

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре
и подвижному составу 7 – 9 августа 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре
и подвижному составу 9 – 12 октября 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 12 октября 2012 г.

**Р
774/8**

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
КАМЕННЫХ И КИРПИЧНЫХ АРОЧНЫХ МОСТОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ**

1. ВВЕДЕНИЕ

Арочные мосты из кирпичной и каменной кладки составляют значительную долю общего количества мостов в Европе и во всём мире. Арочные мосты являются самыми старыми конструкциями мостов, которые в настоящее время находятся в эксплуатации, несмотря на то, что действующие нагрузки со времени их постройки значительно возросли. Тенденция к дальнейшему увеличению нагрузок выдвигает на первый план следующие вопросы: необходимость оценки надёжности арочных мостов с учетом их современного технического состояния и существующей тенденции к увеличению нагрузки, которой они подвергаются; прогнозирование устойчивости к нагрузкам в будущем; определение ожидаемого срока службы мостов арочной конструкции с учётом изменившихся условий эксплуатации и ухудшения их состояния; экономическая целесообразность дальнейшей эксплуатации арочных мостов в сложившихся условиях.

Актуальность вопроса состоит в необходимости продления срока эксплуатации железнодорожных мостов арочной конструкции, имеющих широкое распространение во всём мире, и нуждающихся в постоянном мониторинге с применением эффективных расчетно-экспериментальных методов контроля эксплуатационной надёжности. Применение изложенных в рекомендации теоретических положений и технических решений позволяет обеспечить формирование на научной основе методического обеспечения комплексной системы оценки пригодности к эксплуатации железнодорожных мостов арочной конструкции, включая мосты со значительными сроками эксплуатации. В ряде случаев такой подход позволяет гарантированно повысить эксплуатационную нагрузку, что соответствует наметившейся в последнее время тенденции в эксплуатации железнодорожного транспорта.

2. ДЕТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА МОСТОВ

2.1. Роль и цели детальной диагностики мостов

В соответствии с установленной системой диагностики проводят периодические плановые проверки (осмотры, обследования и испытания) арочных мостов. В экстренных случаях может проводиться их внеплановая проверка. Задачей общей проверки моста является систематический контроль за его техническим состоянием, ведением документации, выявление изменений и повреждений конструкции, а также выявление тех мест, которые требуют обследования на более высоком уровне. Общая проверка моста проводится – как правило – с помощью его визуального осмотра.

Основная цель детальной диагностики арочных мостов состоит в получении исходных данных для проведения статического моделирования конструкции и расчётов её несущей способности, определения причин и степени повреждений конструкций, а также разработке предложений по устранению выявленных ранее повреждений. Геометрические параметры моста, свойства материалов а так же характер и степень повреждений конструкций оказывают непосредственное влияние на конструктивное поведение, прочность и надёжность арочных мостов. Оценка параметров, воздействующих на конструктивное поведение и прочность моста на основе проведённых цифровых исследований, предшествующих научным результатам, а также практического опыта, представлена в таблице 1.

