

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

# **Опять о плотинах**

Ташкент 2015



## Содержание

Планы Всемирного банка по строительству плотин ставят под угрозу источник жизнеобеспечения 1 млн. человек .....	5
12 плотин, изменивших мир .....	8
В США ускоряются темпы сноса плотин.....	21
Снос 72 плотин в 2014 году .....	24
Всемирные достижения высотных плотин .....	26
Может ли гидроэнергетика считаться возобновляемым ресурсом?.....	30
Система оптимизации работы электростанции .....	32
В ходе переговоров по строительству плотины на реке Нил достигнуто предварительное соглашение .....	48



# **Планы Всемирного банка по строительству плотин ставят под угрозу источник жизнеобеспечения 1 млн. человек<sup>1</sup>**

Внутренняя дельта Нигера в Мали – это один из крупнейших ветландов Африки, зеленая и биологически богатая зона, граничащая с пустыней Сахара.

Дельта служит пристанищем для миллионов мигрирующих из Европы птиц и единственным источником жизнеобеспечения населения порядка 1-2 млн. чел., которые зависят от ее ресурсов для ведения пастбищного хозяйства, межпаводкового земледелия и рыбного промысла. В свою очередь уникальные экосистемы внутренней дельты Нигера поддерживаются благотворными для них ежегодными паводками на реке Нигер, которые затопляют территорию до 30 тыс. км<sup>2</sup>, что равняется площади Бельгии. Между тем будущее этой важной экологической зоны подвергается угрозе из-за возобновления планов Всемирного банка по строительству плотины Фоми около истока реки в соседней Гвинее.

Нигер – самая длинная река в Западной Африке, протяженность которой составляет 4200 км. Она берет начало на возвышенностях Гвинеи и, пересекая аридную зону Мали и Нигера, впадает в Атлантический океан со стороны Нигерии. Уже давно плотина у верховьев реки является приоритетом правительства Гвинеи, которое намеревается использовать сток реки Нигер для выработки гидроэнергии. Предшествующие планы продвигались к реализации, но впоследствии приостанавливались отчасти из-за протестов со стороны Мали, учитывая масштабы воздействия на нижнее течение, в том числе и внутреннюю дельту Нигера.

Теперь Всемирный банк помогает возобновить проект, выдвигая новый гидроузел Фоми в качестве “многоцелевого проекта”. Помимо выработки электроэнергии в Гвинее, Фоми позволит Мали удвоить посевные площади, находящиеся в ведении Администрации внутренней дельты Нигера, квазигосударственного массива орошения времен колониального режима, который обеспечивает основную часть урожая

---

<sup>1</sup> Источник: Lifeline for Over 1 Million in Mali Under Threat by World Bank Dam Plans / <http://www.internationalrivers.org/blogs/352/lifeline-for-over-1-million-in-mali-under-threat-by-world-bank-dam-plans>

риса и сахарного тростника в стране. Обширные площади Администрации внутренней дельты Нигера выделяются иностранным инвесторам, в том числе Фонду национального благосостояния Ливии, несмотря на обвинения, что малых производителей выгоняют с земли. Плотина Фоми должна обеспечить круглогодичное орошение территории внутренней дельты Нигера за счет удержания стока во время сезона дождей и распределения попусков в течение всего года.

Тем не менее, строительство окажет серьезное воздействие на внутреннюю дельту реки. Удержание стока в сезон дождей и удваивание объема воды для орошения приведут к резкому сокращению площади затопления во внутренней дельте Нигера на 1300 км<sup>2</sup>. В результате пострадает производство риса, резко сократятся популяции рыб и повысится конкуренция между скотоводами, пасущих свой скот на лугах дельты. Пострадает более 10 процентов населения Мали, включая самые обездоленные группы.

На этой неделе Всемирный банк планирует одобрить Проект по управлению водными ресурсами бассейна реки Нигер (NRBMP) стоимостью 7,5 млн. долл. США, половина из которой покроет расходы на мероприятия по поддержке строительства Фоми, в том числе проведение “круглых столов” инвесторов. В рамках этого проекта будут финансироваться необходимые исследования и региональный диалог касательно явного компромисса между выработкой электроэнергии и расширением орошаемых площадей, с одной стороны, и сохранения необходимого стока воды во внутреннюю дельту Нигера, с другой стороны.

Несмотря на спорную предысторию проекта, Всемирный банк играет центральную роль в его запуске. Строительство может начаться лишь через годы, но уже сейчас банк закладывает основу посредством финансирования необходимых исследований по изучению воздействия на окружающую среду и технической осуществимости проекта, а также планированию переселения порядка 45 тыс. гвинейцев для освобождения территории под огромное водохранилище плотины.

Хотя банк может получить одобрение за изучение более широкого воздействия гидроузла Фоми для обоснованного принятия решений по проекту, даже в лучшем случае плотина окажет существенное воздействие на дельту и на тех, кто зависит от нее. Фактически мы вновь сталкиваемся с ситуацией, когда ввиду сильных экономических стимулов окупить расходы и извлечь доход из проекта, соглашения, гарантирующие сохранение стока ниже по течению реки, не соблюдаются. Если плотина Фоми будет действительно построена, это, вероятнее всего, обернется экологической катастрофой для внутренней дельты Нигера.

Продвигая проект Фоми, Всемирный банк тем самым берет на себя ответственность за систему, которая изначально имела изъян.

# 12 плотин, изменивших мир<sup>2</sup>

Питер Боссхард

Плотины служат демонстрацией выдающихся способностей и, одновременно, самонадеянности человеческой изобретательности. С помощью плотин вырабатывается одна шестая часть электроэнергии в мире и орошается одна седьмая всех продовольственных культур. В результате строительства плотин была затоплена территория, равная площади Калифорнии, население, равное по численности населению Германии, вынуждено было переселиться, а пресные воды превратились в экосистемы с угрозой вымирания редких видов. Ниже представлены 12 из 57 тыс. крупных плотин, изменивших облик Земли:

## Плотина Гувера: плотина, подарившая нам Лас Вегас



Источник: [http://zastropi.narod.ru/stati/plotini\\_i\\_dambi/Samaja\\_bolshaja\\_plotina\\_v\\_mire\\_Plotina\\_Guvera.html](http://zastropi.narod.ru/stati/plotini_i_dambi/Samaja_bolshaja_plotina_v_mire_Plotina_Guvera.html)

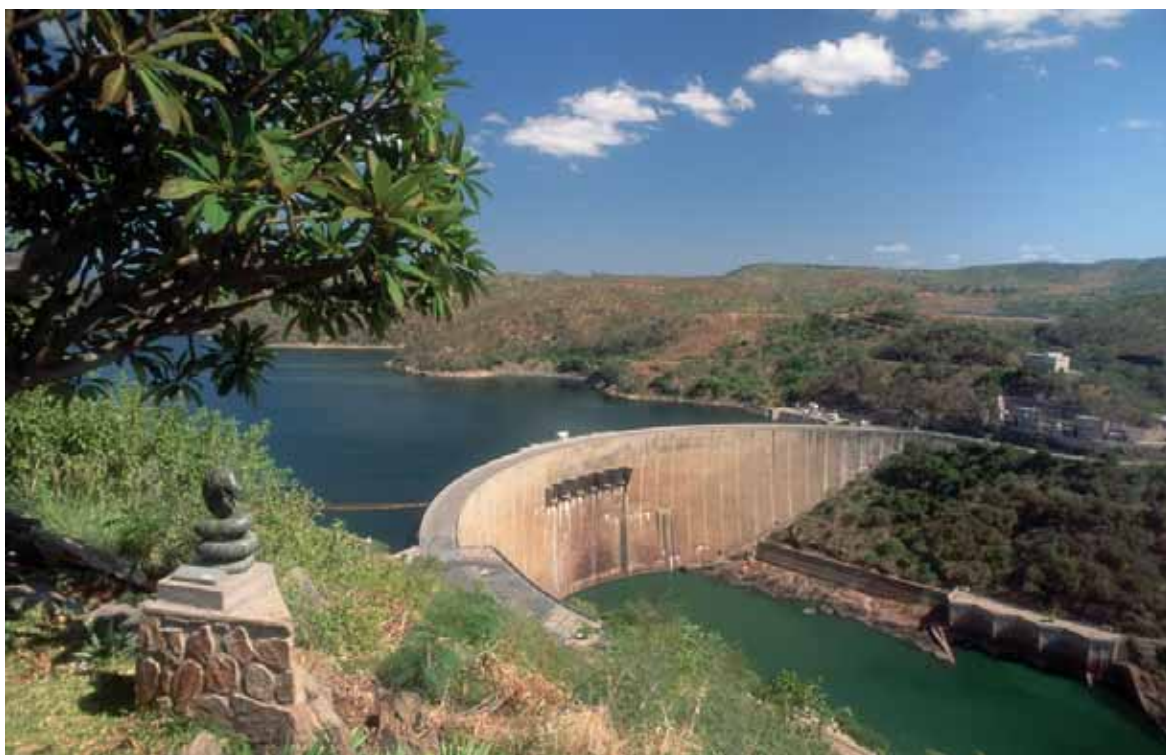
---

<sup>2</sup> Источник: Twelve Dams That Changed the World / <http://www.internationalrivers.org/blogs/227-3>



В 1936 году было закончено строительство плотины Гувера, ставшей на тот момент высочайшей и мощнейшей плотиной в мире. Плотина способствовала развитию сельского хозяйства и промышленности на юго-западе США, но уничтожила когда-то процветающий рыбный промысел в нижнем течении реки Колорадо. На емкость плотины для водообеспечения и выработки энергии сильно влияют климатические изменения.

