

15. Левинский Ю.Б., Лавров М.Ф., Семенова С.А. Новый методологический подход к исследованию распределения плотности по сечению и высоте ствола в древесине (на примере древесины лиственницы даурской, произрастающей в Якутии) [Электронный ресурс]

// VIII Междунар. Евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.», 2013 г. http://symposium.forest.ru/article/2013/2_tehnology/pdf/Levinskyi2.pdf (дата обращения: 19.02.2015).

Поступила в редакцию 21.05. 2015

УДК 624.073.113

Повышение грузоподъемности железобетонного автодорожного моста федеральной автодороги «Колыма» с применением базальтокомпозитной арматуры

О.С. Едисеев, М.В. Смолина

Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск

Актуальность исследования повышения грузоподъемности эксплуатируемых железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостов в условиях Республики Саха (Якутия) обоснована повышением интенсивности движения и объема грузооборота по федеральной автомобильной дороге «Колыма», а также увеличением нормативной нагрузки на мостовые сооружения. Результаты обследований железобетонных мостов на федеральной автомобильной дороге «Колыма» показали, что наиболее часто встречающимися дефектами и повреждениями являются раковины, сколы на поверхности бетона, выщелачивание цементного камня, разрушение защитного слоя и, как следствие, коррозия арматуры. Металлическая арматура в составе железобетонных изделий и конструкций является ответственным звеном, в то же время уязвимым местом, поскольку под воздействием влаги и щелочной среды бетона арматура корродирует, что приводит к снижению эксплуатационных характеристик, в том числе несущей способности. В данной статье предложена конструкция плитного пролетного строения, армированная базальтокомпозитными стержнями, взамен железобетонных плит с арматурой АIII. На примере эксплуатируемого автодорожного моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» со сниженной грузоподъемностью сделан сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной арматурой, производимой на заводе базальтовых материалов в Республике Саха (Якутия), и металлической арматурой АIII, который показал, что по прочности по нормальным и наклонным сечениям несущая способность по изгибающему моменту в сечении плиты, армированной базальтокомпозитной арматурой диаметром 20 мм в количестве 6 штук, больше на 10%, чем несущая способность плиты, армированной металлическими стержнями арматуры АIII диаметром 20 мм в количестве 10 штук; при этом по наклонному сечению значительной разницы перерезывающих сил нет.

Ключевые слова: автодорожный мост, плитное пролетное строение, базальтокомпозитная арматура, первая группа предельных состояний.

Growing traffic and goods turnover on the Kolyma federal highway cause the increase of regulatory burden on the bridge structures. Study of a problem of rising of loading capacity of reinforced concrete superstructures of highway bridges in conditions of the Republic of Sakha (Yakutia) is carried out. Test results of investigation of concrete bridges on the federal highway «Kolyma» showed that the most common defects and damage are shells, chipped concrete surface, leaching of cement paste, destruction of the protective layer and, as a consequence, corrosion of the reinforcement. Metal armature in concrete products and structures is a responsible link and at the same time is a weak spot, since because the moisture and alkaline conditions of concrete cause the reinforcement corrosion, that leads to a decrease in performance, including loading capacity. This paper pro-

ЕДИСЕЕВ Олег Сергеевич – студент 5-го курса автодорожного факультета, olegediseev@yandex.ru; СМОЛИНА Милена Васильевна – ст. преподаватель, milena_smolina@ya.ru.

poses a design of slab superstructure reinforced with basalt-composite rods instead of slab reinforced concrete superstructure with armature АIII. On the example of a road bridge over the Malinovka river at km 552 + 482 of the Kolyma highway with reduced carrying capacity a comparison of the load bearing capacity of slabs with basalt-composite fittings manufactured at the basalt materials plant in the Republic of Sakha (Yakutia), and metal fittings АIII is carried out. It was showed that on the strength at normal and oblique sections the load bearing capacity with a bending moment of the slab reinforced with six 20 mm diameter basalt-composite rods is 10% more than the capacity of the slab, reinforced with ten АIII steel reinforcement rods of 20 mm diameter. There was no significant difference of lateral forces on the oblique section.

Key words: highway bridge, slab span, basalt-composite armature, first group of ultimate limit states.