Оценка параметров, воздействующих на конструктивное поведение и прочность моста

	Параметр	[A]	[B]	[C]
Геометрические параметры	Пролёт арки	1	1	
	Подъём арки	1	1	
	Геометрическая форма арки	2	2	
	Толщина арки	2	1	
	Эффективная «рабочая» ширина арки	2	1	
	Тип связи/соединения арки	1	3	
	Высота насыпи	1	1	
	Угол косины моста	1	2	
	Геометрия устоя моста	2	3	
	Геометрия опор моста	2	2	
	Геометрия фундамента, плоскость фундамента	2	2	
	Наличие и геометрия опорной стены с задней стороны	2	2	
	Толщина лобовой стены	2	3	
	Наличие и геометрия продольных укрепляющих опорных стенок	3	2	
	Наличие и геометрия других скрытых элементов	3	2	
	Наличие и геометрия прежних усилений моста (тип, геометрия)	3	2	x
	Характеристик и материалов	Тип, прочность и другие механические характеристики кладочных элементов	2	2
Тип, прочность и другие механические характеристики раствора		2	2	x
Объёмный вес кладки		2	3	
Объёмный вес подстилающего слоя/насыпи		3	2	
Распределение влажности в кладке		3	3	x
Распределение влаги в насыпи		3	3	x
Механические и геотехнические характеристики подстилающего слоя/насыпи		3	2	
Характеристики повреждений	Ослабление и выпадение кладочных элементов	1	2	x
	Трещина/щель на интрадосе (внутреннем своде) арки	2	1	x
	Трещина/щель на экстрадосе (наружном своде) арки	3	2	x
	Отделение лобовых стен от арки	2	3	
	Деформация арки	2	1	
	Отделение колец арки	3	2	x
	Полоса пустоты внутри арки, другие разрывы сплошности	3	3	x
	Расслоение поверхности арки	2	2	x
	Эрозия, недостаток материала (фуги)	2	2	x
	Выветривание элементов кладки	2	3	x
Повреждение фундамента (например, из-за его понижения или вымывания)	2	1	x	
<p>[A] Доступность параметра:</p> <p>1: Данные, касающиеся данного параметра могут быть получены из имеющихся проектов моста, из документации предыдущих исследований, путём визуального исследования (осмотра) и с помощью геодезических измерений</p> <p>2: Данные, касающиеся данного параметра, часто отсутствуют в документах, имеющихся в распоряжении, или же их величины во многих случаях являются ненадёжными. В ходе осмотра или обычного испытания на месте могут быть определены лишь приблизительные величины параметров. Для более точного определения данных необходимо проводить специальные детальные исследования.</p> <p>3: Данные, касающиеся данного параметра, чаще всего отсутствуют в имеющейся документации или их величины в большинстве случаев устарели и крайне ненадёжны. Их точное определение возможно исключительно путём специальных и детальных исследований.</p> <p>[B] Важность параметра с точки зрения несущей способности моста:</p> <p>1: Основной параметр принципиальной важности</p> <p>2: Важный параметр</p> <p>3: Дополнительный параметр</p> <p>4: Параметр не существенной важности</p> <p>[C] Важность параметра с точки зрения прочности:</p> <p>x: Важный параметр с точки зрения прочности</p>				

Из анализа данных таблицы 1 следует, что достоверные значения большей части параметров, влияющих на несущую способность и прочность арочных мостов, или отсутствуют в распоряжении исследователей, или не могут быть определены обычными методами исследования в процессе осмотра сооружений. Для определения этих параметров целесообразно проведение детальной диагностики с применением специальных диагностических методов.

2.2. Методы детальной диагностики

Детальной диагностике арочных мостов должна проводиться после проведения осмотра сооружения, визуального контроля, ибо никакое техническое средство не может заменить «глаза инженера-специалиста». Визуальный контроль, осмотр может дополняться проведением геометрических измерений, которые проводят традиционными способами. В ходе осмотра определяют вид конструктивных материалов, тип кладки, характер и эффективность ранее проведенных ремонтов.

Важнейшими исходными параметрами математических расчётных методов являются прочность на сжатие и другие механические характеристики материала арки. Для их определения на практике широко применяются метод отбора кернов и их испытания до разрушения. Наибольшим недостатком этого метода исследования является то, что для получения достаточного количества данных, необходимых для статистического анализа, требуются значительные затраты. Кроме того, отбор кернов сопровождается значительными разрушениями конструкций моста.

Методы испытаний, которые могут иметь практическое применение в ходе исследования кирпичных и каменных конструкций, приведены в *Таблице 2*. Однако следует отметить, что в случае арочных мостов из кирпичной и каменной кладки опыт практического применения этого метода ограничен.

