Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/19SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/19SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/19SATS319>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Луговцев Е.А., Ерофеев М.Н. Опыт применения измерительного комплекса «Система измерений для проверки постоянных мостов» для определения возможности пропуска по постоянным мостам сверхтяжелых нагрузок // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/19SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/19SATS319

For citation:

Lugovtsev E.A., Erofeev M.N. (2019). Experience of application of the measuring complex "Measurement System for testing permanent bridges" to determine the possibility of passing on permanent bridges of superheavy loads. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/19SATS319

УДК 623.6

ГРНТИ 78.25.11

Луговцев Евгений Анатольевич

ФГКВОУ ВО «Военный институт (инженерных войск) Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, Россия
Начальник кафедры «Дорог, мостов и переправ»
Кандидат технических наук, доцент полковник
E-mail: Lugovea@mail.ru

Ерофеев Михаил Николаевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия
Профессор кафедры «Мостов и тоннелей»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: kventr@list.ru

**Опыт применения измерительного комплекса
«Система измерений для проверки постоянных мостов»
для определения возможности пропуска по постоянным
мостам сверхтяжелых нагрузок**

Аннотация. В статье приводится опыт применения измерительного комплекса СИ-ППМ 15Н1955 для определения возможности пропуска по постоянным мостам сверхтяжелых нагрузок применяемый войсковыми инженерами.

В первой части статьи обосновывается необходимость обследования большого количество мостов разнообразной конструкции на маршрутах выхода и маневра войск, что в свою очередь ставит перед инженерной службой объединений и соединений серьезные задачи по определению грузоподъемности искусственных сооружений на автомобильных дорогах. В 2000-х годах специалистами Военно-инженерной академии и московского института теплотехники была разработана единая методика для определения несущей способности железобетонных балочных мостов, которая была реализована ООО НТЦ «Техническая диагностика и прецизионные измерения» в переносную систему измерений для проверки постоянных мостов СИ-ППМ 15Н1955.

В основу создания СИ-ППМ положен расчетно-экспериментальный метод оперативного (на месте испытаний) определения состояния несущих конструкций постоянных мостов, использующий многоканальные измерения угловых и соответствующих вертикальных перемещений различных участков главных балок пролетных строений от воздействия подвижной пробной нагрузки. В отличие от традиционных способов измерения прогибов неприемлемых по трудоемкости и времени проведения обследования постоянных мостов для пропуска современных ракетных комплексов.

В основной части статьи произведено описание системы измерений.

Несущая способность конкретного пролёта моста определяется в расчетной программе «Мост» (структура представлена в статье), входящей в состав системы. Для определения возможности пропуска агрегата по конкретному пролёту моста расчётная программа использует углы поворота главных балок моста вблизи опор от воздействия подвижной пробной нагрузки на пролёте, расстановку колёс и развесовку по осям для пробной нагрузки и агрегата в качестве исходных данных. Для изучения порядка работы с измерительным комплексом СИ-ППМ разработана программа имитатор.

Ключевые слова: мост; пролетное строение; балка; расчет; прогиб; измерительный комплекс; расчетная программа; система измерений; нагрузка

Постоянные мосты – это первое, с чем встречается войсковой инженер, когда встает задача преодоления водных преград на маршрутах движения и в ходе боевых действий, а также при решении задач по пропуску сверхтяжелых грузов.

Большое количество мостов [1] на маршрутах выхода и маневра, разнообразие их конструкций [2], огромный диапазон по времени сроков ввода сооружений в эксплуатацию, ставят перед инженерной службой объединений и соединений серьезные задачи по определению грузоподъемности искусственных сооружений на автомобильных дорогах.

Кроме того, существующие строительные нормы предусматривают организацию постоянного контроля за мостами и трубами при пропуске сверхнормативных грузов.

Для решения указанных выше задач, в войсковом звене создано мостоиспытательное отделение.

Для проведения ежегодных испытаний постоянных мостов в позиционных районах мостоиспытательные отделения оснащены приборами для определения прогибов 6-ПАО и приборами для определения относительных удлинений 2-МИГ [3; 4], но определение прогибов и пересчет напряжений требует большого количества времени.