**Кариба: плотина, ликвидировавшая бедность в Южной Африке (или нет?)**



Источник: <http://blog.rushydro.ru/?p=6211>

Кариба на реке Замбези, первая крупная плотина, финансируемая Всемирным банком, была построена в 1950-х годах с целью обеспечения энергией Медный пояс Замбии. Кариба считалась символом «дивного нового мира», где контроль над природой привел бы к экономическому развитию страны. Тем не менее, 57 тыс. человек, переселенных из-за строительства плотины, по-прежнему страдают от голода и нищеты.

## Бхакра: храм современной Индии



Источник: [http://xaaysmays.blogspot.com/2013/06/blog-post\\_27.html](http://xaaysmays.blogspot.com/2013/06/blog-post_27.html)

В 1960-х годах плотина Бхакра стала олицетворением зеленой революции в Индии, и была названа премьер-министром Неру “Храмом Современной Индии”. Однако неэффективное управление ирригационными системами в Индии и за ее пределами приводит к заболачиванию и засолению почв, а также к уменьшению урожаев. Вскоре Неру стал осуждать “болезнь гигантизма” в строительстве плотин.

## **Чихой: могила на реке Рио-Негро**



Источник: <http://www.uuguatemalasholarship.com/massacres.html>

Общины, затронутые строительством плотин, часто подвергаются репрессиям и нарушению прав человека. В 1982 году более 400 коренных жителей – мужчин, женщин и детей – были зверски убиты с целью расчистить место для строительства плотины Чихой в Гватемале, финансируемой Всемирным банком. В 2014 году впервые в истории, правительством страны и пострадавшими общинами было подписано соглашение по возмещению вреда, нанесенного в результате строительства плотины Чихой, на сумму 154 млн. долл. США.

## Баньцяо: разрушение плотины



Источник: <http://depletedcranium.com/so-what-is-the-most-dangerous-power-source/>

Из-за ошибок строительства или технического обслуживания может произойти крушение плотины. По имеющимся оценкам, в 1975 году прорыв плотины Баньцяо в Китае унес жизни 171 тыс. человек, попав в число крупнейших катастроф. В более чем 100 случаях ученые также приписывают землетрясения к последствиям строительства плотин. Есть веские основания полагать, что причиной землетрясения в китайской провинции Сычуань, которое в 2008 году привело к гибели 80 тыс. человек, могла послужить плотина Цзыпинпу.

## Ясирета: памятник коррупции



Источник: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Central\\_vista\\_externa\\_en\\_gris.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Central_vista_externa_en_gris.jpg)

Строительство крупных плотин часто становится любимыми проектами диктаторов. Отсутствие подотчетности приводит к обширной коррупции и перерасходу финансовых средств. В среднем стоимость проектов крупных плотин превышает на 96%, а сами проекты являются экономически невыгодными. Так общие затраты на плотину Ясирета в Аргентине выросли с 2,5 до 15 млрд. долл. США. Экс-президент назвал плотину Ясирета “памятником коррупции”

## **Надьмарош: плотина, как толчок к народным движениям в Восточной Европе**



Источник: <https://danubeonthames.wordpress.com/slovakia/gabcikovo-nagymaros-dams/>

В 1988 году 40 тыс. жителей Венгрии выступили с протестом против запланированного строительства плотины Надьмарош на реке Дунай, впервые за десятки лет открыто выражая неповиновение коммунистическому правительству. В последующем году проект был приостановлен, а народные движения активизировались по всей Европе. Протесты против разрушительных плотин также положили начало демократическим преобразованиям в Мьянме и других странах.

## **Сардар Саровар: плотина, ставшая причиной поражения Всемирного банка**



Источник: <http://www.narendramodi.in/sardar-sarovar-dam-overflows-after-crossing-the-maximum-height-of-121-92-metres/>

Строительство плотины Сардар Саровар на реке Нармада привело к выселению более 250 тыс. коренных жителей. В 1994 году Всемирный Банк был вынужден выйти из проекта после того, как независимое расследование обнаружило систематические нарушения в социальной и природоохранной политике банка. После этого унижительного инцидента, на протяжении более 10 лет банк не участвовал ни в одном проекте мегаплотин.

## “Три ущелья”: воплощение в реальность мечты Мао Цзэдуна



Источник: <http://ubr.ua/ukraine-and-world/technology/samaia-bolshaia-plotina-v-mire-55742>

В 2008 году завершилось строительство крупнейшей плотины в мире – плотины “Три ущелья” в Китае. Став причиной выселения более 1,2 млн. человек и разрушения экосистемы реки Янцзы, плотина вырабатывает столько энергии, сколько ее вырабатывают восемь больших атомных электростанций. Признав существование этих проблем, связанных с проектом, Китай, тем не менее, продолжает экспортировать свои технологии за рубеж.



## **Мерове: Китай вышел на мировую арену строительства плотин**



Источник: <http://eng.sinohydro.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=42&id=95>

В 2003 году правительство Китая запустило свой первый зарубежный гидроэнергетический проект, решив финансировать строительство плотины Мерове в Судане. Строительство плотины привело к выселению более 50 тыс. человек и серьезным нарушениям прав человека. На сегодняшний день китайские банки и компании участвуют в финансировании около 330 проектов в 74 странах мира, являясь беспрецедентными лидерами на мировой арене строительства плотин.

### **Инга 3: очередной обременительный проект в Африке**



Источник: <http://www.scmp.com/business/china-business/article/1409212/us-mulling-partnership-china-congo-inga-3-dam-project>

В 2014 году Всемирный банк возобновил строительство мегаплотин в новом проекте Инга 3 на реке Конго. Несмотря на то, что банк уже потерпел неудачу в строительстве намного меньших проектов на реке Конго, Инга 3 всего лишь первая фаза в крупнейшей в мире гидроэнергетической системе. Проект окажет умеренное воздействие на местность, однако обойдет интересы малоимущих потребителей и принесет выгоду горнопромышленным компаниям.

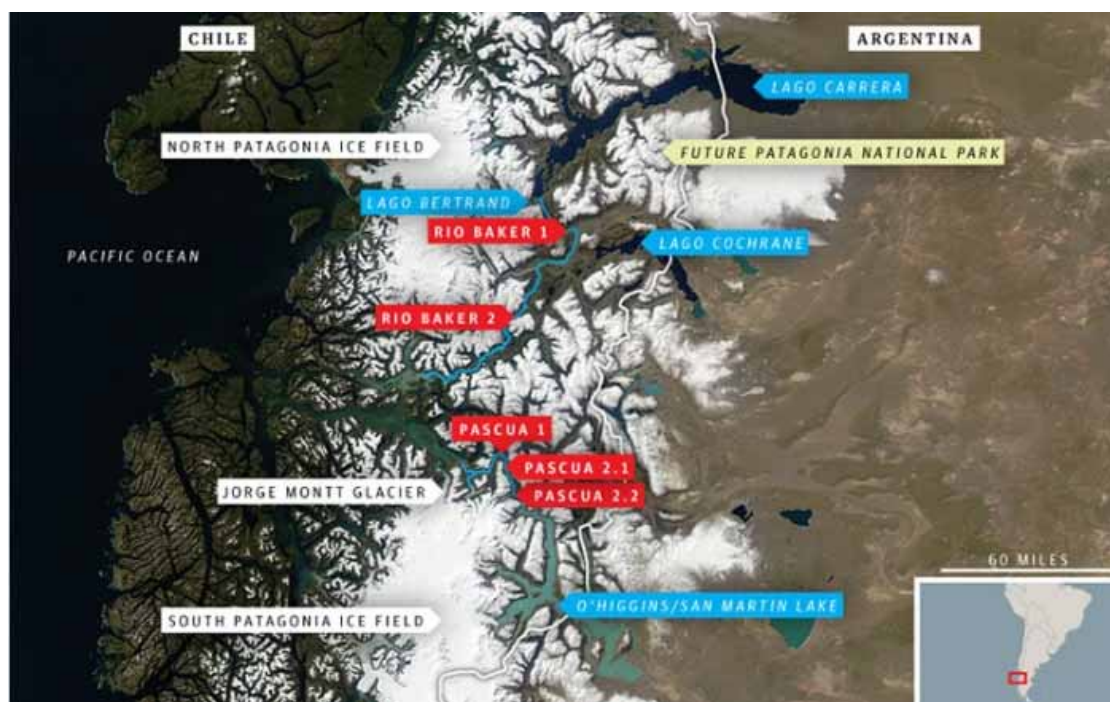
## Глайнс Каньон: снос плотины



Источник: <http://www.redbubble.com/people/suwanneeredhead/works/5738749-glines-canyon-dam-and-lake-mills>

Плотины оказывают серьезное воздействие на окружающую среду, а польза от них уменьшается по мере их старения. С 1930 года США демонтировали 1150 плотин, чтобы восстановить речные экосистемы и, в частности, среду обитания рыб. В 2014 году демонтаж плотины Глайнс Каньон, высотой 64 метра на реке Эльва в Тихоокеанском Северо-Западе, вошел в историю, как крупнейший снос плотины.

