

# НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВЫХ БАЛОК МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ



**А. В. АНИСИМОВ**

*Заместитель коммерческого директора  
ООО "ИНТРОН ПЛЮС"*



**К. В. МЯКУШЕВ**

*Руководитель отдела разработки  
ООО "ИНТРОН ПЛЮС"*

Предварительно напряженный железобетон является одним из основных строительных материалов и широко применяется в строительной отрасли по всему миру. У истоков развития концепции в начале XX века стояли Э. Фрейссине и В. В. Михайлов. Использование предварительно напряженной арматуры позволило избежать основного недостатка бетона - неспособности сопротивляться растягивающим напряжениям. На стадии изготовления или строительства создается напряженное состояние в конструкции, при котором знак напряжения в бетоне становится противоположен знаку напряжения от эксплуатационной нагрузки.

Бурное развитие отрасли и резкое увеличение объемов строительства с применением предварительно напряженного железобетона пришлось на 60-70-ые годы прошлого века. В настоящее время в странах бывшего СССР и в Казахстане в частности эксплуатируется большое количество мостов, построенных из преднапряженного бетона, в том числе, со сроком эксплуатации 50 и более лет. Одним из основных несущих элементов таких конструкций является предварительно напряженная арматура, удерживающая

бетон в напряженном состоянии. Как правило, пучки арматуры, находящиеся в натянутом состоянии, расположены в специальных каналах, скрытых под защитным слоем бетона. Такое расположение арматуры делает ее недоступной для визуального осмотра и применения контактных методов контроля без нарушения целостности защитного покрытия.

Информация о состоянии предварительно напряженной арматуры играет важнейшую роль при плановых обследованиях мостовых конструкций и оценке их фактической грузоподъемности [1, 2]. Особенно актуален данный вопрос на фоне растущего числа аварий мостов по всему миру, вызванных в том числе деградацией и обрывов несущей арматуры.

Для определения состояния преднапряженной арматуры под защитным слоем бетона используются различные методы [3]. Радиолокационное сканирование применяется преимущественно для определения положения ненапряженной арматуры. Ультразвуковой эхо-метод используется преимущественно для определения положения каналовобразователей и пустот. Радиационные методы отличаются высокой стоимостью

оборудования, предъявляют высокие требования к безопасности и требуют двустороннего доступа к обследуемым элементам конструкции. Широко применяющийся метод потенциалов полуэлемента позволяет оценить агрессивность среды, в которой находится арматура и установить вероятность протекания коррозионных процессов, но не фактическое состояние арматуры.

В данной статье рассматривается магнитный метод неразрушающего контроля (ГОСТ Р 55612-2013), позволяющий дать количественную оценку состояния предварительно напряженной арматуры не прибегая к вскрытию защитного слоя, а именно, выявить участки потери сечения пучков арматуры, возникающие в результате коррозионного поражения и оценить величину потери ее сечения. Метод основан на взаимодействии объекта контроля из ферромагнитного материала (ферромагнетика) с магнитным полем, создаваемым внешним источником. Реализация метода основана на регистрации магнитных потоков рассеяния, возникающих при нарушении сплошности намагничиваемого объекта и наглядно показана на Рис.1.

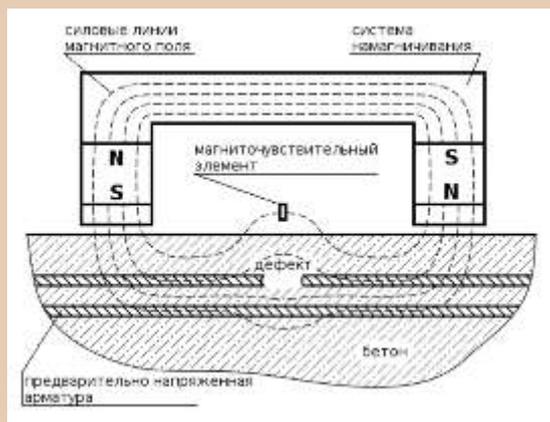


Рис.1. Принцип магнитного метода неразрушающего контроля

Предварительно напряженная балка как объект контроля имеет сложную внутреннюю структуру и кроме напряженной арматуры содержит также ненапряженную, например, поперечные хомуты и арматурные сетки. Ненапряженная арматура тоже выполнена из ферромагнитной стали и выступает в роли одного из мешающих факторов, оказывая влияние на сигналы измерительных преобразователей. При использовании классической схемы

намагничивания и измерения поля рассеяния ферромагнитные объекты, попадающие в зону контроля между основным объектом контроля (напряженной арматурой) и поверхностью сканирования, будут приводить к возмущению магнитного поля в зоне измерения аналогично нарушениям в структуре объекта контроля. Для исследования этого влияния в испытательной лаборатории компании ИНТРОН ПЛЮС был изготовлен имитатор нижнего пояса типо-

вой двутавровой железобетонной балки, воспроизводящий структуру ее армирования (Рис.2). Пучки проволоки, имитирующие напряженную арматуру уложены в пластиковые каналы. Поперечные хомуты в имитаторе заменены периодически уложенными поперечными стержнями, которые расположены ближе к поверхности сканирования, чем каналы с пучками проволок. Поверхностью сканирования на Рис.2 является нижняя плоскость имитатора.



