

И.Н. УСАЧЕВ, Н.К. РОЗЕНТАЛЬ

ВЫДАЮЩИЕСЯ СООРУЖЕНИЯ XX ВЕКА: КИСЛОГУБСКАЯ ПЭС

Аннотация

В Арктике в районе губы Кислой Баренцева моря с декабря 1968 г. успешно работает первая российская приливная электростанция – Кислогубская ПЭС имени Л.Б. Бернштейна. В мировой практике гидроэнергетики это единственный опыт сооружения объекта наплавным способом, что кардинально (на треть) сократило смету расходов и ускорило срок ее возведения (вдвое). ПЭС признана выдающимся сооружением XX века, долговечным крупным железобетонным объектом, находящимся в сложных арктических климатических условиях.

О памятнике отечественной науки и техники, истории его создания, проводимых на его базе научных исследованиях рассказывают исследователи: кандидат технических наук Игорь Николаевич Усачев – один из основоположников российской научно-инженерной школы приливной энергии и наплавных конструкций, соавтор создания пионерной в России приливной электростанции; доктор технических наук Николай Константинович Розенталь, авторитетный исследователь количественной теории коррозионных процессов при действии на бетон различных агрессивных сред с прогнозом долговечности конструкций.

Ключевые слова: приливная электростанция, гидроэнергетика, коррозия, железобетон, морозостойкость, технологии защиты, конструкции, ответственные сооружения, арматура

Для цитирования: Усачев И.Н., Розенталь Н.К. Выдающиеся сооружения XX века: Кислогубская ПЭС // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 45–47. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-45-47](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-45-47)



Кислогубская приливная электростанция (Кислогубская ПЭС)

Кислогубская приливная электростанция (Кислогубская ПЭС) находится на 70° северной широты, вблизи поселка Ура-Губа Мурманской области. Удивительно непростая климатическая особенность этого района: 200 суток в течение года температура воздуха здесь наблюдается отрицательная – до минус 40 °С. В зоне переменного горизонта (прилива и отлива) с амплитудой 1–4 м происходит до 400 циклов замораживания-оттаивания бетона, из которого сооружены конструкции станции.

Известно, что электростанция сооружена силами УС «Севгидрострой» в 1965–1967 гг. в строительном доке города Мурманска. Инициатором же выбора места расположения станции, а также главным инженером этого проекта и строительства сооружения выступил гидростроитель Лев Борисович Бернштейн. О нем практически нет информации.

К сожалению, мало что известно о биографии этого удивительного человека с крепким неудержимым характером, большими задатками ученого и инженера. Открытые источники сообщают, что капитан 1-го ранга Л.Б. Бернштейн (1911–1967) родился в Нижнем Новгороде, окончил в 1937 г. Московский инженерно-строительный институт имени В.В. Куйбышева, строил Московский метрополитен, возводил военные объекты на базах Северного флота. Лев Борисович – участник Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. Его судьбу не обошло стороной заключение в Горлаге (Горный лагерь – Особый лагерь № 2 с центром в Норильске), которое он мужественно перенес. Л.Б. Бернштейн, талантливый инженер-гидрограф, принес много пользы энергетической промышленности страны, участвуя в реализации стратегических проектов.

Известно, что Лев Борисович накануне возведения Кислогубской ПЭС подробно изучал природные факторы местности, обращаясь в геологические организации Ленинграда, прогнозируя влияние движений земной коры. Научные заключения ученых подтвердили сформировавшееся мнение Бернштейна: использовать в интересах страны огромную силу стихии. Он доказал, что природа на этом участке создала идеальные условия для строительства станции, где в узком проходе скалы морская стихия через тесную скалистую горловину шириной до 30 м в период прилива посылает в губу мощный поток воды. Этот феномен был использован для получения электроэнергии.

Судами Северного флота блок станции буксировали к месту назначения на расстояние 99 км, где его опустили на подводное основание, подготовленное специалистами в 1964–1965 гг. Сооружение ПЭС после проведения пуско-наладочных работ передали на баланс институту «Гидропроект», а для эксплуатации определили в Кольскую энергосистему.

Железобетонные конструкции ПЭС в течение ее более полувековой эксплуатации подвергаются агрессивным воздействиям морской воды, а также находящихся в ней организмов – камнеточцев (морские двустворчатые моллюски, протачивающие ходы в твердых породах), особей, выделяющих в жизнедеятельности углекислоту, растворяющую цементный камень. Обрастание бетонных конструкций в подводной зоне различными растениями не разрушает сооружение, но уменьшает живое сечение трубопроводов, ухудшая режим их работы. Доказано, что камнеточцы способны проникать в бетон на большую глубину, если материал приготовлен на заполнителе из карбонатных пород, но неопасны для бетона на заполнителях из прочных изверженных пород.

