

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕНЕЗИСА АНОМАЛИЙ НА ПЛОТИНАХ

В.О. Токмаджян¹, Г.С. Габаян²

¹ Государственный комитет водного хозяйства при Правительстве РА
² ООО “Гидроэнергетика”

На основе результатов исследования причин трещинообразования периметральной галереи плотины рассматриваются вопросы применения методов логического анализа при определении причин возникновения аномальных явлений на сложных инженерных сооружениях. Показано, что в определенных ситуациях следует дифференцировать все наблюдаемые аномалии и для каждого из наблюдаемых нарушений в отдельности построить причинно-следственную цепочку. Дается наглядная оценка развития дефектов, которую можно получить путем построения деревьев отказов, что позволяет прогнозировать дальнейшее развитие процессов и оценить их воздействие на надежность сооружения.

Ключевые слова: логическое моделирование, дерево отказов, периметральная галерея, склерометрические измерения, температурно-осадочный шов.

Введение. В практике исследования аномальных явлений на сложных сооружениях весьма важно применение методов логического моделирования. Процесс исследования усложняется, когда видимая аномалия является результатом нескольких нарушений, не зависящих друг от друга. В подобных случаях интегральная оценка наблюдаемого воздействия может привести к ошибочной оценке причин возникновения аномалий. При этом следует дифференцировать все наблюдаемые аномалии и попытаться в отдельности построить причинно-следственную цепочку для каждого из наблюдаемых нарушений.

Методы исследования. Для правильной оценки воздействия тех или иных аномалий в работе сооружения весьма важно изучить сценарии развития возможного дефекта.

При анализе сценариев развития дефектов, как правило, в качестве отправной точки следует принять результаты обследования состояния сооружения. Наглядную оценку развития дефектов можно получить путем

построения так называемых деревьев отказов, что позволяет прогнозировать дальнейшее развитие процессов и оценить их воздействие на надежность сооружения. При этом важное значение имеет анализ достоверности имеющейся информации и предыдущих исследований.

Приведем пример подобного анализа ситуации на одной из строящихся плотин, исследование которой было проведено по просьбе строительной организации.

Организация, осуществляющая строительство плотины А, выразила обеспокоенность по поводу состояния инъекционно-смотровой периметральной галереи плотины, находящейся в процессе строительства. Причинами беспокойства были качество бетонной конструкции галереи и состояние межсекционных температурно-осадочных швов. На стенах галереи местами были обнаружены трещины, а также наблюдалась инфильтрация дождевой воды и инъекционного раствора в галерею. Строительной организацией были проведены склерометрические испытания бетона по всей длине галереи с учащением в зонах повышенной трещиноватости отделки. Проводились также отборы кернов бетона и последующее испытание их в лабораторных условиях.

На основании обобщения результатов исследований было обнаружено, что на строительство отдельными партиями поступал некачественный бетон, чем в основном аргументировалось наличие трещиноватых участков в отделке периметральной галереи.

Уже во время визуального осмотра сооружений возникло сомнение в правильности выводов строительной организации в связи с несистемностью зон возникновения нарушений. Поэтому первоначальной целью исследования стала проверка достоверности данных измерений, проведенных строительной организацией. Как выяснилось при обсуждениях, перед испытанием кубиков проводилось их опробование склерометром. Строительной организацией любезно были предоставлены результаты испытаний бетона.

Для проверки достоверности переданных данных нами была сделана попытка установления коррелятивной связи между показаниями склерометра и прочностью бетона, полученного путем испытания образцов под прессом. Результаты приведены на рис. 1.

Как показали результаты обработки, проведенные исследования имеют невысокую точность. Квадрат смешанной корреляции для исследуемых множеств составляет $R^2=0,48$. Это свидетельствует о том, что связь между исследуемыми множествами не слишком тесная.