В 2000-х годах специалистами Военно-инженерной академии и Московского института теплотехники была разработана единая методика для определения несущей способности железобетонных балочных мостов, которая была реализована ООО НТЦ «Техническая диагностика и прецизионные измерения» в переносную систему измерений для проверки постоянных мостов (СИ-ППМ) 15Н1955 (рис. 1).

Рисунок 1. Система измерений для проверки постоянных мостов СИ-ППМ 15Н1955 (разработано автором)

В основу создания СИ-ППМ положен расчетно-экспериментальный метод оперативного (на месте испытаний) определения состояния несущих конструкций постоянных мостов, использующий многоканальные измерения угловых и соответствующих вертикальных перемещений различных участков главных балок пролетных строений от воздействия подвижной пробной нагрузки. В отличие от традиционных способов измерения прогибов неприемлемых по трудоемкости и времени проведения обследования постоянных мостов для пропуска сверхтяжелых нагрузок (например, многоосных автомобильных кранов большой грузоподъемности КАТО, Liebherr и т. п.).

Получение данных для оценок перемещений исследуемой конструкции постоянного моста осуществляется путём прецизионной обработки электрических сигналов от датчиков, установленных на приспособление установки датчиков. Приспособления для установки и калибровки датчиков позволяют нивелировать дефекты поверхности исследуемой конструкции и устанавливать датчики на горизонтальное основание (плиту приспособления).

Задание параметров питания датчиков осуществляется программно через прецизионный цифро-аналоговый преобразователь, установленный в мобильный переносной компьютер.

В мобильном переносном компьютере проводится регистрация сигнала датчиков на несущей частоте с последующей программной демодуляцией несущей частоты. При дальнейшей обработке сигнал от датчиков угловых перемещений после программной демодуляции содержит необходимую информацию о статических и медленно меняющихся угловых перемещениях.

Аппаратные и программные средства обеспечивают процесс измерения угловых перемещений несущих конструкций, обработку полученной информации и расчеты для интегральной оценки состояния несущих конструкций с учетом результатов обследований в режиме интерактивного обмена информацией с оператором.

Переносной компьютер из состава комплекта аппаратных средств оснащен прецизионной интегрированной 16-и канальной платой АЦП (Аналого-цифровой преобразователь) и одноканальным ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь). Программное обеспечение позволяет осуществить:

- задание параметров питания датчиков на несущей частоте;
- интерактивный ввод сигналов от датчиков;
- обработку сигналов датчиков в реальном масштабе времени;

- обработку сигналов от датчиков для получения интегральной оценки состояния несущих конструкций;
- вывод твердых копий отчетов с помощью портативного принтера.

Комплект датчиков состоит из 3-х прецизионных датчиков угловых перемещений (один запасной) соединенных комплектом кабелей с переносным компьютером и прецизионным блоком питания. Датчики угловых перемещений предназначены для определения статических и медленно меняющихся угловых отклонений от горизонта.

Приспособление для установки и калибровки датчиков позволяет выставить исходное положение опорных поверхностей датчиков по горизонту. Аппаратура электропитания позволяет осуществлять как питание внутренних потребителей комплекса переменным током 220 В 50 Гц от аккумуляторов через инвертор, так и питание датчиков комплекса переменным током от прецизионного блока питания, входящего в состав СИ-ППМ.

Развёртывание системы [5] производится в начале экспериментальной части исследования мостовой конструкции. До этого в соответствии с «Методикой проверки постоянных мостов» должно быть закончено обследование моста. В результате обследования должны быть определены геометрические параметры главных балок для определения места установки датчиков и заполнения бланка исходных данных в расчётной программе «МОСТ», установленной на переносном компьютере СИ-ППМ. Кроме этого, исходными данными для расчётной программы являются также расстановка колёс по осям для пробной подвижной нагрузки и автокрана.

Датчики устанавливаются над главными балками моста, на расстоянии 0,5 м. от края опорной зоны. Каждый датчик должен быть установлен на горизонтальную верхнюю плоскость приспособления для установки и калибровки. Приспособления должны устойчиво опираться на поверхность пролетного строения собственными установочными винтами.

Система считается развёрнутой после подсоединения всех сигнальных кабелей и кабелей питания к датчикам, блоку питания датчиков, принтеру и по завершению загрузки операционной системы на переносном компьютере СИ-ППМ готова к использованию.

