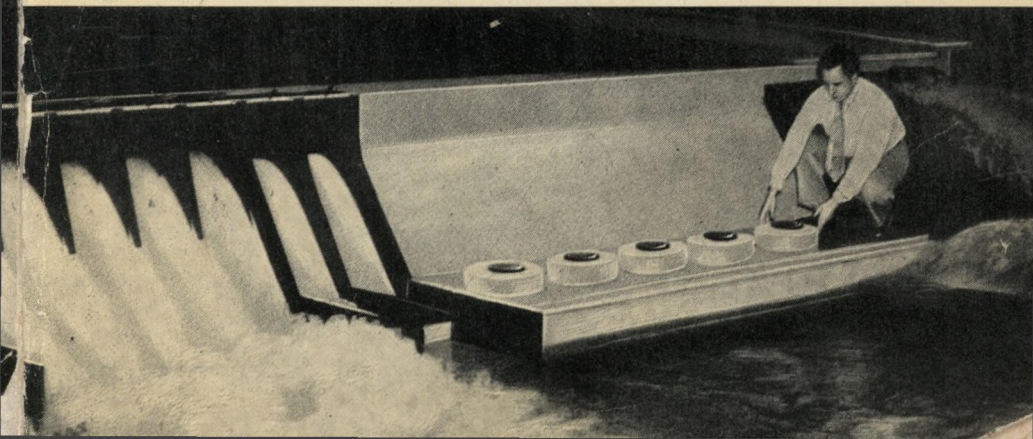


**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ
И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
ЛАБОРАТОРИИ
США**



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

Е. П. ПЕРОВСКАЯ, М. Ф. СКЛАДНЕВ
П. В. САМОСТРЕЛОВ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ
И
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
ЛАБОРАТОРИИ США



ИЗДАТЕЛЬСТВО "Э Н Е Р Г И Я"
МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

ВВЕДЕНИЕ

По данным Международной ассоциации гидравлических исследований в 1960 г. в Соединенных Штатах Америки насчитывалось свыше ста лабораторий, институтов и других организаций, ведущих научно-исследовательскую работу в области гидравлики и гидротехники. Самую большую группу составляют лаборатории, принадлежащие университетам и колледжам (51).

Правительственным (отраслевым) учреждениям принадлежит около сорока лабораторий, институтов, опытных станций, полигонов и пр. Десять гидравлических лабораторий являются собственностью частных фирм¹.

Лаборатории и институты университетов и колледжей разрабатывают в основном фундаментальные научные проблемы теоретического плана. Выполнение экспериментальных исследований конкретных объектов по договорам с производственными организациями (государственными и частными) занимает в них подчиненное положение. В учебной работе, кроме лабораторных занятий со студентами, большое место занимает подготовка научных кадров.

К ведущим учреждениям этой группы можно отнести Научно-исследовательский институт гидравлики при Государственном университете штата Айова, Гидравлическую лабораторию на водопаде Св. Антония университета в г. Миннеаполисе, Лаборатории гидродинамики Массачусетского и Калифорнийского технологических институтов и некоторые другие.

Правительственные лаборатории, институты, экспериментальные станции и базы заняты главным образом исследовательскими работами практического плана, т. е. выполняют работы по заказам производственных организаций того ведомства, которому они принадлежат.

¹ Существующее в СССР понятие «институт», т. е. научно-исследовательское учреждение, объединяющее несколько групп различных лабораторий, в США, за редким исключением (технологические институты и учреждения, созданные отдельными лицами), не встречается. Поэтому название «лаборатория» в США применяется как к узкоотраслевым, так и к комплексным учреждениям, включающим, в свою очередь, целый ряд лабораторий.

Теоретические исследования занимают здесь второстепенное место и ведутся преимущественно для того, чтобы результаты таких исследований служили базой для выполнения производственных заданий.

К наиболее крупным правительственным научно-исследовательским учреждениям нужно отнести Инженерный центр Бюро мелиорации в г. Денвере и Экспериментальную станцию водных путей Корпуса инженеров Армии США в г. Висксбурге.

Отличительной особенностью этих двух учреждений является проведение исследований для гидротехнического строительства в очень широком комплексе. Характерным для деятельности инженерных лабораторий Инженерного центра Бюро мелиорации в Денвере, кроме того, является тесная связь процесса проектирования того или иного объекта гидротехнического строительства с научными исследованиями и широким развитием методов лабораторного проектирования.

Это делает оба указанных учреждения определяющими техническую политику страны в области использования водных ресурсов, гидроэнергетики, ирригации, мелиорации рек и земель, борьбы с наводнениями, защиты морских побережий и т. д.

Здесь уместно отметить, что в области гидравлических и гидротехнических исследований происходит тот же процесс концентрации научно-исследовательской работы, который отчетливо прослеживается после Второй мировой войны во всех других отраслях научных исследований для промышленности США.

Этот процесс особенно заметен в развитии Инженерного центра и Экспериментальной станции водных путей, когда из небольших гидравлических лабораторий, созданных в начале тридцатых годов для решения узкоспециальных задач, они выросли в крупные комплексные институты, способные решать любые задачи гидротехнического строительства.

Структура комплексных научных учреждений в США имеет две формы организации: по области науки и по области исследований.

Структура Экспериментальной станции водных путей построена по первой форме. По этой структуре руководителю учреждения непосредственно подчиняется научный руководитель отдела, включающего ряд лабораторий. Например, в Отдел гидравлики входят Лаборатория рек и гаваней, Лаборатория гидродинамики и Лаборатория гидравлических расчетов. При этом в каждой из этих лабораторий весь цикл исследований замыкается.

Структура инженерных лабораторий Инженерного центра Бюро мелиорации в Денвере построена по второй форме, т. е. по областям исследований. Например, Гидравлическая лаборатория состоит из следующих групп: модельные исследования (исследования плотин, сбросных сооружений, каналов, затворов, трубопро-

водов и т. п.), специальные исследования (исследования движения наносов, кавитации, гидрометрических и прочих приборов и т. п.), теоретические и лабораторные исследования (сопоставление модельных исследований с натурными, исследования гидромеханического оборудования ГЭС и т. п.), вспомогательная группа (обеспечение инструментами, изготовление моделей).

В обеих формах вспомогательные подразделения (библиотека, фотолаборатория, мастерские, службы по ремонту оборудования, оформлению работ и т. д.) выделяются, как правило, в самостоятельный отдел, подчиненный руководителю учреждения.

Существование в США научно-исследовательских учреждений с различной структурой показывает, что процесс организации таких учреждений еще не закончился. Общей тенденцией при изменениях форм руководства и управления является стремление обеспечить отдельным подразделениям (лаборатории, группы) максимальную самостоятельность в проведении самих исследований и эффективное внедрение результатов работ этого подразделения непосредственно в производство.

Все другие многочисленные гидравлические лаборатории, принадлежащие различным правительственным ведомствам, как федеральным, так и ведомствам отдельных штатов, выполняют конкретные производственные задания в своей узкой области и не имеют особого значения в развитии гидротехнической науки в США.

Организационные схемы их просты. Руководителю лаборатории подчинены отдельные группы или секторы, выполняющие определенный круг исследований. Однако и здесь можно отметить тенденцию к отходу от узкой специализации, укрупнению нескольких исследовательских единиц того или иного ведомства в более крупный научно-исследовательский центр.

Финансирование фундаментальных теоретических исследований в вузовских лабораториях производится из разных источников: федерального бюджета, бюджета отдельного штата, бюджета университета или колледжа и пожертвований отдельных фирм и частных лиц. Все эти источники финансирования покрывают главным образом расходы на содержание персонала лаборатории и ее текущие расходы. Средства, получаемые лабораториями вузов за выполнение исследовательских работ для производственных фирм и организаций, поступают на развитие материальной базы самой лаборатории. Поэтому крупные лаборатории вузов, у которых имеются условия для выполнения таких работ, крайне заинтересованы в проведении работ по договорам, часто выступают инициаторами постановки того или иного исследования и убеждают соответствующие организации в необходимости его финансирования. Почти всегда это находит соответствующий отклик, так как в США считают, что средства, израсходованные на научные исследования,

являются наиболее устойчивой и перспективной формой капиталовложений.

Финансирование правительственных отраслевых научно-исследовательских учреждений происходит по двум каналам. Для проведения теоретических исследований, необходимых лишь для обоснования экспериментальных работ по заданиям производства, ассигнования поступают по линии государственного бюджета (федерального или отдельного штата). Доля этих ассигнований в общем бюджете научного учреждения не превышает 20%. Остальная часть бюджета — это средства от оплаты исследовательских работ, выполненных лабораториями по заказам производственных организаций. Следует отметить, что производственные организации сами, как правило, заполняют программы заказами данной отрасли хозяйства. Так, Экспериментальная станция водных путей (ЭСВП), принадлежащая Корпусу инженеров Армии США, принимает заказы на производство исследовательских работ от учреждений и организаций Корпуса. Выполнение работ для организаций и фирм, не принадлежащих Корпусу, осуществляется ЭСВП только по специальному разрешению начальника Корпуса, причем предпочтение в этом случае отдается иностранным фирмам и правительствам. Аналогичным образом происходит финансирование и Инженерного центра Бюро мелиорации. Некоторое отличие заключается лишь в том, что Инженерный центр принимает к выполнению заказы и тех строительных фирм, которые являются подрядчиками Бюро мелиорации.

Бюджеты правительственных учреждений трудно расшифровываются. Весь бюджет Инженерного центра Бюро мелиорации составляет 300 млн. долларов в год. В эту сумму входят исследования и изыскания для составления проекта, проектирование, научные исследования, авторский контроль на строительстве, натурные наблюдения за построенными сооружениями. Стоимость собственно исследований из этой суммы не выделяется.

Общий бюджет ЭСВП неизвестен, бюджет же Отдела гидравлики составляет 25 млн. долларов, из них 500 тыс. долларов — на общетеоретические исследования, остальная сумма — на работы по заказам.

Бюджеты отдельных лабораторий неравноценны. Так, годовой бюджет Айовского Научно-исследовательского института гидравлики, являющегося в системе университетов одним из крупнейших центров гидравлических исследований, составляет всего 250 тыс. долларов (200 тыс. долларов на общетеоретические исследования и 50 тыс. долларов на исследования по заказам). Таков же размер бюджета Лаборатории гидродинамики Массачусетского технологического института (250 тыс. долларов, из них 80% по бюджету института). В то же время бюджет Гидравлической лаборатории на водопаде Св. Антония Университета Миннесоты при общей циф-

ре 500 тыс. долларов складывается из ассигнований на теоретические исследования по смете университета (15%) и средств, поступающих в порядке оплаты за работы, выполненные по договорам (85%).

Общие государственные ассигнования на все исследования в 1961 г. составили солидную сумму — 9,1 млрд. долларов. Однако львиная доля этих ассигнований направляется на исследования, осуществляемые разными ведомствами и частными фирмами для военных нужд. Из оставшейся суммы до 65% направляется частным фирмам и организациям и 35%—государственным научным учреждениям, выполняющим исследования невоенного характера.

Координация научно-исследовательской работы университетов и колледжей в отношении тематики осуществляется Американским комитетом исследовательских институтов, колледжей и университетов, а в отношении согласования программ и методики исследований— Бюро стандартов Министерства торговли.

Координация деятельности лабораторий частных фирм и некоторых правительственных учреждений осуществляется также Бюро стандартов путем взаимной информации о методах и результатах исследований.

Бюро стандартов выпускает ежегодно бюллетени («Hydraulic Research»), в которых приводятся основные сведения о выполненных научных исследованиях в области гидравлики в США и Канаде учреждениями, деятельность которых охватывается Бюро стандартов.

Главным координирующим центром научно-исследовательских работ в США является Национальный совет исследований, входящий в состав Комитета по науке и технике при президенте США. В задачу указанного Совета входит увязка работы отдельных учреждений и лабораторий и пропаганда знаний по отдельным отраслям науки. В своей работе Национальный совет исследований тесно связан с национальными научными и инженерными обществами; так, в области гидравлических исследований Совет через свои секции связан с Американским обществом гражданских инженеров-строителей, обществом морских инженеров и т. д.

Каждая секция Совета и соответствующее общество руководят своей группой вопросов. Так, например:

а) Секция гидравлики и Американское общество гражданских инженеров-строителей координируют работу в области механики жидкости, гидравлики грунтовых вод, прикладной гидрологии, режима заилиения водохранилищ, зимнего режима и т. д.;

б) Секция гидрологии и Американское геофизическое общество занимаются вопросами метеорологии, фильтрации воды в почвогрунты, грунтовыми водами и т. д.

В той или иной степени вопросами гидравлических исследований занимаются еще четыре секции: Секция морских исследований и Общество морских инженеров — вопросами гидромеханики; Сек-

ция по исследованию водных ресурсов и Ассоциация водных ресурсов— водными ресурсами и т. д.

Координация программ и методов исследований многочисленных лабораторий и институтов, принадлежащих различным организациям и частным фирмам, практически почти невозможна, поэтому координационная деятельность всех указанных выше объединений, советов, обществ и т. д. проводится в основном не по линии устранения параллелизма, а по линии обмена информацией о методах и результатах исследовательских работ.

Глава первая

ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР БЮРО МЕЛИОРАЦИИ В ДЕНВЕРЕ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЖЕНЕРНОМ ЦЕНТРЕ

Бюро мелиорации Министерства внутренних дел было создано в 1902 г. на основании закона об орошении с целью проектирования, строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов в семнадцати западных штатах страны и на Аляске.

Основной исследовательской и проектной организацией Бюро мелиорации является Инженерный центр в г. Денвере, столице штата Колорадо.

Инженерный центр был создан в августе 1930 г. в связи со строительством плотины Гувера. Перед небольшим штатом сотрудников первой Гидравлической лаборатории в Денвере была поставлена конкретная цель — разработать проектные и строительные нормы для плотины Гувера, являющейся для того времени уникальным сооружением.

Первые гидравлические модельные исследования плотины Гувера были проведены Бюро мелиорации на базе Гидравлической лаборатории Сельскохозяйственной экспериментальной станции Колорадо в Форт-Коллинзе. Успешное проведение этих исследований обеспечило Бюро мелиорации возможность продолжать эту работу на базе существующих старых и вновь созданных мелких лабораторий вузов и на исследовательских площадках, созданных непосредственно на строящихся плотинах. Постепенно задачи этих исследований расширялись и углублялись, и так как разрозненные лаборатории не могли ответить на многочисленные вопросы, возникающие в ходе проектирования и строительства всех объектов Бюро мелиорации, было признано необходимым создание единого исследовательского центра.

С 1937 г. центром научных и экспериментальных исследований Бюро мелиорации становится построенная к этому времени Гидравлическая лаборатория в г. Денвере. В 1946 г. для Бюро мелиорации было закончено строительство двухэтажного здания в 13 км к западу от г. Денвера в Денверском Федеральном Центре. В этом

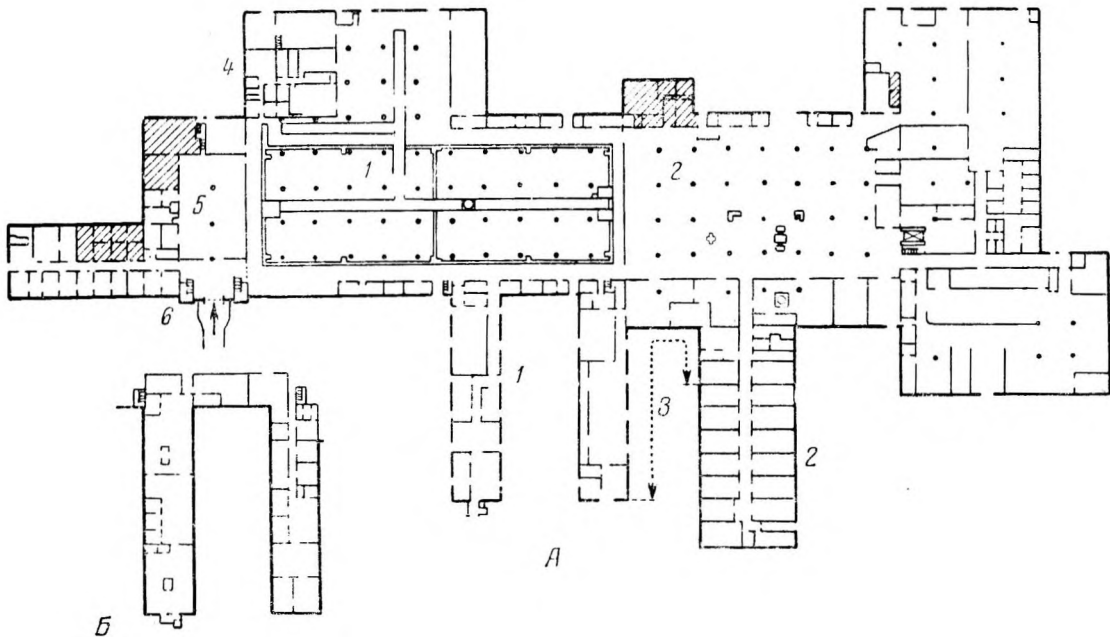


Рис. 1. План главного лабораторного корпуса

А-первый этаж: 1-Гидравлическая лаборатория; 2-Лаборатория бетона; 3-Лаборатория механики грунтов; 4-Лаборатория охраны водных ресурсов; 5- аудитория; 6 - административные помещения; Б - мезонин- Лаборатория инженерной химии.

здании были размещены все лаборатории Инженерного центра. Площадь основного лабораторного корпуса, построенного в годы Второй мировой войны, составляет 20 тыс. м². План здания показан на рис. 1.