Введение

В настоящее время на мостах Российской Федерации установлено более ста тысяч мостов с железобетонными пролетными строениями, различающимися по конструктивным решениям, нормам проектирования, технологии сооружения, действующими на них нагрузками и различным климатическим условиям [1]. В последнее время наблюдается повышение интенсивности движения и объема грузооборота по федеральной автомобильной дороге «Колыма», а также увеличение нормативной нагрузки на мостовые сооружения. В 2007 г. введен ГОСТ Р 52748–2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения», в 2012 г. – СП 35.13330.2012 «Мосты и трубы» (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*), согласно этим документам, мостовые сооружения на автомобильных дорогах общего пользования должны быть запроектированы под нагрузки АК-14, НК-14 [2]. Подавляющее большинство эксплуатируемых автомобильных мостов в Республике Саха (Якутия) запроектировано под меньший класс нагрузки, а также имеет сниженную грузоподъемность.

В настоящее время ведется поиск наиболее рациональных конструкций, материалов и способов их применения. Целью исследований является оценка несущей способности железобе-

тонных пролетных строений с рабочей арматурой из базальта в сравнении со стальной арматурой на примере моста через р. Малиновка.

Определение фактической грузоподъемности плитных пролетных строений автомобильного моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма»

Мост запроектирован ПСБ «Якутзолотодорстрой» под нагрузки Н-30, НК-80 по схеме (3x5,70), построен в 1994 г. Хандыгским ДТП. Длина моста 18,48 м, габарит по ширине Г-9, ширина мостового полотна 9,50 м. Покрытие проезжей части моста – цементобетонное, толщина одежды ездового полотна 0,15 м, на подходах устроено песчано-гравийное покрытие. Работы по обследованию сооружения проводились 09.04.2013 г.

Пролётное строение – балочно-разрезное, разработано по серии 3.503-29, инв. №2077. Балки пролетного строения – плитные, с железобетонной плитой в составе основной несущей конструкции проезжей части. Расчётный пролёт – 5,70 м. В поперечном сечении пролётного строения 9 главных балок высотой 0,30 м с расстояниями между осями 8x0,98 м.

На рис. 1 приведена общая схема моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» Якутск–Магадан.

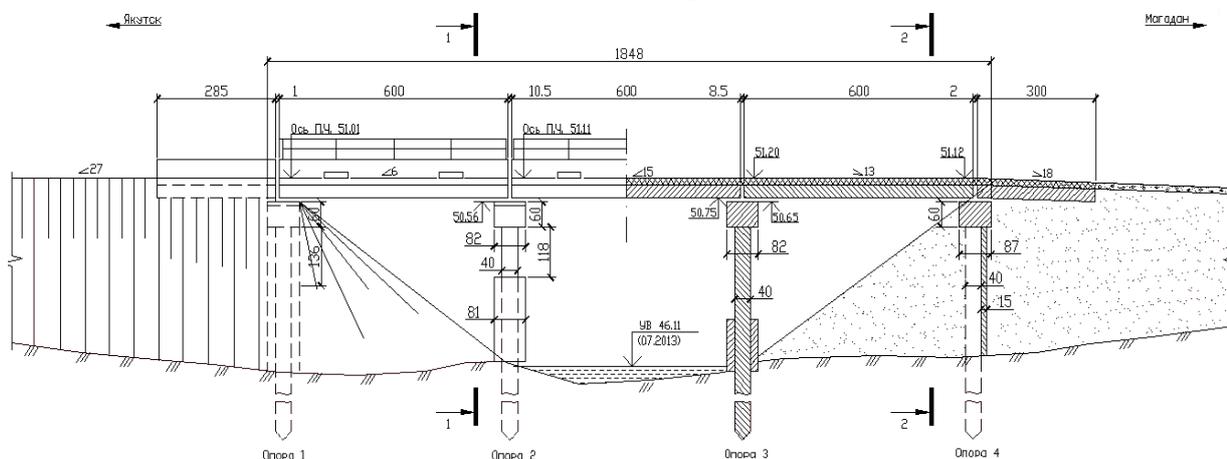


Рис. 1. Схема моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» Якутск – Магадан

На рис. 2 приведен поперечный разрез моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» Якутск–Магадан.

