

Захарова Л.Н., Захаров А.И., Сорочинский М.В.  
*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
 Фрязинский филиал  
 141120, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1.*

### Анализ колебаний мостов под влиянием сезонных изменений окружающей среды

Требования к надёжности мостовых сооружений определяют способность их выполнять свои функции в условиях различных внешних воздействий, как характерных, так и малохарактерных для данных эксплуатационных, климатических и т.п. условий. Для проверки соответствия фактического состояния моста его декларированным характеристикам осуществляют мониторинг, под которым принято понимать наблюдение за состоянием всего сооружения или его отдельных наиболее ответственных элементов, прежде всего: геометрических параметров, напряженно-деформированного состояния, температуры элементов сооружения, динамических характеристик, вариаций изменения размеров и т.д.

В докладе рассмотрены результаты контроля двух мостовых сооружений под действием ледовых масс по результатам использования спутниковой системы мониторинга Sentinel-1.

Радиолокационные изображения земной поверхности из космоса в последние десятилетия становятся всё более значимым источником информации о происходящих изменениях благодаря совершенствованию конструктивных особенностей радиолокационной аппаратуры, а также методик съёмки. Пространственное разрешение радиолокационных изображений, достигающее метров, а также орбитальный сценарий повторяющихся орбит, позволяет проводить интерферометрическую обработку снимков со спутников Sentinel-1 с целью обнаружения нарушений стабильности и оценки малых смещений для таких инженерных сооружений, как мосты. Будучи стабильными отражателями, мосты на интерферограмме могут демонстрировать полезное значение разности фаз, даже если отражательные свойства окружающего ландшафта за время между съёмками заметно изменяются, приводя к полной декорреляции.

Поскольку постоянный напор ледовой массы может оказать влияние на состояние конструкций, первоначальной целью исследования была интерферометрическая обработка пары снимков с близкими датами, охватывающими интервал времени, за который произошло таяние льда, для оценки значений интерферометрической фазы на конструкциях моста.

Разность фаз  $\Delta\varphi$  при условии коррелированности сигналов первой и второй съёмки может быть преобразована в величину сдвига  $d$  отражающей поверхности по отношению к точке съёмки (вдоль направления распространения сигнала) по формуле [1]

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} d, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны,  $\Delta\varphi$  — разность фаз на интерферограмме между элементами изображения, один из которых соответствует (локально) неподвижному участку поверхности, и тогда  $d$  — величина проекции сдвига второго (подвижного) участка на линию визирования.

#### Стригинский мост через Оку под Нижним Новгородом

Анализ снимков показывает, что река проходит широкой горизонтальной полосой по центру кадра, мост пересекает её, располагаясь вертикально. Использованы результаты обработки пары 24.01.2017-05.02.2017 и 14.09.2016-26.09.2016. Временной интервал между съёмками в обоих случаях составляет 12 дней. Особенность моста в том, что снизу мост состоит из сети металлических балок, являющейся сильным отражателем, в результате чего изображение нижней стороны моста в обоих случаях заметно ярче верхней.

В докладе представлены результаты анализа интерферограмм. Изменение фазы на разных сериях снимков следует интерпретировать как смещение одного фрагмента моста относительно соседних за время между съёмками, и вычисления по формуле (1) дают величину смещения вдоль линии визирования около 4 мм. При этом следует также отметить, что подвижный участок на отражении смещается в противоположную сторону, и это свидетельствует о смещении фрагмента моста как единой конструкции, поскольку, если бы смещалось только

полотно шоссе, на отражении никаких изменений бы не произошло. Что касается полосы отражения по типу «двугранный уголок», она слишком узкая, и при вычислении фазы за счёт операции усреднения на значения фазы слишком сильно влияют изображения моста, находящиеся слева и справа от неё, поэтому достоверных фазовых измерений на ней провести невозможно.

#### Железнодорожный мост в Зеленодольске

Второй мост - железнодорожный мост через Волгу в г. Зеленодольск (респ. Татарстан). Амплитудные изображения получены 2 и 14 февраля 2017 г.

По результатам анализа можно отметить многократные отражения. Конструкция моста фермовая, и металлические фермы, состоящие из перекрещенных металлических балок, которые, находясь выше основного полотна моста, дают полосу на изображении, смещённую по дальности влево относительно собственно дороги. Далее повторные изображения снова даёт механизм уголкового отражения и переотражения от поверхности льда нижней стороны моста. Фазовая картина в данном случае ровная, без колебаний уровня вдоль моста, из чего можно заключить, что мост за период между съёмками 2 и 14 февраля оставался неподвижным.

#### Вывод

По результатам проведённого анализа можно сделать выводы:

1. Радиолокационный анализ на примере съёмки Sentinel-1 может использоваться для оценки возможных деформаций мостов в период активной ледовой нагрузки;
2. Представленные результаты показывают, что рассмотренные мосты обладают достаточным запасом прочности и наблюдаемые деформации незначительны.

#### Литература

1. Захарова Л.Н., Захаров А.И., Сорочинский М.В. Особенности радиолокационных изображений мостов на примере съёмки Sentinel-1 / VII Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской научной конференции. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2017. – С.222-228