Около здания находятся открытые площадки для исследования на крупномасштабных моделях гидротехнических сооружений и

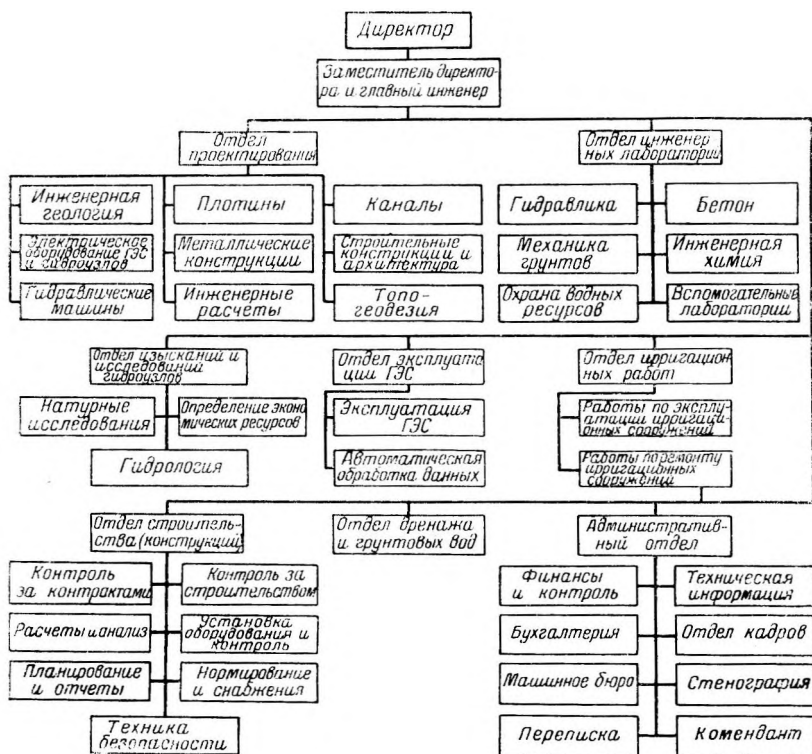


Рис. 2. Организационная схема Инженерного центра Бюро мелиорации в Денвере.

одежды ирригационных каналов, для испытания защитных покрытий, бетона и других строительных материалов.

Годовой бюджет Инженерного центра составляет около 300 млн. долларов.

Штат Инженерного центра состоит из 1400 человек, в том числе исследовательский персонал составляет 850 ученых, инженеров и техников. Нужно отметить очень высокую квалификацию инженерно-технического состава, что является результатом сравнительно небольшой текучести кадров. Большая часть инженеров работает в лабораториях по 10—20 лет, некоторые — с первых дней основания лабораторий. О высокой квалификации говорит также са-

мое широкое участие сотрудников Инженерного центра в работе отдельных научных обществ как в своей стране, так и за границей.

Организационная схема Инженерного центра представлена на рис. 2. В состав Инженерного центра входит восемь отделов: Отдел проектирования, Отдел инженерных лабораторий, Отдел изысканий и исследований гидроузлов, Отдел эксплуатации ГЭС, Отдел ирригационных работ, Отдел дренажа и грунтовых вод, Отдел строительства, Отдел административный.

Основная часть исследований проводится в Отделе инженерных лабораторий. Особенностью его работы является тесное сотрудничество с Отделом проектирования. Часто руководитель проекта и ведущие инженеры участвуют непосредственно в исследованиях проектируемого ими объекта.

Часть исследований проводится в полевых условиях на построенных сооружениях, в процессе этих исследований выявляются слабые стороны проектов.

Отдел проектирования

Отдел проектирования по объему работ и по бюджету занимает главное место в Инженерном центре. В состав Отдела входит 9 групп (рис. 2): 1) инженерной геологии, 2) электрооборудования ГЭС и гидроузлов, 3) гидравлических машин, 4) плотин, 5) металлических конструкций, 6) инженерных расчетов, 7) каналов, 8) строительных конструкций, 9) топо-геодезическая.

Отдел проектирует все объекты, намеченные к строительству Бюро мелиорации в Западных штатах. Нужно отметить, что при составлении проектов большое внимание уделяется стандартизации расчетов и разработке типовых проектов. Отдел придает большое значение организации и проведению натуральных наблюдений на построенных и эксплуатируемых сооружениях. Данные этих наблюдений обрабатываются и широко используются в работе.

Одновременно при проектировании и расчетах проводятся контрольные и проверочные модельные исследования, на основании которых меняются те или иные параметры проекта, принимаются те или иные окончательные решения, т. е. в отделе широко применяется метод лабораторного проектирования. Такие исследования проводятся группой инженерных расчетов. Эта группа проводит исследования напряженного состояния сооружений и отдельных элементов конструкции и располагает для этого большим количеством современных установок и приборов.

К числу таких установок следует отнести фотоупругий полярископ. С помощью полярископа определяются непосредственно максимальные касательные напряжения в плоских моделях сооружений. При этом на свободном контуре модели устанавливается рас-

пределение напряжений. Полярископ применяется также для анализа напряжений в пространственных моделях сооружений.

Плоские модели исследуются, кроме того, с помощью фотоупругого интерферометра. Получаемые здесь данные дают полную картину напряженного состояния в любой точке модели, поскольку определяются как величина, так и направление каждого главного напряжения.

Для анализа рамных конструкций используется измеритель деформации Беггса.

Для определения в полевых условиях напряжений и деформаций, давления воды, вибрации и шума, отклонений и ускорений имеется большое количество приборов, таких как виброметр, осциллограф, анализатор деформаций, шумомер и пр.

Среди большого количества методов, используемых в этих исследованиях, можно отметить экспериментальный метод электроаналогии, широко применяемый как для двухразмерного, так и для трехразмерного потоков воды в грунте и движения воды в другой водопроницаемой среде.

Примерно половину времени сотрудники прочих лабораторий работают совместно с проектировщиками и с сотрудниками группы расчетов.

Считается, что тесное сотрудничество Отдела проектирования и Отдела инженерных лабораторий является исключительно полезным и дает высокий эффект при решении конкретных задач.

Отдел инженерных лабораторий

Как уже отмечалось, в этом отделе сосредоточены почти все исследования Бюро мелиорации. Отдел оказывает помощь в проектировании, строительстве и эксплуатации крупных гидротехнических объектов Бюро.

Отдел имеет в штате 215 сотрудников (1963 г.), половину из них составляют инженеры и научные работники. Общий фонд ассигнований отдела равен примерно 5 млн. долларов в год, при этом 90% работ оплачивается по договорам, а 10%—из фондов федерального правительства.

В отдел входит 5 лабораторий: гидравлическая, бетона, механики грунтов, инженерной химии, охраны водных ресурсов и несколько обслуживающих подразделений.

Все лаборатории располагают разнообразным современным стационарным оборудованием. Геологические экспедиции и другие отраслевые экспедиционные отряды ведут исследования створов, наличия строительных материалов, их качества и т. д. Полевые лаборатории и полевые базы проводят не только исследования сооружений, но и сопоставление лабораторных и натуральных данных для конкретных сооружений в процессе их эксплуатации.

Гидравлическая лаборатория

Гидравлическая лаборатория Инженерного центра проводит исследования всех объектов Бюро мелиорации. На гидравлических моделях исследуются такие сооружения, как плотины, водосливы, каналы, водосбросы и водоприемники, перепады, быстротоки и другие сооружения на ирригационных системах. Кроме того, лаборатория проводит натурные исследования построенных сооружений. В последнее время в лаборатории проводятся большие теоретические исследования по вибрации затворов, гидротранспорту, гидротурбинным блокам, кавитации и т. п. Производственная площадь Гидравлической лаборатории составляет 5 тыс. м², 70% площади лаборатории имеет высоту помещений 7,5 м, остальная часть — 4 м.

Здание лаборатории расположено вдали от водных источников, поэтому система водооборота замкнутая. Под полом лаборатории имеется резервуар в виде бетонированных каналов шириной 3 м и глубиной от 1 до 2,5 м общей емкостью свыше 900,0 м³. Стационарные центробежные насосы мощностью до 100 л. с. подают воду из резервуара к моделям. После использования на моделях и в других гидравлических установках вода поступает обратно в резервуар.

Управление водооборотной системой производится с одного из двух установленных в лаборатории пультов. Подаваемый на модели расход воды измеряется насадками Вентури. Все крупные водомерные устройства, используемые в лаборатории и в натуре, протарированы в тарировочном баке, который установлен в середине зала и имеет объем примерно 20 м³. Внутри большого бака имеется бак малых размеров емкостью 1,4 м³ для тарировки мелких водомерных приборов.

В зале оборудовано несколько больших площадок для проведения исследований на пространственных жестких и размываемых моделях.

В качестве примера на рис. 3 показана жесткая модель устьевого участка рек Сакраменто и Сан-Джоакин (Калифорния) в искаженном масштабе (горизонтальный 1:4800 и вертикальный 1:100). На модели исследовалось распределение потоков пресной и соленой воды в районе дельты реки. Обычный же масштаб русловых моделей в лаборатории Инженерного центра 1:30 ÷ 1:40 натуральной величины.

В лаборатории установлено следующее стационарное оборудование.

1. Два лотка со стеклянными стенками. Один из них является универсальным, так как приспособлен для любых исследований в текущей и спокойной воде. Длина лотка 24 м, максимальный расход 0,8 м³/сек. Уровень воды в лотке регулируется различными затворами, установленными в сбросной части. Общий вид лотка приведен на рис. 4.



Рис. 3. Модель устьев рек Сакраменто и Сан-Джоакин в главном зале.

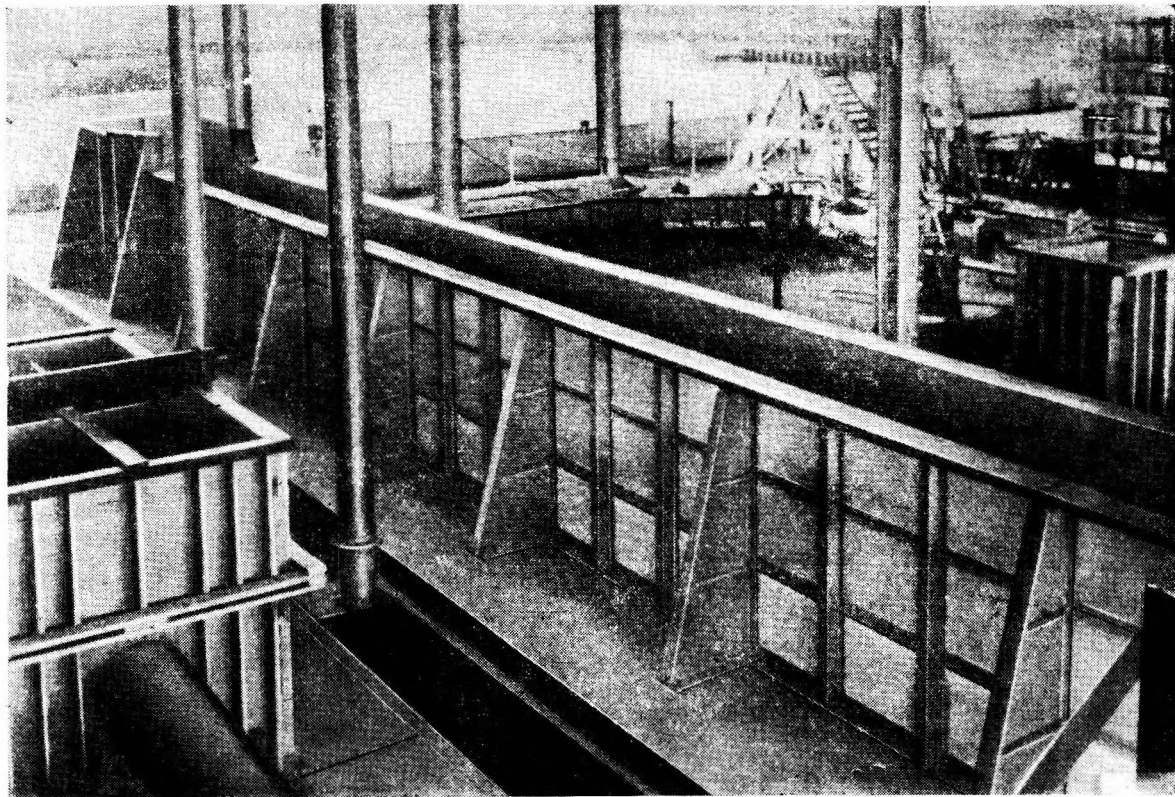


Рис. 4. Универсальный стеклянный лоток длиной 24 м.

2. Для аэрационных исследований установлено два центробежных вентилятора, каждый производительностью примерно $85 \text{ м}^3/\text{сек}$ при давлении $0,1 \text{ кг/см}^2$, и воздушная установка, с помощью которой изучаются самые различные вопросы, касающиеся закрытых водоводов.

3. Для предварительной оценки гидравлических характеристик модели гидротехнического сооружения применяется жидкостный полярископ, конструкция которого разработана в лаборатории.

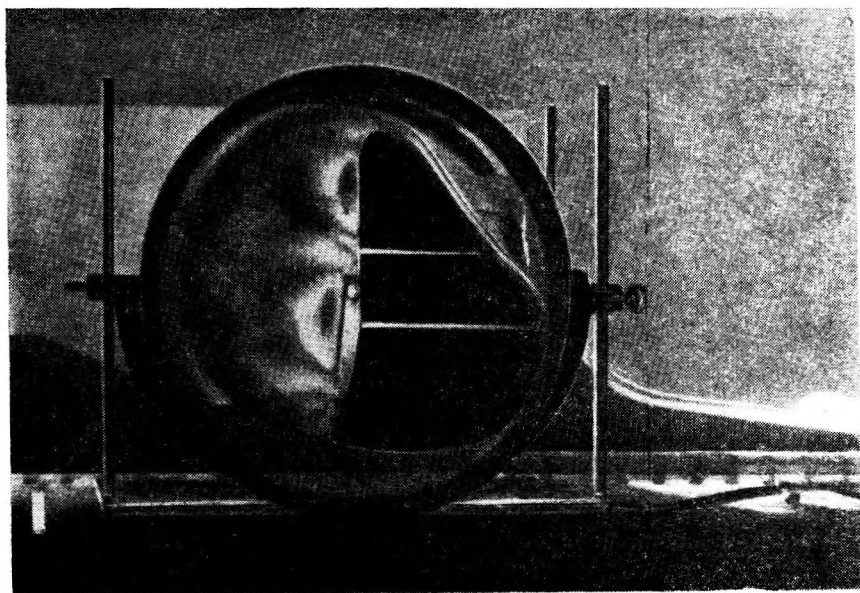


Рис. 5. Жидкостный полярископ.

Жидкостный полярископ состоит из двух линз с внешней стороны и двух пластинок в четверть волны из кварцевого стекла между ними. Диаметры линз и пластинок одинаковы. Непрозрачная модель исследуемого сооружения помещается в герметический плоский сосуд шириной $12,5 \text{ мм}$, который затем устанавливается между пластинками. Источник света, обеспечивающий рассеянный свет, находится за поляриiscopом, перед поляриiscopом поставлен экран (рис. 5).

Через сосуд с моделью непрерывно пропускается смесь дистиллированной воды с $1,5\%$ особо чистого белого магнезиального бентонита и $0,01\%$ пиррофосфата натрия. Чешуйки бентонита настолько мелкие, что всегда находятся во взвешенном состоянии и строго следуют траекториям движения частиц жидкости.

В результате трения о поверхность модели жидкость в сосуде становится двоякопреломляющей. При прохождении через нее света вокруг модели появляются цветные полосы — изохромы,— соответствующие линиям равных значений градиентов скорости.

Движение суспензии в сосуде создается маленьким центробежным насосом, который перекачивает жидкость из небольшого резервуара в сосуд и обратно по входному и выходному патрубкам.

Жидкостный полирископ позволяет испытать непрозрачную модель сооружения в течение нескольких часов. В результате может быть быстро выбран вариант, который заслуживает дальнейшего рассмотрения на гидравлической или воздушной моделях.

Кроме описанных установок, Гидравлическая лаборатория располагает двумя кавитационными стендами, волновым лотком, электроаналоговой машиной и достаточно совершенным измерительным оборудованием, включая электронное оборудование для гидравлических модельных исследований.

Лаборатория бетона

По объему выполняемых исследований Лаборатория бетона занимает второе место после Гидравлической. Для назначения состава гидротехнического бетона лаборатория ведет исследования бетонных образцов на водопроницаемость, морозостойкость, сульфатостойкость, динамическую упругость, тепловыделение при гидратации цемента, прочность, теплопроводность, истираемость в воздухе и воде и т. д.

Лаборатория исследует торкретбетон, вакуумбетон, преактбетон, цемент и химические растворы. Кроме того, она участвует в натурных наблюдениях за состоянием бетона в построенных сооружениях.

Лаборатория расположена в том же главном лабораторном корпусе (рис. 1) и имеет зал площадью около 3 тыс. м², несколько специальных помещений для хранения образцов общей площадью 60 м² ряд специальных камер площадью по 12 м² каждая.

В числе последних имеется камера с относительной влажностью воздуха 50% и температурой 23°С, камера с такой же температурой и относительной влажностью почти 100%, шесть калориметрических камер, где в каждом отдельном случае может задаваться любой температурный режим от 4,5 до 71° С, пропарочная с температурами от 38 до 93° С и несколько холодильных камер с температурами от 0 до —34° С. Управление процессами во всех камерах автоматизировано и ведется с одного пульта.

По уровню своей оснащенности Лаборатория бетона Инженерного центра занимает одно из ведущих мест в мире. Она располагает специальными установками, машинами и приборами, необходимыми для приготовления и самых различных испытаний бетона.

Некоторые из этих установок являются уникальными. Например, универсальный пресс мощностью 2 265 000 кГ, в котором могут испытываться образцы до 10 м высотой и 15 м длиной или самая крупная из существующих машина трехосного сжатия для испытания бетонных образцов диаметром до 15 см на скалывание и сдвиг при величине бокового и осевого сжатия до 8657 кГ/см².

