Проектирование и строительство дорог и мостовDOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-2-13>

УДК 624.04 (075.8)

Ю.В. Тряпицын, Д.А. Тряпкин

ТРЯПИЦЫН ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – к.т.н., доцент, SPIN: 8890-1721,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0093-6557>, tryapitsinyv@mail.ru

ТРЯПКИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – старший преподаватель

(автор, ответственный за переписку), SPIN: 8893-7828,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6484-741X>, Dmitry.tryapkin@yandex.ru*Дальневосточный государственный университет путей сообщения*

Хабаровск, Россия

Совершенствование расчета комбинированных переправ

Аннотация: В зимний период на севере Дальнего Востока России открываются ледовые переправы – это единственный способ связи отдаленных населенных пунктов с Большой землей. Наиболее надежным способом увеличения несущей способности для пропуска грузового и пассажирского транспорта через водоемы служит вмораживание в ледовый покров наплавных мостов шарнирной схемы. На данный момент нет методики расчета подобных переправ, поэтому в настоящей работе мы предлагаем усовершенствованный расчет ледовых переправ, усиленных металлическими понтонными конструкциями из двухопорных паромов шарнирной схемы. Представлен расчет таких переправ, графики расчета допустимых осевых нагрузок из условия прочности и жесткости и построены графики расчета прогибов ледового покрова при осевой нагрузке. Произведен расчет прогибов ледовой переправы с усилением и без. Для подтверждения выбранной расчетной схемы был проведен эксперимент, который показал правильность выбранной расчетной схемы и метод расчета.

Ключевые слова: ледовая переправа, прогиб, осевая нагрузка, расчетная схема, наплавной мост, несущая способность, двухопорный паром, шарнирная схема

Введение

На севере Дальнего Востока практически нет капитальных мостов, здесь зачастую плохо развита дорожная сеть. В зимний период, чтобы добраться до отдаленных населенных пунктов, где нужно пересекать водоемы, но срок навигации ограничен, для доставки грузов и пассажиров открываются ледовые переправы – они остаются единственным способом связи с Большой землей. Чтобы пропускать тяжелые автомобили, нужен большой и прочный лед с минимальным количеством трещин. Для того чтобы обеспечить пропуск пассажирского и грузового транспорта, переправы усиливают [6]. Обычно усиление происходит за счет намораживания дополнительных слоев льда либо вмораживанием деревянных настилов, что незначительно увеличивает несущую способность ледовой переправы и ее регулярную эксплуатацию [5]. Наиболее надежным способом увеличения несущей способности для пропуска грузового и пассажирского транспорта через водоемы служит вмораживание в ледовый покров наплавного моста шарнирной схемы. Такие переправы малочувствительны к климатическим условиям и гидрологии водного потока, кроме того, для них характерны незначительные крены и осадки.

На данный момент нет методики расчета подобных переправ, поэтому цель работы – представить методику, которая совершенствует расчет ледовых переправ, усиленных металлическими понтонными конструкциями из двухопорных паромов шарнирной схемы (комбинированная переправа).

© Тряпицын Ю.В., Тряпкин Д.А., 2021

Статья: поступила: 19.03.2021; рецензия: 07.04.2021; финансирование: Дальневосточный государственный университет путей сообщения.

Расчет

За расчетную схему мы приняли конструкцию в виде жесткого штампа на плите, лежащей на упругом основании [3]. Плавающая опора разбивается на несколько частей так, чтобы сетка разбиения состояла из квадратных ячеек (рис. 1). В центре ячеек разбиения: прикладываются усилия от подвижной нагрузки в виде сосредоточенных сил; нагрузку, действующую по площади каждой ячейки, нужно представить, как распределенную по площади круга [1].

Рис. 1. Сетка разбиения двухопорного паромы.
Здесь и далее рисунки авторов

Затем определяются изгибающие моменты и прогибы. Для определения изгибающего момента применяется формула

$$G(0) = -\frac{ql^2}{4}\pi\alpha(1 + \alpha)f_0'(\alpha),$$

где q – равномерно распределенная нагрузка по кругу приведенного радиуса α ; $\alpha = \frac{r_{\text{экв}}}{l}$ – радиус эквивалентного круга; $r_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ – приведенный радиус эквивалентного круга.