Обзор существующих методов диагностики

Разрушающие методы испытаний (DT)	Испытания с минимальным разрушением (MDT)	Неразрушающие методы испытания (NDT)	Испытания «мониторинг»
1	2	3	4
Стандартные механические испытания высверленных проб (кернов)	Эндоскопическое обследование просверленных скважин	Георадиолокационный метод	Испытание отстукиванием
Физические и химические испытания высверленных проб (кернов)	Испытания поверхности (молоток Шмитта, измерение проникновения, испытание извлечённого материала)	Инфракрасное измерение температуры	Метод акустической эмиссии
Стандартные геотехнические испытания высверленных проб (кернов)	Испытания высверленных проб (кернов) малого диаметра	Сейсмические метод/ Метод сейсмического исследования	Мониторинг трещин
		Электродинамическое зондирование	Лазерное определение формы
			Мониторинг влажности
			Мониторинг деформаций
			Динамические испытания

2.2.1. Испытания с минимальным разрушением (MDT)

Испытания с минимальным разрушением (MDT) направлены, в первую очередь, на ориентировочное определение механических и других характеристик кладки, а также на определение дефектов, аномалий и их распространение внутри конструкции. Преимуществом этого метода является возможность получения довольно большое количество данных для статистического анализа, при минимальном разрушение конструкции. Недостатком - является то, что он даёт информацию лишь об ограниченной зоне вблизи обследуемой поверхности исследуемого объекта.

Наибольшее распространение на практике получили методы:

- камера-обскура и видеоэндоскопия;
- поверхностное измерение прочности;
- поверхностные и глубокие измерения влажности.

2.2.2. Неразрушающие методы испытания (NDT)

Неразрушающие методы испытания (NDT) получают всё более широкое распространение при проведении диагностики арочных конструкций. Преимуществом этих методов является возможность получения информации на большой глубине, что позволяет обнаружить скрытые дефекты, аномалии, а так же скрытые конструкции, установить их геометрические и механические свойства. Основным преимуществом этих

методов является то, что они дают обзорную картину состояния конструкции, но, общеизвестным их недостатком является затруднённая оценка полученных данных, а также то, что на сегодня не удается найти надёжную корреляцию между механическими характеристиками конструкции и данными, полученными путём испытаний без разрушения.

Некоторые из неразрушающих методов уже успешно применяется на практике:

- георадар (георадиолокационная съёмка);
- сейсмическая томография;
- инфракрасная термография.

2.2.3. Мониторинг технического состояния

Мониторинг - процесс наблюдения и регистрации данных о каком либо объекте на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения данных существенно не меняются. Целью мониторинга состояния является наблюдение за состоянием объекта для определения и предсказания момента перехода в предельное состояние. Например, наблюдение за развитием деформаций конструкций, появлением трещин, оседанием опор, изменением динамических и других характеристик, указывающих на его состояние под воздействием нагрузок и регистрация изменений на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения данных существенно не меняются.

Мониторинг технического состояния моста весьма эффективен для раскрытия причин повреждений.

В таблице 3 на основании опыта проведения экспериментальных исследований, и данных специальной литературы приведена «Оценка применимости отдельных методов диагностики для измерения соответствующих параметров». В таблице 4 приводятся данные по эффективности отдельных видов диагностики при определении соответствующих параметров при практическом применении.

Таблица 3

Оценка применимости отдельных методов диагностики для измерения соответствующих параметров