В лаборатории имеется все необходимое оборудование для приготовления и сортировки заполнителей: дробилки, шаровая и стержневая мельницы, промывные устройства, вибрационная сушилка, коническая и вибрационная сортировочные установки для разделения крупного заполнителя на 4 фракции, а мелкого — на 6 фракций.

Наличие бетономешалок емкостью до 0,5 м³ позволяет изготавливать крупные образцы диаметром до 90 см и высотой до 180 см. Образцы изготавливаются в виде цилиндров и призм.

Кроме того, лаборатория располагает всем необходимым оборудованием для исследования физических свойств цемента и пуццоланов, а также оборудованием для цементации, торкретирования и других работ по усилению бетона. Результаты лабораторных и натуральных исследований обрабатываются непосредственно в лаборатории на электронно-вычислительной машине.

Лаборатория механики грунтов

Лаборатория механики грунтов проводит общетеоретические исследования грунтов и исследования для конкретных объектов. При этом грунты рассматриваются и как основания под будущие сооружения, и как строительный материал для сооружений.

Непосредственно в лаборатории исследуются в основном мягкие грунты—несвязные, связные и полускальные. Исследование скальных грунтов проводится в полигонных условиях на строительных площадках.

Лаборатория располагает несколькими помещениями в главном лабораторном корпусе, в том числе помещением площадью около 80 м² для хранения образцов, где температура и влажность (до 80%) поддерживаются автоматически, холодильными камерами с температурами до —23°С и специальной морозильной камерой.

Лаборатория оснащена всем обычным оборудованием, необходимым для исследования таких физических свойств грунтов, как гранулометрический состав, удельный и объемный вес, пределы по Аттербергу, плотность, водопроницаемость и уплотняемость.

Кроме обычных, имеется несколько уникальных установок, позволяющих проводить исследования крупногабаритных образцов грунта. К таким относятся машины для исследования трехосного напряженного состояния грунта и для испытания грунта на сдвиг с автоматической и непрерывной записью порогового давления. Ис-

следования проводятся на образцах различных размеров: от образцов шириной 3,5 см и длиной 7,6 см до образцов шириной 23 см и длиной 57 см. При этом большие образцы могут содержать частицы гравия диаметром до 5 см. С помощью этих машин может создаваться осевая нагрузка свыше 9000 кГ и боковая нагрузка до 18 кГ/см².

Исследование ненарушенных образцов на поровое давление, уплотняемость и фильтрацию осуществляется с помощью специальной установки на выбуренных образцах диаметром 50 см, включающих гравий до 7,5 см.

Для изготовления образцов различных размеров лаборатория располагает большими и малыми машинами, уплотняющими грунт механическими ударами, а также гидравлической машиной для уплотнения грунта, работающей по принципу действия шипового катка.

Среди используемой аппаратуры необходимо отметить следующие приборы:

- а) приборы для снятия компрессионных характеристик связанных грунтов в условиях одноразмерного и трехразмерного напряженного состояния;
- б) приборы для измерения отрицательного порового давления;
- в) специальную аппаратуру для электроосмотических и электрохимических испытаний грунтов.

Лаборатория инженерной химии

Лаборатория инженерной химии включает в себя следующие четыре группы:

- а) группу аналитической химии;
- б) группу специальных исследований;
- в) группу асфальтовых материалов и
- г) группу защитных покрытий.

Группа аналитической химии проводит химический и физический анализы воды, грунтов, красок, металлов, цемента и добавок к бетону. Кроме того, здесь разрабатываются методы измерения расхода и скорости фильтрации в сооружениях и грунтах с применением изотопов.

В Группе специальных исследований проводятся петрографические анализы заполнителей для бетона, цемента, пуццоланов и грунтов, разрабатываются различные термические методы анализа, методы использования X-лучей и радиоизотопов.

Группа асфальтовых материалов ведет исследования по применению асфальта в различных противофильтрационных конструкциях: экранах, зубьях, диафрагмах, завесах в трещиноватой скале. Группа разрабатывает новые типы одежды каналов и специальное оборудование для облицовки мелких каналов.

Кроме того, исследуются покрытия из резинового полотна и из пластмассовой пленки.

Группа защитных покрытий разрабатывает краски различных составов и водонепроницаемые составы для уплотнения температурных и других швов, подбирает специальные клеи на базе эпоксидных смол для соединения сборных бетонных деталей. В целях защиты от коррозии металла, находящегося в воде, подбираются рецепты специальных красок с примесями ядов для борьбы против обрастания металлических конструкций микроорганизмами и растениями.

Штат Лаборатории инженерной химии 47 человек. Группы аналитической химии, специальных исследований (петрографических) и защитных покрытий располагаются в мезонине главного лабораторного корпуса, а группа асфальтовых материалов — в 1 этаже того же корпуса.

Необходимо отметить оснащение лаборатории разнообразной современной аппаратурой и оборудованием. Физический анализ и исследования строительных материалов осуществляются с помощью петрографических, металлографических и стереоскопических микроскопов. Для этих же исследований лаборатория располагает рентгенографической дифракционной аппаратурой, спектрографом, термическими весами и дифференциальным тепловым анализатором. Для проведения химического анализа имеется такая совершенная аппаратура, как пламенный фотометр, электроанализатор, спектрофотометр, автоматические титраторы и др.

Радиоизотопная аппаратура включает счетчики Гейгера—Мюллера, измеритель скорости счета и портативный топографический измеритель.

В лаборатории имеется все необходимое оборудование для исследования красок, масел, водонепроницаемых составов и кровельных материалов на выветривание, абразивное истирание, химическое растворение и т. д.

В Группе асфальтовых материалов, кроме микровискозиметров, предназначенных для определения вязкости и прочности таких материалов, и аппаратуры для испытания асфальтовых и пластиковых покрытий, имеются специальные установки- ускорители процессов изнашивания материала покрытий в условиях переменных режимов температуры и механического воздействия.

Лаборатория охраны водных ресурсов

Лаборатория охраны водных ресурсов занимается проблемами уменьшения испарения с водной поверхности, опреснения воды и создания искусственного дождя путем конденсации водяных паров в атмосфере. Большое внимание уделяется разработке мероприятий по борьбе с зарастанием водохранилищ и каналов, так как

40—50% эксплуатационных расходов на таких сооружениях падает на удаление водолюбивых растений, испаряющих значительное количество влаги и уменьшающих полезный объем водохранилища и сечение каналов.

Кроме нескольких небольших помещений в главном лабораторном корпусе, лаборатория имеет на территории Инженерного центра теплицы и специальные камеры для выращивания растений. Штат лаборатории составляет 20 человек.

Лаборатория имеет оборудование для деминерализации воды электродиализом как в лабораторных условиях, так и в полевых, установку для опреснения грунтовых вод диагазом, автоматическую установку для опрыскивания поверхности водоема различными составами с целью уменьшения испарения.

Значительный объем работ осуществляется в небольшом лотке, поставленном в теплице.

Обслуживающие подразделения

Как уже отмечалось, ряд обслуживающих подразделений, в том числе мастерские, фотолаборатория и группа по изготовлению моделей, также включен в состав Отдела инженерных лабораторий. В мастерских выполняются работы любой сложности, начиная от грубых плотничных и кончая изготовлением точных электронных приборов. Специальная группа занимается изготовлением гидравлических моделей, рельефных карт, моделей из пластических материалов.

Прежде чем перейти к анализу исследовательской деятельности Инженерного центра, необходимо отметить, что огромную помощь в обработке результатов исследований всех лабораторий оказывают электронно-вычислительные машины. Главной из них является электронно-вычислительная машина IBM-650, состоящая из блока типа 650 с магнитной памятью (2000 ячеек), блока питания типа 655 и перфоратора типа 533. Машина установлена в закрытом помещении размерами около 6X9 м с кондиционированием воздуха.

Вспомогательные машины IBM используются для подготовки и закладывания перфокарт в основную машину IBM-650. К таковым относятся клавишные пробивники, контрольные и сортировочные устройства, раскладочные машины, реперфораторы, табуляторы и т. п.

Счетно-решающее оборудование в целом приспособлено к решению самых различных инженерных задач.

Кроме этих машин, Инженерный центр располагает аналоговой машиной переменного тока для расчета сетей. Основанная на принципе электроаналогии машина рассчитывает электрические, механические и гидравлические системы. Но главным образом она используется для расчета таких компонентов больших

систем электропередач высокого напряжения, как гидроэлектростанции, насосные станции, линии передач, трансформаторы и подстанции.

С помощью анализатора можно тщательно исследовать как совершенно новую систему, так и отдельные участки существующих систем, а также вопросы повседневной эксплуатации систем и вопросы прогнозирования нагрузок в этих системах на несколько лет вперед.

§ 2. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛАБОРАТОРИЙ ИНЖЕНЕРНОГО ЦЕНТРА

Сложность и разнообразие строящихся Бюро мелиорации объектов (от крупнейших плотин и электростанций до мелких оросительных систем), различие климатических условий, в которых они строятся (от пустынь юго-востока США до районов вечной мерзлоты Аляски), наличие или отсутствие местных строительных материалов и другие факторы обуславливают разнообразие теоретических и экспериментальных работ.

Из общего объема исследовательских работ примерно две трети проводятся для конкретных объектов, остальное составляют теоретические исследования в области гидравлики, бетона, грунтов, асфальта, инженерных конструкций, цементации и др.

Гидравлические исследования

Основной объем гидравлических исследований осуществляется на моделях. В последние годы проводились крупные исследования по следующим проблемам.

1. Русловые процессы, берегоукрепительные и выправительные сооружения. В качестве примера приводятся две работы.

1. Экспериментальное исследование структуры потока со скоростями ниже критических на криволинейных участках русла. На жесткой модели устанавливался характер распределения касательных напряжений на границе потока и силового воздействия на берега. Изучались возможности уменьшения размывов и отложений наносов в необлицованных каналах, при этом в ходе исследований менялся радиус кривизны и центральный угол руслового участка.

2. Исследование различных конструкций берегоукрепительных сооружений. Исследования проводились на пространственной с размываемым дном модели реки Рио-Гранде, горизонтальный масштаб модели— 1:140, вертикальный—1:25. В результате исследований были разработаны специальные сквозные конструкции в виде решеток из стальных стержней с размером ячейки 5 м, предназначенные для защиты берегов от размыва.

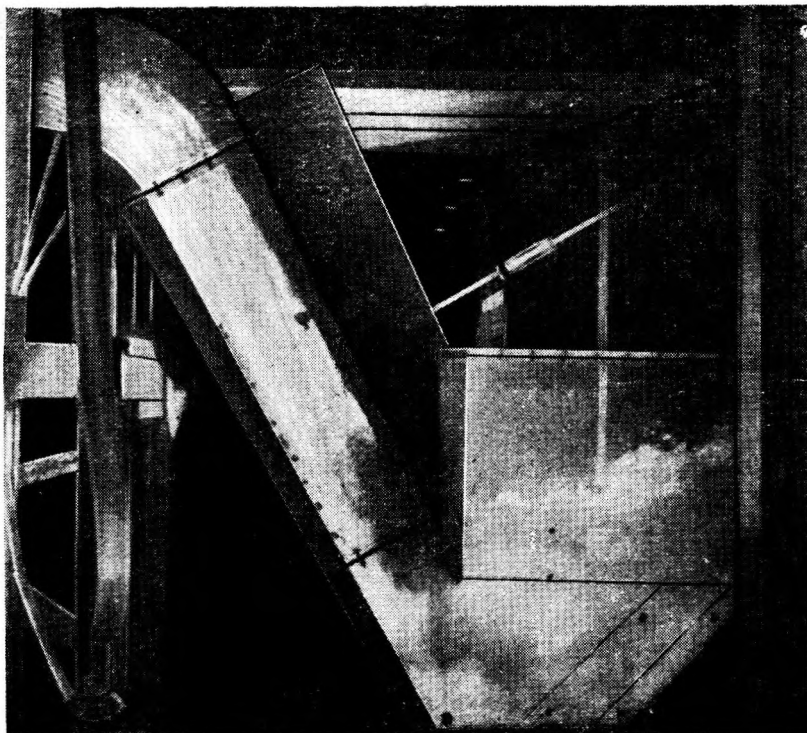


Рис. 6. Модель сифонного водослива.

II. Гидравлика водопропускных сооружений.

1. Исследование проектных и эксплуатационных характеристик сифонных водосливов. Исследования сифонных водосливов были начаты несколько лет тому назад вследствие того, что результаты натурных исследований отличались большим расхождением. На модели сифона (рис. 6) были проведены две серии опытов. В первой серии определялась наилучшая длина ковша. Во второй серии устанавливалось наиболее удачное расположение отражателя потока, предназначенного для улучшения характеристик потока при заполнении сифона. Дальнейшим этапом работ было испытание построенного сифонного водослива, снабженного специальными опытными устройствами.

В результате напор наполнения при минимальном рабочем расходе снижен на 25% по сравнению с таким же напором в обычном сифоне; минимальный расход составляет всего 20% от минимального расхода в обычном сифоне. Найдены оптимальная форма и длина ковша на низовом конце, местоположение и угол наклона отражателя.

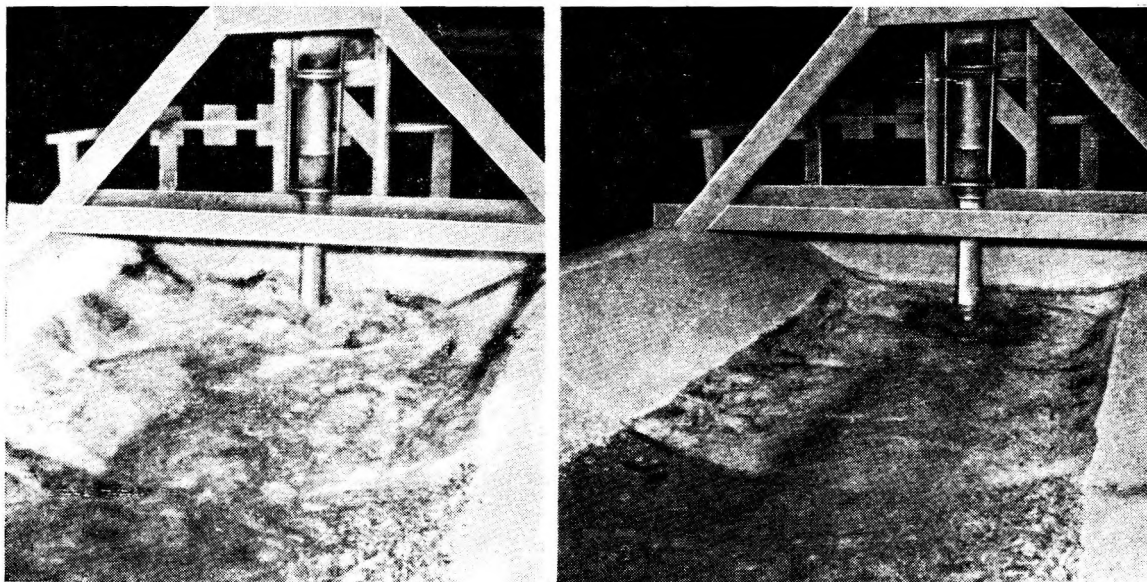


Рис. 7. Исследования гидравлических характеристик вертикальных водобойных колодцев с различными устройствами входа. Справа течение воды более спокойное в результате устройства дополнительных стенок.

2. Изучение работы тоннельного водосброса ГЭС Глен Каньон на р. Колорадо. Исследования проводились на воздушной и гидравлической моделях, с помощью которых найдена форма входного отверстия водосброса и расположение трех его тоннелей. Установлено, что тоннели будут работать удовлетворительно как при симметричном, так и при несимметричном открытии затворов при напорах до 125 м. Для качественной оценки возможных размывов скального основания ниже водосброса русло на гидравлической модели формовалось из тощего цементного раствора, причем относительное содержание цемента и песка в растворе менялось в зависимости от качества скалы.

III. Гидравлика сопряжения бьефов. Наряду с исследованием гидравлики сопряжения бьефов для конкретных объектов в лаборатории по обширной программе выполняются детальные теоретические исследования гасителей энергии различных типов: водобойные колодцы, водобойные стенки, прорези и зубья на порогах и т. п. в основном с целью обоснования и разработки типовых проектов.

1. Исследования гидравлических характеристик вертикальных водобойных колодцев. Такие колодцы обеспечивают значительную экономию денежных средств. Однако проектирование каждого отдельного колодца все еще требует специальных исследований. В настоящее время задачей исследований является получение данных, которые позволили бы разработать, типовой проект вертикальных водобойных колодцев, пригодный для использования на любом сооружении, где необходимо погасить энергию бурного потока, например, при выходе потока из напорного трубопровода в ирригационный канал с земляным руслом. Для получения таких данных исследуются колодцы разной площади, глубины и формы при различных расходах и максимальных допустимых скоростях на входе (рис. 7).

2. Исследование гидравлического прыжка и гасителей энергии. Та же цель ставится и перед исследованиями водобойных колодцев за затворами с кольцевым выпуском струи, за трубопроводами и трубами, работающими с частичным заполнением сечения при потоке с малыми скоростями, с высокими скоростями и т. д. Лаборатория стремится разработать несколько общих типов водобойных колодцев, с тем чтобы доработка проекта для каждого конкретного случая требовала минимального объема лабораторных исследований.