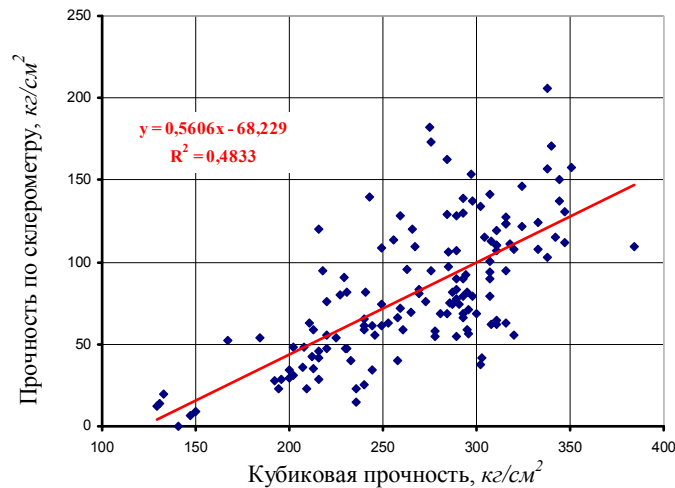


Рис. 1. Коррелятивная связь между призмной прочностью и испытаниями склерометром

На основании анализа выяснилось несоответствие одного из измерений, осуществленных строительной лабораторией. Другой задачей было понять, какие измерения, проведенные строительной организацией, недостоверны. Для этого были проведены дополнительные склерометрические измерения на участках отбора проб для керновых испытаний, результаты которых были сравнены с результатами испытаний кернов, проведенных ранее строительной организацией. Корреляция между исследуемыми параметрами была выполнена с применением полиномиальной функции 3-й степени. Кривая связи между исследуемыми параметрами приведена на рис. 2.

Квадрат смешанной корреляции для исследуемых множеств составляет $R^2=0,93$, что свидетельствует о том, что связь между исследуемыми параметрами весьма тесная.

В результате проведенных исследований были подтверждены достоверность данных лабораторных испытаний образцов бетона и непригодность данных склерометрических исследований, проведенных ранее строительной организацией.

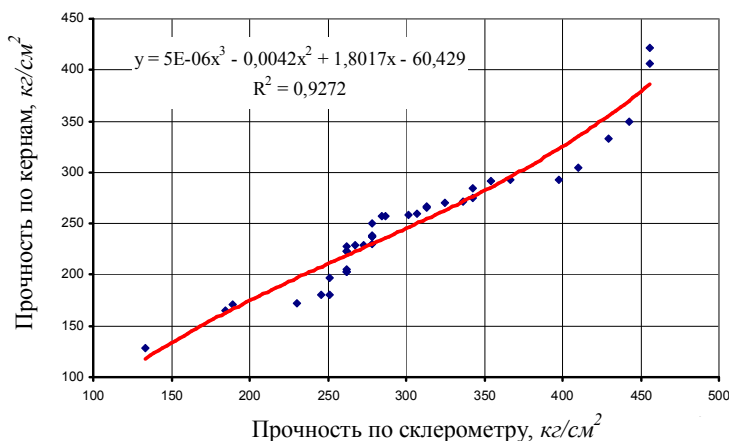


Рис. 2. Коррелятивная связь между прочностями бетона галереи, определенными кернавым и склерометрическим методами

Далее были проведены обширные склерометрические измерения по всей длине галереи. Испытания проводились на стенках галереи. Бетон лотка галереи не был испытан, так как в момент инспекции он в основном был покрыт цементным камнем, и невозможно было проводить достоверные исследования. Как показали результаты статистической обработки данных склерометрических исследований, среднее значение прочности исследованных участков составило $305,6 \text{ кг/см}^2$, а наибольшая повторяемость определена в пределах $280 \dots 300 \text{ кг/см}^2$.

Для проверки версии поэтапного поступления на строительство некачественного бетона были проведены анализы изменения прочности бетона по длине галереи.

Зависимость изменения прочности бетона по длине туннеля приведена на рис. 3. Как видно из рисунка, нет определенной закономерности, определяющей прочность бетона по длине галереи.

Были проведены также испытания с целью проверки связи между трещинообразованием отделки и прочностью уложенного бетона. Результаты исследований показывают, что качество бетона в зонах трещинообразования не уступает бетону других зон. Из сказанного следует, что трещинообразование никак не связано с качеством исполнения бетона.

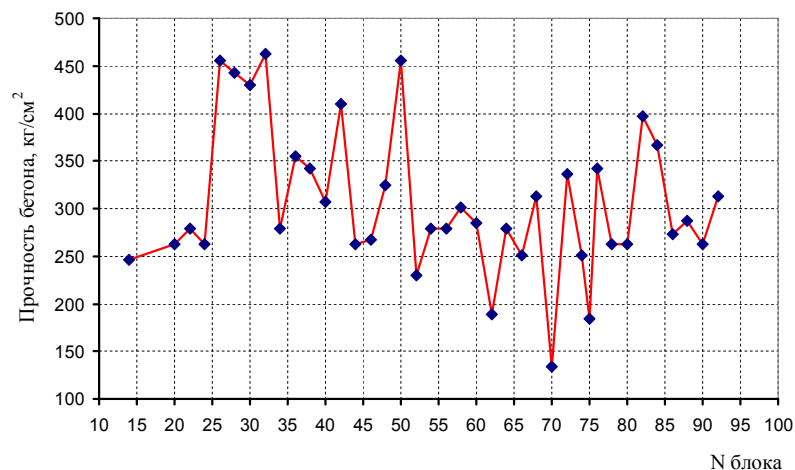


Рис. 3. Изменение прочности бетона по длине галереи

Следующей задачей, требующей обоснования, была оценка заключения строителей, что трещины в обделке являются причиной затопления галереи.