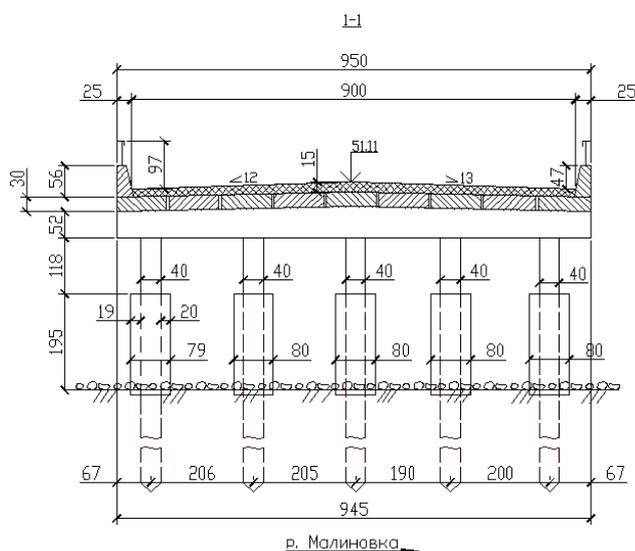


Рис. 2. Разрез 1-1 моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» Якутск–Магадан

Исходные данные для расчета максимальных усилий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета максимальных усилий

	Обозначения	Единицы измерения
Ширина плиты балки	$b_{пл}$	98 см
Толщина плиты балки	$h_{пл}$	30 см
Средняя толщина ребра	$b_{ср-р}$	34 см
Высота балки	h	30 см
Нижняя арматура		
Количество стержней		4 шт.
Диаметр		20 мм
Площадь арматуры	A_S	12,56 см ²
Расстояние до арматуры	a_S	4,1 см
Расчетное сопротивление растяжению	R_S	350 МПа
Модуль упругости арматуры	E_S	200 000 МПа
Верхняя арматура		
Количество стержней		4 шт.
Диаметр		20 мм
Площадь арматуры	A'_{s1}	12,56 см ²
Расстояние до арматуры	a'_{s1}	2,9 см
Расчетное сопротивление растяжению	R'_{s1}	350 МПа

Хомуты		
Количество стержней, попадающих в наклонное сечение		8 шт.
Диаметр		8 мм
Площадь арматуры АШ	A'_s	4,024 см ²
Шаг $S_{ш}$	a'_s	10 см
Расчетное сопротивление растяжению	R'_s	210 МПа
Бетон		
Класс бетона	B	35
катие осевое	R_b	17,5 МПа
Растяжение осевое	R_{bt}	1,15 МПа
Коэффициент условий работы	m_{bt}	0,9
Модуль упругости бетона	E_b	34 500 МПа
Коэффициент условий работы для R_b	m_{bt}	0,9

Коэффициенты надежности к постоянным нагрузкам приняты по ОДН 218.0.032-2003 [3]. Расчетные воздействия от постоянных нагрузок определены из условия равномерного распределения постоянных нагрузок между балками и равны:

изгибающий момент от постоянной нагрузки $M_p = 46,79$ кНм;

перерезывающая сила от постоянной нагрузки $Q_p = 32,83$ кН.

Определение внутренних усилий M и Q в главных балках производят путем загрузки линий влияния этих усилий постоянной и временной нагрузками, поперечное распределение нагрузки между плитами учитывается с помощью коэффициентов поперечной установки. Усилия определяют в характерных сечениях, где наблюдаются максимальные напряжения (в середине пролета для M_x , над опорой для Q_y).