Рис.2. Внешний вид имитатора нижнего пояса ЖБ балки и его внутренняя структура

На Рис. 3 показан магнитный дефектоскоп Интроарм, предназначенный для проведения неразрушающего контроля предварительно напряженной арматуры. Отличительной особенностью дефектоско-

па является наличие двух измерительных систем, встроенных в общую систему намагничивания. Основная измерительная система реализована по классическому принципу, показанному на Рис.1. Датчи-

ки основной измерительной системы измеряют величину тангенциальной компоненты вектора магнитного поля над продольно намагниченным участком объекта контроля.



Рис.3. Магнитный дефектоскоп

На Рис.4 показаны магнитограмма и показания одного из измерительных преобразователей основной измерительной системы, полученные при сканировании имитатора железобетонной балки. В первой половине участка сканирования поперечные стержни в имитаторе уложены равномерно с постоянным шагом и на одной глубине от поверхности. В результате на записи возникает участок с периодическим сигналом, являющимся помехой при проведении контроля напряженной арматуры. От мешающего сигнала правильной периодической формы, безусловно, можно избавиться с помощью алгоритмов фильтрации. Однако на практике заданный шаг укладки хомутов выдерживается с большой погреш-

ностью. Расстояние между хомутами может быть разным, они могут залегать на разной глубине. Также они могут быть подвержены коррозии. Это приводит к тому, что периодическая структура помехи нарушается. Предельный случай нарушения смоделирован в правой части участка сканирования - один из поперечных стержней удален из имитатора. Это привело к возмущению сигнала, которое может быть трактовано как результат взаимодействия магнитного поля дефектоскопа с участком потери сечения напряженной арматуры при условии, что равномерная периодическая укладка хомутов не нарушена. Таким образом, возникает неоднозначность в оценке результатов сканирования [4, 5].

Для устранения такой неоднозначности в приборе была реализована дополнительная измерительная система. Датчики дополнительной измерительной системы расположены так, что они взаимодействуют преимущественно с ненапряженной арматурой, расположенной близко к поверхности. На Рис.5. Показана магнитограмма дополнительной измерительной системы того же участка, что и на Рис.4. На записи хорошо видно отсутствие одного из поперечных стержней. В реальных условиях коррозия хомута или изменение глубины его залегания будут проявляться в изменении амплитуды локального максимума сигнала.

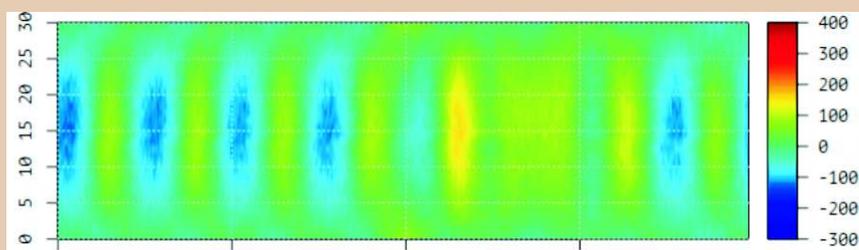


Рис.4. Показания основной системы измерения на участке с отсутствующим поперечным стержнем

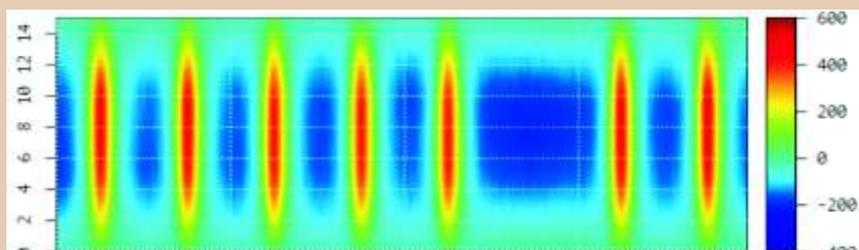


Рис.5. Показания дополнительной системы измерения на участке с отсутствующим поперечным стержнем

На Рис. 6 и 7 показана реакция основной и дополнительной измерительных систем на участок имитатора, моделирующий коррозионную деградацию напряженной арматуры при условии, что поперечные стержни не меняли своего положения. В данном случае смоделирована потеря 30 %

рабочего сечения напряженной арматуры на участке протяженностью 100мм. Из рисунков видно, что интенсивное возмущение сигнала датчиков основной измерительной системы (Рис.6) соответствует минимальным изменениям сигнала датчиков дополнительной (Рис.7). На основа-

нии такого соотношения сигналов можно сделать вывод, что причиной возмущения являются особенности состояния продольной напряженной арматуры, в данном случае - потеря ее сечения. Величина потери сечения может быть оценена по амплитуде вносимого дефектом сигнала.

