspentes en forme de treillis triangulaire et des membrures de contreventement dont les formes, le type et le comportement varient.



1. EINLEITUNG

Es wurden konstruktive Formen einfeldriger Rohrleitungshängebrücken (1)-(4) untersucht, die die Weiterentwicklung eines vorgespannten Systems mit geneigten Hängern sind. Das System (1), bei dem geneigte Hänger unmittelbar am gitterförmigen Versteifungsträger befestigt sind, wurde in der UDSSR für die grösseren Brückenspannweiten über den Amudarja (660m) und den Dnjepr (720m) erfolgreich verwendet.

Es wurden rechnerisch die Perioden und Formen freier Schwingungen ebener und räumlicher einfeldriger Brückensysteme bestimmt, wobei die Verbandausführung zwischen Windgurten und dem Versteifungsträger berücksichtigt wurde. Für bestehende Brücken sind theoretische Periodenwerte geringer freier Schwingungen mit Versuchsergebnissen dieser Bauwerke verglichen.

Die Untersuchungsergebnisse erlaubten, Reaktionen der Konstruktionen auf äussere dynamische Einwirkungen wie Wind, Erdbeben und andere Faktoren genau zu bewerten und das Bauprobblem aerodynamisch stabiler, weitgespannter Rohrleitungshängebrücken mit rationellen Parametern für die dynamischen Eigenschaften zu lösen.

2. THEORETISCHE VORAUSSETZUNGEN DER UNTERSUCHUNG

Die untersuchten Hängesysteme gehören zur Klasse weitgespannter Systeme einer erhöhten Steifigkeit. Die Besonderheit der theoretischen Analyse besteht in der Berücksichtigung der Längskräfte, die in Stäben wirken.

Die Perioden und Formen freier Schwingungen wurden an diskreten Stabmodellen theoretisch untersucht. Die Perioden und Formen wurden mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente auf der Grundlage standardisierter Methoden dynamischer Berechnung für linear-deformierte Stabsysteme bestimmt. Die Besonderheit dynamischer Berechnungen besteht in der Linearisierung geringer freier Schwingungen unter Berücksichtigung, im dynamischen Gleichgewicht, der Drehwinkel der Sehnen zweigelenkiger Stäbe, die die Seilelemente einer Hängebrücke modellieren.

Für die ER-Deformationsberechnung bei der Bestimmung der Nachgiebigkeitsmatrixelemente wurde die Methode zusätzlicher Steifigkeitsparameter verwendet (5). Diese Verwendung kam auf die Einführung in die Bezugsdaten zusätzlicher Verbände hinaus - bei schwimmenden Einspannungen in allen Kabel- und Windgurtsknoten - und auf die Bestimmung für Stäbe fiktiver Biegesteifigkeiten.

3. DIE BESONDERHEITEN DER KONSTRUKTIONSSCHEMAS UNTERSUCHTER HÄNGEBRÜCKEN

Die geneigten Hänger werden in der Konstruktion der 720m Rohrleitungshängebrücke nach dem Schema (1) (Abb. 1), im weiteren gekennzeichnet als C1, unmittelbar am Aussteifungsbinder befestigt. Die Hängebrücke nach dem Schema C2 hat vorgespannte Seiluntergurte, die Befestigungsknoten geneigter Hänger an Quertraversen verbinden, auf welchen die Rohrleitungen (oder der Versteifungsträger) lagern. Dieses System (2) sichert eine gute Montierbarkeit der Rohre und des Versteifungsträgers durch Längsverschieben und führt zu einer 10%-Stahleinsparung gegenüber dem Schema C1.

Die charakteristische Eigenschaft der konstruktiven Formen C1 und C2 besteht in der längs-unbeweglichen Befestigung des zweigurtigen vorgespannten Windsystems gegenüber dem Versteifungsträger oder dem biegsamen Untergurt im Brückenmittelfeld.

