

УДК 502/504:550.832.44: 624.12: 624.19: 69.035.4

**С.К. ДАВЛАТШОЕВ, ДЖ.А. НАЗИРОВ**

Проектно-изыскательный институт «Таджикэнергопроект», г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Д.В. КОЗЛОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В КРУПНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

*Возведение энергетических объектов в сложных инженерно-геологических и сейсмических условиях, а также то, что гидротехнические подземные сооружения значительно отличаются от подземных сооружений другого назначения конструкцией, режимом работы, условиями возведения и эксплуатации, делают чрезвычайно актуальной задачу организации систематического контроля и прогнозирования состояния подземных сооружений в целях обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. Решение этой задачи требует создания системы геодинамического мониторинга: ускоренного развития методов и техники натурных наблюдений за работой подземных сооружений в процессе их строительства и эксплуатации, за фактическими нагрузками, действующими на них. Подземные сооружения представляют собой весьма сложные и ответственные объекты, безопасность и эффективность функционирования которых должна обеспечиваться в ходе строительства и в течение длительного периода эксплуатации. На основании многолетних исследований подземных сооружений Рогунской ГЭС комплексом геофизических, геотехнических, геодезических методов и дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) разработана структура организации системы геодинамического мониторинга состояния геологической среды, включающей в себя сооружения подземного комплекса во время строительства и в эксплуатационный период. Также разработаны основные принципы организации геодинамического мониторинга состояния массивов и основных сооружений подземного комплекса, базирующиеся в первую очередь на системных принципах, поскольку указанные сооружения образуют специфические техноприродные системы «Сооружение-массив».*

*В состав системы мониторинга включены подсистема реагирования надкритических параметров, принятие управленческих решений, разработка превентивных мероприятий и контроль эффективности реализации превентивных мероприятий. Подсистема позволит, в частности, более оперативно и точно выявлять участки сооружений с пониженной надежностью и оценить эффективность тех или иных укрепительных мероприятий. В подземных сооружениях наблюдения давно ведутся по комплексной программе натурных наблюдений, которая успешно вписывается в разработанную систему геодинамического мониторинга.*

*Подземные сооружения, геологическая среда, геодинамический мониторинг, сейсмический каротаж, ультразвуковой каротаж, сейсмическая томография, геодезический метод, геотехнический метод, геофизический метод.*

**Введение.** Рогунский гидроузел на реке Вахш расположен в районе со сложными геологическими и сейсмическими условиями, характеризующимися наличием крупных тектонических нарушений, по части из которых происходят интенсивные современные подвижки. Крупные тектонические нарушения: Гулизинданский и Вахшский глубинные разломы – проходят в непосредственной близости от сооружений гидроузла, а Ионахшский разлом пересекает основание плотины. Указанные разломы сопровождаются системами опережающих трещин различных порядков, наиболее

крупные из которых существенно влияют на устойчивость склонов долины реки Вахш.

На основе анализа инженерно-геологической ситуации подземного здания ГЭС выявлены следующие ее характерные особенности.

1. Наличие двух крупных нарушений:

- разлом IV порядка № 70 (азимут – 345 град., угол падения – 65 град.), выполненный обломками песчаника, цементированными глиной трения (шов шириной 3-5 см) с мощной зоной влияния, крупно падающий (65 град.) в сторону полости машинного зала (МЗ), потенциально вывалоопасного;

- разлом IV порядка № 273 (азимут простирания – 310 град., угол падения – 35 град.), выполненный брекчией трения шириной 20 мм до 1,2 м, пересекающий ось машинного зала под углом, близким к 45 град.

2. Наличие литологических разностей пород: более прочных песчаников и менее прочных алевролитов. Коренные породы на участке здания ГЭС представлены толщей переслаивающихся песчаников и алевролитов нижнемелового возраста, слои которых наклонены в сторону нижнего бьефа под углом 65-75 град. Песчаники и алевролиты являются крепкими скальными грунтами: величина их сопротивления одноосному сжатию в образце равна, соответственно, 100-120 МПа и 60-80 МПа.

