

В порядке обсуждения

Ю. П. ЛЯПИЧЕВ

Российский университет дружбы народов

ОТВЕТ АВТОРАМ ОТЗЫВА НА СТАТЬЮ «ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ СТРОЯЩЕЙСЯ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС» («ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО» №2, 2009)

Вначале хочу ответить на менторский тон авторов отзыва, которые утверждают, что «мой интерес к Богучанской ГЭС возник после посещения заграницы, где я мог *наблюдать* строительство диафрагмы из уплотняемого асфальтобетона». Действительно, в последние 25 лет мне часто приходилось выезжать во многие страны для работы в качестве международного консультанта, в основном по грунтовым плотинам, а последние 15 лет я работаю членом Комитета по расчетам и проектированию плотин в Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ). Кстати, авторам отзыва было бы полезно «понаблюдать» за современной технологией строительства диафрагм из укатываемого асфальтобетона (АФБ) в десятках странах мира, обеспечивающих высокое качество (без единой аварии) и темпы строительства. Тогда им было бы неудобно приписывать этой технологии мифические дефекты на

фоне несуществующих преимуществ диафрагмы из литого АФБ.

Уже в первом абзаце отзыва работников лаборатории гидроизоляции ВНИИГ автору статьи инкриминируется «стремление внедрить *западные технологии* (т. е. вредные, по убеждению авторов отзыва — Ю. П.) в российскую практику гидротехнического строительства», поэтому «доказательства Ю. П. Ляпичева весьма далеки от объективного сопоставления вариантов проекта и не выдерживают критики».

В начале проектирования Богучанской плотины руководство Гидропроекта обратилось в советские компетентные органы о целесообразности приобретения механизированного комплекса ФРГ для строительства укатанной диафрагмы этой плотины, но получило ответ о недопустимости применения западной технологии. В своем отзыве работники ВНИИГ сделали то же. После этого во ВНИИГ и начали заново «изобретать велосипед» в виде своей литой технологии.

Сообщаю также уважаемым читателям (авторы отзыва это знают, но приписывают мой интерес к Богучанской ГЭС только «посещением заграницы»), что мне пришлось заниматься проблемами безопасности Богучанской каменно-набросной плотины (КНП) в 2001–2007 гг. в качестве штатного консультанта вначале УС «БогучанГЭСстрой», а позднее управляющей энергостроительной компании ОАО «ЭСКО ЕЭС России».

Выводы об опасности продолжения строительства диафрагмы из литого АФБ, необходимости ее капитального ремонта и перехода на современную технологию строительства диафрагмы из укатанного АФБД, а также о других опасных дефектах проекта каменно-набросной плотины были изложены в отчетах этим организациям и Гидропроекту, на совещаниях в Гидропроекте с участием заинтересованных организаций (в том числе ВНИИГ), в статьях, а также в презентации по проблемам безопасности Богучанской каменно-набросной плотины (КНП) на последнем Международном Конгрессе по большим плотинам в Барселоне (2006). Интересно, что после сделанного сообщения никто из присутствовавших в зале руководителей ВНИИГ и Гидропроекта не выступил против моей критики проекта каменно-набросной плотины и литой диафрагмы и поддержки проекта укатанной диафрагмы, а общепризнанный эксперт в этой области почетный президент СИГБ профессор К. Хоег (Норвегия) поддержал меня. Следует также отметить, что ряд крупных российских специалистов в этой области, предыдущие руководители проекта Богучанской ГЭС и КНП, руководство ЭСКО придерживаются такого же мнения о необходимости перехода в проекте Богучанской каменно-набросной плотины от литой диафрагмы на укатанную с проведением необходимых ремонтных работ по литой диафрагме.

К сожалению, примерно год назад руководители ЭСКО, занимавшие принципиальную позицию в этом вопросе,

были отстранены от этого проекта руководством РусГидро.