Программа этих исследований частично уже выполнена. Собран материал как модельных, так и натуральных исследований гидравлического режима потока в водобойном колодце за кольцевым затвором. Сделан анализ наблюдений режима быстрого течения с гасителями в виде бычков. В настоящее время исследования по этой программе продолжают. Исследуются на больших моделях водобойные колодцы за водосбросными сооружениями с обычными

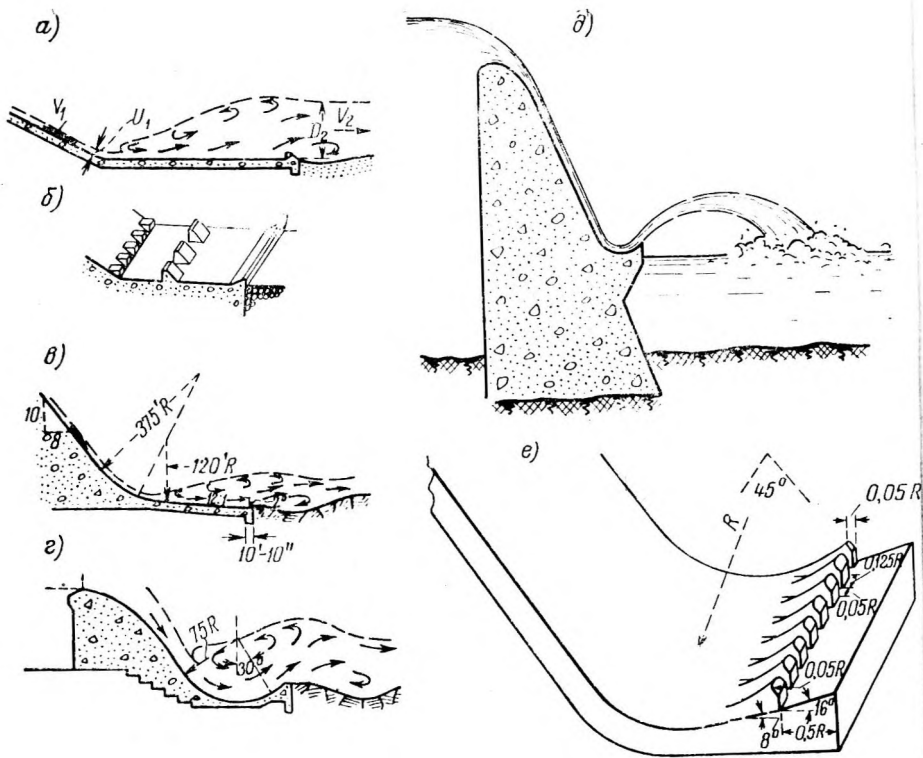


Рис. 8. Схемы конструкции водобойных колодцев

a—горизонтальное дно; *б*—горизонтальное дно, гасители в виде гребенки и в виде бычков; *в*—наклонное дно; *г*—ковш; *д*—носик; *е*—ковш и гребенка.

плоскими затворами. Исследуется также распределение давлений и возможность появления кавитации на бычках-гасителях. В программу включено, кроме того, получение данных по водобойным колодцам за затопленными плотинами. На рис. 8 приведены различные виды водобойных колодцев и конструкций носка, исследованные в лаборатории.

IV. Явления кавитации в водных потоках.

1. Кавитация и потери напора в разветвлениях трубопроводов. Кавитационные явления, способные вызвать повреждения металла или бетона, возникают на участках разветвлений больших трубопроводов при высоких скоростях потока. Подбором соответствующего разветвления на гидравлической модели можно устранить это явление и вместе с тем снизить потери напора.

В ходе исследований устанавливаются зависимости для: 1) оптимального угла разветвления; 2) угла сходимости; 3) расположения двух—трех ответвлений относительно магистрального трубопровода; 4) распределения давлений на участке разветвления;



Рис. 9. Кавитационные раковины на шероховато поверхности бетонной стенки (глубина до 0,3 см). Рука приведена для масштаба.

5) потеря напора здесь же; 6) распределения расхода между от-
ветвлениями.

Модельные исследования проводятся одновременно с натурными пьезометрическими измерениями.

2. Среди прочих работ по кавитации можно отметить исследование эрозии стенок бетонных водоводов (рис. 9). Опытами установлено, что кавитация, вызывающая эту эрозию при высоких скоростях потока, является следствием неровностей бетонной поверхности.

V. Гидравлика затворов донных водоспусков. Лабораторией выполнены исследования по гидравлике затворов высоконапорных донных водоспусков, разработан ряд конструкций таких затворов, в том числе затвор с кольцевым выпуском струи. Разработка затвора с кольцевым выпуском струи явилась результатом упрощения игольчатого затвора, за счет чего уменьшился его вес.

Исследования бетона

При описании Лаборатории бетона уже отмечался высокий технический уровень и большое разнообразие исследований, выполняемых Инженерным центром по бетону.

1. Исследования материалов для приготовления бетонной смеси: заполнителя, различных добавок, пуццолана и цемента. После случая с разбуханием бетона на плотине Паркера особое внимание было обращено на тщательное изучение свойств заполнителя и главным образом на изучение щелочной реакции последнего. В процессе длительных исследований были проведены многочисленные

испытания образцов бетона, выбуренных непосредственно из плотины Паркера; возраст отдельных образцов достигал 11 лет. Длительное изучение различных скальных пород с точки зрения их щелочной реакции позволило выявить породы, обладающие малой щелочной реакцией, и определить допустимый максимальный предел содержания таких пород в заполнителе. Найдены цементы с малым содержанием щелочей (Na_2O и K_2O). Исследования бетона в плотине Паркера и щелочной реакции заполнителя продолжаются.

Широко исследуются физические и химические свойства различных цементов и пуццолановых добавок, применяемых на строительных Бюро мелиорации. Изучается эффективность пуццолановых добавок в зависимости от наличия CaO в цементе. В лаборатории имеется печь для обжига клинкера при различных температурах.

В 1957 г. были изготовлены бетонные образцы, содержащие пять новых типов пуццолана, при этом образец каждого типа был сделан с двумя различными фракциями заполнителя. В последующие пять лет образцы испытывались на прочность и усадку. Исследования дали ценные результаты и позволили в настоящее время составить более точную спецификацию пуццоланов.

На большом количестве образцов исследуется зола уноса, в частности, зависимость ее свойств от химического состава и крупности частиц, и различные добавки, ускоряющие и замедляющие схватывание бетона.

2. Подбор состава бетона. В лаборатории проводится подбор оптимальных бетонных смесей для конкретных условий строительства и испытания образцов бетона.

Так как Бюро мелиорации крайне заинтересовано в долговечности своих сооружений, большой объем исследований направлен именно на повышение долговечности бетонов. Исследуются факторы, влияющие на долговечность бетона. Исследование воздухововлекающих добавок показало, что от типа добавки зависит оптимальное содержание воздуха в бетоне, прочность бетона при повторяющихся циклах замораживания и оттаивания, его сульфатостойчивость и т. д.

В настоящее время исследуются следующие вопросы:

а) влияние толщины укладываемого слоя бетона на вовлечение воздуха, на долговечность при повторяющихся циклах замораживания и оттаивания, на расстояние между порами и на сжимающие напряжения в бетоне;

б) влияние таких факторов, как температура, жесткость воды, порядок замеса, время замеса, объем одного замеса и различных добавок на возникновение пор и прочность бетона;

в) влияние усадочных трещин на водопроницаемость бетонной одежды каналов;

г) влияние капиллярной структуры бетона на его морозостойкость.

Начаты исследования влияния добавки кремния и других добавок на повышение долговечности затвердевшего бетона; влияния максимального допустимого содержания сульфата на долговечность и другие свойства бетона.

Трещинообразование также служит предметом изучения. Исследуются факторы, влияющие на термические свойства бетона, в частности, на коэффициент термического расширения, на изменение объема бетона и т. д. Установлено, что изменение бетона зависит от состава заполнителя и его гранулометрии, от свойств цемента, от различных добавок. Найдено, что содержание влаги оказывает заметное влияние на термическое расширение бетона. Можно заранее предусмотреть возможное появление трещин, но, однако, в настоящее время таких данных еще недостаточно.

3. Разработка методов производства работ. Кроме проведения обширных исследований по бетону, лаборатория разрабатывает новые методы производства бетонных работ. Так, использование синтетических вяжущих, в частности, эпоксидных смол, позволило начать многообещающие исследования по сцеплению нового бетона со старым.

Кроме того, лаборатория занимается разработкой нового и совершенствованием старого оборудования для приготовления заполнителя и вяжущих материалов, для замеса и укладки бетона, транспортировки и испытания материалов, необходимых для изготовления бетона.

В последнее время разработана конструкция бетономешалки с опрокидывающимся барабаном емкостью 7 м³. Разработана конструкция сепаратора для тяжелого заполнителя и изготовлено оборудование для удаления из заполнителя легких частиц. Изготовлены специальные приборы для испытания сцепления старого бетона с новым и т. д.

Исследования по механике грунтов и основаниям сооружений

1. Исследования связных грунтов. Широкие исследования связных грунтов как глинистых, так и гравелистых проводятся с целью использования грунтов в качестве строительного материала для земляных плотин, дамб, облицовок каналов и т. п. В лабораторных условиях определяется поровое давление различных грунтов, их петрографические характеристики, физические и химические свойства, консолидация, прочность на срез. Для скоростного определения влажности и плотности грунтов в полевых условиях разрабатываются новые методы исследований (в частности, с применением радиоактивных изотопов), способы взятия образцов из тела земляного сооружения в процессе его возведения и т. д.

Многочисленные исследования грунтов проводятся при проектировании ирригационных каналов для выявления опасных участ-

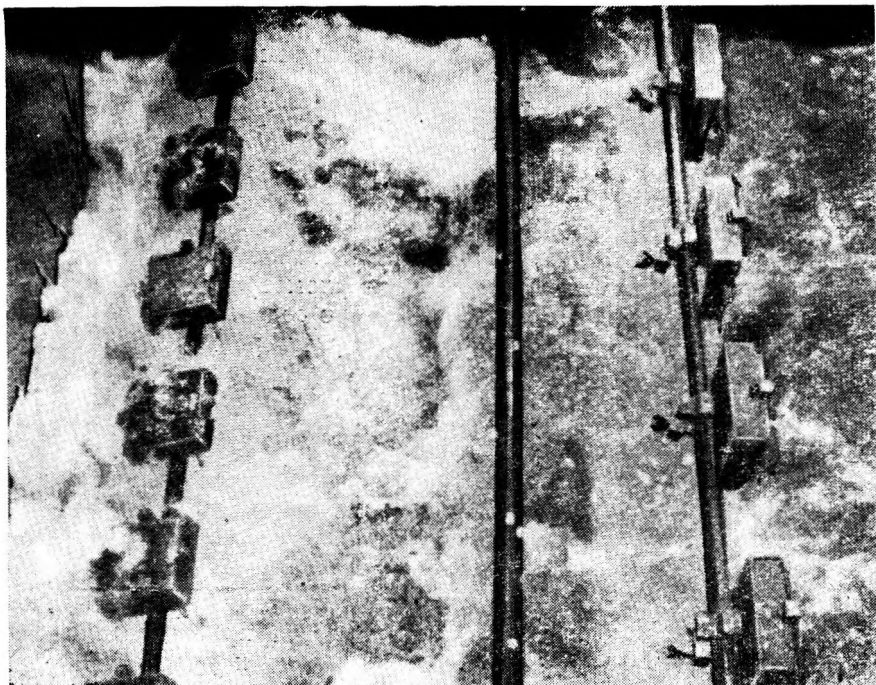


Рис. 10. Испытания асфальтобетонных образцов на эрозионную стойкость.

ков в отношении просадок и для применения уплотненного грунта в качестве облицовки каналов.

Для каналов в мелкозернистых связных грунтах необходимо определить критерии расчета эрозионных характеристик грунта. Эти исследования проводятся по программе, включающей исследования перемещения наносов с целью установления типового расчета эрозионных характеристик.

В Лаборатории грунтов проводятся также различные исследования почв, особенно щелочных и солончаковых, с целью их мелиорации.

2. Исследования скальных грунтов. Скала в основании крупных сооружений исследуется, как правило, на образцах. Образцы испытываются на плотность, порозность, абсорбцию, растяжение, упругость, прочность при сжатии и трехосном сдвиге. Проводится петрографический анализ грунта, т.е. определяется размер зерен, их форма, текстура, строение пор, сцепление отдельных зерен, нарушения и выветриваемость, слоистость, макроструктура и т. д.

К настоящему времени в лаборатории составлено описание 25 различных геологических створов, в которых залегают осадочные породы — песчаники и известняки. В ближайшее время ре-

шено перейти к исследованию анизотропных видов скалы, таких как метаморфиты.

К этой же группе исследований следует отнести и начатые недавно исследования материала для каменной наброски. Определяется морозостойкость материала наброски, прочность его при повторяющихся циклах смачивания и высушивания, прочность на истирание и волновое воздействие.

В некоторых случаях при отсутствии соответствующих местных материалов строительство плотины осуществляется путем применения различных заменителей скальной наброски. Такие заменители, например, асфальтобетонные кубики, подвергаются самым тщательным исследованиям. На рис. 10 показана специальная установка, на которой образцы асфальтобетонных кубиков испытываются на прочность при волновом воздействии.

Лаборатория исследует также покрытия из каменной наброски для крепления откосов ирригационных каналов, откосов земляных плотин, русел рек и т. д.

Прочие исследования

Среди прочих исследований Инженерного центра можно отметить исследования инженерных конструкций, большой объем работы в области изучения битумов, пластмасс и других защитных покрытий, работы по уменьшению испарения с водной поверхности водохранилищ, по перемещению наносов, по борьбе с зарастанием водохранилищ.

Отдельно можно выделить работу лабораторий Инженерного центра по разработке различных новых методов исследований. Все шире применяются методы различных исследований с использованием радиоизотопов. Бюро мелиорации было первым научным учреждением США, применившим гамма-лучи для определения плотности грунтов, а позже — для определения плотности водонасыщенных донных наносов, отложившихся в водохранилище.

Исследовательские лаборатории Инженерного центра, являясь основной экспериментальной базой Бюро мелиорации, внесли большой вклад в гидротехническое строительство в западных штатах США. Исследования, проведенные Инженерным центром в области гидравлики и гидротехнических сооружений, испытания существующих материалов, исследования новых строительных материалов, разработки способов производства работ создали базу для более рационального проектирования и строительства. В результате всей деятельности Инженерного центра, а также тесного сотрудничества проектировщиков и исследователей были найдены новые решения многих инженерных вопросов, что позволило Бюро мелиорации получить большую экономию средств при строительстве ирригационных и гидротехнических объектов.

Глава вторая

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ ВОДНЫХ ПУТЕЙ КОРПУСА ИНЖЕНЕРОВ АРМИИ США В ВИКСБУРГЕ

§ 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Вторым по величине и значению исследовательским центром в области гидротехнического строительства США является Экспериментальная станция водных путей Корпуса инженеров Армии США.

Корпус инженеров Армии США наряду с выполнением чисто военных задач занимается обслуживанием водных путей страны, т. е. улучшением условий судоходства на внутренних водных путях и в прибрежных районах, строительством портов и гаваней. Основной же обязанностью Корпуса в гражданском строительстве является создание регулирующих водохранилищ и гидротехнических узлов для борьбы с наводнениями.

Экспериментальная станция водных путей была создана в г. Виксбурге в 1929 г. при Государственной комиссии по борьбе с наводнениями в бассейне р. Миссисипи.

До 1949 г. Станция подчинялась Комиссии, затем была передана в непосредственное подчинение главного инженера Корпуса.

Созданная первоначально лишь как Гидравлическая лаборатория, Станция должна была решать практические задачи, связанные с регулированием паводков и улучшением условий судоходства на р. Миссисипи и ее притоках.

Бассейн р. Миссисипи охватывает громадную площадь в 3,2 млн. км² (41% всей территории США) и расположен в различных климатических зонах. Большая величина осадков в виде снега для северных и западных районов и в виде дождя для восточных и южных районов обуславливает крайне неравномерный гидрологический режим всех рек бассейна. Бурные, часто катастрофические весенне-летние паводки наносят ежегодно огромный ущерб населенным пунктам и сельскохозяйственным угодьям. В отдельные годы наводнения в бассейне р. Миссисипи становятся общенациональным бедствием.

Разработка и осуществление плана комплексного использования р. Миссисипи и ее притоков, обеспечивающего защиту от стихийных наводнений и нормальные условия судоходства, расширили задачи вновь организованной лаборатории, и позже в ее задачи вошло:

- а) регулирование паводков на всех американских реках;
- б) проектирование защитных и ограждающих сооружений;
- в) строительство портов и гаваней;
- г) проектирование плотин, водосливов, водосбросных сооружений и гидростанций;
- д) исследование прибрежных течений, приливов и отливов, волнового воздействия на защитные сооружения.

В связи с расширением деятельности Гидравлическая лаборатория была преобразована в Отдел гидравлики.

В 1933 г. на Станции была организована Лаборатория механики грунтов. В круг исследований этой лаборатории входили следующие вопросы:

- 1) укатка земляных плотин;
- 2) основания под плотинами, дамбами, шлюзами и сухими доками;
- 3) определение осадки сооружений;
- 4) устойчивость земляных плотин;
- 5) методы уплотнения ядра или экрана из грунта и т. д.

В 1943 г. Лаборатория механики грунтов была реорганизована в отдел, в котором была создана новая Лаборатория дорожных и аэродромных покрытий.

Наконец, поскольку Корпус инженеров Армии США является самым крупным потребителем бетона в стране, на Экспериментальной станции был организован Отдел бетона, в задачу которого входит разработка технологии приготовления бетонной смеси и технология ее укладки.

В 1935 г. в составе Станции был учрежден Информационный центр при Лаборатории механики грунтов, в 1937 г. такой же центр был создан при Гидравлической лаборатории. В обязанности этих подразделений входит сбор, анализ и распространение научно-технической информации, касающейся исследований соответственного профиля (механика грунтов, гидравлика). Информация передается сотрудниками Станции либо в печатном виде (периодически издаваемые бюллетени), либо путем устных и письменных консультаций.