3. Наличие высоких сжимающих напряжений, имеющих тектоническую природу. Выполненные измерения позволили оценить вертикальную и горизонтальную компоненты напряжений, которые составили, соответственно, 12 МПа, 17 МПа и более. Эти значения напряжений приняты при проектировании подземных конструкций как постоянные величины. Прогнозировалось, что при создании в таком массиве крупной выемки в нем будут происходить интенсивные процессы разгрузки, ослабление пород в приконтурной зоне вследствие разуплотнения, деформации стен, нарастание давления на крепь и формирование зон неустойчивых пород.

Учитывая реальные инженерно-геологические особенности выбранного створа, проектировщики расположили подземное здание станции Рогунской ГЭС в верхнем бьефе на глубине 420 м под поверхностью земли в едином тектоническом блоке, ограниченном активными разломами № 1 (Ионахшский) и № 35. Наличие этих разломов обусловило единственно возможную ориентацию в плане данного сооружения и его размеры, которые составляют: ширину – 20,8 м, длину – 200 м, высоту – 67 м.

Возведение энергетических объектов в сложных инженерно-геологических и сейсмических условиях, а также то обстоятельство, что гидротехнические подземные сооружения значительно отличаются от подземных сооружений другого назначения конструкцией, режимом работы, условиями возведения и эксплуатации, делают чрезвычайно актуальной задачу организации систематического контроля и прогнозирования состояния подземных соору-

жений в целях обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. Решение этой задачи требует, в том числе, создания системы геодинамического мониторинга. Это специализированный вид мониторинга, который включает в себя систему регулярных наблюдений и контроля за развитием опасных геодинамических процессов и явлений в техноприродной системе (в нашем случае – сооружения подземного комплекса), за факторами, обуславливающими их формирование и развитие. Геомониторинговые мероприятия проводятся по определенной программе и выполняются с целью своевременной диагностики опасных для сооружения геодинамических явлений, разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными геодинамическими процессами и явлениями, или по снижению наносимого их воздействием ущерба.

**Результаты исследований.** Основные принципы организации геодинамического мониторинга состояния массивов и основных сооружений подземного комплекса должны базироваться в первую очередь на системных принципах, поскольку указанные сооружения образуют специфические техноприродные системы «Сооружение-массив».

Специфика этих систем заключается в особой ответственности с точки зрения обеспечения безаварийной работы сооружений в течение всего длительного срока их эксплуатации. При рассмотрении вопросов организации геодинамического мониторинга сооружений в сложных инженерно-геологических и тектонических условиях приходится дополнительно повышать степень надежности разрабатываемых мер для предотвращения возможных аварий. При этом система геодинамического мониторинга в общем случае должна состоять из следующих этапов [1]:

- создание геомеханических моделей контролируемых горнотехнических систем и сооружений включая оценку геодинамического риска;
- выбор, обоснование и оценка возможных значений приоритетных контролируемых параметров;
- оборудование наблюдательных пунктов;
- выполнение измерений контролируемых параметров в натуральных условиях;
- формирование баз данных натуральных наблюдений, а также расчетных параметров и критериев оценки;

- первичная обработка и логическое структурирование данных;
- верификация геомеханических моделей путем сопоставления измеренных контролируемых параметров и соответствующих расчетных значений;
- установление нормативных или полученных путем численного моделирования прогнозно-критических параметров, соответствующих виртуальной катастрофической ситуации;
- сопоставление измеренных значений с нормативными и расчетными прогнозно-критическими значениями;
- оценка текущего и прогноз дальнейшего состояния контролируемых объектов;
- принятие управленческих решений и разработка превентивных мероприятий;

- контроль эффективности реализации превентивных мероприятий.

Общая структура геодинамического мониторинга подземных объектов представлена на рисунке 1.

Как следует из общей структуры и принципов организации геодинамического мониторинга, натурные (полевые) измерения и наблюдения составляют весьма существенную часть общих работ. При этом, если учитывать современные представления о массиве горных пород как о среде иерархично-блочного строения, основной информацией, которая должна быть получена в первую очередь в ходе натуральных наблюдений, является наличие зон разуплотнения, перемещения и деформации вмещающего массива.