Конструктивно галерея спроектирована таким образом, что нижняя ее часть заложена в материковый грунт в основании плотины, а верхняя часть закрыта отсыпкой тела плотины. К моменту исследования практически по всей длине галереи отсутствовала отсыпка тела плотины и имелся доступ для обследования верхней части галереи снаружи. Исследование состояния швов показало некачественное их исполнение. В частности, исполнение поперечных диафрагм некачественное. Были обнаружены швы, где диафрагма установлена скрученно. На некоторых швах было замечено смещение компенсатора от центра, что может привести к его разрыву во время работы. В качестве заполнителя шва вместо предложенного проектом фильтра из упругого материала толщиной 10...15 мм установлены листы пенопласта толщиной 30 мм, которые при первом же обжатии больше не восстанавливаются. В результате обследования выяснилось, что не обеспечена герметичность температурно-осадочных швов, и вода может в них проникать даже при незначительном напоре за галереей. Из указанного можно предположить, что основной причиной затопления галереи дождевыми водами являются не трещины в обделке, как указано в докладе строительной организации, а отсутствие герметичности швов.

Результаты исследования

1. Данные склерометрических измерений, проведенные строительной организацией, недостоверны, и их применение при анализе причин трещинообразования в галерее неправомерно.

2. Данные испытаний кернов, выбуренных из бетона отделки, достоверны и могут быть использованы для анализа состояния галереи.
3. Исследованиями не обнаружена зависимость между качеством бетона и активностью трещинообразования в отделке галереи.
4. Отсутствует какая-либо систематичность в снижении качества бетона по длине туннеля.
5. Затопление галереи наружными водами в основном происходит вследствие некачественного исполнения уплотнений температурно-осадочных швов.

Таким образом, можно заключить, что выводы комиссии строительной организации ошибочны, нет никаких подтверждений взаимосвязи между качеством бетона и трещинообразованием в отделке галереи. Кроме того, нет достоверного обоснования о поступлении партий некачественного бетона на строительство.

При визуальном обследовании бетона галереи было обращено внимание на тот факт, что основная группа трещин носит систематический характер и тянется горизонтально на уровне пяты свода галереи (рис. 4а). Можно предположить, что здесь возникают растягивающие напряжения, т.е. имеет место боковое обжатие конструкции галереи по бокам с наружной стороны.

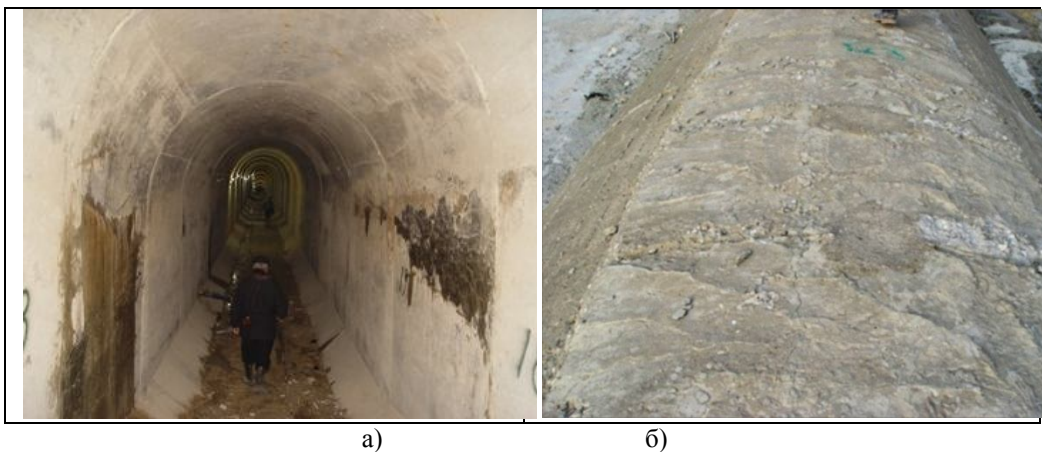


Рис. 4. Трещины в отделке галереи: а - внутри на уровне пяты свода, б- снаружи на своде

Если такое предположение верно, так как свод галереи свободен от отсыпки, то следует ожидать, что на своде возникнут растягивающие напряжения с наружной стороны. Визуальный осмотр свода галереи с наружной стороны показал наличие продольных трещин на своде. Причем трещиноватость свода была четко согласована с участками трещинообразования в пяте свода с внутренней стороны. Следовательно, концепция наличия бокового давления на

стены галереи с наружной стороны является правильной. Единственно возможной нагрузкой на стены галереи могло быть давление на них вследствие проведения цементационных работ.