## Патагония: непостроенные плотины



Источник: <http://www.theguardian.com/environment/gallery/2010/apr/20/patagonia-rave-rivers>

В последние годы солнечная и ветровая энергия стали как никогда востребованными. Эти возобновляемые источники энергии меньше загрязняют окружающую среду, чем уголь или гидроэнергетика, а электростанции, работающие от данных источников энергии, можно строить непосредственно на территории, где необходимо электричество, даже на дальних расстояниях от электрической сети. В 2014 году под сильным общественным давлением правительство Чили отменило строительство 5 плотин в Патагонии и одобрило новые солнечные и ветровые электростанции мощностью 700 МВт.

## В США ускоряются темпы сноса плотин<sup>3</sup>

Брэтт Уолтон

Момент, когда в августе в створе плотины Глайнс Каньон с коренной породы были удалены последние бетонные глыбы, а река Эльва снова взяла свой старый курс, ознаменовал собой важнейший этап в инженерно-строительном деле и охране природы: завершение крупнейшего сноса плотины в истории США.

Отныне Глайнс Каньон, плотина ГЭС высотой 64 м, построенная в 1927 году в штате Вашингтон, всего лишь воспоминание. Она является наглядным примером нарастающей общенациональной тенденции. Никогда прежде не ликвидировалось такое количество плотин на водотоках. Почти в каждом американском штате постепенно демонтируют наиболее старые, бесполезные и, чаще всего, малые плотины.



Источник: <http://joelrogers.photoshelter.com/image/I0000M1ZTGnmWe0c>

---

<sup>3</sup> Источник: Pace of U.S. Dam Removals Accelerates / <http://www.circleofblue.org/waternews/2015/world/pace-u-s-dam-removals-accelerates/>

В то время как страны, находящиеся в бассейне реки Амазонки, Инд, Меконг и других крупных бассейнах, инвестируют в строительство новых плотин ГЭС, правительства стран Европы и США двигаются в противоположном курсе, за исключением некоторых проектов на западе США. Плотины, построенные более 30 лет назад, приводят больше к затратам, чем к выгоде. Расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и модернизацию старых плотин с новыми технологиями, которые наносят меньше ущерба рыбам, превышают стоимость вырабатываемой ими энергии, а также функции плотин по снижению риска наводнений.

По данным организации “Реки Америки” (“American Rivers”), инициативной группы, отслеживающей демонтаж плотин, в 2014 году в 19 штатах демонтировали 72 плотины, что приблизительно вдвое больше годового демонтажа плотин 10 лет назад. Согласно данным группы, с 1912 года было снесено примерно 1875 плотин. Однако количество плотин в США все еще колоссально. Корпус инженерных войск армии США насчитывает в своей базе данных, по меньшей мере, 87 тыс. плотин.

По словам Серены Макклейн, руководителя отдела по восстановлению рек в организации “Реки Америки”, есть два фактора, объясняющие ускоряющиеся темпы демонтажа плотин в США: осведомленность и финансовые средства.

Во-первых, сообщества охотнее начинают принимать идею сноса знаковой составляющей местной инфраструктуры с более чем вековой историей.

“Главная трудность заключается в том, что люди не любят перемен”- говорит Макклейн. “Иногда возникают опасения в связи с тем, как будет выглядеть река без плотины”. Также должны быть подготовлены надлежащие планы по замене услуг, ранее обеспечиваемых за счет эксплуатации плотины – будь то электроэнергия, борьба с наводнениями или орошение – добавляет она.

Снос плотин имеет свои преимущества. Поскольку уменьшается риск прорыва плотины, повышается степень общественной безопасности; кроме того, когда разделенные участки реки воссоединяются, восстанавливается угасающее пресноводное рыболовство.

Второй фактор – финансовый. Даже при готовности сообщества, демонтаж плотины является сложным техническим предприятием, требующим финансов и профессиональных навыков. Стоимость сноса Глайнс Каньон и второй плотины на реке Эльва составила 26,9 млн. долл. США от общего плана восстановления бассейнов в 325 млн. долл США. Между тем не все собственники плотин могут оплатить демонтаж. В

результате многократных продаж, некоторые плотины остаются бесхозными, на скудном государственном обеспечении.

Важность целевого финансирования наглядно демонстрируется на примере Пенсильвании, где в 2014 году было снесено 17 плотин, больше всего по Америке за 12 лет. Этот штат лидирует в демонтаже плотин, поскольку имеет стабильный источник средств – говорит Макклейн. Программа “Growing Greener”, основанная в 1999 году, обеспечила 2 млрд. долл. США на восстановление рек, очистку заброшенных шахт, сохранение сельскохозяйственных угодий, а также демонтаж плотин. В дополнение к средствам, выделяемым законодательным органом штата, и федеральным грантам, деньги поступают от пошлин, взимаемых за добычу природного газа.

“ Чем больше будет финансирования, тем больше плотин будет снесено” – говорит Макклейн.

## Снос 72 плотин в 2014 году<sup>4</sup>

Эмми Кобер, Серена Макклейн

Сообщества 19 штатов, в сотрудничестве с некоммерческими организациями, а также агентствами на уровне штатов и федерального правительства, демонтировали в 2014 году 72 плотины, тем самым восстановив более 730 миль водотоков в пользу ихтиофауны, дикой природы и населения. В списке представлены такие штаты: Калифорния, Колорадо, Коннектикут, Делавер, Айова, Айдахо, Иллинойс, Мэн, Массачусетс, Мичиган, Нью-Гэмпшир, Нью-Джерси, Огайо, Орегон, Пенсильвания, Теннесси, Вермонт, Виргиния и Висконсин.

Пенсильвания возглавляла рейтинг двенадцать лет подряд. В число трех лидирующих штатов по восстановлению рек посредством демонтажа плотин входят:

- Пенсильвания -17 плотин
- Калифорния – 12 плотин
- Мичиган – 6 плотин

В 2014 году в штатах Огайо, Массачусетс и Айова было демонтировано по 5 плотин.

В перспективе на этот год, организация “Реки Америки” поставила цель снести в общей сложности 75 плотин. Планируется провести демонтаж плотины Западная Британия на реке Милл в Массачусетсе, плотин Филдер и Ваймер на Эван Крике, притоке реки Рог в Орегоне. На прошлой неделе начался снос плотины Плимко на реке Таун Брук в Плимуте.

“Движение за возрождение рек в нашей стране стало, как никогда, активным. Осознавая огромную ценность здоровой, свободно текущей реки, сообщества по всей стране демонтируют плотины” говорит Боб Ирвин, президент организации “Реки Америки”.

“Реки Америки” пополняют свою базу данных по более 1 тыс. 185 плотинам США, демонтированным, начиная с 1912 года, новой информацией о сносе 72 плотин в 2014 году. Большинство этих плотин (865) были демонтированы в течение последних 20 лет. “Реки Америки”— единственная организация, фиксирующая и использующая данные по демонтажу плотин в США для пропаганды пользы сноса плотин, а именно