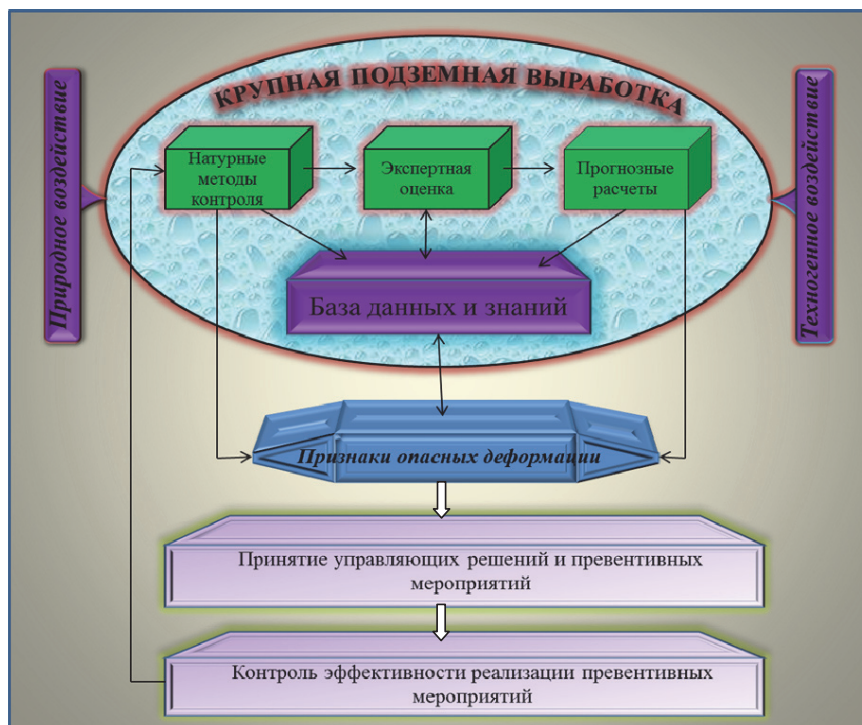


Рис. 1. Общая структура геодинамического мониторинга

Для получения этой информации могут быть использованы различные геофизические методы и дистанционная контрольно-измерительная аппаратура (КИА), позволяющие оценить степень изменения физических параметров во внутренних частях массивов горных пород в условиях естественного залегания под воздействием естественных и техногенных факторов, а также определить предельные уровни деформаций и найти индикаторы критического состояния геологической среды на проблемных участках.

Основными методами геофизического мониторинга являются сейсмопрофи-

лирование по лотку и стенам выработки, сейсмокартаж и ультразвуковой картаж скважин, сейсмическая томография целиков между выработками и скважинами, ультразвуковое обследование бетона и образцов, а также акустико-эмиссионные исследования по поверхности бетонной крепи или обделки, а также во внутренних частях массива с использованием скважин [2].

Натурные наблюдения в подземном машинном зале Рогунской ГЭС носят комплексный характер, анализ их базируется на максимально полной и достоверной информации. В связи с этим размещение

контрольно-измерительной аппаратуры, ее количество и номенклатура обеспечивают измерение всех параметров состояния сооружения (нагрузки, напряжения, деформации, температур и проч.) на всем его протяжении.

По комплексной программе натуральных наблюдений в подземном машинном зале Рогунской ГЭС был определен следующий состав наблюдений [3]:

- исследование напряженно-деформированного состояния обделок (геофизическими методами);
- исследование естественного напряженного состояния вмещающего массива (геофизическими и геотехническими методами);
- определение размеров ослабленных и неустойчивых зон вокруг машзала (геофизическими методами);

- измерения перемещения контуров выработок (конвергенция) и деформации окружающего массива (геодезическими методами и с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- измерение усилий в глубоких ПНА (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- измерение нагрузок (горное давление и давление грунтовых вод) на обделки (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- наблюдения за температурным режимом обделки и породы (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»).

В настоящее время дистанционная КИА в машинном зале и трансформаторном помещении Рогунской ГЭС установлена на 90% (табл.).