Виды исследования	Методы исследования	NDT		MDT						Мониторинг												
		Сейсмический метод	Геодар/геодар в сверлении	Инфракрасное измерение температуры	Измерение электронного сопротивления	Исследование сверлённых проб с малым diam	Камера в сверлении/эндоскопическое исследование	Исследование 'Flat-jack'	Исслед. поверхность			Исследование молотка Шмидта	Измерение проникновения	Вытяжное исследование	Исследование отстукиванием	Исследование акустической эмиссии	Мониторинг трещин	Лазерное определение формы	Мониторинг влажности	Мониторинг деформации	Динамическое исследование	
									Исслед. поверхность	Исслед. поверхность	Исслед. поверхность											
Геометрические параметры	Геометрические размеры арки																1					
	Трещина арки	2	2		3	1	1															
	Размеры (габариты) устоя моста	2	2		3	1	1															
	Размеры (габариты) опоры моста	2	2		3	1	1															
	Глубина фундамента	2	2		3																	
	Наличие, материал, геометрия опорной стены с задней стороны	3	3		3	1	1															3
	Толщина лобовых стен	2	2		3	1	1															
	Наличие, геометрия продольных усилительных стен	2	2	3	3	3	2															3
	Другие скрытые характеристики (глухие арки, полости)	2	1	3	3	3	1															
	Тип, характер прежнего ремонта	3	3	3	3	1	1															3
Тип, геометрия фундамента	2	2																			3	
характеристик и материалов	Тип, состояние, прочность кладки			3		1	2	2	2	2	2	2							3			
	Вид, состояние, прочность раствора			3		2	2			2									3			
	Объёмный вес кладки	3	3		3	1	2			3												3
	Объёмный вес забутовки	3	3		3	1	2															3
	Влажность кладки		2	2	2	2	3												1			
	Влажность забутовки		2		2	2	3															
	Механические характеристики забутовки	3	3		3	1	2															3
Повреждения	Расслабление и сдвиг кладочных элементов			3			3					2						1				
	Трещина на интрадосе (внутреннем своде) арки	2	3	2			3						3	1	3							3
	Трещина на экстрадосе (наружном своде) арки	2	3				3															3
	Отслоение лобовых стен от арки	2	3			3	2											3				3
	Деформация арки																	1			1	
	Отделение колец арки	3	2			3	2						3	3								3
	Наличие зон разуплотнения в кладке и забутовке	2	2	3	3	3	2						3									
	Поверхностное расслоение арки	3	3	2		2	2			3		3	2									
	Отсутствие расшивки швов кладки (фуги)	3	2	2	3	3	2				2		3					2				
	Выветривание кладочных элементов			3		2	2			2		2	2									
	Повреждения фундамента	2	2		3	3	3														2	3

Условные обозначения: NDT – неразрушающие методы диагностики

MDT – методы диагностики с минимальным разрушением

■ 1: Предоставляет основную и достоверную информацию

■ 2: Предоставляет полезную информацию, достоверность измерения зависит от условий

□ 3: Предоставляет лишь дополнительную информацию, достоверность измерений зависит от условий

Пустое место: не предоставляет информацию, пригодную к использованию

Эффективность отдельных видов исследования при определении соответствующих параметров при практическом применении

Методы исследования		Цель исследования									
		Определение типа составных материалов	Определение механических характеристик	Определение физических и химических характеристик	Определение геометрического профиля арки	Определение скрытых характеристик	Определение повреждений	Верификация расчётной модели	Характеристика общего состояния моста	Мониторинг состояния	Исследование результатов прежних вмешательств
NDT	Сейсмический/сейсмический методов в сверлении	3	3	3		2	2		2	3	2
	Геодар/геодар в сверлении	3	3	2		2	2		2	3	2
	Инфракрасное измерение температуры	2	3	3		3	2		2	3	3
	Измерение электронного сопротивления	3	3	2		3	3		2	3	3
MDT	Исследование высверленных кернов (проб) малого диаметра	1	1	1		2	3		3	3	1
	эндоскопическое исследование пробуренных скважин (шпуров).	1	3	3		1	2		3	3	1
	Исследование 'Flat-jack'		2					2	3	3	3
	Исследование с помощью молотка Шмидта	3	2				3		3		
	Измерение прочности методом вдавливания	2	2	3			3		3	3	3
	Измерение прочности материала методом вырыва конуса	2	2	3					3		3
Мониторинг	Исследование отстукиванием	3	3	3		3	2		2	2	3
	Исследование акустической эмиссии						3	2	2	2	2
	Мониторинг трещин						3	3	3	2	3
	Лазерное определение формы (сканирование)				1		2	3	2	2	
	Мониторинг влажности		3	2		3	2		3	3	2
	Мониторинг деформации				3		2	2	3	2	2
	Динамическое исследование						3	2	2	2	2
<p>Условные обозначения: NDT – неразрушающие методы диагностики MDT – методы диагностики с минимальным разрушением</p> <p>■ 1: Применяется как основной вид исследования.</p> <p>■ 2: Применяется как дополнительный вид исследования в комплексе с другими методами.</p> <p>■ 3: Применяется лишь в специальных случаях или в качестве эксперимента</p> <p>Пустое место: применение для данной цели не предлагается</p>											