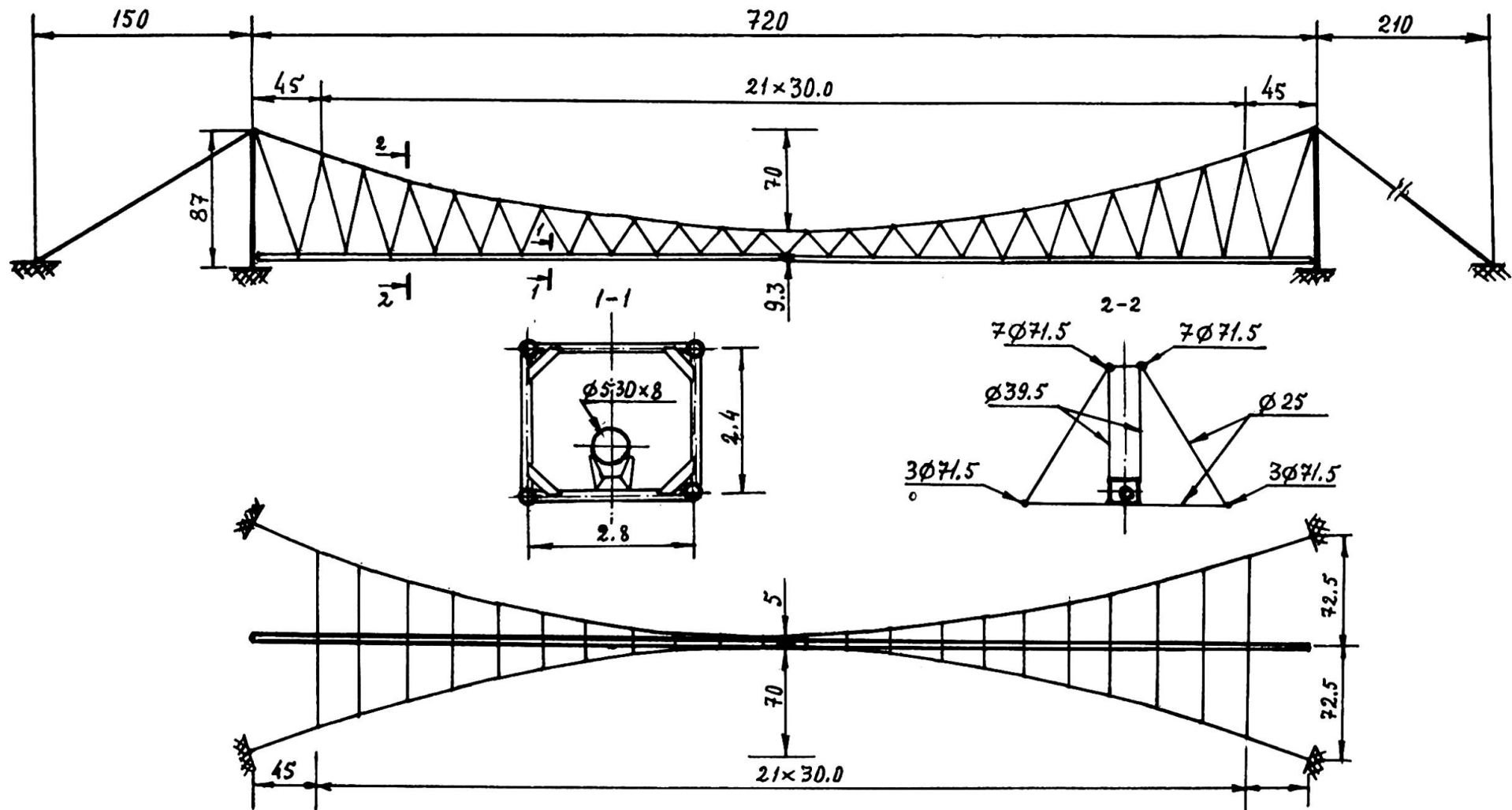


Abb. I. Rohrleitungshängebrücke mit einer Stützweite von 720 m (Schema CI)



Diese Befestigung vermindert die Durchbiegungen einer Hängebrücke infolge der Vertikalbelastungen und beeinflusst spektrale Kennwerte freier Schwingungen merklich, indem das Spektrum zur Seite höherer Frequenzen verschoben wird (3). Das Schema C1 wurde bei Stützweiten von 660 m, 720 m und 950 m, das Schema C2 - bei Stützweite von 950 m untersucht.