Радиальный и тангенциальный моменты определяются по формулам

$$G_r = G(0) - \frac{1}{4}\sum_{i=1}^n P \cdot g_0^{[M]}(\xi_k); \quad G_t = G(0) - \frac{1}{4}\sum_{i=1}^n P \cdot \tilde{g}_0^{[M]}(\xi_k),$$

где P – сосредоточенная сила; $\xi_k = \frac{r_k}{l}$ – приведенное расстояние между точками приложения силы P , где определяется изгибающий момент; r_k – расстояние между этими точками; l – характеристика гибкости ледового поля; $f_0'(\alpha)$, $g_0^{[M]}(\xi_k)$, $\tilde{g}_0^{[M]}(\xi_k)$ – вспомогательные табличные функции для вычисления изгибающих моментов плиты, лежащей на винклеровском основании [2].

Допускаемый изгибающий момент вычисляется через нормативное сопротивление льда изгибу (R_f) и толщину льда (h) по формуле для единичной ширины ледового поля [4]

$$[M] = \frac{R_f \cdot h^2}{6 \cdot 2,5}.$$

Прогибы от действия системы сосредоточенных сил определяются по формуле

$$w = \frac{l^2}{4D}\sum_{i=1}^n P \cdot f_0(\xi_k), \tag{1}$$

где D – цилиндрическая жесткость ледового поля; $f_0(\xi_k)$ – вспомогательная табличная функция для вычисления изгибающих моментов плиты, лежащей на винклеровском основании.

Допускаемый прогиб берется $[f] = \frac{h}{4}$ из теории изгиба плит.

Дальнейший расчет ведется по тангенциальному моменту. За расчетную точку принимается середина меньшей стороны понтона.

Результат расчета прогибов ледового покрова по формуле (1) при различной толщине льда без конструкций усиления (рис. 2) приведен в табл. 1.

Рис. 2. Расчетная точка «у» под испытательной нагрузкой

Таблица 1

Расчет прогибов без конструкций усиления

Толщина льда h , см	Цилиндрическая жесткость D , кгс/см ²	Характеристика гибкости l , см	$\sum f_0(\xi) \cdot P$, кг	Прогиб w , см
35	$2356 \cdot 10^5$	696,7	11863	6,1
55	$9393 \cdot 10^5$	984,5	13384	3,4
83	$31417 \cdot 10^5$	1331,3	14382	2,0

Результат расчета прогибов ледового покрова по формуле (1) при различной толщине льда с усилением (рис. 3) приведен в табл. 2.

Рис. 3. Схема распределения давления подвижной нагрузки для определения прогибов ледового покрова с усилением

Таблица 2

Расчет прогибов с усилением

Толщина льда h , см	Цилиндрическая жесткость D , кгс/см ²	Характеристика гибкости l , см	$\sum f_0(\xi) \cdot P$, кг	Прогиб w , см
35	$2356 \cdot 10^5$	696,7	7619,	3,9
55	$9393 \cdot 10^5$	984,5	10606	2,7
83	$31417 \cdot 10^5$	1331,3	12797	1,8

Из условия прочности льда произведен расчет грузоподъемности ледовой переправы с усилением по месяцам в зависимости от температуры и толщины льда и построен график (рис. 4).

Рис. 4. График грузоподъемности ледовой переправы с усилением металлическими понтонными конструкциями по месяцам

Построены графики расчета прогибов ледового покрова при осевой нагрузке и графики расчета допустимых осевых нагрузок по схеме Н14 (рис. 5 и рис. 7) и А14 (рис. 6 и рис. 8) на усиленную ледовую переправу по прочности и жесткости ледового покрова.

Рис. 5. Прогибы ледового покрова по схеме Н14

Рис. 6. Прогибы ледового покрова по схеме А14

Рис. 7. Допустимая осевая нагрузка по схеме Н14

Рис. 8. Допустимая осевая нагрузка по схеме А14

Эксперимент

Эксперимент в виде статических испытаний был проведен авторами данной статьи на действующей ледовой переправе, связывающей КНР и Россию через р. Уссури (с. Покровка Бикинского района Хабаровского края). Толщина ледового покрова во время эксперимента составляла 83 см. Пролетное строение загружалось грузовым автомобилем весом брутто 33 тс (рис. 9), после чего снималась осадка понтона. При испытании использовались такие измерительные приборы, как система «ФАЗА» и прогибомер 6-ПАО. Датчики размещались как показано на рис. 10.