Во втором абзаце авторы отзыва придумали мифический 60-летний (еще в 1980 г.!) опыт ВНИИГ в применении литого и укатанного асфальтобетона в гидротехническом строительстве, строительстве несуществующих десятков (!) объектов из уплотняемого асфальтобетона, которые почему-то не вошли в международный реестр СИГБ этих плотин. Авторы смогли вспомнить только два таких объекта: это диафрагма из литого асфальтобетона земляной плотины Днепровского алюминиевого завода в городе Запорожье высотой 32 м и литая диафрагма грунтовой плотины ГЭС «Хадита» в Ираке высотой 56 м. Напомню читателям, что первый объект представлял собой лишь опытную насыпь, а не полноценную грунтовую плотину, а во втором объекте короткая литая диафрагма была выполнена в нижней части широкого ядра из дробленой доломитовой крошки с низким коэффициентом фильтрации и служила дополнительным и необязательным элементом ядра плотины.

В мировой практике нет опыта строительства каменно-набросных плотин с литыми диафрагмами. В трудах 16-го Конгресса по большим плотинам (США, 1988) приведены сведения о строительстве в Чехословакии пяти плотин высотой 13...36 м с диафрагмами из литого асфальтобетона, где в стальную опалубку вручную укладывали камни размером 150...250 мм, которые заливали асфальтобетоном без распалубки. Стальную опалубку окружали фильтром и оставляли в плотине. Такой опыт не получил распространения.

Немецкие и норвежские специалисты рассмотрели литую технологию, представленную ВНИИГ в докладе на том же 16-м Конгрессе для строительства Тельмамской, Богучанской и Ирганайской каменно-набросных плотин. Специалисты отметили негативные особенности этой технологии: цикличность, многооперационность, повышение

расхода битума, наличие опалубки, рост объема работ и сроков строительства, сегрегация литого АБ при заливке в опалубку, его неконтролируемое самоуплотнение и др.

В отзывах ВНИИГ утверждалось, что технология укатываемого АФБ не подходит для обоснования конструкции и строительства каменно-набросных плотин с диафрагмами в специфических условиях строительства в России, особенно в районах с повышенной сейсмичностью. Известен вывод Международной комиссии по большим плотинам (1992): «Грунтовые плотины с железобетонными экранами и асфальтобетонными укатанными диафрагмами являются наиболее перспективными грунтовыми плотинами для строительства в сложных природных условиях, включая высокую сейсмичность». Последующие годы подтвердили правоту этого вывода, особенно для первых плотин.

Сейчас в Российской Федерации строят Ирганайскую каменно-набросную плотину с литой диафрагмой по рекомендациям ВНИИГ. В июне 2006 г. плотина была поставлена под напор с уровнем ГМО в ВБ (60 м). Опыт ее эксплуатации при низких напорах и недавнем наполнении ВБ слишком мал, чтобы делать выводы. Кроме того, в диафрагме отсутствует система контроля фильтрации по длине и отметкам, что не позволит объективно оценить ее эффективность и безопасность.

В третьем абзаце авторы отзыва утверждают, что их собственный и зарубежный опыт строительства диафрагм из уплотняемого асфальтобетона выявил ряд недостатков таких диафрагм — прежде всего сложность обеспечения их водонепроницаемости при пористости не более 2,8 %, т. е. он должен быть достаточно уплотнен. Достичь такой степени уплотнения с помощью укатки сложно, поэтому требуется постоянно вести контроль степени уплотнения и корректировать режимы укатки и т. д. Но авторы отзыва хорошо знают, что так ненавистная им западная (немецкая и норвежская) техноло-

гия укладки и укатки диафрагмы и соседних зон всегда обеспечивала требуемую плотность и водонепроницаемость укатанных диафрагм грунтовых плотин. Подтверждением этого факта является отсутствие не только аварий, но и серьезных протечек в укатанных диафрагмах всех (около 200) этих плотин, построенных в разных районах мира, в том числе в сложных климатических, геологических и сейсмических условиях Норвегии, Китая и Канады.

Авторы отзыва признают, что жесткие требования к организации и качеству, культуре проведения работ по укатанному асфальтобетону и контактному грунтовым зонам в климатических и территориальных условиях строительства Богучанской каменно-набросной плотины обеспечить практически невозможно, т. е. расписались в своей неспособности, а точнее, в нежелании отказаться от «чести мундира» и возможности отлично заработать на ее строительстве.

Авторы отзыва в качестве главного довода принятия литой диафрагмы вместо укатанной указывают на короткий срок (165 дней в году) строительства последней при положительных температурах воздуха, хотя известно, что укатанная технология успешно использовалась при температурах до -10°C , что удлиняет срок строительства до 180 дней. В связи с этим ниже приведено заключение из записок УС «БогучанГЭСстрой» и ЭСКО ЕЭС.