Таблица

**Сравнения крупных подземных выработок по оснащенности КИА**

Объект и сооружение	Размеры выработки, м			Глубина заложения, м	Геологические особенности вмещающего массива	Измеряемые параметры	Виды и количество КИА
	Пролет	Высота	длина				
ГАЭС Ронковаль-гранде (Италия), машинный зал	21	60	300	245	Мелкозернистые гнейсы: наличие зоны сильно-нарушенных пород над машзалом	Деформации массива и выработки, усилия в анкерах	10 створов экстензометров, всего около 800 шт.
ГЭС Имаичи (Япония), Здание ГЭС	33,5	51	160	400	Песчаники, сланцы, брекчии: наличие ослабленных зон	Смещения в массиве пород, конвергенция контура, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, напряжения и раскрытие трещин в скале и бетоне	Дистанционная КИА, всего 800 шт.
Рогунская ГЭС (Республика Таджикистан), машинный зал	21	68	220	420	Песчаники и алевролиты средне- и сильнотрециноватые; высокие сжимающие тектонические напряжения	Деформации массива, перемещения контура. Напряжения в арматуре, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, температура бетона и грунта	Дистанционная КИА. 13 створов экстензометров, всего 1235 шт.
Рогунская ГЭС (Республика Таджикистан), трансформаторное помещение	19	43	209	420	Песчаники и алевролиты средне- и сильнотрециноватые; высокие сжимающие тектонические напряжения	Деформации массива, перемещения контура. Напряжения в арматуре, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, температура бетона и грунта	Дистанционная КИА. 5 створов экстензометров, всего 466 шт.

**Выводы**

1. В предложенной системе геодинамического мониторинга определен максимально возможный спектр натуральных наблюдений за основными сооружениями Рогунской ГЭС, который носит комплексный характер; анализ

их состояния должен базироваться на максимально полной и достоверной информации.

2. В настоящее время на Рогунском гидроузле ведутся наблюдения за состоянием следующих основных подземных сооружений: машинный зал, трансформаторное по-

мещение, монтажная камера, галереи токопроводов, турбинные водоводы, коллекторы агрегатов, строительные туннели и камеры затворов.

3. Актуальным является вопрос разработки и обоснования критериев безопасной работы подземных сооружений Рогунской ГЭС, которые должны использоваться при анализе результатов наблюдений и исследований.

#### Библиографический список

1. Козырев А.А., Калашник А.И., Каспарян Э.В., Савченко С.Н. Концепция организации геодинамического мониторинга нефтегазовых объектов западного сектора российской Арктики // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 3. С. 587-600.

2. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / Под ред. А.И. Савича, Б.П. Куюнджича. М.: Недра, 1990. 463 с.

3. Котенков Ю.К., Федулов А.К. Современное состояние и задачи натурных исследова-

ований подземных гидротехнических сооружений // Энергетическое строительство. 1990. № 1. С. 41-43.

Материал поступил в редакцию 03.03.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Давлатшоев Саломат Каноатшоевич**, главный инженер проектно-изыскательского института «Таджикэнергопроект», 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, Айни, 29; email: davlatshoev\_s@mail.ru; тел.: +7 (992) 98-999-19-24.

**Назирова Джамшед Абдулвохидович**, директор проектно-изыскательского института «Таджикэнергопроект», 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, Айни, 29; email: nazirov-69@mail.ru; тел.: +7 (992) 989990044.

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: +7 (499) 976-21-56; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