---

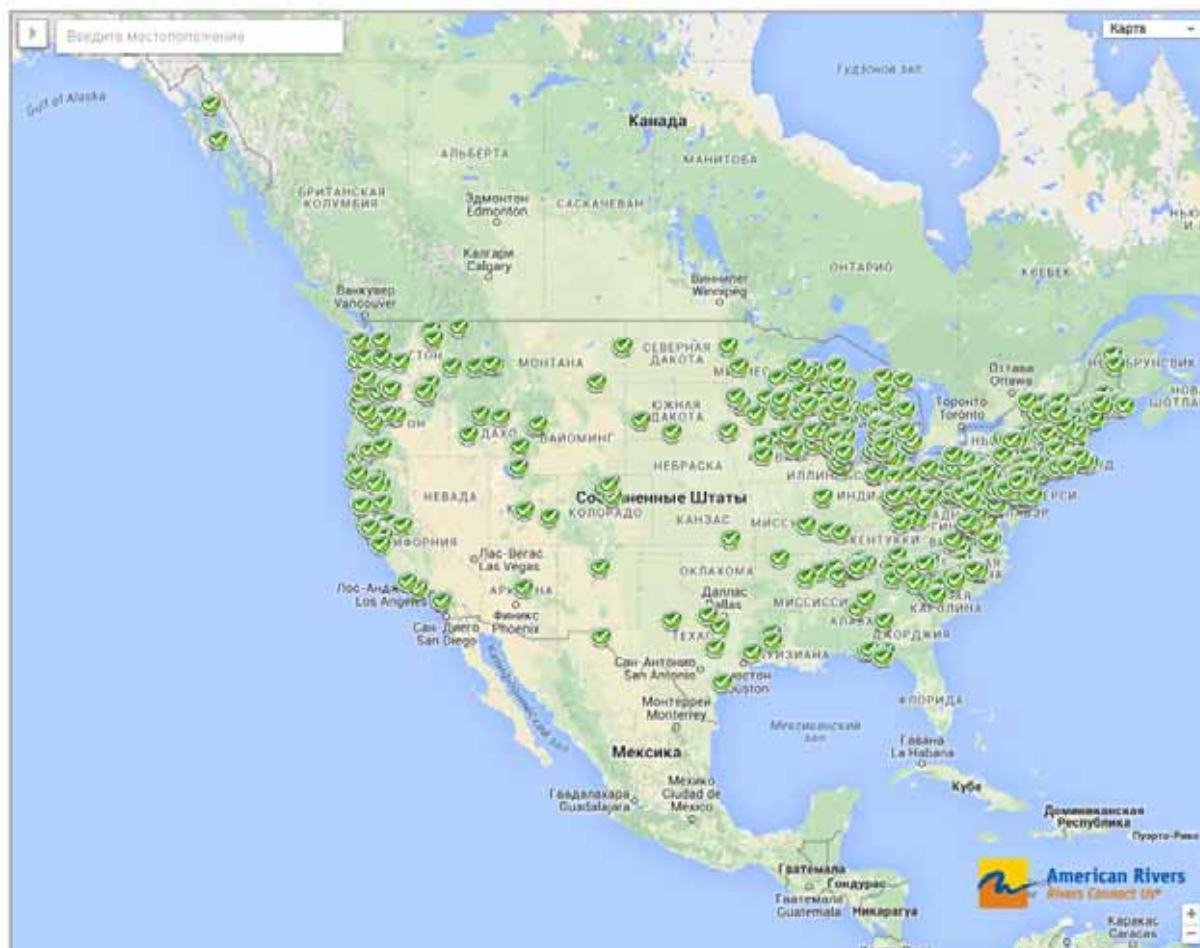
<sup>4</sup> Источник: [www.americanrivers.org/newsroom/press-releases/72-dams-removed-in-2014/](http://www.americanrivers.org/newsroom/press-releases/72-dams-removed-in-2014/)



восстановления хорошего состояния и чистой воды в реках, возрождения дикой природы и рыболовства, повышения общественной безопасности и уровня общественного досуга, а также роста местной экономики. “Реки Америки” участвовала в 20 мероприятиях по демонтажу плотин, указанных в списке за тот год. Данный список включает все известные демонтированные плотины вне зависимости от степени участия “Рек Америки”.

“Реки Америки” дополнила свою интерактивную карту восстановления рек данными по демонтажу плотин за 2014 год. Карта содержит данные по всем известным демонтажам плотин в США с 1936 года с указанием названия плотины и реки, местоположения и года сноса плотины, а также других интересных фактов. С картой можно ознакомиться по указанной ссылке:

[www.AmericanRivers.org/DamRemovalsMap](http://www.AmericanRivers.org/DamRemovalsMap)



# Всемирные достижения высотных плотин<sup>5</sup>

Тэд Уоррен

Несколько крупнейших новых гидроэнергетических проектов в состоянии строительства, которые достигают высоты 300 метров.

## Гибе III, Эфиопия



Плотина Гибе 3 и связанный с ней гидроэнергетический комплекс расположен на реке Орно в весьма отдалённом районе Южной Эфиопии. Эта плотина будет одной из самых высоких плотин из укатанного бетона.

---

<sup>5</sup> Источник: [www.waterpowermagazine.com/features/featureworld-class-achievements-as-dams-reach-new-heights-4509863/](http://www.waterpowermagazine.com/features/featureworld-class-achievements-as-dams-reach-new-heights-4509863/)

Укладка бетона начата в 2011 году, постанковка под энергетическую нагрузку начата в августе 2014 г.

Сооружение возводится в очень сложных условиях, что отразилось сначала на проектировании, затем на условиях строительства. Очень узкое ущелье с крутыми склонами до 45 градусов уклона, экстремально жаркие погодные условия.

Требования к темпам укладки бетона вынудили обеспечить очень жёсткий график подготовки и зачистки основания, его приёмки и последующей укладки бетона. В течение первого года строители уложили в тело плотины более одного миллиона кубометров бетона. За последующие 24 месяца было уложено ещё 5 миллионов кубометров, из общего объёма более 6 миллионов кубометров. Среднемесячные темпы укладки достигали  $140\,000\text{ м}^3$  в месяц, в то время как в августе 2013 г. пиковая нагрузка составила  $250\,809\text{ м}^3$ .

11-12 декабря 2014 года был достигнут абсолютный рекорд в мировой укладке бетона –  $18\,519\text{ м}^3$  за сутки.

Данная образцовая организация является большим достижением компании Salini-Impregilo как рекордсмена в устройстве плотин из укатанного бетона.

### **Плотина Великого Эфиопского Возрождения (Grand Ethiopian Renaissance Dam), Эфиопия**

Этот 6000 мегаватный проект сооружается на реке Аббей (Голубой Нил) и будет составной частью одного из крупнейших Африканских мегапроектов, включая плотину 170 метров высотой и 1800 метров длиной. ГЭС будет включать 16 турбин по 375 МВт и будет построен той же командой, что и предыдущий проект. Объём укатываемого бетона превышает 10 миллионов кубометров.

Проект включает также 70-метровую каменно-набросную плотину. Два машинных зала располагаются в нижнем бьефе плотины с обеих сторон с размещением в них 16 турбин Френсиса. Подготовительные работы были начаты в декабре 2010 года, укладка бетона начата в 2013 году и в настоящее время уложено около 2 миллионов кубометров бетона.



Источник: [www.ventures-africa.com/2014/03/the-grand-ethiopian-renaissance-dam-a-symbol-of-regional-integration/](http://www.ventures-africa.com/2014/03/the-grand-ethiopian-renaissance-dam-a-symbol-of-regional-integration/)

### **Плотина Силоду (Xiluodu), Китай**

Данный проект является вторым по величине в Китае и третьим в мире с установленной мощностью 13 860 МВт. Комплекс гидросооружений и плотина расположены выше всемирно известного китайского комплекса «Три ущелья» на реке Янцзы, установленная мощность которого 22 500 МВт.

Сооружения проекта представляют из себя высочайшую в мире арочную плотину двойной кривизны высотой 285,5 м из обычного бетона объёмом 6,2 млн. м<sup>3</sup> с виброукладкой, и включают два подземных машинных зала, каждый из которых вмещает 9 агрегатов по 770 мегаватт с общей установленной мощностью 13 860 МВт, два энергетических входа и сеть головных и концевых туннелей.

Подготовительные работы были начаты в 2003 году, но временно прекращены до 2005 года для завершения Экологической оценки влияния. Возобновлённые работы в середине 2008 года были успешно завершены в

2013 году. Приёмка в эксплуатацию последнего агрегата была произведена в июле 2014 года.



Технологически производство бетонных работ было хорошо продумано и организовано. Арочная конструкция была создана из связанных монолитных бетонных блоков с низкой подвижностью нулевого класса, с усадкой конуса около 10-15 мм. Сеть охлаждающих труб охлаждала бетонную массу во время укладки и продолжала охлаждение в процессе схватывания и вызревания.

Подрядчик оборудовал стройплощадку пятью кабельными кранами, а транспортная система доставки бетона перекрывала долину с большим запасом, обеспечивающем гарантию необходимых темпов и объёмов укладки бетона. Три автоматизированных бетонных завода с мощностью 500 кубометров в час каждый обеспечили укладку бетона 24 часа в сутки 7 дней в неделю. Подача бетона кранами осуществлялась 9-кубовыми бадьями, распределение бетона в блоках производили маленькими бульдозерами, а уплотнение бетона 150 мм – подвесными вибраторами, закреплёнными на небольших экскаваторах. Каждые 60-90 секунд укладывался объём бетона в 9 кубометров.

## Может ли гидроэнергетика считаться возобновляемым ресурсом?<sup>6</sup>

Гидроэнергетические проекты плотин являются законченным выражением контроля человека над природой. Они создают условия для преодоления паводков, формируют места отдыха, создают стабильность водоподачи для орошения и водоснабжения, источник для свежей рыбы. Это мечта для экономистов и инженеров, а также воплощение мечты для политиков, которые демонстрируют успехи в развитии.

В связи с ростом глобального внимания к эмиссии карбона, гидроэнергетические проекты представляют из себя заманчивую идею для высвобождения CO<sub>2</sub>. В то же время растёт критицизм по вредному влиянию этих сооружений на окружающую среду и условия жизни огромного количества переселенцев, утрачивающих свои насиженные веками места.

Хотя популярность гидроэлектростанций резко снизилась за последние 20 лет, но в настоящее время бум их строительства нарастает, несмотря на то, что от Китая до Бразилии всё более и более проявляются негативные явления. Огромные массивы вековых лесов, подвергнувшихся уничтожению во время строительства плотины Бело Монте в Бразилии, снова продемонстрировали, что гидроэнергетика не столь уж безобидное мероприятие и к нему нужно относиться осторожно.