3. Многоуровневый алгоритм оценки надёжности железнодорожных мостов арочной конструкции

Оценку надёжности мостов арочной конструкции целесообразно производить по многоуровневой системе. Оценку, в каждом отдельном случае, необходимо начинать с осмотра сооружения, результаты которого позволяют получить общие представления о техническом состоянии моста. При этом посредством осмотра сооружения невозможно определить фактическую несущую способность моста. Проведение осмотра моста является достаточно простым видом диагностики, и не требует значительных затрат времени и материальных ресурсов. Проведение осмотра моста следует считать оценкой технического состояния 1-го уровня.

О мостах, получивших на 1-м уровне исследования оценку «удовлетворительно», с большой степенью вероятности можно утверждать, что они соответствуют нормативным требованиям. Приближенные методы, применяемые на 1-м уровне, могут быть использованы лишь для оценки мостов с незначительными неисправностями и только при определённой геометрии моста.

В случае, если конструкции мостов получили неудовлетворительную оценку на 1-го уровня, необходимо провести дальнейшие исследования 2-го уровня оценки, с применением более подробных и точных методов диагностики и соответствующих расчётов. В случае в результате проведенных исследований и расчетов установлена недостаточная несущая способность моста, необходимо немедленно ввести временные ограничения по эксплуатации объекта (ограничение скорости движения, ограничения осевой нагрузки) вплоть до закрытия движения поездов.

На 2-ом уровне оценки целесообразно применять методы расчёта, которые позволяют учитывать характеристики важнейших параметров, влияющих на несущую способность моста, используя сравнительно простую модель (например, метод неподвижных блоков или метод линии давлений). При консервативном определении величин параметров или применении метода вероятности может быть определён нижний предел несущей способности. Поскольку на этом уровне, как правило, ещё не проводится уточнение исходных параметров расчёта с помощью детальных диагностических методов, поэтому в случае применения методов теории вероятности при определении величины относительного расстояния необходимо учитывать их неопределённость.

Поскольку несущую способность моста с помощью этого метода определить невозможно, необходимо провести детальные диагностические исследования для уточнения некоторых исходных параметров. В ходе проведения диагностических исследований необходимо сосредоточивать внимание, в первую очередь, на тех параметрах, которые оказывают наибольшее влияние на несущую способность моста. Расчёты необходимо провести повторно с уточнёнными параметрами. В случае оценки при помощи метода теории вероятности, исходные параметры (или их части) можно учитывать с уменьшенным коэффициентом вариации или с ожидаемой величиной несущей способности, то есть необходимо учитывать более низкий коэффициент общей надёжности.

Оценку 3-го уровня необходимо проводить в тех случаях, когда на предыдущих двух уровнях не удалось подтвердить соответствие несущей способности моста действующим нормам. Уточнённые методы расчёта, применяемые на 3-ем уровне

(методы конечных элементов, методы дискретных элементов), пригодны и для анализа специальных особенностей структурного поведения (например, распределение напряжения, образование трещин в арке, пластичная, формоизменяющая способность арки, взаимосвязи между нагрузкой и формоизменением и т.д.). Ввиду того, что в моделях расчёта, применяемых на этом уровне, требуется определение большого количества параметров, которые на предшествующих уровнях были не нужны, необходимо проводить дальнейшие детальные диагностические исследования для их установления или уточнения. Для уточнения расчётных моделей значительную помощь могут оказать мониторинговые исследования, а также в случае необходимости проведение испытаний моста с последующим анализом результатов испытаний. Оценку 3-его уровня рекомендуется проводить и в случае необходимости проверки пригодности моста к эксплуатации, а так же в случае наличия повреждения конструкций, характер которых не позволяет выполнить моделирование методами, применяемыми на предшествующих уровнях.