Приспособлениями установки датчиков (путём вращения установочных винтов приспособлений) должен быть обеспечен нулевой выходной сигнал датчиков при исходном положении пробной нагрузки.

В процессе нагружения подвижной пробной нагрузкой измеряются: приращения углов поворота поверхности моста в опорной зоне главных балок пролетных строений.

Заключение о возможности пропуска автокрана по мосту принимается ответственным лицом на основании оценок несущей способности каждого из пролётов моста. Несущая способность конкретного пролёта моста определяется в расчётной программе «Мост», входящей в состав системы.

Для определения возможности пропуска автокрана по конкретному пролёту моста расчётная программа использует углы поворота главных балок моста вблизи опор от воздействия подвижной пробной нагрузки на пролёте, расстановку колёс и развесовку по осям для пробной нагрузки и автокрана в качестве исходных данных.

Для изучения порядка работы с измерительным комплексом СИ-ППМ разработана программа имитатор (рис. 2).

Определение возможности пропуска требуемой нагрузки осуществляется на основе вычисления максимальных прогибов и сравнения их с нормативными показателями. Вычисление прогибов проводится на основе измеряемых датчиками экспериментальных

значений углов поворота относительно поперечной горизонтальной оси главных балок пролетного строения в сечениях установки осей датчиков на основе специального алгоритма аппроксимации.

Рисунок 2. Имитатор программы «МОСТ» (разработано автором)

Расчет производится по программе «МОСТ», написанной на Visual Basic, структура представлена на рисунке 3.

Рисунок 3. Алгоритм программы «МОСТ» (разработано автором)

Решение о пропуске принимается только по одному предельному состоянию – прогибу, составляющему по СНиП I/400 и не учитывает напряжения возникающее в несущих элементах, что правомерно для железобетонных балок в которых применяется металлические стержни высокой прочности.

Для обоснования возможности безопасного пропуска специальных нагрузок по автодорожным мостам с металлическим пролетным строениями была разработана методика [6], которая на основе объективных закономерностей, позволяет это сделать в короткие сроки специалистами невысокой квалификации в расчетах мостовых конструкций.

Предлагаемая методика, ориентирована на использование составом мостоиспытательных отделений специализированных подразделений.

Целью методики является определение возможности пропуска по автодорожным мостам с пролётными строениями из металла специальных сверхтяжелых нагрузок.

Методика расчёта автодорожных мостов с пролётными строениями из металла, при пропуске специальных сверхтяжелых нагрузок, основана на методе расчёта мостовых конструкций по предельным состояниям [7; 8] и реализуется в четыре этапа.

На первом этапе осуществляется сбор исходных данных, которые могут быть получены: из проектных данных, с паспорта на мост, а также из карточек на мост, заполняемых при проведении текущих, периодических осмотров, обследований мостов мостоиспытательными отделениями, из данных полученных после проверки пролётного строения системой измерений 15Н1955 СИ-ППМ, либо расчётным способом. Исходными данными являются длина пролета, расстояние до центра тяжести приведённого сечения наиболее нагруженной главной балки, расчётное сопротивление стали на изгиб, прогнозируемый прогиб от воздействия автокрана.

На втором этапе производится расчет наиболее нагруженной главной балки.

Рассмотрим балку металлического балочного разрезного пролётного строения неопределённых длинны и сечения, закреплённую на опорах, на которую в середине пролета балки действует сосредоточенная сила P .

Согласно методике [7; 8], исследуем балку по двум предельным состояниям (формулы 1 и 2).

$$\sigma_u = \frac{M_p}{W} \leq R_u \quad (1)$$

где σ_u – расчётная величина напряжения в элементе;

M_p – расчетный изгибающий момент;

W – момент сопротивления поперечного сечения балки;

R_u – расчётное сопротивление профильной стали на изгиб.

$$f_p = f_1 + f_2 - f_3 \leq f_{don} = \frac{l}{400} \quad (2)$$

где f_p – расчётная величина прогиба;

f_1 – прогиб от постоянной нагрузки;

f_2 – прогиб от вертикальной подвижной нагрузки;

f_3 – предварительный выгиб пролётного строения;

f_{don} – допускаемая величина прогиба;

l – расчётный пролёт.