Zur Erhöhung der Torsionssteifigkeit wurde eine Konstruktion mit entlang der Brückenlänge abwechselnder Spannseilbefestigung des Windsystems an Ober- und Untergurten des Versteifungsträger vorgeschlagen (4). Diese Lösung wurde bei Varianten des Schemas CI - bei CI.I - verwendet.

Bei der Windeinwirkung quer zur Brücke wird die Innenkräftesymmetrie im Windverband gestört, und bei der ungenügenden Vorspannung verringert sich auch die Längssteifigkeit des Windgurtes, der mit seiner Wölbung dem Windstrom gegenüber liegt merklich. Eine Zahlenanalyse des Schemas CI mit der Stützweite 950 m hat gezeigt, dass die obenerwähnte Erscheinung vernachlässigt werden kann, wenn das rechnerische Niveau der zu kontrollierenden Vorspannungskräfte im Windverband unter Berücksichtigung einer ungünstigen Temperaturwirkung und einer Spannungsrelaxation angenommen wird.

Der Tragsicherheitsnachweis der Windgurte führt kaum zu einer Erhöhung der Seilmassen, da die Grenzzustandmethode erlaubt, für Seilelemente der Windsysteme von Rohrleitungshängebrücken erhöhte rechnerische Grenzwerte anzunehmen (6).

Die Unterschiede bei den Längen und Neigungswinkeln der Hauptkabelabspannungen und die unsymmetrische Anordnung der Ankerfundamente des Windsystems, welche durch Uferprofil und geologische Besonderheiten der Gründung bestimmt wird, stören die Formsymmetrie freier Schwingungen und geben ihnen einen räumlichen Charakter, der zur Entwicklung aerodynamischer Instabilität beiträgt. In vielen Fällen kann aber eine günstige Formverteilung freier Schwingungen erreicht werden, und zwar in Vertikal- und Biege-torsionsschwingungen im Grundriss und unter komplizierten Bedingungen der Windsystemverankerung durch das Verschieben des Befestigungsknotens der Windgurte am Versteifungsträger vom Brückenmittelfeld her zur Seite eines der Ufer, unter Ausnutzung gekürzter Ablenktraversen (7).

4. DIE MITWIRKUNG VON TRAGKONSTRUKTIONEN UND ROHRLEITUNGEN

Die Wahl rechnerischer Modelle von Rohrleitungshängebrücken berücksichtigte für die Analyse deren freien Schwingungen die Rohrsteifigkeit und wirklichen Verhältnisse der Befestigung der Rohrleitungen im Brückentragwerk sowie das Kompensationsschema der Temperaturverformungen, besonders bei Röhren grossen Durchmessers. Im Fall geringer Schwingungen bei Rohrleitungen, die mit einem flüssigen Produkt gefüllt sind, kann die theoretisch bewegliche Rohrauflagerung nach der Versteifungsträgerlänge und in Kompensatorenbereichen nicht immer realisiert werden. Diese Erscheinung verlangt eine genaue Analyse des wirklichen "dynamischen" Brückensystems mit der Notwendigkeit das rechnerische Modell zu präzisieren. Die Bewertung des Deformationsmoduls der Kabel und Gurte eines Windsystems bei geringen Bauwerksschwingungen, die zum Beispiel während der Versuche erregt werden, ist auch zu analysieren.