Максимальный изгибающий момент определен по формуле:

$$M_{max}^p = q^p \cdot \Sigma \omega + \gamma_{fv} \cdot \eta_v \cdot (1 + \square) \cdot v \cdot \omega + \gamma_{fp} \cdot \eta_p \cdot (1 + \square) \cdot P^{ocb} \cdot (y_1 + y_2).$$

Максимальная перерезывающая сила определена по формуле:

$$Q_{max}^p = q^p \cdot \Sigma \omega + \gamma_{fv} \cdot \eta_v \cdot (1 + \square) \cdot v \cdot \omega + \gamma_{fp} \cdot \eta_p \cdot (1 + \square) \cdot P^{ocb} \cdot (y_1 + y_2),$$

где $\Sigma \omega$ – алгебраическая сумма площадей всех участков загрузки линии влияния; q^p – расчетная постоянная нагрузка на 1 п.м главной балки; v – полосовая нагрузка для АК-14, 14 кН; P^{ocb} –

ПОВЫШЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО АВТОДОРОЖНОГО МОСТА

усилия на ось тележки АК-14, 140 кН; ρ_T – нагрузка от пешеходов на тротуарах; γ_f – коэффициенты надежности по соответствующим видам нагрузок; $(1+\alpha)$ – динамический коэффициент для автомобильных нагрузок АК-14 и НК-14; η_v , η_p – коэффициенты поперечной установки для соответствующих нагрузок [4].

Вычисленные внутренние усилия приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Определение максимального значения внутренних усилий от временных нагрузок

Сечение	Внутренние усилия			
	от нагрузки АК-14 в стесненных условиях		от нагрузки НК-14	
	M_{max} , кНм	Q_{max} , кН	M_{max} , кНм	Q_{max} , кН
1-1 (в середине пролета)	159,24	37,11	226,71	47,51
2-2 (четверть пролета)	130,73	80,17	173,87	111,38
3-3 (над опорой)	–	124,46	–	184,10

Расчеты изгибаемых железобетонных элементов и сечений, нормальных и наклонных к продольной оси элемента, выполнены в соответствии с методикой СП 35.13330.2012 «Мосты и трубы» (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*) . Значение предельного изгибающего момента определяется исходя из положения границы сжатой зоны x , величина которой находится из соблюдения условия (7.21) или (7.22). Определение предельной перерезывающей силы выполнено согласно п.п 7.26; 7.40; 7.77 [5]. Результаты расчетов равны следующим значениям:

предельный изгибающий момент по типовому проекту $M_x = 191,3$ кНм;

предельный изгибающий момент с учетом дефектов $M_x = 115,86$ кНм;

предельная перерезывающая сила по типовому проекту $Q_y = 267,81$ кН;

предельная перерезывающая сила с учетом дефектов $Q_y = 241,23$ кН.

Расчеты на грузоподъемность показали, что классы нормативных нагрузок не соответствуют современным требованиям и равны следующим значениям: $K_{AK}=5,97$; $K_{НК}=5,87$, класс эталонной нагрузки для схемы трехосных транспортных средств – $K_{ЭТ}=16,83$. Возможен пропуск транспортных средств:

в колонне общей массой 16,83 т с нагрузкой на ось 6,73 т;

в одиночном порядке общей массой 46,96 т с нагрузкой на ось 11,74 т.

Для обеспечения надёжной работы конструкций сооружения под временными нагрузками, повышения его долговечности и безаварийной эксплуатации необходимо произвести реконструкцию моста до грузоподъемности, соответствующей классу нагрузки $K=14$.

К настоящему времени исследователями для расчета железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами, предложено несколько методик [6]. Большинство из них разработаны за рубежом и положены в действующую международную норму для проектирования [7]. Одним из вариантов повышения несущей способности железобетонных плитных пролетных строений является применение базальтокомпозитной арматуры.

Сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной и металлической арматурой АШ

Базальтокомпозитная арматура – силовой стержень с равномерно расположенным на поверхности и под углом к его продольной оси анкерочным слоем, изготовленный из термоактивной смолы, непрерывного армирующего наполнителя и других наполнителей. Технические характеристики приведены в табл. 3 [8].

Т а б л и ц а 3

Сравнительные технические характеристики базальтокомпозитной и металлической арматуры

Показатель	Металлическая арматура класса АШ (А400) ГОСТ 5781–82	Базальтокомпозитная арматура АБК ГОСТ 31938–2012
Предел прочности при растяжении, МПа	350	800
Модуль упругости, ГПа	200	50
Относительное удлинение, %	14	2,2
Коэффициент линейного расширения, $\lambda \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	13 – 15	9 – 12
Плотность, т/м ³	7,9	1,9
Электропроводность	Проводит электричество	Не проводит электричество
Теплопроводность	Теплопроводна	Не теплопроводна
Коррозионная стойкость к агрессивным средам	Коррозия, с выделением ржавчины	Нержавеющий материал первой группы химической стойкости

Предлагаемая конструкция плиты пролетного строения с базальтокомпозитными стержнями

Проектирование конструкции плитного пролетного строения производилось с учетом конструктивных требований свода правил на действие нормативных нагрузок АК-14, НК-14.