В настоящее время Экспериментальная станция водных путей в Висконсине представляет собой крупное научно-исследовательское учреждение комплексного типа — основную исследовательскую базу Корпуса инженеров Армии США. Она не только проводит широкие научные и экспериментальные исследования в области гидравлики, механики грунтов, бетона и упругих покрытий, но также составляет технические условия и нормы проектирования

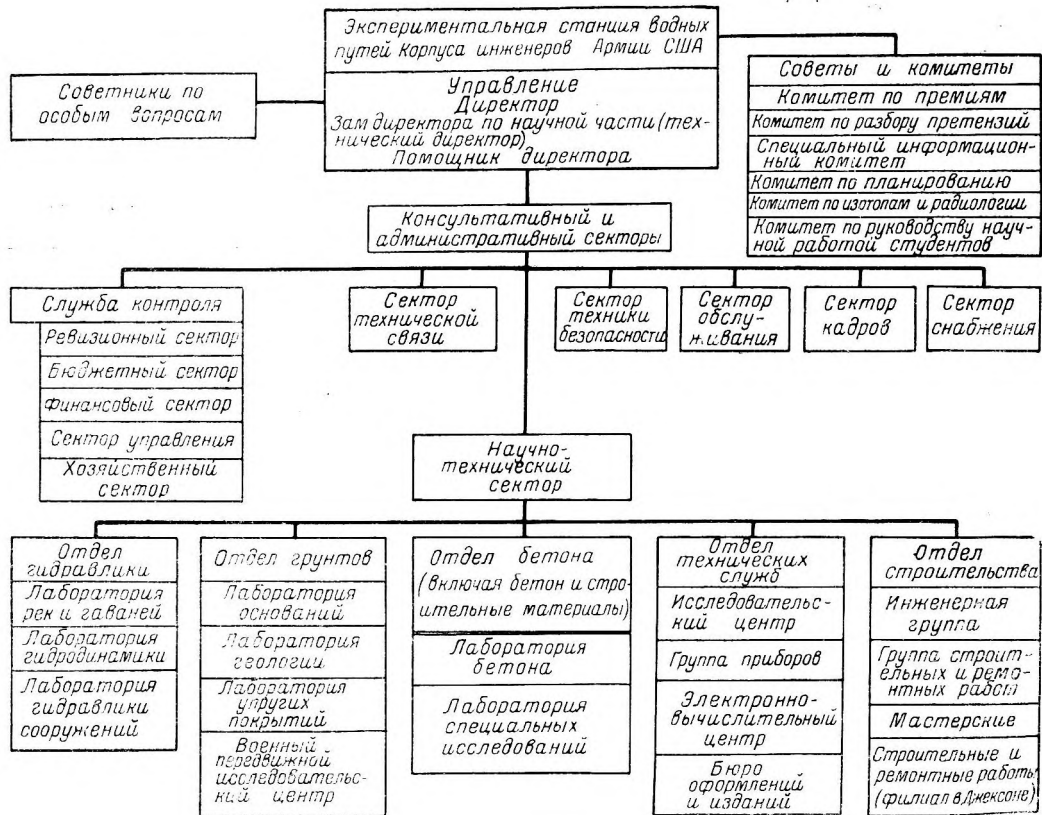


Рис. 11. Организационная схема Экспериментальной станции водных путей Корпуса инженеров Армии США.

для гидротехнического, дорожного и аэродромного, а также других видов военного строительства. Кроме того, Экспериментальная станция координирует работу в области гидравлики, грунтов и бетона всех отделений Корпуса.

В организационном отношении Экспериментальная станция входит в состав Корпуса инженеров Армии США на правах отдела и во всей своей деятельности подчиняется непосредственно Командующему Корпусом и его заместителю (главному инженеру).

Станцию возглавляет директор — офицер Корпуса инженеров, который одновременно является помощником председателя Государственной комиссии по борьбе с наводнениями в бассейне р. Миссисипи. При директоре имеется ряд советников по особым вопросам — военные специалисты. Советники являются высококвалифицированными инженерами и выступают в роли консультантов, наблюдателей и офицеров связи.

Вся исследовательская работа сосредоточена в научно-техническом секторе, имеющем отделы гидравлики, грунтов и бетона. Кроме них, имеются вспомогательные отделы: технического обслуживания и строительства.

Консультативный и административный сектор объединяет шесть отделов. Кроме того, при директоре Станции имеется целый ряд комитетов, ведающих вопросами планирования, претензий, премий, подготовки кадров и др.

Организационная схема Экспериментальной станции представлена на рис. 11.

Штат Экспериментальной станции в 1962 г. составлял 800 человек. Больше всего служащих насчитывает Отдел гидравлики (150 человек) и Отдел строительства (250 человек, включая ремонтно-строительную группу, которая занимается и строительством моделей).

Подавляющее большинство сотрудников — вольнонаемные служащие. Научно-инженерный состав включает 175 человек.

Лабораторная база

Экспериментальная станция расположена в двух местах. Основная ее часть находится в 7 км от г. Висксбурга. В 1929 г. здесь на небольшом притоке р. Миссисипи — р. Дарден — был выделен участок в 90 га для организации исследовательского центра. Участок для строительства Гидравлической лаборатории был выбран с учетом возможности создания водохранилища.

На р. Дарден была построена земляная укатанная плотина длиной 126 м, высотой 5,7 м и шириной по гребню 2,4 м. Откосы плотины 1 : 3, верховой откос укреплен каменной наброской, низовой — травяным покровом (бермудская трава). Объем водохранилища за плотинной составил свыше 567 тыс. м³, площадь зеркала — 32 га.

Пропускная способность водослива, устроенного на левом берегу, $156 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Под плотиной перпендикулярно продольной ее оси устроен бетонный водовод квадратного сечения для отвода строительных расходов. В настоящее время он используется для опорожнения водохранилища, когда в этом появляется необходимость, а также для подачи воды на модели, построенные ниже плотины на открытых площадках.

Вода к зданию Гидравлической лаборатории подается из водохранилища по металлической трубе диаметром 50 см, эта труба проложена сначала в теле плотины над бетонным водоводом, затем проходит по открытому месту. Пропускная способность трубы 567 л/сек .

Здание Станции, построенное в 1930 г. (рис. 12), имеет в плане форму в виде буквы П. Длина фронтальной (одноэтажной) части этого здания равняется 64 м, а двухэтажных открьлков — 31 м, ширина здания 15 м. В настоящее время в этом здании размещаются Грунтовая лаборатория и Геологический музей.

С момента строительства здание было занято в основном экспериментальным залом, не имеющим внутри никаких поддерживающих опор. В западном крыле располагались конструкторское бюро, камеральные помещения, фотолаборатория и другие вспомогательные помещения. Первый этаж восточного крыла от зала не отделен и увеличивает, таким образом, его площадь.

В зале было установлено четыре лотка, причем самым большим и единственным «перемещающимся лотком был металлический опытовый лоток со стеклянными стенками длиной 53 м. сечением $1,5 \times 1,0 \text{ м}$. Кроме него, в зале имелись два лотка длиной 9 и 16 м для исследования наносов и деревянный лоток длиной 17,6 м. Вода к лоткам поступала самотеком из бака с постоянным уровнем, куда она подавалась несколькими насосами, установленными в одном из концов зала.

При дальнейшем расширении Станции учитывался опыт строительства и эксплуатации аналогичных научно-исследовательских учреждений в Европе.

Главное внимание при исследовании речных русел Экспериментальная станция уделяет защите территории от наводнения во время паводков. Поскольку расход р. Миссисипи значительно превосходит расход любой средней реки Европы, при строительстве Экспериментальной станции водных путей была предусмотрена возможность размещения на ее территории моделей участков реки очень значительных по длине и предназначенных главным образом для исследования прохождения паводков. Район Висксбурга характеризуется теплым климатом, и поэтому свыше 13 га из общей территории Станции в Висксбурге были с самого начала выделены для проведения исследований на открытом воздухе (позже эта площадь увеличилась).

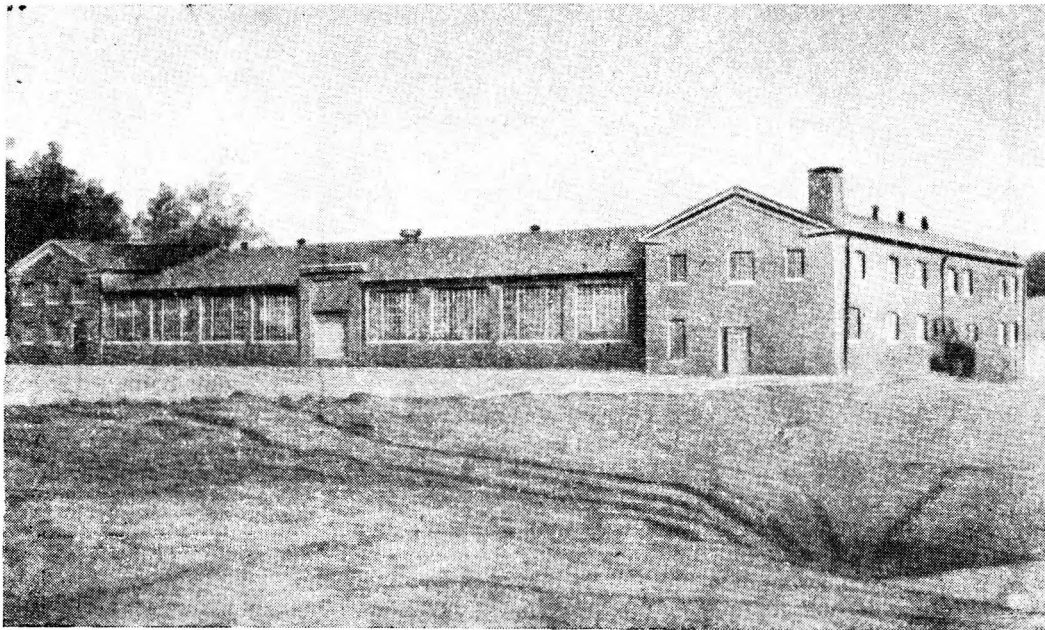


Рис. 12. Первый корпус Гидравлической лаборатории, построенный в 1930 г. В настоящее время Геологический музей.

За период своего существования, охватывающий теперь уже свыше 30 лет, Станция в значительной -степени расширилась и объем проводимых ею экспериментальных работ неизмеримо возрос.

Если в первые годы на Станции проводились одновременно 2—3 исследовательские работы, то в 1950 г. — 60 работ, а в 1960 г.-более 80 работ. С изменением масштабов работы изменилось и оборудование. Если первой экспериментальной установкой был, как уже упоминалось, гидравлический лоток длиной 53 м и сечением 1,5х1 м, то в настоящее время один только Отдел гидравлики располагает несколькими уникальными установками, в том числе бетонированным лотком длиной 183 м, шириной 38 м и глубиной от 0,6 до 0,9 м с максимальным расходом до 2,85 м³ /сек. По всей длине лотка установлена измерительная аппаратура. Лоток заполнен естественным песком. С помощью металлических шаблонов в лотке может быть сформовано русло любой конфигурации.

Значительное расширение деятельности Станции стало возможно лишь благодаря строительству новых лабораторных помещений и целому ряду мероприятий по увеличению расхода воды для исследований.

В этих целях, кроме основного водохранилища, на соседней годосбросной площади была построена невысокая земляная плотина и создано дополнительное водохранилище.

Затем к Станции была подведена магистраль виксбургского городского водопровода, подающая до 22500 м³ воды в месяц. В результате этих мероприятий расход, который может быть подан на отдельные модели, сейчас, по существу, не ограничен, так как передвижные насосные станции могут в любое время подать воду из главного водохранилища в требуемом количестве.

В настоящее время Станция располагает несколькими зданиями, полезная площадь которых превышает 8 га. В этих зданиях размещаются административные и вспомогательные отделы. Десять зданий общей площадью около 5 га построено для гидравлических исследований на крупномасштабных моделях. На левом возвышенном берегу р. Дарден построено пять корпусов лабораторий бетона, механики грунтов и дорожных покрытий.

Если не считать первого корпуса — кирпичное здание со стальным каркасом, — то все лабораторные помещения в Виксбурге— это легкие постройки либо типа ангара (более старые лаборатории), либо типа полевых окладов (новые лаборатории) (рис. 13). Здания второго типа имеют длину 150—200 м, ширину 60-80 м и высоту до 16 м. Несущие стойки и фермы выполнены из металла, а обшивка и кровля — из металлических гофрированных щитов. Такая конструкция позволяет при необходимости быстро и легко увеличивать площадь лаборатории до нужных размеров. Стоимость 1 м² помещения в сборке составляет 12 долларов, а с фундаментами, водоснабжением, светом— 23 доллара. Каждое такое

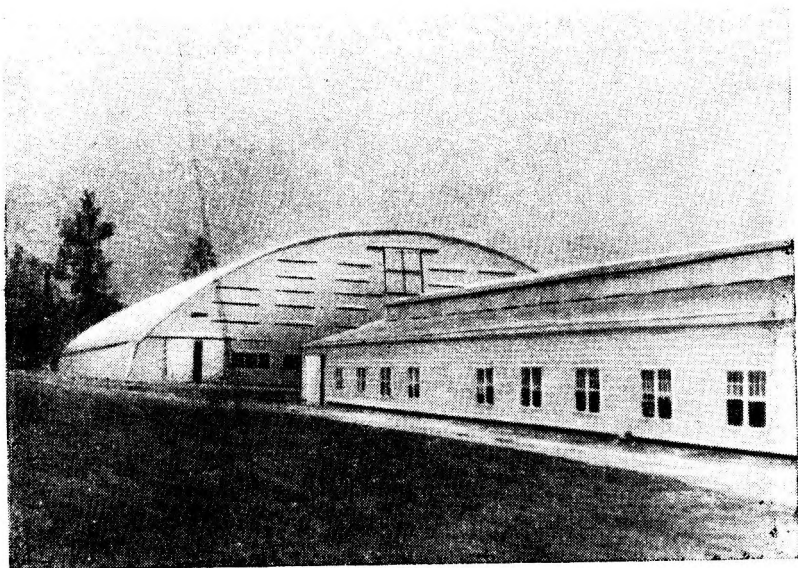


Рис. 13. Современные корпуса Гидравлической лаборатории типа полевых складов.

помещение имеет отдельный подвод воды и является, по существу, самостоятельной лабораторией. В холодное время года в помещении устанавливаются переносные электрические обогреватели, а в жаркое время в каждой лаборатории действует установка кондиционированного воздуха.

Кроме административных и лабораторных помещений, имеются мастерские, испытательные полигоны и большие открытые площадки для проведения модельных исследований.

Расширение шло не только за счет новых помещений в Виксбурге. После Второй мировой войны в 65 км от Виксбурга в г. Джексоне Экспериментальной станции водных путей был выделен участок площадью 328 га. Основную часть капитальных зданий занимает здесь Отдел бетона (рис. 14).

Отдел располагает полуавтоматическим бетонным заводом производительностью 40 м³ бетонной смеси в час, бадьями объемом 4,5 м³ для транспортировки смеси к месту укладки, вибраторами, установками для приготовления заполнителей и другим мощным производственным оборудованием. В отделе имеются также вспомогательные лаборатории: рентгеновская, физическая, химическая, термическая и петрографическая. Для изучения работы бетона в построенных сооружениях Отдел располагает двумя опытными полигонами на о. Мейн (Тихий океан) и на побережье Флориды.

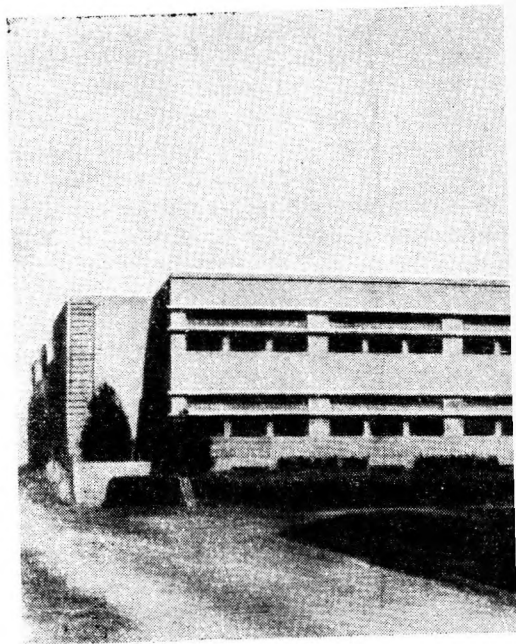
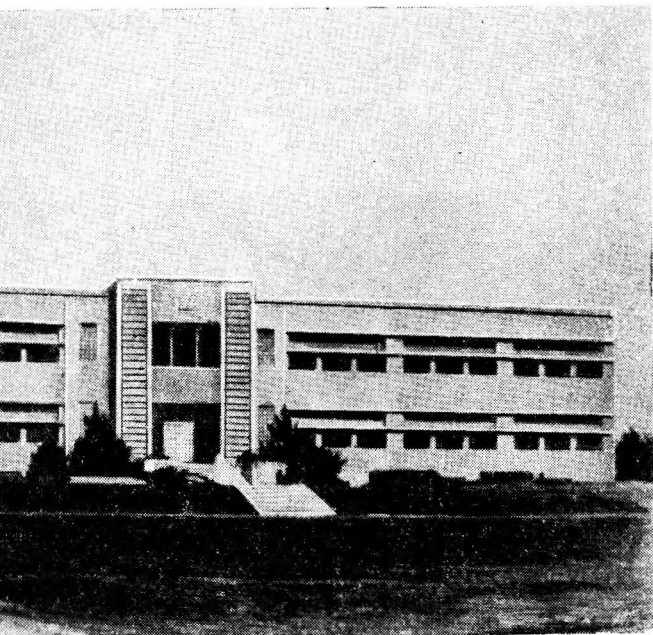


Рис. 14. Общий вид



здания Отдела бетона в Джексоне.