Исследования позволяют считать Кислогубскую ПЭС самым долговечным в мире крупным бетонным сооружением в сложных климатических условиях Арктики.

На основании проведенных исследований можно констатировать, что созданные для Кислогубской ПЭС строительные материалы и технологии их защиты от коррозии в океанической среде и биологического обрастания обеспечили уникальную долговечность сооружения на арктическом шельфе без каких-либо ремонтов за весь срок эксплуатации до настоящего времени.

Кислогубская ПЭС по-прежнему используется учеными заинтересованных отраслевых НИИ и институтов РАН как научная морская база в условиях арктического побережья России. В распоряжении исследователей помещения со всеми удобствами; архив, где собраны проекты ПЭС и записи натурных наблюдений; морские стационарные стенды в зоне прилива, под водой и в морской атмосфере; ледовый стенд и экологический полигон в бассейне.

Учеными и строителями создана прочная и жесткая наплавная конструкция здания ПЭС. Мониторинг по установленным в конструкцию дистанционным приборам позволил сделать заключение об ее исключительной долговечности.

Исследования, проведенные специалистами АО «НИИЭС», Института океанологии РАН, НИИ Арктики и Антарктики, НПФ «Эверест» морского льда в бассейне ПЭС на Белом и Охотском морях, подтверждают допустимость строительства электростанций в условиях замерзающего моря при воздействии торосистого льда. В условиях мирового энергетического кризиса это направление перспективно, не требует больших финансовых затрат. Исследования продолжаются, учеными накоплен значительный материал, что позволяет корректировать будущие проекты станций в условиях Арктики.

Защита арматуры железобетонных конструкций ПЭС от электрохимической коррозии приобретала первостепенное значение, так как естественная коррозия металла в условиях среды станции достигает 1 мм/год. При этом долговечность арматуры в тонкостенных железобетонных конструкциях при защитном слое 2 см могла бы ограничиться всего несколькими годами. Для защиты арматуры железобетонных

конструкций от коррозии применялась катодная защита, которая впервые в практике гидротехнического строительства была осуществлена с помощью сменяемых каждые 10–12 лет металлических жертвенных анодов, устанавливаемых в шпациях конструкции и вне ее. По данным специалистов НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, арматура в железобетонных конструкциях здания ПЭС, находясь в морской воде, сохранилась полностью, следов ее коррозии учеными не обнаружено. Надо отметить, что система электрохимической защиты от коррозии по финансовым затратам исключительно дешевая.

Проблема обрастания железобетонных конструкций в морской воде в северных широтах связана с эксплуатацией водоводов. Так, на Кислогубской ПЭС были установлены в водоводах электролизеры, при работе которых образуется хлор. Их кратковременное включение, не нанося вреда экологии морского залива, полностью исключило обрастание трубопроводов.

Говоря об участии специалистов НИИЖБ в строительстве этого уникального объекта, необходимо вспомнить принципы получения бетонов высокой морозостойкости для строительства в суровых климатических условиях, сформулированные основателем отечественной школы бетона и железобетона Владимиром Михайловичем Москвиным, реализованные при строительстве Кислогубской ПЭС.

Проведение в 1950–1960 гг. в ЦНИИС, Гидропроекте и НИИЖБ работы по изучению влияния суровых природных условий Баренцева моря показали, что долговечность бетона в первую очередь зависит от его морозостойкости. Наилучшие результаты показал состав бетона с воздухововлекающей добавкой СНВ и пластифицирующей добавкой ССБ, полученный в ЦНИИС по технологии Гидропроекта под руководством Ф.М. Иванова и И.Н. Усачева.

Бетон проектной марки по прочности 400 готовили на сульфатостойком портландцементе, щебне из изверженных пород и кварцевом песке с комплексной добавкой ССБ+СНВ. Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой конуса 2–4 см. С целью уменьшения пористости бетона в наружном слое опалубку обшивали влагопоглощающим картоном. Бетонную смесь уплотняли по спецтехнологии высокочастотными вибраторами. Со стороны моря поверхность железобетонных конструкций была защищена вспененным полимерным материалом.

Учеными была проведена огромная работа в подготовительный период строительства ПЭС. Испытания бетона на морозостойкость выполняли в морозильном бассейне на берегу Кольского залива в бассейне Мурманской климатической станции ЦНИИС. При замораживании бетонные образцы обдували наружным морозным воздухом с помощью вентилятора. Для оттаивания образцов ванну с ними заполняли морской водой, подаваемой насосом из Кольского залива. Одновременно в бассейн был поставлен на испытание железобетонный фрагмент блока ПЭС, выполненный в виде полого ящика с толщиной стенок 15 см, по аналогии конструкции ПЭС.