Как было отмечено, при ведении цементационных работ III и IV очередей подавалось давление до 10 атм. Нами были произведены предварительные расчеты напряженного состояния галереи при воздействии нагрузок при цементации. Математическая модель напряженного состояния галереи выполнена с применением программы Sigma, пакета прикладных программ Geo-Slope. В результате расчетов получено, что при ведении цементационных работ в стенке галереи со стороны, где ведутся эти работы, изнутри возникают значительные растягивающие напряжения, достигающие максимальной величины 3 МПа в районе пяты свода (рис. 5). Растягивающие напряжения возникают также с внешней стороны свода и достигают максимального значения у замка с некоторым смещением в противоположном направлении от стороны, где ведутся цементационные работы. Максимальные растягивающие напряжения с наружной стороны галереи достигают величины более 1 МПа. На рис. 5 показана деформация обделки галереи от воздействия нагрузок.

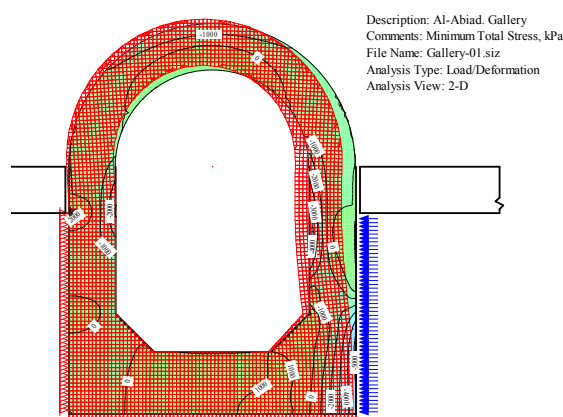


Рис. 5. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния галереи при проведении цементационных работ в условиях открытого свода

Заключение. Как показывают визуальные наблюдения, именно к участкам, где проведены цементационные работы, приурочено подавляющее большинство трещин в галерее. Следовательно, можно утверждать, что причиной возникновения трещин в галерее являются нагрузки на стены, возникающие при проведении цементационных работ. На основании проведенных исследований выработаны рекомендации по дальнейшему ведению цементационных работ.

Литература

1. **Габаян Г.С.** Применение метода исключений при анализе причин возникновения аварийных ситуаций на плотинах // Сборник докладов 7-го Международного конгресса “Вода: экология и технология”: “ЭКВАТЭК-2006”. Часть 1.- М., 2006.- С. 381.
2. **Габаян Г., Андреасян А.** Использование метода логического моделирования для разработки программ исследования водохранилищ // Известия Ереванского государственного университета архитектуры и строительства.- Ереван, 2006.- N1.- С. 44-47.

*Поступила в редакцию 12.08.2014.
Принята к опубликованию 20.11.2014.*

ՋՐԱՄՔԱՐՆԵՐՈՒՄ ԱՆԲՆԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԼՊԱՏԱԿՈՎ ՏՐԱՄՔԱՆԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄ

Վ.Հ. Թոքմաջյան, Գ.Ս. Գաբայան

Ջրամբարի պարագծային սրահի ճաքերի առաջացման պատճառների քննության արդյունքների հիման վրա ներկայացված է բարդ ինժեներական կառույցներում անբնականոնությունների առաջացման պատճառների որոշման ժամանակ տրամաբանական վերլուծության մեթոդների կիրառումը: Ուսումնասիրությունը ցույց է տվել, որ որոշակի իրավիճակներում անհրաժեշտ է տարբերակել նկատվող բոլոր անբնականոնությունները և յուրաքանչյուր խախտման դեպքում կառուցել պատճառահետևանքային առանձին շղթա: Գործընթացների զարգացման ակնհայտ գնահատում կարելի է կատարել թերությունների ծառի կառուցման միջոցով, ինչը թույլ է տալիս կանխատեսել գործընթացների հետագա զարգացումը և գնահատել դրանց ազդեցությունը կառույցների հուսալիության վրա:

Առանցքային բառեր. տրամաբանական մոդելավորում, թերությունների ծառ, պարագծային գալերեա, սկլերոմետրիկ չափումներ, ջերմաստիճանային նստվածքային կար:

APPLYING LOGICAL ANALYSIS AT DETERMINING THE ANOMALY GENESIS ON THE DAMS

V.H. Tokmajyan, G.S. Gabayan

Based on the investigation results of the cracking causes of the dam perimeter gallery, the issues on applying logical analysis methods at determining the causes of anomalies in complex engineering structures are considered. It is shown that in certain situations, it is essential to differentiate all the observed anomalies and try to separately construct the cause and effect chain for each observed violation. Visual assessment of defects can be obtained by constructing the fault trees, allowing to predict the further development of the processes and assess their impact on the reliability of the structure.

Keywords: logical modeling, fault tree, perimeter gallery, sclerometric measurements, temperature and sedimentary seam.