#### S.K. DAVLATSHOEV, D.J.A. NAZIROV

Design-survey institute «Tajikenergoproject», Dushanbe, Republic of Tajikistan

#### D.V. KOZLOV

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Russia, Moscow

## ORGANIZATION OF GEODYNAMIC MONITORING IN LARGE UNDERGROUND WORKINGS

*Taking into account the fact that construction of energy facilities on site is under complicated engineering – geological and seismic conditions as well as the fact that hydraulic engineering underground constructions are significantly different from underground structures of another purpose, they differ by operating mode, construction and operation conditions, all of this makes the task of organization systematic monitoring and forecasting the status of underground constructions the most interesting and makes it also extremely important for the safe and reliable operation. The solution of this problem requires creation of the geodynamic monitoring over: accelerated devolvement of methods and techniques of local observations of the underground structures during their construction and operation process and actual loads acting on them. Underground constructions are very complicated and important facilities, their safety and efficiency should be provided during construction and long period of operations. Based on the long-term research of the Rogun HPP underground constructions by a complex of geophysical, geotechnical and geodesic methods and remote instrumentation a geodynamic monitoring system has been developed for the geological environment state containing the constructions of the underground complex during the construction and operational period. Furthermore, basic organization principles of the geodynamical monitoring of the rock condition and main facilities of the underground complex have been developed based first of all on the systematic principles since the specified facilities form specific techno-natural systems «Construction – rock mass». The monitoring system includes a response sub-system for above-critical parameters, making managerial decisions, development of preventive measures and effectiveness control of implementing these activities. The subsystem will allow, in particular, more efficiently and accurately identify parts of constructions with a lowered reliability and assess the effectiveness of particular reinforcement measures. In the underground constructions observations has been carried out for a long time by a complex program of field observations which successfully fits into the developed system of geodynamic monitoring.*

*Underground structures, geological environment, geodynamic monitoring, seismic logging, ultrasonic logging, seismic tomography, geodesic method, geotechnical method, geophysical method.*

### References

1. Kozyrev A.A., Kalashnik A.I., Kasparyan E.V., Savchenko S.N. Kontseptsiya organizatsii geodinamicheskogo monitoring neftegazovykh objektov zapadnogo sektora rossijskoj Arktiki // Vestnik MGTU. 2011. T. 14. № 3. S. 587-600.
2. Complexnye inzhenerno-geofizicheskie issledovaniya pri stroiteljstve hidrotehnicheskikh sooruzhenij / Pod red. A.I. Savicha, B.P. Kuyundjicha. M.: Nedra, 1990. 463 s.
3. Kotenkov Yu.K., Fedulov A.K. Sovremennoe sostoyanie i zadachi naturnyh issledovaniy podzemnykh hidrotehnicheskikh sooruzhenij // Energeticheskoe stroiteljstvo. 1990. № 1. S. 41-43.

The material was received at the editorial office  
03.03.2017

### Information about authors:

**Davlatshoev Salomat Kanoatshoevich**, chief engineer of design – survey institute “Tajik energy project”; 734061, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini 29; Email: davlatshoev\_s@mail.ru; tel. +7 (992) 989 991 924.

**Nazirov Jamshed Abdulvokhidovich**, Head of Design – survey institute “Tajik energy project”; 734061, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini 29; Email: nazirov-69@mail.ru; tel. +7 (992) 989 990 044.

**Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich**, Doctor of sciences, professor, RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. +7 (499) 976-21-56; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

УДК 502/504:532.5:551.482.215

### В.А. ФАРТУКОВ

Закрытое акционерное общество ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» BSM, г. Москва, Российская Федерация

### М.В. ЗЕМЛЯНИКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРАВЛИКИ ГТС

*Целью исследования являлась разработка пользовательского интерфейса для управления трехкоординатным позиционером при проведении исследований гидравлики водного потока гидротехнических сооружений. В работе представлена программа, являющаяся надстройкой над специальной программой управления трехкоординатным позиционером. Позиционер предназначен для проведения исследований гидравлических режимов работы гидротехнических сооружений (ГТС). Необходимость в разработке такой системы определяется автоматизацией выполнения лабораторных исследований гидравлики ГТС, составления плана проведения измерений параметров водного потока, обработкой и предварительным анализом полученных результатов. В состав системы входят дополнительные модули, которые осуществляют обработку результатов измерений. Эти модули представлены виртуальными измерительными приборами в виде компьютерных программ, входящих в состав программы управления позиционером. Управление трехкоординатным позиционером осуществляется специальной программой, работающей на G-кодах. Управление позиционером на основе G-кодов неудобно и неэффективно. Поэтому наличие такой подпрограммы, которая позволит исследователю проводить лабораторные исследования в привычной ему среде, крайне желательно. В результате исследования имеет универсальную роботизированную измерительную установку, которой максимально просто и удобно управлять.*

*Трехкоординатный позиционер, лабораторные исследования гидравлики, подсистема ИТ-технологий управления, сбор и обработка данных с датчиков.*

**Введение.** При решении различных исследовательских задач, связанных с определением гидродинамических нагрузок на элементы конструкций гидротехнических сооружений и на все сооружение в целом, необходимо проводить большое