В течение одного зимнего сезона можно было получить около 1000 циклов замораживания и оттаивания. Таким образом, образцы и блок после 1540 проведенных циклов замораживания и оттаивания не имели повреждений, а их прочность возросла.

С вводом станции в эксплуатацию бетонные образцы размерами 100 × 100 × 100 мм были перемещены из бассейна на морской стенд рядом со зданием ПЭС. Во время прилива образцы полностью затапливались водой (стадия оттаивания), при отливе образцы находились на воздухе (стадия замораживания).

Мониторинг состояния бетона ПЭС осуществлялся специалистами АО «НИИЭС» (И.Н. Усачев) и лаборатории коррозии НИИЖБ (Ф.М. Иванов и Н.К. Розенталь). Неразрушающими методами – прибором Шмидта и ультразвуковыми приборами 1401 и УК-14П – определяли прочность бетона в конструкциях. Кроме того, были выбурены керны и испытаны на морозостойкость и прочность, превышавшую 68 МПа.

Микроскопические исследования образцов бетона ПЭС показали наличие равномерно распределенных по телу бетона мелких сферических замкнутых пор. Фактор расстояния по Пауэрсу равнялся 0,115–0,137, что объясняет высокую морозостойкость бетона в конструкции.

В структуре бетона учеными обнаружены негидратированные зерна цементного клинкера размерами 30–50 мкм, что обуславливает возможность самозалечивания микротрещин в бетоне при гидратации зерен клинкера в поздние сроки.

Проводились натурные испытания истирающего действия льда на бетон в условиях службы Кислогубской ПЭС. Они производились на плитах, изготовленных из бетона, применявшегося при бетонировании конструкций ПЭС. Изделия находились в зоне переменного горизонта в части залива губы Кислая,

отгороженной от моря плотиной ПЭС, и в основном подвергались воздействию вертикально перемещающегося льда во время приливов и отливов при незначительном горизонтальном перемещении льда. После 22-х лет испытаний истирания бетона плит не отмечено, что объясняется как прочностью испытываемого бетона, так и ограниченным перемещением льда в зоне ПЭС.

Прочность бетона в фрагменте превышала проектную. Результаты лабораторных испытаний и натурные испытания бетона Кислогубской ПЭС свидетельствуют о высокой стойкости использованного бетона в условиях Арктики.

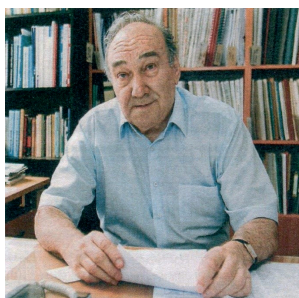
В непосредственной близости от здания ПЭС в зоне прилива-отлива на щебеночную отсыпку плашмя был уложен железобетонный фрагмент в виде плиты, имитирующий стенку здания ПЭС. При приливе фрагмент полностью затапливался водой и обнажался при отливе. После 50 лет испытаний повреждения от размораживания бетона в конструкциях станции и отдельном фрагменте отсутствовали.

Одновременно с наблюдениями за состоянием бетона Кислогубской ПЭС на морском стенде станции был испытан бетон нового поколения, приготовленный с модификатором, содержащим микрокремнезем, суперпластификатор С-3 и микрогазообразующую добавку ГЖ-94 (136-41). Такой бетон обладает высокой прочностью, низкой проницаемостью, высокой коррозионной стойкостью и морозостойкостью.

Таким образом, результаты исследований и натурных испытаний свидетельствуют о возможности создания железобетонных конструкций из испытанного бетона с добавками, обладающими особо высокой морозостойкостью и коррозионной стойкостью в морской воде в суровых климатических условиях арктической зоны России.

Информация об авторах

Игорь Николаевич Усачев,



кандидат технических наук, окончил Московский энергетический институт. Один из основоположников российской научно-инженерной школы приливной энергии и наплавных конструкций. Соавтор создания пионерной в России Кислогубской приливной

электростанции (ПЭС) на Баренцевом море. Автор 350 научных работ, опубликованных на русском, английском, испанском и китайском языках. Лауреат Государственной премии России и лауреат премии имени М.В. Ломоносова. Заслуженный работник энергетической отрасли РФ, почетный гидроэнергетик.

Николай Константинович Розенталь,



доктор технических наук, с 1987 по 2019 год – заведующий сектором коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». Опыт работы по специальности 62 года. Исследовал коррозионные процессы бетона и железобетона в агрессивных средах, выполнил диагностику состояния конструкций большого числа промышленных, энергетических, гидротехнических и других сооружений с разработкой способов защиты от коррозии. С 2020 г. – профессор отдела подготовки кадров АО «НИЦ «Строительство».