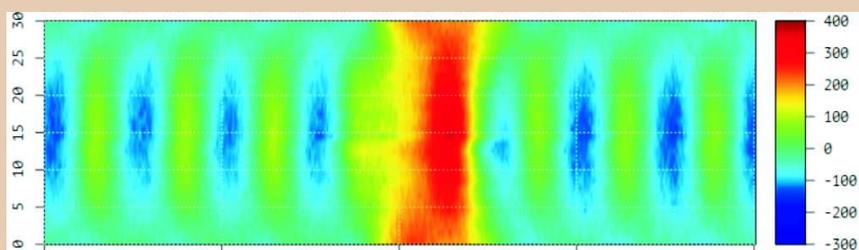


Рис.6. Показания основной системы измерения на участке с потерей сечения напряженной арматуры

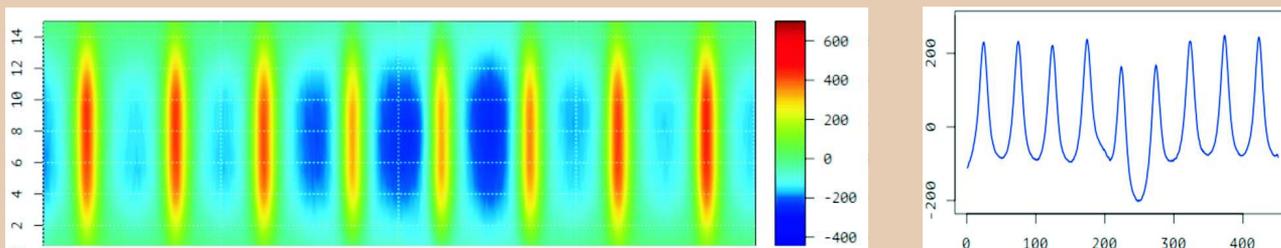


Рис. 7. Показания дополнительной системы измерения на участке с отсутствующим поперечным стержнем

Сканирование поверхности бетона осуществляется по плоскости, к которой ближе всего расположены пучки напряженной арматуры. Например, для двутавровой балки это

нижняя плоскость нижнего пояса. На Рис. 8 показаны варианты осуществления перемещения дефектоскопа вдоль поверхности сканирования: а - с помощью специальной

тележки, навешиваемой на нижний пояс, б - с помощью манипулятора, в - с помощью устройства, направляющих вдоль поверхности сканирования.



Рис. 8. Варианты осуществления перемещений дефектоскопа вдоль поверхности сканирования

Во время сканирования производится запись магнитограмм в память планшетного компьютера. Показаний измерительных преобразователей отображаются на экране в реальном времени, что позволяет оператору-дефектоскописту контролировать процесс записи. Последующая обработка выполняется на персональном компьютере с применением специализированного программного обеспечения Wintroarm.

Разработанная ООО «ИНТРОН ПЛЮС» технология позволяет проводить неразрушающий контроль напряженной арматуры железобетонных балок при одностороннем доступе к поверхности сканирования и без механического повреждения защитного слоя бетона [6]. При этом, использование дефектоскопа

ИНТРОАРМ дает возможность количественно оценить остаточную площадь поперечного сечения пучков напряженной арматуры. В Российской Федерации на основе разработанной технологии был разработан и утвержден Отраслевой дорожный методический документ "Технология магнитной диагностики предварительно напряженной арматуры и оценка технического состояния железобетонных балок мостовых сооружений" (ОДМ 218.5.009-2017).

Использование информации о фактическом сечении напряженной арматуры при оценке состояния мостового сооружения дает возможность для:

- своевременного проведения мероприятий по усилению балок без допущения развития критических необратимых деформаций;

- продления срока службы железобетонных пролетных строений мостовых сооружений;

- снижения удельной стоимости жизненного цикла мостовых сооружений за счет повышения межремонтного периода;

- снижение риска получения травм и смертельных исходов при авариях;

- снижение материальных затрат на восстановление мостового сооружения и организацию объезда при его отказе, издержек пользователей автодороги;

- снижение ущерба состоянию окружающей среды.

Более подробную информацию можно получить на нашем сайте [www.intron-plus.com](http://www.intron-plus.com).

1. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автомобильных мостов / Росавтодор. - М.: Инфрамавтодор, 2002.

2. ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. / Росавтодор. - М.: ФГУП «Инфрамавтодор», 2012.

3. Maierhofer C., Reinhardt H.-W., Dobmann G. "Non-destructive evaluation of reinforced concrete structures." Woodhead Publishing Limited, July 2010.

4. Nims D. K. "Magnetic Sensor for Nondestructive Evaluation of Deteriorated Prestressing Strand - Phase II, Final Report." University of Toledo, August 2011.

5. Titus M. D. "Development of Induced Magnetic Field Procedure for Nondestructive Evaluation of Deteriorated Prestressing Strand." University of Toledo, May 2011.

6. Myakushev K., Slesarev D., Sukhorukov D. "Magnetic flux leakage (MFL) method for nondestructive testing of pre-stressed steel reinforcement strands" 12th ECNDT, Gothenburg, Sweden, 2018

Материал поступил в редакцию 1 июня 2020 г.