«Длинная Богучанская плотина (1865 м) — идеальна с точки зрения строителя укатанной диафрагмы. Технические возможности механизированного комплекса строительства этой диафрагмы и соседних переходных зон грунта намного превышают планируемую интенсивность отсыпки тела плотины. При нормальной схеме производства асфальтобетон укладывают в сутки два слоя по 25...30 см каждый. Ежедневно на Богучанской КНП слой уплотняемого АФБ может достигать 50...60 см в сутки благодаря протяженному фронту строительства, способству-

ющему эффективному естественному охлаждению АФБ. Таким образом, укатанную диафрагму на полную высоту 61 м (от отметки 151 до отметки 212 м) один механизированный комплекс уложит за 100...120 дней непрерывной работы, т. е. теоретически за один теплый сезон в условиях Богучанской ГЭС. На критическом пути продолжительности строительства плотины лежит отсыпка камня, а не диафрагмы. Поэтому в климатических условиях Богучанской ГЭС могут быть выбраны оптимальные температурные условия для возведения укатанной диафрагмы с заданным качеством, опирающимся на автоматизированное приготовление АФБ-смеси и на ее механизированную укладку и уплотнение, в наибольшей степени исключая «человеческий фактор». Литая диафрагма в 2006 г. поднялась на высоту около 4,5 м, в 2007 г. — на 12 м. Достигнутая и планируемая интенсивность наращивания этой диафрагмы потребуют не менее 5–6 лет для завершения плотины в 2012–2013 гг. При отмеченных недостатках технологии ЛАБД уже привела к ее низкому качеству и необходимости проведения ремонтных работ».

«Сравнительная экспертная оценка стоимости литой и уплотняемой диафрагм показала, что уплотняемая диафрагма вместе с технологическим оборудованием дешевле стоимости литой диафрагмы на 10...15 % в связи с отсутствием опалубки, уменьшением объема укатанной диафрагмы и процентного содержания битума в ней».

По поводу рекомендованного авторами отзыва (см. журнал «Гидротехническое строительство» № 6 за 1996 год и более поздние выпуски) содержания битума марки БНД 60/90 в литом АФБ состава БГК-2, равного 9,6 %, следует подчеркнуть, что при его заливке из автобетоносмесителя в стальную опалубку зафиксирована (есть фотодокументы в ЭСКО ЕЭС) его неизбежная сегрегация на жидкий битум и наполнитель. Вначале в опалубку стекает горячий

битум, а в конце ссыпается наполнитель и остается в виде «распластанной горки». Обещанное ВНИИГ равномерное заполнение формы горячим асфальтобетоном практически невыполнимо и может привести лишь к распределению этой горки по верхней части формы, в то время как основная ее часть будет заполнена жидким битумом со средним содержанием 11...12 %.

По поводу контакта литой диафрагмы с цементационной галереей можно сказать, что сейчас наши рекомендации по выполнению короткой наклонной цемзавесы, замкнутой на существующую цемзавесу в основании галереи, и созданию замкнутого контура цемзавесы в основании диафрагмы и галереи в основном выполняются.

Авторы отзыва не уделили внимания одному из главных (отмеченных автором статьи) дефектов проекта Богучанской каменно-набросной плотины, выполненного под научным руководством ВНИИГ, — примыканию диафрагмы к вертикальной гладкой стенке бетонной плотины (без устройства в ней углубления) и невозможности контроля контакта «диафрагма — бетон». В 2007 г. в этом примыкании литой диафрагмы при проходке опытного шурфа в переходных зонах была обнаружена сквозная трещина на контакте литой диафрагмы и бетонной плотины (данные ЭСКО ЕЭС). В дальнейшем из-за небольшой опережающей отсыпки верховой призмы произошло смещение приконтактного торца диафрагмы примерно на 5...10 см в сторону НБ. В образовавшуюся щель устремилась вода, хотя перепад бьефов был очень небольшим. Страшно представить, что могло произойти в этом примыкании диафрагмы при первом наполнении водохранилища!