Гидроэнергетические комплексы не только связаны с переселением огромного количества населения, они изменяют лицо огромных территорий, разрушая скалы, нарушая древние ландшафты с огромными непредсказуемыми последствиями – проявляя себя как не вполне чистая энергия – ни в экологическом плане, ни в моральном.

Зачастую, когда гидроэнергетика развивается в мега-государственных интересах, она теряет значимость возобновляемой энергии, так как всегда находятся интересы местного населения, которыми пренебрегают и которые вызывают предмет для критики. Тогда это выходит за рамки семантики, и не позволяет игнорировать имеющиеся возражения в моральном плане.

---

<sup>6</sup> Источник: [www.scidev.net/global/water/editorials/hydropower-described-as-renewable.html](http://www.scidev.net/global/water/editorials/hydropower-described-as-renewable.html)



Плотина Бело Монте

Источник: [http://en.wikipedia.org/wiki/Belo\\_Monte\\_Dam](http://en.wikipedia.org/wiki/Belo_Monte_Dam)

Особенно это касается тех случаев, когда в поисках наиболее дешёвых рыночных решений, допускают отход от лучших технических решений или ущерб местным экосистемам.

Проект каскада ГЭС на реке Барам в штате Сараваке, Малайзия, должен организовать так называемый «коридор возобновляемой энергии» для поставок в Бруней-Даруссалам.

Местное население привлекло внимание к потере биоразнообразия, а также уничтожению лесов и выводу из пользования пахотных земель. Критики проекта настаивают на развитии мини и микро ГЭС на притоках, так как в этом случае ущерб природному комплексу будет значительно меньше.

# Система оптимизации работы электростанции<sup>7</sup>

Марчелло Марсель Кордова, Эрлон Кристиан Финарди,  
Фернандо Антонио Камарго Рибас, Фелипе Азеведо Браун до Кутто

В Бразилии на гидроэлектростанции Ита мощностью 1450 МВт проходит испытание новый метод, который позволит обеспечить долгосрочную оптимизацию работы ГЭС в режимах, установленных независимым диспетчером энергосистемы страны.

ГЭС страны вырабатывают около 80% всей электроэнергии, производимой Бразильской национальной объединённой энергосистемой. Учитывая существующую неопределенность, наличие проблем с обеспечением точными данными и крупный размер системы (с установленной мощностью 115 ГВт на август 2011 года), необходимо выполнить планирование режимов для разных периодов времени<sup>1,2</sup>. В Бразилии независимый оператор электроэнергетической системы (НОЭС) пользуется моделями оптимизации, консолидированными для решения задач в краткосрочной и среднесрочной перспективе<sup>3,4</sup>. Но НОЭС не располагает моделью для долгосрочного планирования, которая учитывала бы такие неотъемлемые признаки, как нелинейный и невыпуклый характер рабочих параметров<sup>5</sup>. В связи с этим долгосрочное планирование основывается на руководствах по краткосрочной модели и направлено на определение планового показателя для производства электроэнергии гидроэлектростанцией на каждые полчаса следующего дня.

Для обеспечения оперативного взаимодействия необходимо, чтобы работа гидрогенераторов не приводила к изменениям плановых показателей при распределении нагрузок по агрегатам. Цель состоит в достижении поставленных показателей по выработке электроэнергии с использованием минимального количества воды. Основной (и самой сложной) задачей является точное определение расхода воды на каждом гидроагрегате.

В данной статье описана система оценки эффективности работы и оптимизации производства электроэнергии в режиме реального времени, которая используется на гидроэлектростанции Ита мощностью 1450 МВт компании «Tractebel Energia» на реке Уругвай на юге Бразилии. На основе

---

<sup>7</sup> Источник: A System to Optimize Plant Production. By Marcelo Marcel Cordova, Erlon Cristian Finardi, Fernando Antonio Camargo Ribas, and Felipe Azevedo Brown do Coutto / Hydro Review Worldwide, September-October 2013, Vol. 21, No. 5, pp. 30-38



данных, полученных от датчиков уровня, давления и расхода воды в турбинах, система применяет алгоритмы оптимизации для определения точек минимального водопотребления при различных режимах работы.

### Математические операции в гидроэнергетике

Показатели выработки электроэнергии с помощью агрегата можно описать при помощи следующих выражений:

$$gp_i = 10^{-6} * g * \sigma * q_i * nh_i * \eta_i^{ht} - tml_i - ggl_i \quad (1)$$

где:

$gp_i$  – мощность на зажимах генераторов гидравлического агрегата  $i$ , МВт;

$10^{-6}$  – коэффициент перевода Вт в МВт;

$g$  – гравитационная постоянная, м/с<sup>2</sup>;

$\sigma$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$q_i$  – расход воды на агрегате, м<sup>3</sup>/с;

$nh_i$  – напор нетто агрегата  $i$ , в метрах водяного столба;

$\eta_i^{ht}$  – гидравлический КПД турбины  $I$ ;

$tml_i$  – механические потери на агрегате  $i$ , МВт;

$ggl_i$  – общие потери на генераторе гидроагрегата  $i$ , МВт.

Гравитационная постоянная рассчитывается исходя из значений географической широты и высоты местности расположения электростанции над уровнем моря<sup>6</sup>.

Напор нетто определяется следующим образом:

$$nh_i = fbl - trl - k_i^0 q_i^2 - hll_{atm} \quad (2)$$

где:

$fbl$  – уровень воды в верхнем бьефе, м;

$trl$  – уровень в нижнем бьефе, м; является функцией расхода воды на станции, состоящего из общего расхода воды в турбине и объема утечек, м<sup>3</sup>/с;

$k_i^0 q_i^2$  – коэффициент гидравлических потерь агрегата  $i$  под нагрузкой, с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>;

$hll_{atm}$  – гидравлические потери из-за разницы атмосферного давления между уровнем воды в верхнем бьефе и в нижнем бьефе, в метрах водяного столба.

Полученное от датчика уровня значение  $fbl$  считается постоянной величиной вследствие того, что при работе в реальном масштабе времени это значение в течение дня колеблется в незначительном диапазоне. Значение  $fbl$ , с другой стороны, получают от датчика уровня при работе в реальном масштабе времени, и в модуле его моделирует с использованием набора полиномиальных функций. Третье выражение в уравнении 2 представляет собой математически приближенное представление влияния гидравлических потерь в результате нагрузки. Учет этих потерь является сложной задачей.

И, наконец, необходимо установить потери  $tml_i$  и  $ggl_i$ . Механические потери в турбине определяются во время испытаний в эксплуатационных условиях. Их можно разделить на три вида: потери на трение в уплотнении вала, потери в упорном подшипнике, а также потери на механическое трение в направляющих. Потери на трение в уплотнении вала считаются постоянными. Третий вид потерь моделируют в виде функции  $gp_i$ .

Потери на трение в упорном подшипнике вычисляются во время испытаний в эксплуатационных условиях в виде кривой зависимости от  $gp_i$ . Эти потери можно подразделить на две части, одна из которых связана с турбиной, а другая – с генератором.

Общие потери в генераторе состоят из электрических потерь, потерь на трение в направляющих и вышеупомянутых потерь на трение в упорном подшипнике. Электрические потери определяются во время испытаний в эксплуатационных условиях. Они зависят от кажущейся (полной) мощности генератора. Потери на трение в направляющих можно смоделировать как функцию от  $gp_i$  или включить в состав электрических потерь.

Методы определения потерь  $tml_i$  и  $ggl_i$  при оценке в реальном масштабе времени и при оптимизации отличаются друг от друга. В реальном масштабе времени выполняется трёхкоординатная интерполяция при соединении сплайнов (сложнопрофильных кривых) для текущего эксплуатационного режима работы, тогда как в модели оптимизации для выявления этих потерь необходимо аппроксимировать полиномы. При моделировании в модуле составляется модель на основе одного полинома отдельно для потерь в турбине и потерь в генераторе.

## Определение оперативных параметров

Задача одного из модулей внедренной системы – системы обработки данных в режиме реального времени – состоит в определении многих переменных, связанных с выработкой энергии ГЭС при текущем режиме эксплуатации. Главная характеристика системы обработки данных в режиме реального времени представлена данными, полученными от множества измерительных приборов и датчиков, в том числе датчиков уровня воды на сороудерживающих решетках, температуры воды, давления в спиральной обсадной колонне, данными по режиму работы (положению) золотникового клапана в процентном выражении, активной и кажущейся мощности, данными ультразвукового расходомера турбины, данными, полученными по методу Винтера-Кеннеди, а также данными по уровню воды в нижнем бьефе.

Наличие всех этих датчиков было бы идеально для полноценного представления условий эксплуатации ГЭС, но не все из них обязательно должны присутствовать. Например, значения уровня воды на сороудерживающей решетке и давления в спиральной обсадной колонне используются для определения некоторых гидравлических потерь при нагрузке. Однако можно определить только теоретическую (расчетную) величину гидравлических потерь при нагрузке.

Расход на выходе гидроагрегата можно определить при помощи ультразвуковых датчиков, на основе расчетов данных измерения давления по методу Винтера-Кеннеди или же расчетов с использованием универсальной характеристики. Во внедренной системе можно применить все три метода, но, как правило, метод Винтера-Кеннеди не используется ввиду его большой погрешности.