На рис. 3 представлена конструкция плиты, армированная базальтокомпозитными стержнями.

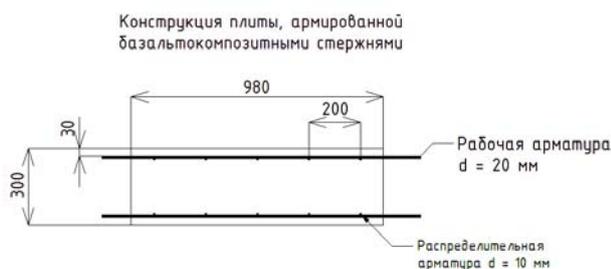


Рис. 3. Конструкция плиты, армированной базальтокомпозитными стержнями

На рис. 4 представлена верхняя сетка армирования конструкции базальтокомпозитной арматурой.



Рис. 4. Верхняя сетка армирования

На рис. 5 представлена нижняя сетка армирования конструкции базальтокомпозитной арматурой.



Рис. 5. Нижняя сетка армирования

Сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной арматурой и металлической арматурой АШ представлен в табл. 4.

Сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной арматурой, производимой на заводе базальтовых материалов в Республике Саха (Якутия), и металлической арматурой АШ показал, что по прочности по нормальным и наклонным сечениям несущая способность по изгибающему моменту в сечении плиты, армированной базальтокомпозитной арматурой диаметром 20 мм в количестве 6 шт., больше на 10%, чем несущая способность плиты, армированной металлическими стержнями арматуры АШ диаметром 20 мм в количестве 10 шт., при этом по наклонному сечению значительной разницы перерезывающих сил нет.

Таблица 4

Сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной арматурой и металлической арматурой А Ш

	Металлическая арматура класса АШ диаметром	Базальтокомпозитная арматура АБК
Диаметр, мм	20,0	20,0
Количество, шт.	10,0	6,0
Предельный изгибающий момент M_x , кНм	255,0	273,0
Предельная перерезывающая сила Q_v , кН	794,54	794,54

Заключение

Расчет по первой группе предельных состояний показал, что несущая способность сечения в середине пролета с применением базальтокомпозитной арматуры (6 стержней, диаметром 18 мм) больше на 10% в сравнении с традиционной (10 стержней, диаметром 20 мм). В дальнейшем необходимо исследовать фактическую работу бетона с базальтокомпозитной арматурой, влияние попеременного замораживания и оттаивания на конструкцию с базальтокомпозитной арматурой, а также оценить экономический эффект при реконструкции моста с применением предлагаемых плит.

Литература

1. Бокарев С.А. Коэффициенты надежности композиционных материалов, применяемых для железобетонных элементов мостовых сооружений / С.А. Бокарев, Г.М. Власов, А.А. Неровных, Д.Н. Смердов // Вестник ТГАСУ. – 2012. – №2.
2. ГОСТ Р 52748 – 2007. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. – М., 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО АВТОДОРОЖНОГО МОСТА

3. *ОДН 218.0.032-2003*. Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений в автомобильных дорогах. – М., 2003.

4. *Щетинин Н.Н.* Проектирование и расчет элементов пролетного строения железобетонного моста. – Омск: СибАДИ, 2005.

5. *ООО «ЦНИИС»*. СП 35.13330.2012 «Мосты и трубы» (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84). – М., 2011.

6. *Шилин А.А.* Усиление железобетонных конструкций композитными материалами / А.А. Шилин,

В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов. – М.: Стройиздат, 2004. – 139 с.

7. *CNR-DT 200/2004*. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures.– Rome, 2004.– 144 p.

8. *ГОСТ 31938 – 2012* «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций» – М., 2014.

Поступила в редакцию 29.04.2015