Постоянные и временные помещения в Джексоне занимают 16 га; 6 га отведены под открытые площадки различного назначения, и, наконец, 89 га занимает достраивающаяся в настоящее время постоянно действующая модель бассейна р. Миссисипи, известная как самая крупная гидравлическая модель подобного типа в мире.

При организации Экспериментальной станции в Висксбурге было обращено большое внимание на возможность строительства крупномасштабных моделей не только отдельных сооружений, но и целых речных систем.

Первой такой моделью, построенной в Висксбурге в 1931 г., была модель участка р. Иллинойс длиной 179 м. С тех пор на подобных моделях проведены многочисленные исследования как в закрытых залах, так и на открытых площадках.

Наиболее интересными моделями, построенными на открытых площадках в довоенное время, были модели р. Канзас, Миссисипи № 1, Миссисипи № 5 и, наконец, модель р. Миссисипи на участке Хелена—Дональдсвилл. Последняя из них наиболее значительная, на ней был воспроизведен участок р. Миссисипи между городом Хелена, штат Арканзас, и городом Дональдсвилл, штат Луизиана. На этом участке предполагалось строительство 15 гидроузлов и большого числа каналов. Длина смоделированного участка реки равнялась в натуре 960 км, на модели — 456 м. Карта этого участка приведена на рис. 15, при этом одна карта является продолжением другой. Масштаб модели по горизонтали был 1:2000, а по вертикали 1 : 100. Расход моделировался в масштабе 1:1500000, время — в масштабе 1:267 (сутки за 5,4 минуты). Модель включала не только участок р. Миссисипи, но также участки рек Арканзас, Уайт, Ред, Суачита, бассейны рек Язу и Атчафалай. В результате длина этой действующей модели равнялась 322 м, максимальная ширина 51 м, общая площадь 1040 м². Отдельный участок модели можно видеть на рис. 16. Модель была с неразрываемым дном, так как назначение ее — исследование высоты волны паводка.

На примере выполнения этой модели можно проследить общую методику строительства подобных моделей, разработанную и широко использованную Станцией в Висксбурге. Уложенный на площадке будущей модели хорошо утрамбованный песчано-илистый грунт выдерживался в течение нескольких дней. Затем по всей площадке примерно под прямым углом к направлению русла реки укладывались ориентирные планки на расстоянии 30—60 см одна от другой (рис. 17). На листы миллиметровой бумаги наносились профили русла и прилежащих к нему берегов в соответствующем масштабе и по ним изготовлялись шаблоны из листовой гальванизированной стали. Шаблоны прикреплялись к ориентирным планкам на нужной отметке, после чего промежутки между ними заполнялись утрамбованным грунтом до уровня примерно на 4 см ниже верхнего края. Затем на поверхность грунта укладывался

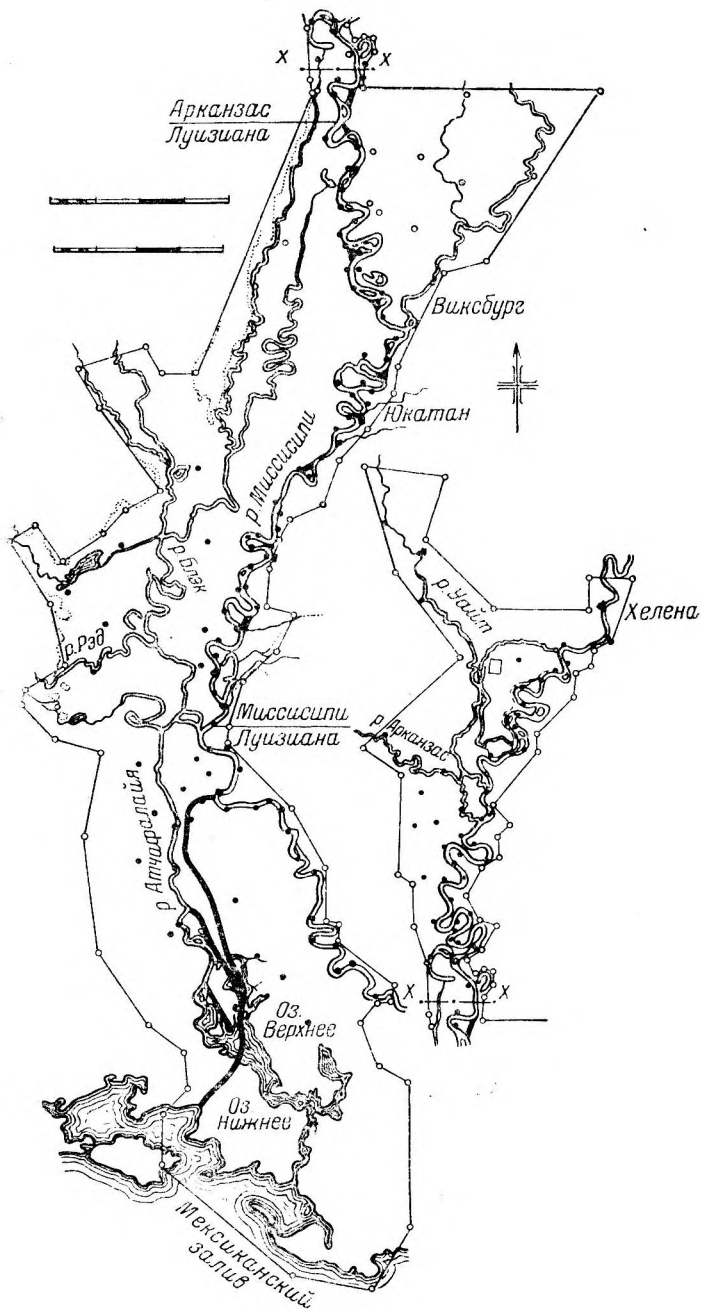


Рис. 15. Карта участка р. Миссисипи между городами Хелена и Дональдсвилл.

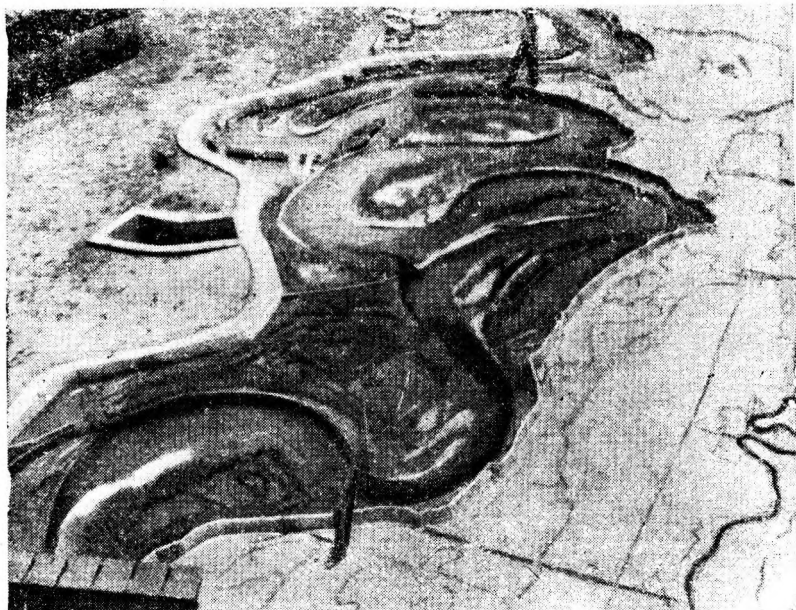


Рис. 16. Фрагмент модели участка р. Миссисипи между городами Хелена и Дональдсвилл.

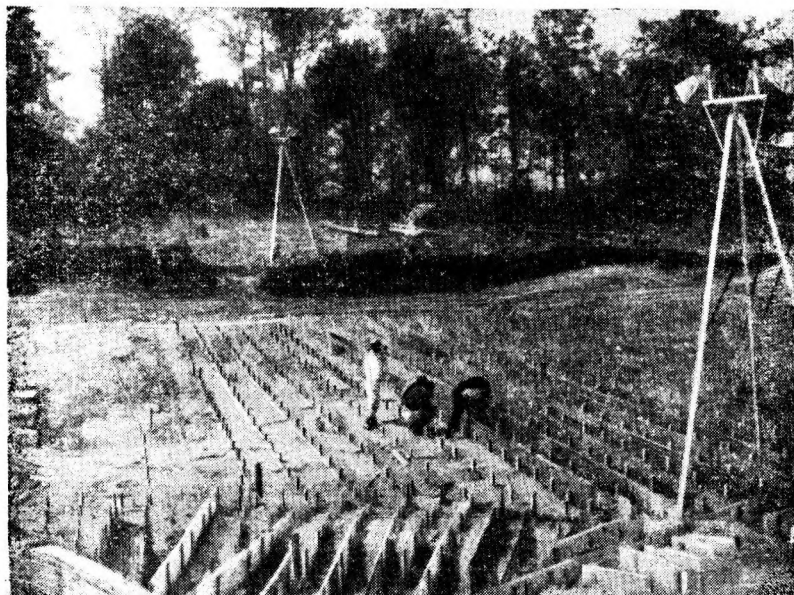


Рис. 17. Установка шаблонов при изготовлении модели р. Миссисипи.

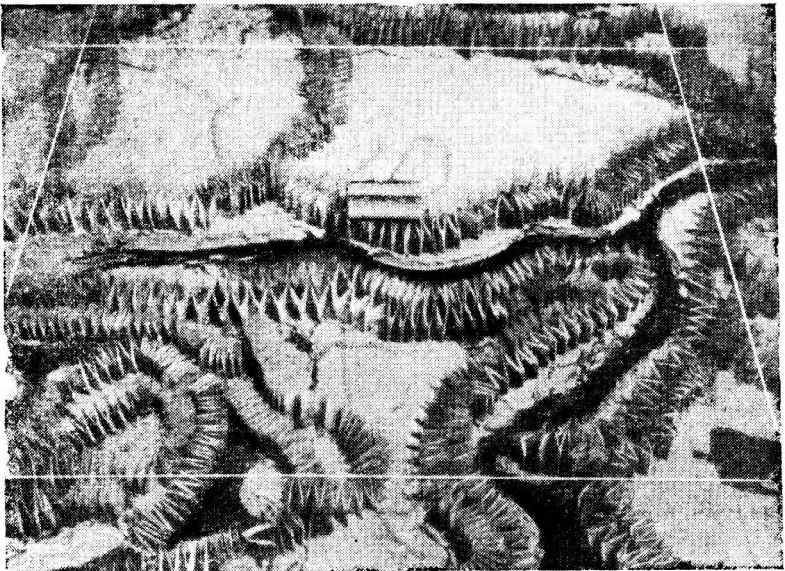


Рис. 18. Металлические сетки для моделирования леса и кустарника в пойме реки.

бетон толщиной 25 мм и заглаживался заподлицо с верхним краем шаблона. До того, как бетон схватывался, инженеры-тонографы вручную воспроизводили на модели мелкие протоки, заливчики и т. п. Заросшие лесам и кустарником затопляемые участки моделировались вертикально установленными полосками металлической сетки, имеющими вид гармошки (рис. 18).

Вода подавалась на модель в 17 точках через установки, контролировавшие приточность. При этом 6 установок служили для подачи воды в реку и ее притоки, а 11—для подачи воды в счет выпадающих атмосферных осадков. Главным назначением модели было проследить прохождение паводков, близких к максимальным, и найти наиболее эффективные методы их регулирования. Для этого модель прежде всего была выверена при пропуске реального паводка 1927 г. В натуре паводок проходил с 5/XII-1926 г. по 27 II-1927 г.; на модели опыт длился 20,5 часов. После этого на модели был проведен целый ряд других не менее важных исследований. Их значение, так же как и значение исследований, проведенных на других моделях, заключалось прежде всего в том, что они помогли определить оптимальную последовательность работ по программе защиты р. Миссисипи от паводков.

Однако, несмотря на свое большое положительное значение, исследования на открытых моделях и, в частности, попытки про-

гнозировать паводки дали в целом ряде случаев искаженные результаты. Как уже отмечалось, площадь бассейна р. Миссисипи огромна — от Монтана на севере до Техаса на юге и от Скалистых гор на востоке до Аппалачей на западе. В пределах бассейна находится до 200 водохранилищ, несколько тысяч километров дамб и много других защитных сооружений, тесно взаимосвязанных между собой. Очень важно, чтобы работа всей этой огромной и сложной системы сооружений четко координировалась одним центром. Вот почему было признано необходимым организовать исследования на такой модели, на которой были бы воспроизведены не отдельные участки, а целиком весь бассейн р. Миссисипи.

Такая модель позволила бы в комплексе исследовать сложные вопросы, связанные с координацией работы регулирующих водохранилищ, как существующих, так и проектируемых на самой р. Миссисипи и на ее притоках.

Современная модель бассейна р. Миссисипи (Большая модель)

Экспериментальная станция водных путей начала в августе 1943 г. строительство на территории филиала Станции в г. Джексоне уникальной по своим размерам и оснащению гидравлической модели бассейна р. Миссисипи.

Строительство проводилось по этапам: первым был закончен участок р. Огайо, к 1958 г. была выполнена модель всей верхней части бассейна р. Миссисипи до створа г. Мемфиса, к 1962 г. — модель центральной части до створа г. Висксбурга.

Срок окончания всей модели намечен па 1964 г. В среднем ежегодно па строительство расходуется 750 тыс. долларов. Полная стоимость модели составит 19 млн. долларов.

Работы по строительству модели в первое время продвигались довольно медленно из-за трудностей военного времени и недостатка рабочей силы и механизмов.

Первоначально по периметру будущей модели была тщательно расчищена полоса шириной 10 м, затем сам участок был очищен от кустарника и вокруг него были проведены временные дороги. После этого были начаты земляные работы по подготовке основания под модель. Земляные работы превышали 750 тыс. м³ и определялись тем, что для создания необходимого уклона участок модели верховьев реки должен был быть приподнят над поверхностью открытой площади на 15 м, несмотря на то, что участок для модели был выбран со значительным уклоном. В первое время на модели работало одновременно около 250 рабочих. Механизация строительства была незначительной. Большинство работ выполнялось вручную. Затем (1945 г.) для земляных работ на строительство модели поступило два скрепера (4 и 6 м³), четыре буль-

дозера, несколько кулачковых катков, самосвалов и один дреглайн с ковшем емкостью 0,4 м³. Грунт в основании модели укладывался и уплотнялся слоями толщиной 20 см. Пяти проходок катка обычно было достаточно для достижения необходимой плотности. Постоянный контроль за плотностью грунта осуществлялся в специальной лаборатории анализа грунтов, построенной здесь же. Таким образом было подготовлено основание под модель. Методы строительства непосредственно самой модели отличались от прежних методов строительства. Ввиду большого объема работ было применено предварительное изготовление отдельных бетонных карт. Отливка таких карт по специальным шаблонам осуществлялась на бетонном заводе. Готовые карты доставлялись тягачами на место сборки в специальных контейнерах. На каждой карте был воспроизведен соответствующий участок русла.

К 1963 г. работы по строительству модели вступили в их завершающий период, и теперь о модели можно говорить как о практически законченном сооружении.

Площадь модели 89 га. Наибольшая длина в широтном направлении 1371 м, по долготе—1066 м. Горизонтальный масштаб 1 : 2000, вертикальный — 1 : 600, масштаб времени 1 : 267, скорости 1 : 7,5, расхода 1 : 500000 (с отклонением от подобия по Фрудру).

Такой выбор масштабов определился тем, что построенная в этих же масштабах модель низовьев р. Миссисипи, работавшая на Станции с 1935 г. (ее описание приведено выше), дала хорошие результаты и служила своего рода образцом при строительстве Большой модели.

Как уже отмечалось, модель изготовлена с жестким бетонным ложем (рис. 19). Толщина бетона на участке русла была не меньше 20 см. Чтобы добиться точности в воспроизведении природы, уже на месте, после установки бетонных карт, тщательно моделируется шероховатость самого речного русла и шероховатость поймы. Бетонные и металлические кубики со стороной 1 см, ввинченные в дно и в бетонные берега по периметру затопляемых участков, моделируют необходимую шероховатость речного русла. Шероховатость на заросших лесом и кустарником затопляемых участках (шероховатость поймы) моделируется вертикально поставленными в виде густой гармошки полосами из проволочной сетки.

Шероховатость в русле и пойме подобрана из условия воспроизведения на модели уровней, для которых в природе имеются измеренные расходы. Критерием правильно подобранной шероховатости является подобие уклона водной поверхности при среднем расходе многоводного года, за который принят 1943 г.

На модели представлены все реки бассейна, общая длина которых в натуре составляет 24 тыс. км, а на модели —12,8 км, все дамбы, железные и шоссейные дороги, причем отдельные бетонные карты на модели можно снимать и заменять такими картами, на



Рис. 19. Большая гидравлическая модель р. Миссисипи с неразмываемым дном.

которых можно получить размыв дна модели, ее берегов, дамб и т. д.

Вода подается на модель в 67 точках через специальные установки, аналогичные ранее использовавшимся на других моделях. Для работы модели требуется расход около 63 л/сек, что несколько превышает максимальный расчетный паводок на нижней Миссисипи. Так как модель разделена на 12 автономных участков, которые могут работать одновременно и независимо друг от друга, то необходимый суммарный расход составляет 535 л/сек.

Питание модели осуществляется по циркуляционной системе, состоящей из большого отстойника, двух насосов производительностью 160 л/сек, напорного бака емкостью 190 тыс. л, подводящих и отводящих труб. Общая длина водопроводных труб диаметром 10—35 см, подводящих воду к насосам, которые подают затем ее на тот или иной участок модели, и труб, отводящих воду к отстойнику, составляет 7 км (рис. 20).

Характерной особенностью модели является автоматизация управления ею. Поскольку ручное управление потребовало бы примерно 1500 человек обслуживающего персонала, автоматическое управление было единственно возможным решением. В настоящее время на эксплуатации модели занято всего 20 человек (из них 7 научных сотрудников и инженеров). Расходы на эксплуатацию модели составляют в год 150 тыс. долларов.