При применении ультразвуковых датчиков они непосредственно дают значение расхода на выходе. В случае с использованием универсальной характеристики расход вычисляется в сочетании с другими переменными. С учетом этих обстоятельств единственно важными величинами измерения для работы системы остаются  $fbl$ ,  $trl$ ,  $gp_i$ ,  $gap_i$ . Имеется более подробная информация о пошаговых действиях при оценке в режиме реального времени<sup>7</sup>.

### ***Напор нетто и гидравлические потери при нагрузке***

Общие гидравлические потери при нагрузке представляют собой сумму потерь при нагрузке в каждой части гидравлической системы, включая потери при отводе воды в канал, в сороудерживающих решетках, турбинном водоводе и отсасывающей трубе. Гидравлические потери можно определить тремя способами:

- Теоретическим: все коэффициенты определяются расчетным способом, а потери в связи с наличием мусора на решетках незначительны;
- При помощи измерения: гидравлические потери при нагрузке рассчитываются с использованием измеренных значений давления в спиральной обсадной колонне;
- Комбинированным: потери в сороудерживающих решетках и из-за наличия мусора устанавливаются на основе данных измерений уровня воды в решетках, а потери в турбинном водоводе определяются с помощью вычислений.

Также имеют место потери из-за разницы атмосферного давления на различных уровнях<sup>8</sup>.

При помощи манометра на входе турбинного водовода можно установить суммарные гидравлические потери во всей гидравлической системе под нагрузкой ( $hll^{med}_{adi}$ ), в том числе потери при отводе воды в канал, в сороудерживающих решетках, из-за наличия мусора и в турбинном водоводе. Датчик уровня в водоприёмнике поможет определить гидравлические потери при нагрузке в месте водозабора в канал, в сороудерживающих решетках и из-за наличия мусора. Сумма гидравлических потерь при нагрузке в месте водозабора в канал, в сороудерживающих решетках (из-за наличия мусора), турбинном водоводе и отсасывающей трубе дает величину гидравлических потерь в установке  $hll_{gu,i}$  под нагрузкой.

Коэффициент гидравлических потерь в турбогенераторе  $k_i^0$  под нагрузкой имеет вид:

$$k_i^0 = \frac{hll_{gu,i}}{q_i^2} \quad (3)$$

Каждая гидравлическая потеря при нагрузке ведет к потере мощности, которая вычисляется следующим образом:

$$phll_i = 10^{-6} * g * \sigma * hll_i * q_i \quad (4)$$

где:

$phll_i$  – потеря мощности, вызванная гидравлическими потерями при нагрузке, МВт;

$hll_i$  – одна из представленных гидравлических потерь при нагрузке, м.

### ***Гидравлический КПД турбины***

Гидравлический КПД турбины представляет собой отношение выходной мощности к входной. При измерении расхода на выходе его значение можно напрямую снять с датчика. В случае отсутствия датчика следует использовать предоставленную изготовителем универсальную характеристику агрегата, состоящую из набора триплетов, устанавливающих связь между выходной мощностью и напором нетто с гидравлическим КПД. На кривой располагаемой мощности электростанции Ита представлены данные по выходной мощности от 90 до 330 МВт с интервалом в 1 МВт и напору нетто от 80 до 110 м с интервалом в 1 м. С целью увеличения разрешения кривой выполнена кубическая интерполяция.

При оценке в реальном масштабе времени осуществляется линейная интерполяция на уже интерполированной кривой, обеспечивая разумно необходимое приближение к установленному рабочему режиму с выполнением несложных вычислительных операций.

Другим моментом, на который стоит обратить внимание, является то, что представленная кривая относится к опытному образцу, где температура остается постоянной на уровне 25,2° С. При работе в реальном масштабе времени осуществляется перевод в значение текущей температуры<sup>6</sup>.

### **Оптимизация выработки электроэнергии**

Система также выполняет оптимизацию производства энергии в реальном масштабе времени. На электростанции Ита для каждого гидроагрегата НОЭС задает требуемые параметры по выработке

электроэнергии. Поэтому для производителя электроэнергии важно знать насколько заданное значение соответствует наиболее оптимальному рабочему режиму при текущем состоянии электростанции.

При наличии такой информации внедряемая модель оптимизации в реальном (масштабе) времени будет представлена при помощи нелинейной задачи смешанной целочисленной оптимизации<sup>7</sup>.

Минимизация расхода на выходе для установленного режима выработки электроэнергии возможна при распределении мощности между агрегатами. Отношение расхода на выходе к величине выработки электроэнергии известно как удельное потребление, а его минимизация используется в качестве целевой функции.

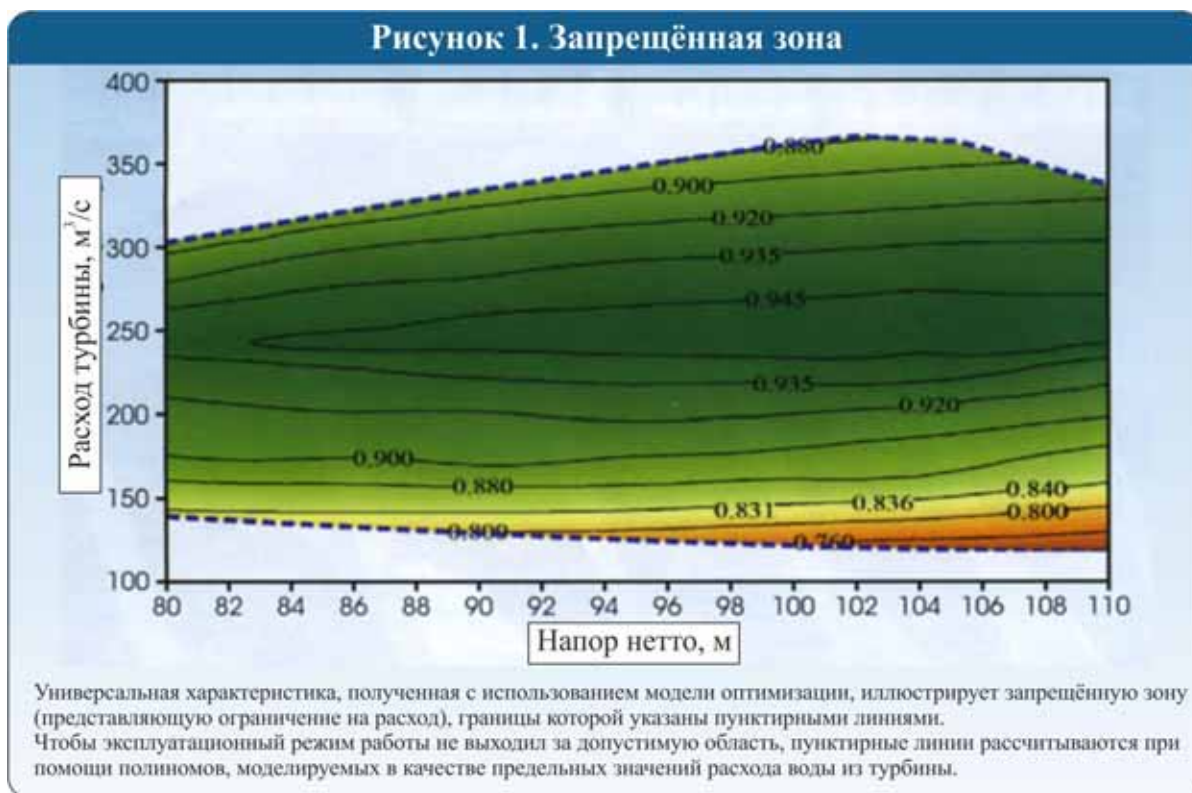
На ГЭС Ита, где установлено пять агрегатов, фазовое пространство, получаемое в результате сочетания включенных и выключенных гидроагрегатов, ничтожно мало. Следовательно, задачу можно решить методом исчисления, и выбор делается в пользу сочетания с наименьшим потреблением.

Входные данные для модели оптимизации состоят из: значений уровня воды в верхнем бьефе, уровня воды в нижнем бьефе, общего расхода станции (расход на выходе плюс потери от утечки), плотности воды, среднего коэффициента мощности генератора, гидравлических потерь из-за разницы атмосферного давления на уровнях верхнего и нижнего бьефов и коэффициента гидравлических потерь при нагрузке агрегата. Эти данные получены при помощи модели в реальном времени.

### ***Гидравлический КПД турбины***

На универсальной характеристике, предоставленной заводом-изготовителем турбины, гидравлический КПД представляет собой функцию его выходной мощности. Однако модель оптимизации в качестве искомой переменной использует данные по расходу воды в турбогенераторе. Следовательно, универсальную характеристику следует по точкам трансформировать в кривую зависимости напора нетто и расхода в агрегате.

На рис. 1 приведена универсальная характеристика, при помощи такой методики. Запрещённая зона (устанавливающая ограничения по расходу) разграничена пунктирными линиями. Во избежание выхода эксплуатационного режима за пределы допустимой области, ее границы (пунктирные линии) аппроксимированы при помощи полиномов, моделируемых в задачи оптимизации как предельные значения расхода воды в турбине.