Оценивая отношения расчётной величины напряжения в элементе к расчётному сопротивлению профильной стали на изгиб и расчётной величины прогиба [9] от допускаемой, получим величину процента наступления предельных состояний по напряжению и удобству проезда, соответственно (формулы 3 и 4).

$$\sigma_{\%} = \frac{\sigma_u}{R_u} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$f_{\%} = \frac{f_p}{f_{don}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Исходя из условий, что рассчитываемая система статична ввиду низкой скорости пропуска нагрузки, тогда коэффициент неравномерности (K_n) и динамический коэффициент ($1 + \mu$) равны единице, значение строительного подъёма (предварительного выгиба) из за влияния внешних факторов и эксплуатационного старения пролётного строения стремится к нулю ($f_3 \rightarrow 0$), а при положительных его значениях в расчёте создаётся запас по напряжению в элементе пролётного строения. Из этих ограничений получаем:

$$\sigma_u = \frac{M_p}{W} = \frac{[M_{пост} + M_{вр} K_n (1 + \mu)] \frac{1}{n}}{W} = \frac{[M_{пост} + M_{вр}] \frac{1}{n}}{W} \leq R_u \quad (5)$$

$$f_p = f_1 + f_2 - f_3 = \frac{5}{48} \frac{[M_{пост} + M_{вр}] \frac{1}{n} l^2}{EI} \leq f_{don} = \frac{l}{400} \quad (6)$$

где $M_{пост}$ – изгибающий момент от постоянной нагрузки;

$M_{вр}$ – изгибающий момент от вертикальной подвижной нагрузки;

n – количество главных балок в поперечном сечении моста;

E – модуль упругости сталей всех марок;

I – момент инерции приведённого сечения.

При различных параметрах рассматриваемой металлической балки в одних случаях расчётная величина напряжения в элементе достигает величину расчётного сопротивления профильной стали на изгиб, а расчётная величины прогиба не достигает допускаемой, а в других – наоборот.

При расчёте наступления предельных состояний $\sigma_{\%}$ и $f_{\%}$ (по формулам 3 и 4) строим график, показывающий наступление предельного состояния по прогибу и по прочности в наиболее нагруженной балке металлического пролётного строения (см. рис. 4а).

Рисунок 4. Графики предельных состояний (разработано автором)

Из рис. 4 выделим две зоны наступления предельных состояний (зона I и зона II).

I зона – наиболее нагруженные балки металлических пролётных строений, в которых предельное состояние по напряжению наступает раньше, чем предельное состояние по прогибу. В металлических пролётных строениях с наиболее нагруженными главными балками параметры которых попадают в зону I решающим будет расчёт по напряжению.

II зона – наиболее нагруженные балки металлических пролётных строений, в которых предельное состояние по прогибу наступает раньше, чем предельное состояние по напряжению. В металлических пролётных строениях с наиболее нагруженными главными балками параметры которых попадают в зону II решающим будет расчёт по прогибу.

При использовании более прочного материала (увеличивая расчётное сопротивление на изгиб R_u), при тех же исходных данных также получаем график исследуемых зависимостей (см. рис. 4б).

Как видно из рис. 4б, с использованием более прочного материала, зона I будет уменьшаться по длине балки, а зона II, наоборот, увеличиваться.

Для определения параметров рассчитываемой металлической балки получен коэффициент K_σ (формулы 7–9) с помощью которого возможно без измерения напряжений в элементе по одному лишь прогибу определить критическое состояние рассчитываемого элемента.

$$K_\sigma = \frac{f_\%}{\sigma_\%} \quad (7)$$

$$K_\sigma = \frac{f_\%}{\sigma_\%} = \frac{5 \cdot \left[M_{\text{ном}} + M_{\text{вр}} \right] \frac{1}{n} \cdot l^2 \cdot 400 \cdot W \cdot R_u}{48 \cdot E \cdot I \cdot l \cdot \left[M_{\text{ном}} + M_{\text{вр}} \right] \frac{1}{n}} = \frac{2000 \cdot l \cdot W \cdot R_u}{48 \cdot E \cdot I} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{250 \cdot l \cdot W \cdot R_u}{6 \cdot E \cdot W \cdot y_{\text{max}}} = \frac{250 \cdot l \cdot R_u}{6 \cdot E \cdot y_{\text{max}}} \quad (8)$$

где y_{max} – расстояние до центра тяжести приведённого сечения наиболее нагруженной балки.