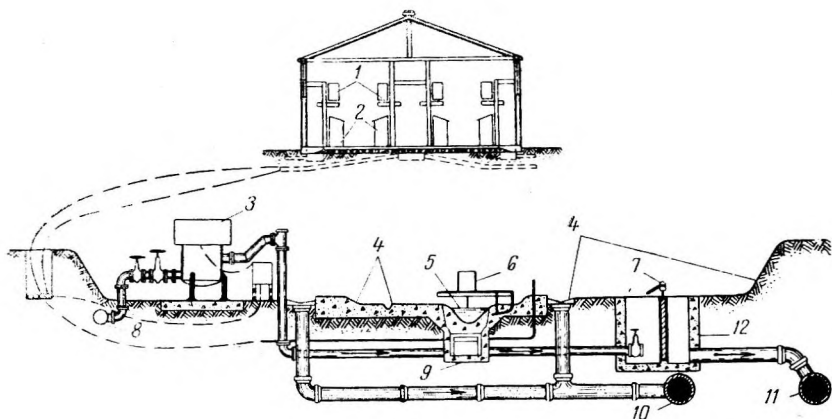


Рис. 20. Большая гидравлическая модель р. Миссисипи. Схема циркуляционной системы модели

1 — самописцы; 2 — программмер; 3 — регулятор притока; 4 — береговая зона; 5 — русловая зона; 6 — лимниграф; 7 — затвор; 8 — от водопровода; 9 — собиратель; 10 — коллектор; 11 — к водопроводу; 12 — отводящий колодец.

Автоматика позволяет управлять как всей моделью, так и отдельными ее участками. На модели в любое время может быть обеспечен любой гидрограф паводка, наблюдавшегося в бассейне в прошлом и возможного в будущем. Однако часто вопросы защиты от паводков исследуются на отдельных участках модели с крупными притоками (участок р. Огайо, р. Арканзас, р. Миссури) независимо от исследований, проводимых в это же время на других участках.

Все установки, подающие на модель воду в соответствии с определенным масштабом, связаны с программирующими устройствами (программерами) центрального пульта управления. Отсюда подается команда и сюда же передаются сигналы всех автоматических датчиков, фиксирующих горизонт воды на модели. Их на модели 1500 штук, и в большинстве случаев они установлены в тех же точках, где в натуре расположены водомерные посты. На пульте управления имеются приборы, которые дают возможность автоматически регулировать уровень воды на модели в соответствии с гидрографами, полученными в натуре. Расход воды, поступающей на какой-то участок модели, определяется мерным устройством по типу «истечение из-под щита», установленным в конце участка. Таких устройств — на модели 200. На каждом щите имеются датчики уровня воды; щит поднимается и опускается в зависимости от необходимого горизонта воды в непосредственной близости перед ним. Все приборы работают синхронно; синхронность обеспечивается главным программным устройством.

На законченных строительстве участках модели уже давно проводятся исследовательские работы. Программа работ, методика отдельных исследований и их результаты рассматриваются и

утверждаются специальным Советом модели. В состав Совета входят представители всех отделений Корпуса инженеров, а также директор Экспериментальной станции, который является одновременно и заместителем председателя Правительственной комиссии по борьбе с наводнениями на р. Миссисипи.

Существует уже целый ряд примеров высокой эффективности исследований, осуществляемых на модели, в области прогнозирования паводков. Но это лишь один, и притом не самый важный из большого числа вопросов, которые решаются и будут решаться на законченной модели. Эти вопросы формулируются следующим образом.

1. **П а в о д к и**. Изучение характера движения исторических паводков, их последовательности и размеров с целью совершенствования проектов регулирования стока и защитных работ.

Получение кривых объема паводка и зависимостей между пройденным паводковой волной путем и временем прохода. Установление распределения стока местных притоков при различной водности главного русла. Оценка влияния водохранилищ энергетического назначения и навигационных сооружений на характер паводковой волны.

2. **В о д о х р а н и л и щ а**. Систематическое составление планов эксплуатации водохранилищ, предусматривающих надлежащее использование водохранилищ и защиту как главного русла, так и его притоков от паводков. Определение наиболее выгодных комбинаций работы водохранилищ с оценкой эффективности регулирования паводка и указанием на наиболее удобные места для новых водохранилищ. Изучение попусков из водохранилищ и влияние попусков на режим нижнего бьефа. Составление графиков наполнения и опорожнения водохранилищ для паводков различного типа, проверка метода расчета попусков.

3. **З а щ и т н ы е с о о р у ж е н и я**. Определение профилей водной поверхности вдоль существующих и проектируемых ограждающих дамб в условиях наиболее многоводных паводков. Размещение новых защитных сооружений для предупреждения затопления населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий. Определение влияния сужения русла при строительстве дамб на уровень паводковой волны.

4. **Р е ж и м у р о в н е й**. Определение влияния паводков и защитных сооружений на горизонт воды в реке. Установление участков, затопляемых при различных паводках. Определение кривых подпора в притоках при подъеме горизонтов воды в водохранилищах основного русла.

5. **Р е ж и м р а с х о д о в**. Установление измененных гидрографов в связи со строительством водохранилищ на р. Миссисипи и ее притоках. Прогноз расходов для отдельных створов при прохождении паводков различной интенсивности.

Самым же главным назначением модели является обеспечение информации, на основе которой будет составлен единый, хорошо скоординированный план эксплуатации регулирующих сооружений в бассейне р. Миссисипи.

Такой план исследований по данным Станции оправдывает большие денежные затраты на строительство и эксплуатацию модели, являющейся самой большой гидравлической моделью в мире.

§ 4 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СТАНЦИИ

Как уже отмечалось, вся исследовательская деятельность Экспериментальной станции сосредоточена в Научно-техническом секторе, а точнее в Отделах гидравлики, грунтов и бетона.

Основным направлением в исследованиях является решение теоретических проблем и вопросов, связанных с конкретными объектами проектирования и строительства. Общетеоретические исследования проводятся в порядке выполнения общей программы исследований гражданских сооружений, осуществляемой Корпусом инженеров.

Отдел гидравлики

Отдел гидравлики состоит из трех лабораторий: 1) Лаборатории рек и гаваней; 2) Лаборатории гидродинамики и 3) Лаборатории гидравлики сооружений.

Проблемы, над которыми работают первые две лаборатории, можно конкретизировать таким образом.

1. Мелиорация рек с целью улучшения условий судоходства и борьба с паводками.

2. Заносимость и заилиение портов, гаваней, морских каналов и устьев рек. Исследование влияния приливов и отливов на заносимость и заилиение устьев рек.

3. Защита берегов и гаваней от обычных морских и ураганных волн (цунами). Компонировка морских гаваней, ограждающих дамб, молов, волнорезов и их устойчивость.

4. Гидравлика гидротехнических сооружений, шлюзов, водопропускных и водосбросных сооружений, водобойных колодцев, напорных водоводов, различных портовых сооружений.

Все исследования выполняются на крупномасштабных моделях, часто с неискаженными масштабами. При этом судоходные шлюзы, водоспуски и водосбросы проверяются на моделях больших масштабов, общая компоновка гидроузлов исследуется на моделях меньшего масштаба. Для экономии времени исследования одного и того же сооружения часто проводятся параллельно на двух моделях разных масштабов.

По первой проблеме примером могут служить исследования на модели р. Арканзас (рис. 21). Эти исследования предусматривали разработку мероприятий по улучшению судоходства на участке

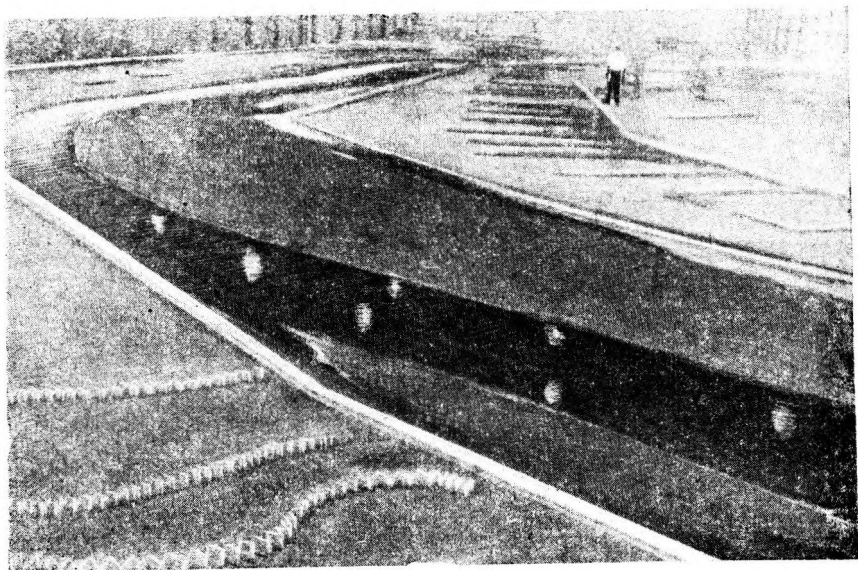


Рис. 21. Русловая модель р. Арканзас.

реки длиной 16 км от места впадения ее в р. Миссисипи до района Гулса. Планами предусматривалось возведение на этом участке нескольких судоходных шлюзов и разборных плотин. На модели подбирались створы плотин, изучался режим движения наносов в русле до и после строительства шлюзов и плотин. Определялись участки берегов, подлежащие креплению.

Модель построена в масштабах 1 : 120 (горизонтальный) и 1 : 40 (вертикальный), с размываемым дном.

В практике работы Отдела гидравлики в качестве размываемых материалов на моделях применяют дробленый шлак с объемным весом 1,7—1,8 г/см³; молотый антрацит с объемным весом 1,35 г/см³; реже, ввиду их высокой стоимости, молотый пластик в виде порошка с объемным весом 1,1—1,2 г/см³ и молотый пластик гелионит с объемным весом 1,03 г/см³. На модели р. Арканзас был использован антрацит.

В настоящее время эта же самая модель используется как жесткая для исследований условий судоходства на подходах к шлюзам.

Другим примером являются модельные исследования шлюзов и плотин на р. Огайо. На жесткой модели в масштабе 1 : 120 воспроизведен участок р. Огайо длиной 5 км с главным и вспомогательным шлюзами. Здесь изучалось расположение шлюзов, условия проводки через них судов и барж, режим потока на подходах к шлюзам и за ними.

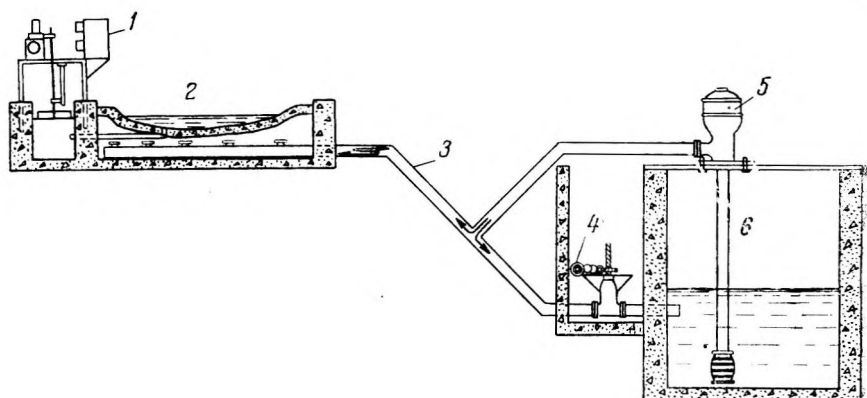


Рис. 22. Приливообразующая установка

1-регулятор прилива и записывающий прибор; 2- модель; 3-главный водовод; 4—автоматический возвратный клапан; 5-насос; 6—отстойник.

В настоящее время исследования закончены. Они показали, что условия проводки судов через шлюзы вполне удовлетворительные. Незначительные изменения были внесены лишь в конструкцию вспомогательного шлюза.

По второй проблеме — заносимость и заилиение портов, гаваней, морских каналов и устьев рек — хорошим примером служат модельные исследования р. Гудзон на участке впадения ее в Нью-Йоркскую гавань. Для поддержания условий судоходства в устье р. Гудзон требуются ежегодно большие затраты из-за значительной заносимости порта. Решено было с помощью модельных исследований установить причину такой быстрой заносимости и найти наиболее эффективные методы борьбы с нею.

Исследования проводились на жесткой модели, построенной в масштабах 1:100 (вертикальный) и 1:1000 (горизонтальный). На модели были выполнены устье р. Гудзон с Нью-Йоркской гаванью, а также все проливы, каналы и притоки реки. Шероховатость моделировалась вертикальными металлическими пластинками.

На модели воспроизводились с помощью специальной приливообразующей установки не только процессы прилива и отлива (рис. 22), но и состав воды: в океанской части модели — соленая вода, в р. Гудзон — пресная.

В результате исследований было установлено, что причиной высокой заносимости Нью-Йоркской гавани является более быстрое перемешивание придонных (соленых) слоев воды в сравнении с поверхностными слоями. В результате для снижения заносимости рекомендовалось либо установить в определенных местах несколько ловушек для донных наносов, либо расширить довольно узкие пролеты моста Джорджа Вашингтона, либо то и другое одновременно. Аналогичное исследование и с теми же целями про-

ведено позже на модели участка р. Гудзон между мостом Джорджа Вашингтона и Бэтерн в масштабе 1 : 100 (вертикальный) и 1 : 200 (горизонтальный).

По третьей проблеме — защита берегов и гаваней от морских волн — примером работы могут служить исследования, касающиеся залива Наррагансет. Залив Наррагансет является базой военно-морского флота США на Атлантическом побережье в районе г. Провиденс (севернее Нью-Йорка).

Необходимо было разработать рекомендации по такому расположению защитных сооружений в виде незатопляемых и затопляемых дамб, которое обеспечило бы спокойные условия прохода и отстоя судов в гавани при ураганных волнах (до 8 м) и свободу маневрирования флота как при обычных морских, так и при ураганных волнениях.

Первая модель залива Наррагансет выполнена в масштабах: горизонтальный 1 : 1000, вертикальный 1 : 100.

На модели воспроизведен залив (площадь 4 тыс. км²) вместе с прилегающими районами Атлантического океана. На модели могут быть получены приливные и отливные течения, ураганные волнения, влияние речного потока и ветровое воздействие на залив. Для создания приливных и отливных волн на модели установлен автоматический волнопродуктор. Ураганное волнение воспроизводится ручным волнопродуктором.

Было рассмотрено несколько схем расположения дамб, волно-резов и молов. Изучалась эффективность каждой схемы с точки зрения уменьшения влияния штормовых волн, заносимости гавани и отстоя судов.

Вторая модель залива Наррагансет имеет масштаб 1 : 150 и занимает площадь 2 тыс. м². На ней воспроизведена головная часть гавани с защитной дамбой, которая должна снизить поступление волн в залив со стороны океана. В средней части дамбы оставлен проран для прохода судов.

На модели исследуется как расположение самой дамбы, так и условия прохождения через проран модели авианосца, имеющего в натуре длину 200 м и осадку 11 м, в условиях ураганных и штормовых волн и встречного ветра, скорость которого доходит до 25 м/сек.

Исследования ведутся с помощью самоходной модели авианосца, управляемой по радио. В ходе опытов задается определенная программа проводки модельного судна через проран. Кроме визуального наблюдения, проводка фиксируется на киноплёнку.

Приливообразующая установка модели представляет собой бассейн 10X8X 1,5 м. огражденный с трех сторон и открытый к модели. Над бассейном по рельсам передвигается самоходная тележка с прикрепленным к ней металлическим щитом. При движении щита вода поступает из бассейна на модель, образуя прилив; при

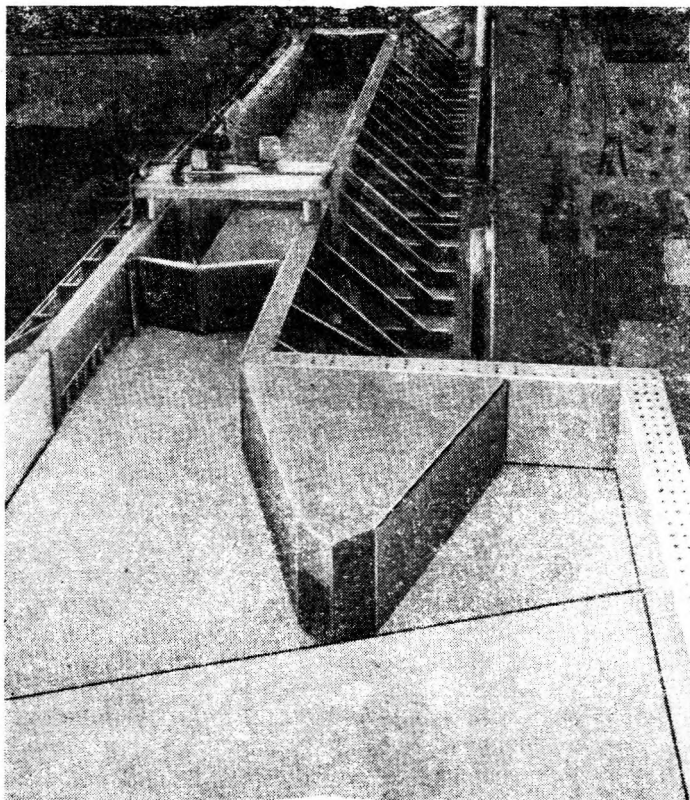


Рис. 23. Модель шлюза.

движении в обратную сторону уровень воды на модели снижается, образуя отлив.

Для воспроизведения ветра и ураганных волн применяются вентиляторы и ручные волнопродукторы.

Интересным примером по третьей проблеме является также исследование на модели гавани Буффало на озере Эри. С помощью жесткой модели, выполненной в масштабе 1 : 125, были выбраны защитные сооружения для новой трассы подводящего судоходного канала. Исследовались вопросы влияния этих защитных сооружений на волнение в гавани.