На рис.1 представлена Блок-схема многоуровневого алгоритма оценки надёжности железнодорожных мостов арочной конструкции

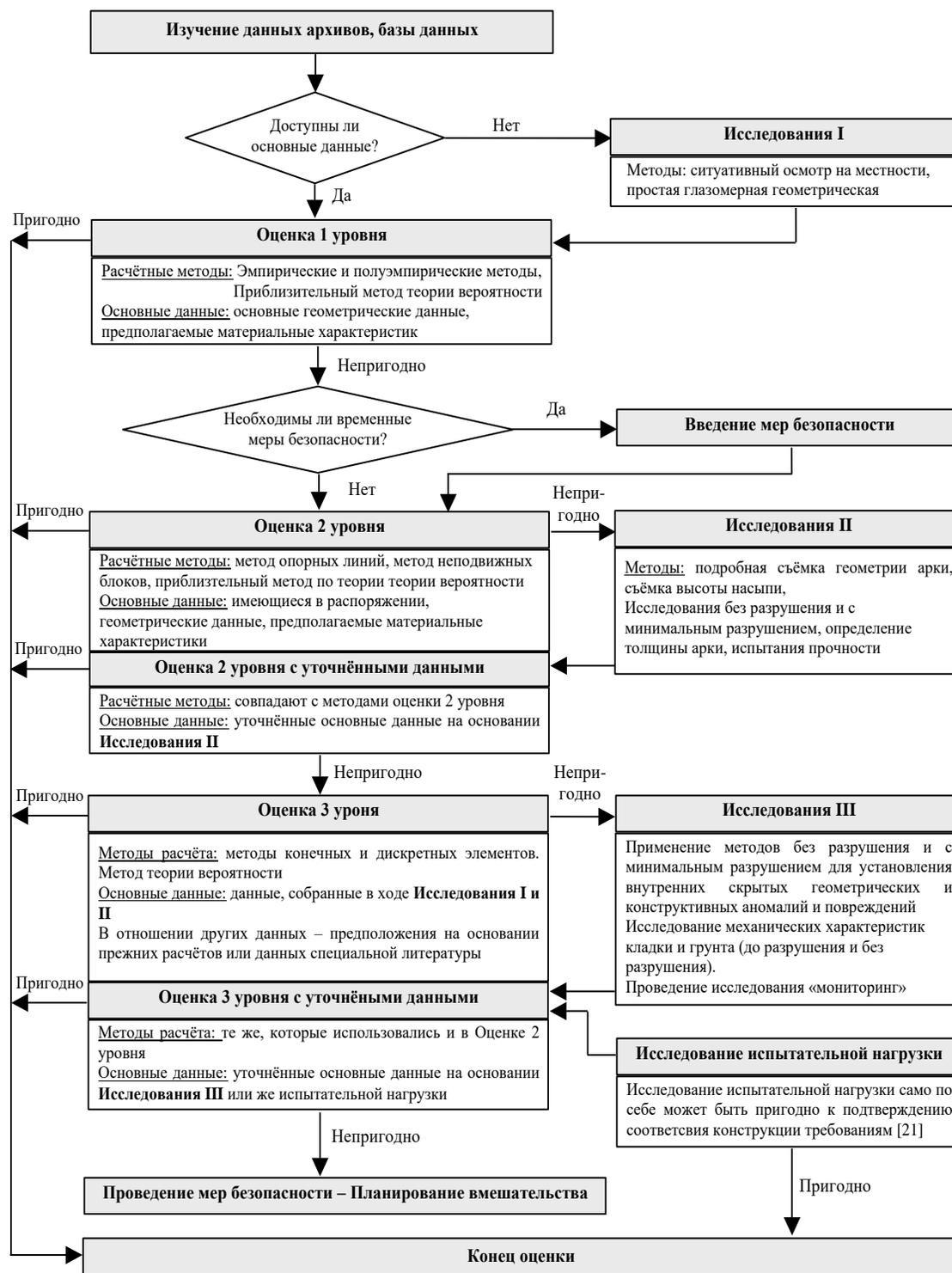


Рис. 1 – Блок-схема предлагаемого многоуровневого алгоритма оценки надёжности железнодорожных мостов арочной конструкции