Сейчас эта контактная зона, по словам авторов отзыва, «доработана в проекте — усилена обогреваемой мастичной шпонкой». К сожалению, битумная мастика в небольшом бетонном колодце, устроенном до скального основания, не может перекрыть сам контакт «бетон — диафрагма» и не

может предотвратить фильтрацию в обход этой шпонки по многочисленным горизонтальным сквозным трещинам, имеющимся в литой диафрагме.

И еще один из главных факторов проекта, также давно отмеченный автором статьи и не замеченный в отзыве ВНИИГ, это невозможность контроля фильтрации через самую дефектную и опасную часть литой диафрагмы высотой около 14 м — ниже отметки 146,0 м. Этот опасный дефект проекта был признан всеми, даже представителями ВНИИГ, на первом расширенном совещании в Гидропроекте по проблемам Богучанской каменно-набросной плотины в декабре 2002 г. Тогда же авторами статьи были предложены два возможных варианта: первый — полностью разобрать дефектную литую диафрагму и перейти на укатанную; второй — плотно зацементировать трещины в литой диафрагме и переходные зоны из щебня по контакту с диафрагмой, создав вокруг нее плотную обойму, что улучшит напряженное состояние этой части диафрагмы, предотвратит ее выдавливание в крупные поры переходных зон при достройке поверх нее укатанной диафрагмы и снимет вопрос об отсутствии контроля в нижней части диафрагмы. На этом совещании первый вариант считали слишком радикальным, был принят второй вариант, но, к сожалению, последующие попытки Гидроспецпроекта выполнить цементацию переходных зон оказались малоэффективными.

В отзыве авторы полностью «открещиваются» от своей ответственности как научных консультантов проекта за появление в пропагандируемой ими литой диафрагме многочисленных зафиксированных трещин, «холодных» швов, вывалов отдельных блоков, списав их появление на действие мороза, отсутствие финансирования и контроля качества работ и т.п. Сейчас это очень удобная позиция для представителей ВНИИГ, которые таким образом пытаются спасти «честь мундира» и уйти от ответственности.

Ниже приведены лишь два факта о состоянии диафрагмы (из отчета ЭСКО).

1. В 2006 г. была визуально обнаружена сквозная трещина в диафрагме на участке между пикетами 13 и 14 на отметке 149,6 м. Было решено вырубить трещиноватый участок диафрагмы и заменить его свежим асфальтобетоном. При вырубке верхний слой диафрагмы неожиданно произвольно отделился от расположенного ниже слоя асфальтобетона, хотя предшествующий отбор кернов на этом участке не показал расслоение. Таким образом, межслойный шов, предусмотренный технологией ВНИИГ как монолитный в расчетах противотеплоизоляционной и конструктивной прочности литой диафрагмы, на практике *оказался «холодным», с нулевым сопротивлением сдвигу, что недопустимо для любой диафрагмы из асфальтобетона.*

2. Трещины на поверхности уложенного асфальтобетона визуально обнаружены также и на других пикетах диафрагмы. И там отбор кернов *подтвердил наличие в литой диафрагме холодных горизонтальных швов.* Инструментальный поиск и обследование трещиноватых участков по высоте уложенной диафрагмы не выполнялись.

Авторы отзыва упрекают меня в неправильной критике технологии отсыпки однослойных переходных зон из однородного щебня крупностью до 200 мм и более без уплотнения. Тогда почему же позднее потребовалась частичная уборка этих зон, а в новом, исправленном проекте Богучанской каменно-набросной плотины вместо однослойной переходной зоны была принята переходная зона (рекомендованная автором статьи ранее), состоящая из двух слоев: первого (фильтра) — шириной 1,5 м из щебня долеритов фракции 0...100 мм (у нас 0...60 мм), второго — шириной 3,0 м из щебня долеритов фракции 0...200 мм. Как говорится, «лучше поздно, чем никогда».

Почему тогда авторы этого проекта и их научные руководители из ВНИИГ забыли обеспечить минимальную защиту

литой диафрагмы от морозов, а теперь пытаются тщетно ее отремонтировать? Подобное отношение проявлено и к бетонной станционной плотине, в которой забыли закрыть входные отверстия напорных водоводов ГЭС, что привело к глубокому промерзанию бетона водоводов и появлению в нем многочисленных трещин. Все эти факты ставят под сомнение профессионализм авторов проекта и их научных руководителей из ВНИИГ.