При $E = 21 \cdot 10^5$ кгс/см² и $R_u = 2000$ кгс/см², получаем:

$$K_\sigma = \frac{250 \cdot l \cdot R_u}{6 \cdot E \cdot y_{\text{max}}} = \frac{250 \cdot l \cdot 2000}{6 \cdot 2100000 \cdot y_{\text{max}}} = \frac{5}{126} \cdot \frac{l}{y_{\text{max}}} \quad (9)$$

Графически выражение (9) для балок определённых высоты и длины будет выглядеть:

Рисунок 5. График значений коэффициента K_{σ} (разработано автором)

Из графика (см. рис. 5) видно, что при $K_{\sigma} \leq 1$ предельное состояние по напряжению в наиболее нагруженной балке металлического пролётного строения наступает раньше, чем предельное состояние по прогибу.

Используя полученный коэффициент, можем уточнить значение допустимой величины прогиба, наиболее нагруженной главной балки металлического пролётного строения, с учётом наступления предельного состояния по напряжению в балке:

$$f'_{\text{дон}} = f_{\text{дон}} \cdot K_{\sigma} \quad (10)$$

Ввиду того, что коэффициент K_{σ} для расчётной величины прогиба, учитывающего наступление предельного состояния по напряжению в балке, выводился из расчёта с учётом минимального значения расчётного сопротивления профильной стали на изгиб $R_u = 2000$ кгс/см², вводим коэффициент позволяющий учитывать и более прочную сталь K_R .

$$K_R = \frac{R_u}{2000} \quad (11)$$

где R_u — известное расчётное сопротивление профильной стали на изгиб, кгс/см².

Тогда, выражение (10) примет следующий вид:

$$f'_{\text{дон}} = f_{\text{дон}} \cdot K_{\sigma R} = f_{\text{дон}} \cdot K_{\sigma} \cdot K_R \quad (12)$$

где $K_{\sigma R}$ — коэффициент, учитывающий наступление предельного состояния по напряжению в балке и расчётный сортамент стали.

Допустимый прогиб $f'_{\text{дон}}$, полученный по формуле (12), позволяет на основе объективных закономерностей учитывающих, в том числе напряжение, возникающее в наиболее нагруженной главной балке металлического пролётного строения и расчётный сортамент стали определить её работоспособность.

Таким образом, в результате обоснования были выявлены параметры пролётных строений, для которых прогиб $f_{don} = l/400$ недопустим.

Кроме этого, получены допустимые прогибы, превышающие $f_{don} = l/400$, но для пропуска специальных и военных нагрузок [10] не так важны условия проезда.

Также из значения полученного коэффициента видно, что вне зависимости от типа сечения для одной и той же расчётной схемы, моменты наступления предельных значений по прогибу и по напряжению зависят лишь от длины наиболее нагруженной главной балки и расстояния до центра тяжести её приведённого сечения. И, как следствие, расчёт наиболее нагруженной главной балки металлического пролётного строения возможно производить лишь по одному из предельных состояний, учитывая второе с помощью добавочных коэффициентов.

Используя значение величины расчётного прогиба от воздействия нагрузки полученное посредством проведения испытаний наиболее нагруженной балки пролётного строения, коэффициента, учитывающего наступление предельного состояния по напряжению в балке и расчётный сортамент стали и допустимого прогиба f'_{don} , полученного по формуле (12), можно определить грузоподъёмность металлического пролётного строения постоянного автодорожного моста по наиболее нагруженной главной балке.

На третьем этапе производится сравнение прогнозируемого прогиба пролётного строения от воздействия агрегата с допустимым прогибом или с уточнённым допустимым прогибом с учётом выполнения условия по прочности.

На четвертом этапе определяется действительное состояние пролетного строения под действием заданной специальной нагрузки. Основными критериями при этом, являются запасы по жесткости и по прочности в металле (устойчивость балок обеспечена плитой проезжей части).

Таким образом, предлагаемая методика позволяет обосновать возможность пропуска специальной сверхтяжелой нагрузки на основе полученной величины допустимого прогиба с учётом выполнения условия по прочности (с запасом, либо недостатком по прочности от напряжения в наиболее нагруженной главной балке). Кроме этого, полученные данные позволяют определить допускаемую величину приращения прогиба пролётного строения от специальной сверхтяжелой нагрузки.