Das Verständnis für die Eigenheiten des Verbandverhaltens bei Schwingungen des Systems "Hängebrücken - Rohrleitungen" erlaubt, dissipative Eigenschaften genau zu berücksichtigen und die Effektivität vorgeschlagener Dämpfung der Schwingungen zu bewerten. Nach Versuchsergebnissen mit der 720 m-Brücke CI lagen die logarithmischen Dekremente für beobachtete Schwingungsformen bei der Amplituden von $1/2500$ der Brückenstützweite im Intervall von 0.045 - 0.065 (8).

5. DIE ANALYSE FREIER SCHWINGUNGEN BEI ROHRLEITUNGSHAENGEBRUECKEN

Die Ergebnisse theoretischer Berechnungen und die Versuchsergebnisse für Brücken der Schemas CI und C2 mit Stützweiten von 660 m bis 950 m sind in der Tabelle I aufgeführt, wobei Symmetriearten der Schwingungsformen - bis zu 6 Formen - angegeben werden.

Die Berechnungen berücksichtigen bei der Bauwerkssymmetrie bis zu 400 Freiheitsgrade räumlicher Modelle. Die Massen wurden bei den mit dem Produkt gefüllten Rohrleitungen über die ganze Brückenstützweite bestimmt.

Nur das System CI - 660 m wurde nach ebenem Stabsystemschemas - dem vertikalen und horizontalen - berechnet. Der Vergleich der Berechnungs- und Versuchsergebnisse zeigt Periodenwerte vertikaler Schwingungen (beim Reihenwechseln der Formsymmetrie) und einen etwas grösseren Fehler für Biege-Torsionsschwingungen im Grundriss, was durch eine Näherungsberechnung des vollen Brückenschubes im Verhalten des zweiquertigen Windsystems erklärt werden kann.

Im System CI - 720 m, berechnet mit einem räumlichen Modell, ist eine gute Uebereinstimmung zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen zu einigen Hauptformen vertikaler und biege-torsionsfreier Schwingungen erreicht.

Die untersuchten Systeme und deren Spannweiten	Arten freier Schwingungen	Schwingungsperioden und Formen: symmetrische und <u>schrägsymmetrische</u>					
		I	2	3	4	5	6
<u>CI - 660m</u> Berechnung Versuche	vertikale biege-torsion vertikale biege-torsion	3.38 4.83 3.36 5.5	<u>3.27</u> <u>4.01</u> <u>3.23</u> <u>3.8</u>	3.64			
<u>CI - 720m</u> Berechnung: beim Fehlen des Windverbandes	vertikale biege-torsion	4.49 15.38	<u>3.55</u> <u>9.98</u>	2.36 7.32	<u>1.78</u> <u>4.80</u>	1.29 4.33	<u>1.13</u> <u>3.74</u>
beim Fehlen des Verbandes im Mittel- feld; vollmontierte Konstruktion (Versuche)	vertikale biege-torsion vertikale biege-torsion vertikale biege-torsion	4.38 6.12 3.71 6.10 3.41 6.20	<u>3.69</u> <u>5.89</u> <u>3.69</u> <u>4.13</u> <u>3.34</u>	2.44 4.06 2.44 4.03 3.92	<u>2.16</u> <u>3.68</u> <u>1.82</u> <u>3.17</u> <u>3.10</u>	1.43 3.16 1.43 <u>3.00</u>	<u>1.31</u> <u>3.11</u> <u>1.15</u> <u>2.97</u> 2.92
<u>CI - 950 m</u> Berechnung	vertikale biege-torsion	<u>5.87</u> <u>7.95</u>	<u>5.28</u> <u>5.96</u>	<u>3.95</u> <u>5.28</u>	<u>3.11</u> <u>4.27</u>	2.38 3.85	<u>2.00</u> <u>3.83</u>
<u>C2 - 950 m</u> Berechnung	vertikale biege-torsion	4.87 7.31	<u>4.29</u> <u>5.04</u>	3.38 4.95	<u>2.62</u> <u>4.52</u>	2.30 4.03	<u>2.15</u> <u>3.99</u>

Tabelle I Die Perioden und Formen freier Schwingungen der Hängebrücke



Eine weitere Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit kann nur beim Vorhandensein präzisierter Deformationsmodulwerte für konkrete Seilpartien erreicht werden. Man kann grosse (bis 15 Sekunden) Periodenwerte der Biege- Torsionsschwingungen im Montagestadium beim Fehlen eines Windsystems feststellen. Bei diesen Perioden sind Hängebrücken zur Pulsationskomponente der Querwindeinwirkungen sehr empfindlich, wobei letztere nach empirischen Spektren (von Dawenport oder Van der Hoven (9)) bestimmt wird.