В модели оптимизации необходимо представить эту кривую при помощи полиномиальных функций, обычно многочленов второго порядка<sup>9</sup>. Однако вследствие нелинейности первичной поверхности нелинейная регрессия для этого полинома дает среднее и максимальное значения относительной погрешности, равные 0,464% и 3,054%, соответственно, относительно первичной кривой. Для оптимизации в реальном времени эти значения считаются чересчур высокими. Применение полинома третьего порядка также дает большую погрешность – среднее и максимальное значения равны, соответственно, 0,335% и 2,057%.

Для минимизации погрешности регрессии первичную кривую делят на множество участков (сегментов), и индивидуально по каждому из них выполняют нелинейную регрессию, т.е. в этом случае для каждого сегмента есть свой полином.

На ГЭС Ита такая сегментация выполняется следующим образом:

- определяются границы каждого сегмента, причем его размер должен составлять 5% от всего диапазона напора нетто и 5% от всего диапазона расхода агрегата;
- группируются по тройкам (триплетам) в каждом сегменте;

- если один из сегментов имеет меньше 20 триплетов, то он объединяется с соседним, с тем чтобы снизить возможность возникновения плохо обусловленных полиномов;
- для каждого сегмента выполняют нелинейную регрессию на основе полиномов третьего порядка.

При помощи такого подхода для универсальной характеристики станции Ита получают 352 сегмента, каждый из которых имеет свой полином. Среднее значение и максимальное значение относительной погрешности равны 0,006% и 0,168%, соответственно. Важно отметить, что сегментация выполняется только единожды при дискретизации универсальной характеристики.

### *Уровень воды в нижнем бьефе*

При обработке данных в масштабе реального времени значение уровня воды в нижнем бьефе получают непосредственно с датчика уровня. Но в модуле оптимизации необходимо построить модель уровня воды в нижнем бьефе как функцию общего расхода электростанции, составленной из суммы расходов на агрегатах и объема утечек.

Электростанция Фоз-де-Чапеко расположена ниже станции Ита, в связи с чем уровень воды в верхнем бьефе Фоз-де-Чапеко влияет на уровень воды в нижнем бьефе Ита. Таким образом, в результате испытаний в эксплуатационных условиях были построены две кривые верхнего бьефа: один для верхнего бьефа станции Фоз-де-Чапеко на высоте 264 м, другой – 265 м.

Для каждой кривой подобраны по два полинома: один для интервала от 0 до 2000 м<sup>3</sup>/с, другой для точек повыше, что позволяет снизить величину погрешности регрессии.

Перед тем как составить алгоритм оптимизации система при помощи вычислений в реальном времени получает значения полного расхода воды и измеренного уровня воды в нижнем бьефе. На основе этих данных составляется новая кривая нижнего бьефа в диапазоне между кривыми для 264 м и 265 м (или выполняется экстраполяция, если полученная точка оказалась ниже 264 м или выше 265 м).



## ***Уровни оптимизации***

Разнообразие моделей оптимизации состоит в устранении ограничений, связанных с обязательным удовлетворением требований НОЭС. Таким образом, можно будет определить оптимальные рабочие режимы (так называемые рабочие точки) для каждой группы агрегатов. При помощи этих точек можно установить такой диапазон выработки электрической энергии, чтобы удельное потребление было не ниже данного уровня оптимизации. Это даст гарантию того, что даже если турбогенераторы не будут работать в своем оптимальном режиме, они будут в зоне ниже этой оптимальной рабочей точки. Для определения этого диапазона дается модель оптимизации<sup>7</sup>.

## **Система оптимизации производства**

Архитектура системы построена на базе технологии виртуальных приборов, предоставленной компанией National Instruments. Был выбран язык программирования NI LabVIEW из-за его высокой эффективности при работе с измерительными системами и при получении данных, а также потому, что он дает алгоритм решения задач нелинейного программирования. Была внедрена централизованная сеть Ethernet для сопряжения между собой коммуникационных линий различного оборудования, обеспечивающего систему необходимыми данными.

Программное обеспечение было разработано на основе трёхуровневой архитектуры с использованием технологии службы веб-сервис и предназначено для отделения уровня представления от прикладного уровня.

С учетом всех трех методов определения гидравлических потерь установлены переменные для шести различных комбинаций.

Каждые 10 минут запускается модуль оценки в реальном масштабе времени со скользящим средним с 5-минутным интервалом для проведения измерений. Таким образом избегают возникновения кратковременных колебаний значений. Обработка данных в реальном времени осуществляется в том случае, если выходная мощность агрегата будет в пределах от 195 до 293 МВт. Теоретические ограничения (допустимый рабочий диапазон) генератора – 200 и 290 МВт. Этот зазор необходим для того, чтобы при работе в реальном масштабе времени не были исключены условия работы немного ниже минимума или выше максимума. В целом определены 100 переменных, связанных с работой в

реальном масштабе времени (для каждой комбинации расхода/гидравлических потерь турбины).

После обработки данных в реальном времени реализуется модуль оптимизации в реальном времени. Более затратные по времени операции по оптимизации с подразделением по уровням оптимизации выполняются каждый час. С учетом того, что единственной переменной, которая может немного отклоняться от оптимального значения без необходимости соответствия требованиям НОЭС, является значение уровня воды в верхнем бьефе. Также, принимая во внимание, что это отклонение обычно невелико в пределах нескольких минут, совсем необязательно решать эту задачу каждый раз при выполнении первоначальной модели оптимизации.

При помощи веб-интерфейса пользователь может отслеживать рабочие параметры электростанции и турбогенераторов, данные с датчиков, результаты оптимизации в реальном времени и уровни оптимизации, и может создать системный отчет.

Некоторые отчеты можно использовать для наблюдения за изменениями переменных параметров электростанции или турбогенераторов во времени. В других отчетах представлены гистограммы эффективности турбины и генератора, которые можно использовать, например, при изучении возможности модернизации турбогенераторов.

### **Численные результаты**

21 декабря 2012 года, в 14:27 часов работал всего один агрегат. Уровень воды в верхнем бьефе и нижнем бьефе был, соответственно, 365,75 м и 264,49 м. Выходная мощность составляла 199,98 МВт. Температура воды – 16,7° С. Уровень воды на сороудерживающих решетках был установлен на метке 365,02 м. Давление в спиральной обсадной колонне – 9,73 бар. Расход воды в турбине, измеренный при помощи ультразвукового расходомера, составлял 220,83 м<sup>3</sup>/с.

Система оптимизации подсчитывает управляемые параметры обработки для шести случаев: с использованием двух методов измерения расхода на выходе и трех для вычисления гидравлических потерь.

Принимая во внимание расчет расхода в турбине при помощи универсальной характеристики и с учетом расчетных гидравлических потерь, гидравлические потери турбины соответствуют приблизительно 71% общих потерь. Таким образом, эффективность составляет: гидравлической системы в целом – 91,17%; турбогенератор – 92,22%;

генератор – 98,52%; турбина – 93,61%; узлы гидросистемы – 93,7%; механические части – 99,9%.

На рис. 2 показано процентное распределение расчетных гидравлических потерь. Доля потерь в сороудерживающих решетках составляет больше половины всех потерь, а потери вследствие наличия мусора в решетках не показаны, так как при определении величины гидравлических потерь на основе моделирования их не подсчитывали и не измеряли.



Рассчитанное в результате построения универсальной характеристики значение расхода на выходе при расчетных гидравлических потерях составляло 221,45 м<sup>3</sup>/с. Принимая в качестве ориентира значение расхода, измеренное расходомером, полученная относительная погрешность будет равна 0,28%. Поскольку погрешность измерения при помощи ультразвукового датчика составляет порядка 0,5%, то можно сделать вывод, что результаты находятся в допустимых пределах. Это говорит о том, что при помощи точного моделирования функциональной зависимости гидроэлектроэнергии можно получить

результаты, совпадающие с данными ультразвуковых датчиков, которые, как известно, обладают высокой точностью.

### *Оптимизация в реальном времени*

Первый случай анализа операций по оптимизации относится к 10:54 часам 20 декабря 2012 года, когда НОЭС установил, чтобы агрегаты 1 и 2 вырабатывали 290 МВт, а агрегат 4 – 200 МВт. Агрегат 3 выполнял роль синхронного компенсатора, а агрегат 5 не работал. Уровень воды в верхнем бьефе и нижнем бьефе был 365,7 м и 264,78 м, соответственно. Суммарный расход воды – 889,59 м<sup>3</sup>/с. Гидравлические потери из-за разницы атмосферного давления на уровне верхнего бьефа и нижнего бьефа составляли 0,119 м. Коэффициенты гидравлических потерь турбогенераторов для агрегатов 1, 2 и 4 равны, соответственно,  $1,8382 \times 10^{-5}$ ,  $1,9013 \times 10^{-5}$  и  $2,0718 \times 10^{-5}$ .

В таблице 1 приведены данные по существующей системе распределения нагрузки на ГЭС и оптимальной для соответствия определенной мощности.