Рис. 9. Загрузка пролетного строения грузовым автомобилем

**Рис. 10. Схема размещения измерительных приборов:
а – поперек пролетного строения, б – вдоль пролетного строения**

При испытании прогиб комбинированной переправы составил 1,6 см.

Заключение

Итак, мы разработали усовершенствованный расчет комбинированных переправ.

Теоретические и экспериментальные значения показали высокую сходимость результатов, что говорит о правильном выборе расчетной схемы комбинированной переправы как жесткого штампа на плите, лежащей на упругом основании.

Анализ приведенных расчетов показывает, что усиление ледовой переправы металлическими понтонными конструкциями повышает ее грузоподъемность в 1,9–8 раз, при толщине ледового покрова от 85 см, а жесткость – в 1,55 и более раз при толщине от 35 см, с увеличением грузоподъемности по мере уменьшения толщины ледового покрова.

В дальнейшем планируется провести оценку влияния динамики на безопасность движения по сооружениям данного типа.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычковский Н.Н., Гурьянов Ю.А. Ледовые строительные площадки, дороги и переправы. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. 180 с.
2. Корнев Б.Г., Черниговская Е.И. Расчет плит на упругом основании: пособие для проектировщиков / ЦНИИСК. М., 1962. 356 с.
3. Малофеев А.Г., Якименко О.В. Несущая способность ледовых переправ // Вестник Сибирской гос. автомобильно-дорожной академии. 2009. № 1(11). С. 32–36.
4. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М., 2012.

5. Федотова Е.А., Киселев П.В., Понятов А.Г. Методы усиления ледяного покрова водных переходов временных зимних дорог // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы междунар. науч.-техн. конф. Тюмень: Тюменский индустриальный ун-т, 2016. С. 316–319.
6. Харенко П.С., Черватюк Л.М. Способ усиления ледовой переправы // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. 2012. С. 150–155.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 2/47

Design and Construction of Roads and Bridges

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-2-13>

Tryapitsyn Yu., Tryapkin D.

YURI TRYAPITSYN, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0093-6557>, tryapitsynv@mail.ru

DMITRY TRYAPKIN, Senior Lecturer (Corresponding Author),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6484-741X>, dmitry.tryapkin@yandex.ru

Far Eastern State Transport University

Khabarovsk, Russia

Improvement of the calculation of combined crossings

Abstract: In winter, ice crossings are opened in the north of the Far East region. Ice crossings remain the only way to connect such settlements with the mainland. The most reliable way to increase the bearing capacity for the passage of freight and passenger transport through water bodies is to freeze floating hinge bridges into the ice cover. At the time being, there is no methodology for calculating such crossings, so the purpose of the work is to improve the calculation of ice crossings, reinforced with metal pontoon structures from double-support hinged ferries. The calculation of these crossings, the graphs for calculating the permissible axial loads from the condition of strength and stiffness are proposed, and graphs for calculating the deflections of the ice cover under axial load are constructed. Deflections of the ice crossing with and without reinforcement were calculated. To confirm the selected design scheme, an experiment was carried out, which showed the correctness of the selected design scheme and the calculation method.

Keywords: ice crossing, deflection, axial load, design scheme, floating bridge, bearing capacity, two-bearing steam, hinge scheme

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Bychkovsky N.N., Guryanov Yu.A. Ice construction sites, roads and crossings. Saratov, Saratov State Technical Univ., 2005, 180 p.
2. Korenev B.G., Chernigovskaya E.I. Calculation of plates on an elastic foundation (a guide for designers). TsNIISK, M., 1962, 356 p.
3. Malofeev A.G., Yakimenko O.V. Bearing capacity of ice crossings. Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. 2009(11):32–36.
4. SP 38.13330.2012. Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice impacts and impacts from ships). M., 2012.
5. Fedotova E.A., Kiselev P.V., Ponyatov A.G. Methods for strengthening the ice cover of water crossings of temporary winter roads. Land transport and technological complexes and means. Materials of the international scientific and technical conference. Tyumen, Tyumen Industrial Univ., 2016, p. 316–319.
6. Kharenko P.S., Chervatyuk L.M. The method of strengthening the ice crossing. Development of the road transport complex and building infrastructure based on rational nature management. Materials of the 7 Russian National Scientific-practical Conference. 2012, p. 150–155.