Главное, что характеризует в этой затянувшейся истории нынешних авторов проекта Богучанской каменно-набросной плотины и их научных руководителей из ВНИИГ — это их конъюнктурное отношение к проекту. После совещания в Гидропроекте (декабрь 2002 г.) с участием заинтересованных организаций (включая ВНИИГ) и экспертов (Ю. П. Ляпичева и Л. Н. Рассказова) был принят новый измененный проект Богучанской каменно-набросной плотины первой очереди строительства (высота КНП — 58 м) с укатанной диафрагмой вместо литой (2003 г.). В это время финансирование проекта было недостаточным и поэтому ВНИИГ не был заинтересован в «проталкивании» своей литой технологии. Тем не менее, с участием автора статьи была разработана программа ремонтно-восстановительных работ по исправлению главных дефектов литой диафрагмы и однослойной переходной зоны с целью перехода на современную технологию укатываемой диафрагмы и соседних переходных зон.

В 2006 г. после решения Президента Российской Федерации о паритетном финансировании проекта Богучанской ГЭС полной мощности (высота КНП — 77 м) между государством в лице РАО ЕЭС России и компанией РусАл новые руководители проекта, вдохновляемые уже заинтересованным руководством ВНИИГ и некоторыми руководителями ГидроОГК (теперь РусГидро), взяли курс на возврат к старой технологии литой диафрагмы, разраба-

тываемой во ВНИИГ без особых успехов уже в течение 35–40 лет.

В то время соинвестор проекта РусАл, согласно международным правилам, заказал известной фирме Коин и Белье (Франция) подготовку банковского отчета по всем аспектам проекта Богучанской ГЭС. Исходные данные по проекту Богучанской каменно-набросной плотины и по принятой в проекте укатанной диафрагме были подготовлены Гидропроектом, но в них не были включены наши отчеты с результатами детальных расчетов сравнительной работы укатанной и литой диафрагм и критикой ряда проектных решений по КНП. Этот банковский отчет французской фирмы был передан РусАл в июле 2006 г. и через месяц мне руководством ГидроОГК и ЭСКО ЕЭС было поручено дать независимую экспертную оценку этого банковского отчета. Не вдаваясь в подробности моей оценки этого интересного документа, хочу подчеркнуть, что в материалах проекта Богучанской каменно-набросной плотины первой очереди строительства, переданных этой фирме, была сохранена укатанная диафрагма, что позволило избежать очевидной критики этой фирмой проекта литой диафрагмы. Однако основные дефекты проекта (отсутствие контроля фильтрации нижней части диафрагмы, опасное примыкание диафрагмы к вертикальной гладкой бетонной секции, сильно заниженный угол внутреннего трения камня, отсутствие современных достоверных расчетов плотины с диафрагмой и др.) были также отмечены французской фирмой.

После этого новые руководители проекта Богучанской каменно-набросной плотины, не имеющие опыта проектирования подобных плотин, под нажимом ВНИИГ вернулись к старому проекту с литой диафрагмой, а затем это опасное решение было проштамповано на совещании в ГидроОГК 6 февраля 2007 г., на которое меня как главного критика старого проекта его устроители не соизволили пригласить, несмотря на то что представители ВНИИГ предъявили

свои «обосновывающие» материалы в виде двух отзывов на мои рекомендации, один из которых оказался неподписанной фальшивкой с обвинениями в мой адрес.

Думаю, что после представления вышеуказанных фактов мне нет необходимости отвечать на другие пространственные замечания авторов, за исключением трех следующих.

1. Из данных об укладке литой диафрагмы в 2007–2008 гг. следует, что до сих пор эта «всепогодная» литая технология применялась фактически только при положительных температурах и не применялась в зимнее время, возможность чего неустанно пропагандировали ее авторы.

Что касается данных ВНИИГ о якобы низкой производительности укатанной технологии, то к ранее приведенной информации ЭСКО о возможности достройки Богучанской каменно-набросной плотины за один теплый сезон с применением современной технологии укатанной диафрагмы можно добавить следующее: данные ВНИИГ скорее относятся к среднемесячной производительности этой технологии, а не среднегодовой, иначе эти плотины строили бы не за 2-3 года, как обычно, а за 10 и более лет, как продолжают строить Богучанскую КНП по литой технологии.