На основе предлагаемой методики расчёта автодорожных мостов с пролётными строениями из металла при пропуске специальных сверхтяжелых нагрузок был разработан алгоритм расчета металлических пролетных строений, а также была программа расчета на ЭВМ, позволяющая в автоматизированном режиме определять возможность пропуска нагрузок автокранов по металлическим пролётным строениям постоянных автодорожных мостов. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017610508 от 12 января 2017 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черниченко, Р.А. Перспективы использования георадиолокационной оценки несущей способности неуплотненных грунтовых путей движения и полевых позиций подвижных грунтовых ракетных комплексов // Р.А. Черниченко, Л.А. Сладкова, М.Н. Ерофеев / Научно-технический сборник «Известия» №270. – Балашиха: ВА РВСН, 2017. С. 210–215.
2. Беляев, В.В. Восстановление участков дорог и транспортных сооружений в зонах ЧС с применением металлических гофрированных конструкций // В.В. Беляев, М.Н. Ерофеев, Е.А. Луговцев / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2018. №4 (39). С. 96–107.
3. Шляпин, Ю.М. Мосты: учебник / Ю.М. Шляпин, В.А. Касьянов, Е.А. Луговцев [и др.] – М.: ВУНЦ СВ «ОА ВС РФ», 2016. 296 с.
4. Смирнов, В.И. Инженерно-техническое обеспечение: Учебное пособие / В.И. Смирнов, М.Н. Ерофеев, О.К. Дорошенко [и др.] – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 280 с.
5. Иванчев, И.И. Железобетонные автодорожные мосты. Научное издание / И.И. Иванчев, К.Х. Топуров, Н.И. Иваненко [и др.]. – М.: ВУНЦ СВ «ОА ВС РФ», 2017. 153 с.
6. Луговцев, Е.А. К вопросу определения грузоподъёмности наиболее нагруженной балки металлического пролётного строения постоянного автодорожного моста // Е.А. Луговцев, Д.Н. Попов / НТС № 70. М.: ВУНЦ СВ «ОА ВС РФ», 2016. С. 76–81.
7. Шляпин, Ю.М. Дороги, мосты и переправы. Мосты и переправы: учебник / Ю.М. Шляпин, В.А. Касьянов, Е.А. Луговцев [и др.]. – М.: ВУНЦ СВ «ОА ВС РФ», 2018. 326 с.
8. Восстановление и эксплуатация мостов на военно-автомобильных дорогах / Под ред. Иваненко Н.И. – М.: Воениздат, 1988. 430 с.
9. Справочник проектировщика / Под ред. Уманского А.А. – М.: Госстройиздат, 1960. 1043 с.
10. Луговцев, Е.А. К вопросу о характере действий подразделений РВСН и условиях и факторах, влияющих на содержание и объём задач инженерного обеспечения манёвренных действий // Е.А. Луговцев, Д.Н. Попов / НТС № 86. М.: ВУНЦ СВ «ОА ВС РФ», 2015. С. 92–87.

Lugovtsev Evgeny Anatolyevich

Military institute (engineering troops) military training and scientific center of the ground forces
«Combined arms academy of the armed forces of the Russian Federation», Moscow, Russia
E-mail: Lugovea@mail.ru

Erofeev Michael Nikolaevich

Russian university of transport (MIIT), Moscow, Russia
E-mail: kventr@list.ru

Experience of application of the measuring complex "Measurement System for testing permanent bridges" to determine the possibility of passing on permanent bridges of superheavy loads

Abstract. The article presents the experience of using the measuring complex SI-PPM 15N1955 to determine the possibility of passing on permanent bridges of superheavy loads used by military engineers.

The first part of the article substantiates the need to examine a large number of bridges of various designs on the routes of exit and maneuver of the troops, which in turn puts before the engineering service of associations and connections serious tasks to determine the load capacity of artificial structures on roads. In the 2000s, specialists of the Military engineering Academy and the Moscow Institute of heat engineering developed a unified method for determining the bearing capacity of reinforced concrete beam bridges, which was implemented by STC "Technical diagnostics and precision measurements" in a portable measurement system to check the permanent bridges SI-PPM 15N1955.