Das System C2 ist frei von diesem Mangel. Die Windgurte in diesem System werden vor dem Verschieben des Versteifungsträgers gespannt und die Perioden der Biege- Torsionsschwingungen übersteigen die 8 Sekunden nicht, sogar für die 950 m-Stützweite.

Die Längsbefestigung der Windgurte am Versteifungsträger (C1) oder unteren Seilgurte (C2) trägt zur Periodenverringerung der Vertikal- und Biege-Torsionsschwingungen nach schrägsymmetrischen Formen bei, wobei die Erhöhung der Bauwerksstabilität zum Biege-Torsionsflattern gesichert wird. Der Vergleich des durch die Bau- und Betriebserfahrung bestätigten Systems C1 und des neuen Systems C2 bei der Stützweite von 950 m zeigt im ganzen die Konkurrenzfähigkeit dieses neuen Systems. Man muss auch auf den Vorteil des modifizierten Systems C1.I gegenüber C1 hinweisen bezüglich Torsionsformen freier Schwingungen. Bei der 950 m-Brücke C1.I wurden Perioden freier Torsionsschwingungen in Formen, die mit der Biegung des Versteifungsträgers im Grundriss nicht verbunden sind, geringer: symmetrische - von 1.75 s nach 0.79 s, schrägsymmetrische - von 1.71 s nach 0.76 s, was auch zur Erhöhung aerodynamischer Stabilität beiträgt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die angeführten Angaben zeigen, dass dynamische Kennwerte geringer freier Schwingungen weitgespannter Rohrleitungshängebrücken in grossem Masse von konstruktiven Lösungen abhängen, und dass sie sich mit der Länge der Brückenstützweite gesetzmässig ändern. Sie können mit vorhandenen Rechenmitteln berechnet werden, wobei das räumliche Systemverhalten, seine Vorspannung und die geometrische Nichtlinearität der Verformungsgesetze zu berücksichtigen sind.

LITERATURVERZEICHNIS

1. A. s. SSSR N 391218. Büll. "Otkritija. isobretenija" N 31/73.
2. A. s. SSSR N 1081263. Büll. "Otkritija, isobretenija" N II/84.
3. SLONIM E.JA. Wlijanie prednaprjashennoj 2-chpojasnoj horisontalnoj fermi na usilija i deformazii wertikalnoj reschettschatoj wantowoj fermi. R.s.ZINIS, ser. 7,bip. 4(45), s. 15-19.
4. A. s. SSSR N 1048024. Büll. "Otkritija, isobretenija" N 38/83.
5. FRIDKIN W.M. O postroenii algoritmow rastscheta wisjatschich i wantowich kombinirowannich konstrukzij s utschetom geometritscheskoj nelineiosti. Trudi ZNIIPSK, M., 1980, s.114-122.
6. KRAWZOW M.M., FRIDKIN W.M. i.dr. Rekomendazii po rastschetu protschnosti stalnich kanatow, primenjaemich w stroitelnych metallokonstrukzijach. ZNIIPSK, M., 1982, s.24.
7. A. s. SSSR N 1096327. Büll. "Otkritija, isobretenija" N 21/84.
8. SCHLOWSKIJ E.I. i dr; Naturnie ispitanija wisjatschego truboprowodnogo mosta tscheres Dnjepr proletom 720m. Trudi ZNIIPSK, 1980, s.81-88.
9. KAZAKEWITSCH M.I. Aerodinamika mostow. "Transport", M., 1987, s. 17-24.