2. Авторы отзыва рассуждают «о малой вероятности сценария разрушения Богучанской КНП из-за нарушения сплошности литой диафрагмы, о том, что это должно привести лишь к локальным протечкам и незапланированным потерям воды из водохранилища». После всех представленных фактов плачевного (предаварийного) состояния литой диафрагмы рассуждения авторов отзыва выглядят, по меньшей мере, очень легковесными.

К сожалению, вероятный сценарий разрушения (внутреннего размыва) Богучанской КНП не будет иметь ничего общего с обычным переливом воды через гребень каменно-набросных плотин, поскольку очаг размыва может воз-

никнуть на любом участке основания литой диафрагмы длиной 1865 м (скорее всего, в примыкании к бетонной стенке), и начало этого размыва, как уже отмечалось, проконтролировать невозможно. В таких условиях внутренний размыв основания литой диафрагмы будет иметь нарастающий (обвальный) характер, подобно многим случаям разрушений каменно-земляных плотин с глинистыми ядрами вследствие гидравлического разрыва (размыва) ядер при первом наполнении водохранилища (например, разрушение плотины Тетон высотой 93 м в США в 1976 г.).

3. Относительно достоверности результатов расчетов Богучанской и Ирганайской каменно-набросных плотин, выполненных во ВНИИГ, следует подчеркнуть, что в расчетах подобных плотин, согласно общепринятой международной практике, должны использоваться достоверные данные трехосных испытаний асфальтобетона, получаемые только в специальных трехосных приборах с контролируемой, очень низкой (особенно для литого асфальтобетонные) скоростью осевой деформации. Испытания же образцов литого АФБ проводились на обычных приборах трехосного сжатия с пошаговым нагружением, что приводило к совершенно нереальным результатам опытов. Подобное относится и к трехосным испытаниям камня долеритов в мелких приборах ПТС-300 с диаметром рабочей камеры 300 мм, что не позволяет получать достоверные результаты испытаний при крупности камня свыше 1/6 диаметра, или 50 мм, а это уже не камень крупностью до 300 мм и более, а щебенка. Поэтому для камня долеритов в проекте был принят сильно заниженный угол внутреннего трения в 37°.

В своих расчетах автор статьи использовал полученные в Норвегии и Германии достоверные данные трехосных испытаний образцов АФБ (содержание битума от 5 до 9 %) с контролируемой скоростью деформации, а данные трехосных испытаний аналогичного камня долеритов, которые были

получены на самых крупных в мире трехосных приборах диаметром 1200 мм, были взяты из монографии Р. Марсала (Мексика). Кроме того, была разработана двухфазная вязко-упруго-пластическая модель АФБ на основе детальных испытаний АФБ с содержанием битума от 5 до 9 %, которая использовалась в последней серии сравнительных расчетов работы укатанной и литой диафрагм. Эта модель позволила выявить благоприятный характер распределения напряжений между битумом и заполнителем в укатанной диафрагме в отличие от литой.

Согласно международной практике, принятой автором и другими экспертами Комитета по расчетам и проектированию плотин СИГБ, необходимо предусмотреть следующее: прежде чем браться за проведение сложных расчетов таких плотин, как Богучанская и Ирганайская, авторам отзыва следует проверить методику расчетов на реальных натуральных данных поведения 2-3 подобных плотин, как это было сделано нами, а потом уже выступать с обвинениями в отношении наших расчетов, на которые я не считаю нужным отвечать.

Таким образом, считаю все обвинения авторов отзыва в мой адрес оскорбительными и голословными, а выводы в отношении надежности проектных решений и технологии литой диафрагмы Богучанской каменно-набросной плотины по сравнению с современной укатанной технологией — конъюнктурными и опасными, что подтверждает мировая практика строительства плотин с укатанными диафрагмами, на которых не было зарегистрировано ни одного случая не только аварии, но и серьезных протечек диафрагм.

Хочется надеяться, что авторы проекта и консультанты, понимая фактическое состояние незалеченной литой диафрагмы, не будут в угоду конъюнктурным соображениям форсировать строительство плотины и наполнение водохранилища, полагая, что проблема ограничится только протечками в диафрагме.

Материал поступил в редакцию 06.05.09.

Ляпичев Юрий Петрович, профессор кафедры «Гидравлика и гидросооружения»

Тел. 8-910-491-34-15

E-mail: lyapichev@mail.ru