The basis for the creation of SI-PPM is the calculation and experimental method of operational (on-site testing) determination of the state of the load-bearing structures of permanent bridges, using multi-channel measurements of angular and corresponding vertical movements of various sections of the main beams of superstructures from the impact of mobile test load. Unlike traditional methods of measuring deflections unacceptable in complexity and time of the survey of permanent bridges for the passage of modern missile systems.

The main part of the article describes the measurement system.

The bearing capacity of a particular bridge span is determined in the calculation program "Bridge" (the structure is presented in the article), which is part of the system. To determine the possibility of skipping the unit for a specific span of the bridge, the calculation program uses the angles of rotation of the main beams of the bridge near the supports from the impact of the mobile test load on the span, the arrangement of the wheels and the weight on the axes for the test load and the unit as the initial data. To learn how to operate the measuring system SI-MRP developed program simulator.

Keywords: bridge; span; beam; calculation; deflection; measuring complex; calculation program; measurement system; load

REFERENCES

1. Chernichenko R.A., Sladkova L.A., Erofeev M.N. (2017). Perspektivy ispol'zovaniya georadiolokatsionnoy otsenki nesushchey sposobnosti neuplotnennykh gruntovykh putey dvizheniya i polevykh pozitsiy podvizhnykh gruntovykh raketnykh kompleksov. [*Prospects for the use of georadar assessment of the bearing capacity of uncompacted soil tracks and field positions of mobile soil rocket systems.*] Balashikha: Military Academy of Strategic Missile Forces, pp. 210–215.
2. Belyaev V.V., Erofeev M.N., Lugovtsev E.A. (2018). Reconstruction of road sections and transport structures in emergency zones using corrugated metal structures. *Scientific and educational problems of civil protection*, 4(39), pp. 96–107 (in Russian).
3. Shlyapin Yu.M., Kas'yanov V.A., Lugovtsev E.A. and etc. (2016). Mosty: uchebnik. [*Bridges: a tutorial.*] Moscow: Military Training and Scientific Center of the Ground Forces Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, p. 296.
4. Smirnov V.I., Erofeev M.N., Doroshenko O.K. and etc. (2008). Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie. [*Engineering Support.*] Moscow: Publishing House Association of Construction Universities, p. 280.
5. Ivanchev I.I., Topurov K.Kh., Ivanenko N.I. and etc. (2017). Zhelezobetonnye avtodorozhnye mosty. Nauchnoe izdanie. [*Reinforced concrete road bridges. Scientific publication.*] Moscow: Military Training and Scientific Center of the Ground Forces Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, p. 153.
6. Lugovtsev E.A., Popov D.N. (2016). K voprosu opredeleniya gruzopod'yomnosti naibolee nagruzhennoy balki metallichesкого prolyotnogo stroeniya postoyannogo avtodorozhnogo mosta. [*On the issue of determining the carrying capacity of the most loaded beam of a metal span of a permanent road bridge.*] Moscow: Military Training and Scientific Center of the Ground Forces Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, pp. 76–81.
7. Shlyapin Yu.M., Kas'yanov V.A., Lugovtsev E.A. and etc. (2018). Dorogi, mosty i perepravy. Mosty i perepravy: uchebnik. [*Roads, bridges and crossings. Bridges and Crossings: A Textbook.*] Moscow: Military Training and Scientific Center of the Ground Forces Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, p. 326.
8. (1988). Vosstanovlenie i ehkspluatatsiya mostov na voenno-avtomobil'nykh dorogakh. Ed. by N.I. Ivanenko [*Reconstruction and operation of bridges on military highways.*] Moscow: Military Publishing House, p. 430.
9. (1960). Spravochnik proektirovshchika. Ed. by A.A. Umanskiy [*Designer Reference.*] Moscow: Gosstroyizdat, p. 1043.
10. Lugovtsev E.A., Popov D.N. (2015). K voprosu o kharaktere deystviy podrazdeleniy RVSN i usloviyakh i faktorakh, vliyayushchikh na sodержание i ob'yom zadach inzhenernogo obespecheniya manyovrennykh deystviy. [*To the question of the nature of the actions of the Strategic Missile Forces units and the conditions and factors affecting the content and scope of the tasks of engineering support for maneuver actions.*] Moscow: Military Training and Scientific Center of the Ground Forces Combined Arms Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, pp. 92–87.