Для одной и той же мощности оптимальный общий расход в турбине на 26,42 м<sup>3</sup>/с ниже, чем существующий. Эту разницу можно выразить при помощи величины удельного потребления: 1,1499 МВт/(м<sup>3</sup>/с) при существующем режиме работе и 1,1158 м<sup>3</sup>/(с\*МВт) при оптимальном. Также, согласно наблюдениям, разница в коэффициентах гидравлических потерь в турбогенераторах не слишком влияет на процесс оптимизации, так как разница между максимальным и минимальным значениями мощности составляет всего лишь 0,62 МВт.

**Таблица 1. Существующая и оптимальная система распределения нагрузки**

Агрегат	Существующая система		Оптимальная система	
	Мощность, МВт	Расход, м <sup>3</sup> /с	Мощность, МВт	Расход, м <sup>3</sup> /с
Турбогенератор 1	287,83	334,68	258,14	287,77
Турбогенератор 2	287,22	333,57	257,97	287,74
Турбогенератор 4	198,58	221,34	257,52	287,66
Всего	773,63	889,59	773,63	863,17

Второй случай исследования относится к 17:35 часам 20 декабря 2012 года. Мощность, НОЭС, для агрегата 4 была 200 МВт. Агрегаты 1, 2 и 3 работали в качестве синхронных компенсаторов, а агрегат 5 не работал. Результаты обработки данных в реальном времени указывают на то, что агрегат 4 вырабатывает 202,21 МВт при расходе воды в турбине 224,55 м<sup>3</sup>/с, установленном при помощи универсальной характеристики и с учетом расчетных гидравлических потерь. В результате оптимизации для выработки такой же мощности оптимальный расход в турбине будет 224,39 м<sup>3</sup>/с. Такая разница имеет место вследствие того, что для определения потерь применяется интерполирование и измеряется уровень воды в нижнем бьефе. При оптимизации потери и уровень воды в нижнем бьефе вычисляются с применением полиномов. Ввиду того, что разница составляет всего лишь 0,16 м<sup>3</sup>/с, мы приходим к выводу, что для математического описания работы ГЭС для решения упомянутой задачи оптимизации требуется моделирование потери и уровня воды в нижнем бьефе на основе полиномиальных функций и сегментации универсальной характеристики.

Кроме того, система предоставляет результаты для всех уровней оптимизации, которые не зависят от текущей выходной мощности ГЭС. В таблице 2 представлены результаты оптимизации работы агрегата. Агрегат работает на уровне до 0,25% ниже оптимального, если его выходная мощность находится в диапазоне от 214,42 до 230,7 МВт. Такая информация очень важна для контроля эффективности работы электростанции и, при необходимости, может быть использована при обмене данными с НОЭС.

**Таблица 2. Уровни оптимизации**

Уровень оптимизации		Удельное потребление, МВт/(м <sup>3</sup> /с)	Расход, м <sup>3</sup> /с	Мощность, МВт
100		1,0959	241,67	220,53
99,75	мин	1,0986	235,56	214,42
	макс	1,0986	253,51	230,76
99,50	мин	1,1013	232,72	211,31
	макс	1,1013	262,46	238,31
99,25	мин	1,1041	230,36	208,65
	макс	1,1041	268,49	243,18
99,00	мин	1,1068	226,65	204,78
	макс	1,1068	274,57	248,08

## **Заключение**

Проверка эффективности работы системы на работе электростанции Ита показала, что детальное моделирование функции производства гидроэлектроэнергии с применением метода универсальной характеристики дает такую же погрешность, что и при измерении при помощи ультразвукового расходомера, который обходится в сотни тысячи долларов на каждый агрегат. Также было отмечено, что правильное распределение мощности между агрегатами позволит существенно сократить объем воды, используемый для выработки такого же количества электроэнергии.

Полное подтверждение эффективности системы можно получить только по истечении некоторого времени ее работы. Нам еще предстоит выяснить, какой объем воды можно будет сэкономить в долгосрочной перспективе в результате применения модели оптимизации.

Система также служит для поддержки принятия решений при модернизации и реконструкции гидроагрегатов в целях повышения технической и экономической эффективности ГЭС и для обеспечения удобства обсуждения критериев при расчете гарантированной мощности электростанции.

## **Использованная литература**

1. Матос В.Л. и Финарди Э.С. «Вычислительные исследования модели стохастической оптимизации для долгосрочного планирования гидротермальных систем», Международный журнал по энергетическим системам, Издание 43, № 1, 2012г.
2. Финарди Э.С., Сильва Э.Л. и Сагастизабал С. «Решение задачи выбора турбогенераторов на гидроэлектростанции при помощи Лагранжевых релаксаций и последовательного квадратичного программирования». Вычислительная и прикладная математика, Издание 24, № 3, 2005г., стр. 317-341.
3. Сильва Э.Л. и Финарди Э.С. «Параллельная обработка данных при планировании гидротермальных систем. Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике США по параллельным и распределенным системам, Издание 14, № 8, 2003г., стр. 721-729.
4. Сантос М.Л.Л., Сильва Э.Л., Финарди Э.С. и Гонкальвес Р.Э.С. «Практические аспекты решения задач среднесрочного планирования работы гидротермальных энергетических установок с применением метода постепенного ограничения». Международный журнал по энергетическим системам, Издание 31, № 9, 2009г., стр. 546-552.

5. Финарди Э.С и Скуциато М.Р. «Задачи выбора турбогенераторов и нагрузки для оперативного планирования на сутки вперед». Международный журнал по энергетическим системам, Издание 44, № 1, 2013г.

6. Гидравлические турбины, гидроагрегаты ГАЭС и турбонасосы – приемосдаточные испытания модели. МЭК 60193, Международная электротехническая комиссия, Женева, Швейцария, 1999г.

7. Кордова, Марсело Марсель и др. «Система поддержки для оценки эффективности и оптимизации производства в реальном масштабе времени на системах гидроэлектростанций Бразилии», материалы конференции «HydroVision International» 2013г., изд-во PennWell Corp., г. Тулса, штат Оклахома, 2013г.

8. «Modulo 8: Programacao Diaria da Operacao Electroenergetoca», Procidementos de Rede, Operador Nacional do Sistema Electrico, 2009г.

9. Диниз А.С.Л. и Масейра М.Э.П. «Четырехмерная модель гидрогенерации для решения краткосрочной задачи распределения мощности в гидротепловой энергосистеме с учетом влияния напора и утечек». Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике США по энергетическим системам, Издание 213, № 3, 2008г., стр. 1298-1308.

## **В ходе переговоров по строительству плотины на реке Нил достигнуто предварительное соглашение<sup>8</sup>**

Три основные страны, совместно использующие воды Нила, достигли соглашения по механизму эксплуатации плотины «Возрождение», сообщил в пятницу министр водного хозяйства Египта

Крупнейшая планируемая плотина в Африке стоимостью 4 млрд.долл.США, плотина «Возрождение», должна обеспечивать дешевой энергией такие удаленные от Эфиопии страны, как Южная Африка и Марокко.

Проект, разрабатываемый итальянской компанией «Salini Impregilo SpA», направлен на выработку 6 тыс. МВт электричества для стран, страдающих от нехватки электроэнергии.

Однако этот проект вызывает обеспокоенность у Египта, чье сельское хозяйство, производство и питьевое водоснабжение для быстро растущего населения практически полностью зависит от реки Нил.

«Принципы, по которым было достигнуто согласие, касаются систем и механизма эксплуатации плотины «Возрождение», а также механизма сотрудничества по этой плотине», сообщил после переговоров в Хартуме министр водного хозяйства Египта Хоссам Могази.

Министр иностранных дел Судана Али Ахмед Карти сказал, что страны достигли договоренности по «принципам, которыми мы будем руководствоваться для выгодного использования Восточного бассейна Нила и плотины Возрождения ... и этот документ открывает новую страницу в отношениях трех стран».

Теперь это соглашение будет направлено лидерам трех стран для окончательного утверждения, сообщил он после трех дней трехсторонних встреч с участием министров иностранных дел и водного хозяйства стран.

Министр иностранных дел Эфиопии Тадрос Адханом сказал, что эти принципы представляют «новую главу» в отношениях между тремя странами.

При этом министры не останавливались подробно на конкретных пунктах соглашения.

---

<sup>8</sup> Источник: <http://uk.reuters.com/article/2015/03/06/sudan-nile-idUKL5N0W800Y20150306>



Каир опасается, что в течение периода времени, необходимого для наполнения водохранилища новой плотины емкостью 74 млрд.м<sup>3</sup>, сток в реке будет временно уменьшен и что испарение поверхностных вод с этого нового огромного водоема впоследствии сократит этот сток полностью.

Могази сообщил, что консалтинговая фирма, которая проведет экологическую оценку и изучение водохозяйственных аспектов плотины, будет объявлена 9 марта.





Перевод: Усманова О., Ян Е.

Верстка и дизайн: Беглов И.

Подготовлено к печати  
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,  
г. Ташкент, массив Карасу-4, д. 11  
Тел. (998 71) 265 92 95, 266 41 96  
Факс (998 71) 265 27 97  
Эл. почта: [info@icwc-aral.uz](mailto:info@icwc-aral.uz)