На модели была воспроизведена территория, имеющаяся в натуре площадью приблизительно 35 км^2 с гаванью и прилегающими участками озера, на которых моделировались штормовые волны любого направления. В результате исследований было установлено, что волнолом длиной 550 м, расположенный в 760 м от старого

волнолома с северной стороны канала, обеспечит надежную защиту гавани от воздействия штормовых волн.

По четвертой проблеме- гидравлика гидротехнических сооружений — все исследования сосредоточены в Лаборатории гидродинамики и включают большое число самых разнообразных работ, в том числе гидравлические исследования шлюзов. Одна из моделей для таких исследований показана на рис. 23.

В качестве примера можно привести модельные исследования шлюзов Нью Поу Лок. Камера этого шлюза в плане 223X23 м при глубине на короле нижней головы 12 м. Напор 6,4 м. При времени наполнения 7,8 мин и времени открытия затворов в галереях наполнения 4 мин максимальная величина продольного усилия составила 5,1 Т, а поперечного — 2,1 Т.

Исследования шлюзов проводились на трех моделях. На первой модели в масштабе 1 : 25 изучалась только картина потока в камере шлюза при различных условиях его эксплуатации.

Большая часть исследований проводилась на второй модели, построенной также в масштабе 1 : 25, но на которой были воспроизведены участки подводящего канала длиной 200 м и отводящего канала длиной 100 м, камера шлюза, распределительная система питания с водоприемными и выпускными отверстиями. На этой модели можно было менять расположение донных галерей, длину шлюза, высоту галерей и режим работы затворов о галереях. Целью исследований была разработка наиболее эффективной системы наполнения и опорожнения камеры шлюза.

Конструкция радиальных затворов для галерей наполнения исследовалась на специальной модели в масштабе 1 : 12.

В настоящее время продолжают исследования с целью добиться хорошей картины потока в подводящем канале.

Значительно меньшую часть в общем объеме работ Станции составляют теоретические исследования. Так, в 1960 г. из 80 работ было лишь 18 теоретических.

Наибольший интерес могут представить следующие работы.

Исследования кавитационных явлений в водных потоках и их воздействие на такие сооружения, как гасители энергии в виде бычков в водобойных колодцах, в пазах для затворов на водосливе и в трубопроводах, в фасонных швах и т. д.

Исследования проводятся на двух кавитационных стендах, первый из которых—для изучения кавитационной эрозии материалов характеризуется размерами щели 1,5X30 мм и скоростью в сжатом сечении до 30 м/сек, второй—для исследования кавитационных воздействий на элементы сооружений — сечением рабочей камеры 30x30 см, скоростью потока в ней до 32 м/сек и вакуумом до 9 м вод. ст.

Общие гидравлические исследования стальных гофрированных труб. Такие трубы находят сейчас широкое применение в американской практике водоснабжения, их гофрированный профиль позволяет уменьшить толщину стенок в 3—4 раза по сравнению с обычными.

Исследования проводились с целью определения коэффициента сопротивления и закона распределения скоростей в потоке, проходящем через гофрированные трубы. Кроме того, ставилась цель определить влияние гофр на величину коэффициента шероховатости труб.

Модели опытных секций труб изготовлялись из фибростекла с гофрами в масштабе 1 : 4, 1 : 8 и 1 : 16. Длина этих секций равнялась 37 м, диаметр между внутренними гребнями гофр 38 см. Гидравлический градиент и потери энергии измерялись с помощью пьезометров, расположенных вдоль секции на расстоянии 1,5 м один от другого. Распределение скоростей в поперечном сечении измерялось тарированными трубками Пито на расстоянии 15, 23 и 30 м от входа в трубу.

Полученные результаты хорошо совпали с результатами аналогичных крупномасштабных исследований других лабораторий (например, с данными Гидравлической лаборатории Бонневиль).

Особые задачи стоят перед Лабораторией гидравлики сооружений, учрежденной в Отделе гидравлики в 1951 г. Лаборатория разрабатывает нормы и стандарты на расчеты больших гидротехнических сооружений, проводит натурные исследования построенных сооружений, анализирует все полученные материалы исследований. Кроме того, в лаборатории конструируются самые различные измерительные приборы. Из наиболее сложных приборов, разработанных здесь, можно отметить приборы для измерения скоростей в потоке придонных слоев воды, оборудование для управления моделями судов со значительного расстояния и различное ультразвуковое оборудование.

В состав лаборатории входит группа гидравлических модельных исследований и группа натуральных исследований.

Группа натуральных исследований проводит полевые исследования гидротехнических сооружений, построенных Корпусом, и в том числе на гидроузлах Чиф Джозеф, Пайн Флэт, Демисон, Бул Шоулз и др. Кроме того, группа оказывает методическую помощь другим организациям Корпуса в проведении полевых исследований, разрабатывает контрольно-измерительную аппаратуру, размещает ее в сооружениях и организует наблюдения за ней.

Группа модельных исследований систематизирует данные натуральных гидравлических характеристик по отдельным сооружениям и сопоставляет их либо с результатами ранее проведенных исследований, либо с результатами серии модельных исследований, проведенных для этой цели в лаборатории.

Отдел грунтов

Отдел грунтов, в состав которого входит целый ряд лабораторий, проводит надзор за проектированием и строительством земляных плотин, возводимых Корпусом инженеров, а после окончания строительства организует систематические наблюдения за состоянием сооружений. При этом особое внимание обращается на определение величины фактической осадки и на ее соответствие проектным предположениям, на положение кривой депрессии, величины порового давления в грунте и пр. Для этого Отдел грунтов проектирует размещение контрольно-измерительной аппаратуры в теле плотины и конструирует специальные приборы.

Отдел бетона

Огромную работу осуществляет Отдел бетона. В решении своей главной задачи, а именно, всемерного снижения стоимости бетона, отдел идет двумя путями: 1) путем уменьшения расхода цемента за счет более тщательного подбора гранулометрического состава заполнителей, улучшения способов укладки бетонной смеси в блоки и применения воздухововлекающих добавок и 2) путем замены части портландцемента другим, более дешевым, вяжущим.

В результате рекомендаций Отдела бетона по улучшению технологического процесса приготовления заполнителя и бетонной смеси и проработке в блоках бетонирования количество цемента в бетоне внутренних частей плотин доведено до 140—167 кг, а в отдельных случаях до 112 кг.

Для частичной замены цемента другими вяжущими отдел провел подробные исследования 16 видов таких материалов: гранулированных доменных шлаков — 2 типа, естественных цементов — 2 типа, зольной пыли ТЭЦ — 4 типа, кальцинированных сланцев — 3 типа, вулканических продуктов (пемза, пепел, туф)—4 типа и не кальцинированного диатомита.

Исследования проводились с 5 типами портландцемента при разных водоцементных отношениях (от 0,8 до 0,5). Всего было составлено и исследовано 160 смесей.

В практике своей исследовательской работы отдел широко применяет γ-лучи.

На опытных полигонах при отдельных строительствах Отдел бетона проводит наблюдения за качеством бетона в натуральных условиях. На полигоне Трит-Айленд исследуется влияние океанской воды на бетон. В зоне действия приливов уложено свыше 1500 образцов бетона, различных по размеру, форме и составу. На полигоне в Мэне исследуется качество бетона с воздухововлекающими добавками при замораживании и оттаивании в естественных условиях и т. д.

Глава третья

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРАВЛИКИ ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ШТАТА АЙОВА

§ 5. ИСТОРИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНСТИТУТА

Первые проекты создания Гидравлической лаборатории при Государственном университете в г. Айова относятся к 1904 г. В 1904 г. университет приобрел у частных лиц участок р. Айова севернее г. Айова-Сити и начал здесь строительство плотины с гидростанцией и в непосредственной близости от них Гидравлической учебной лаборатории. В 1918 г. было построено здание лаборатории площадью 7,3X7,3 м и опытный канал глубиной 3 м.

Первоначально все опыты по гидравлике проводились с канале, а здание служило лишь мастерской для изготовления оборудования.

В 1927 г. было решено расширить лабораторию, и в 1928 г. в новое трехэтажное здание (рис. 24) были перенесены все крупномасштабные модели и учебное оборудование. Тремя годами позже был прорыт второй канал, установлен большой бак с постоянным уровнем воды и циркуляционная система, и вода была подведена ко всем этажам нового здания (рис. 25). В новом помещении были поставлены и проведены многочисленные исследования как теоретические, так и экспериментальные. Эти исследования получили высокую оценку, и в 1931 г. лаборатория была преобразована в Научно-исследовательский институт гидравлических исследований при инженерном факультете университета Айовы.

Научно-исследовательская работа вновь созданного института была значительно расширена, и охватила такие вопросы, как механика жидкости, гидрология и инженерная гидравлика. Большой объем работы сразу же вызвал необходимость расширения производственной базы. В 1932 г. к существовавшему зданию была пристроена центральная башня и южное крыло. Соответственно были расширены каналы и установлены дополнительные насосы и резервуары для аккумуляции воды.

Специальная группа в Отделе бетона проводит работу по изучению растворов и насосного оборудования для строительства цементационных завес на плотинах.

Подвижность растворов в трещинах и порах различных горных пород исследуется на специальном стенде с применением добавок в виде зольной пыли, лесса, вулканического песка и при различной крупности песка.

Кроме указанных работ, Отдел бетона проводит работу по измерению давления в порах бетона при заполнении водохранилища, по изучению влияния пуццолановых добавок на расширение бетона при твердении, по изучению ползучести, водонепроницаемости и долговечности бетона и т. д.

С началом войны 1939—1945 г. институт получает ряд заданий Военно-Морского Флота и Военно-Воздушных Сил США, для выполнения которых в институте размещаются подотдел Корпуса инженеров Армии США, часть отделов Бюро погоды, Геологического управления и Министерства сельского хозяйства. В 1948 г., когда был построен дополнительный корпус, и все организации, за исключением Геологического управления, выехали, было проведено более рациональное перемещение имеющихся экспериментальных установок и размещение многочисленного нового оборудования.

В период 1954—1957 г. один из речных каналов под зданием института был переоборудован в бассейн для испытания моделей судов. Для этого открытая часть канала была подведена под крышу. И в настоящее время Айовский Институт гидравлических исследований располагает вторым по величине бассейном такого типа в стране.

Институт продолжает оставаться составной частью Айовского университета и содержится в основном за счет бюджета последнего. Бюджет института составляет около 250 тыс. долларов, при этом удельный вес договорных работ в нем крайне незначителен.

Во главе института стоит директор (проф. Х. Рауз), который отвечает за подбор научных кадров, общее развитие лабораторий, направление научных исследований, публикацию сообщений, научных докладов, финансовую деятельность и т. д.

В институте работает 40 человек производственного персонала, в том числе 3 профессора, 1 доцент и 2 ассистента. Большая часть инженеров института является одновременно сотрудниками Кафедры гидравлики и гидромеханики инженерного факультета университета. Они проводят отдельные исследования по программе института и руководят учебной работой студентов и научно-исследовательской работой аспирантов.

Постоянный вспомогательный состав института включает 15 человек и состоит из заведующего мастерскими, механиков, квалифицированных рабочих различных специальностей. В случае необходимости для выполнения срочных работ нанимаются временные рабочие.

С 1946 г. при институте существует Совет консультантов, в состав которого входят видные ученые и инженеры — представители различных организаций страны, заинтересованных в исследовательских работах института. Срок пребывания в Совете каждого постоянного члена 3 года, таким образом, каждый год одна треть Совета обновляется. В задачу Совета консультантов входит рассмотрение программ исследований и планирование различных научных конференций и сессий.

Совет является совещательным органом при директоре института.

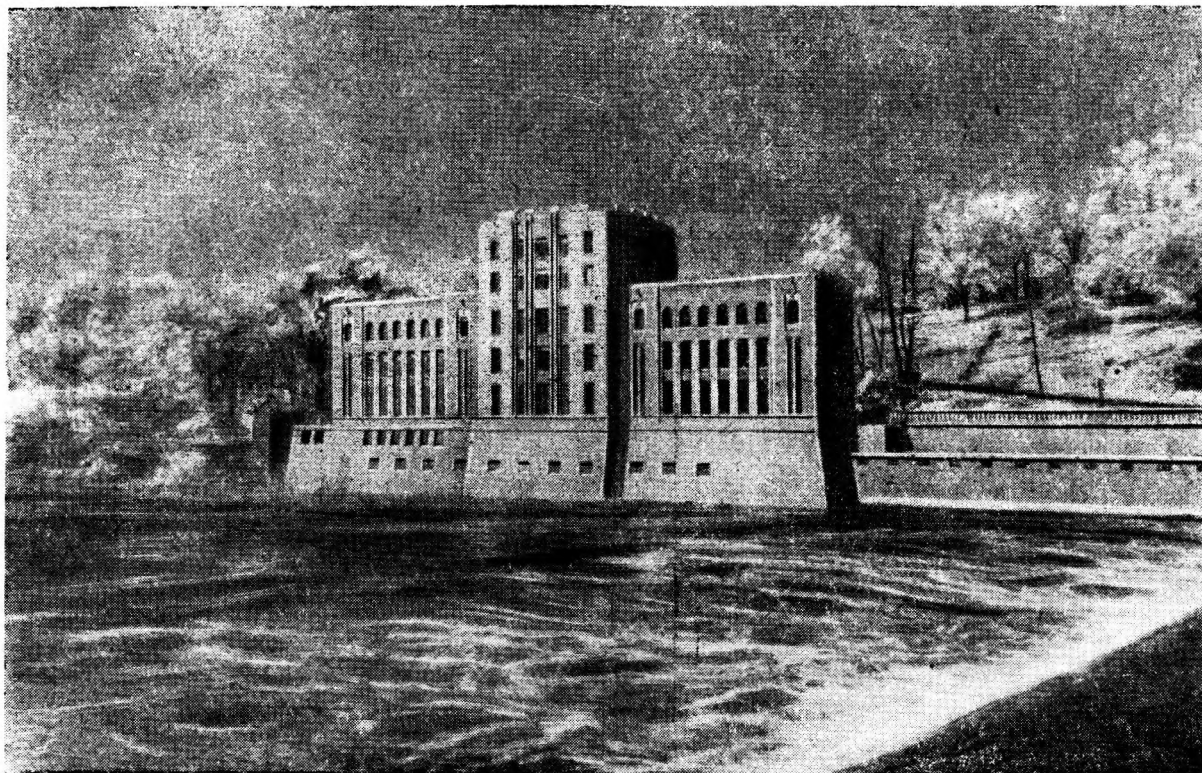


Рис. 24. Здание Научно-исследовательского института гидравлики при Государственном университете штата Айова.

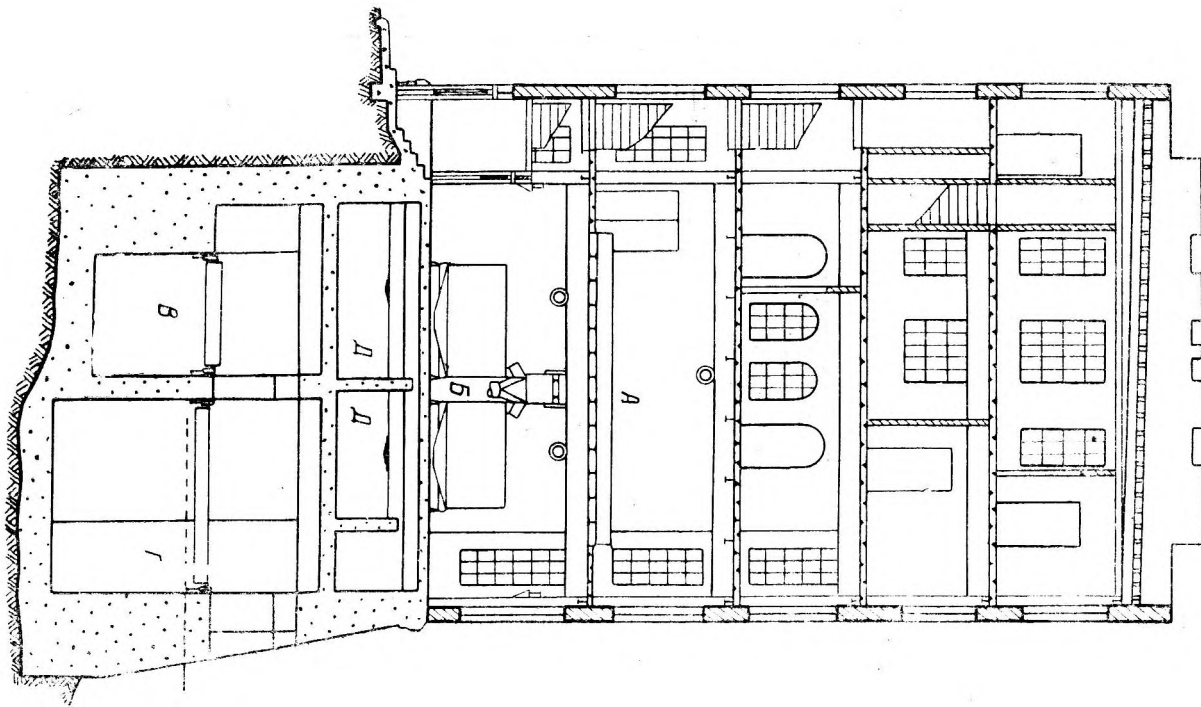


Рис. 25. Поперечный разрез главного корпуса
А- речной лоток; Б - напорные баки; В—опытовый бассейн; Г -канал; Д—резервуар для воды.

§ 6. ЛАБОРАТОРНАЯ БАЗА И ОСНОВНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Два корпуса института расположены на правом берегу р. Айова ниже Университетской плотины (рис. 26).

Главный корпус, законченный в 1933 г., представляет собой прямоугольное в плане здание из стального каркаса с бетонными перекрытиями и с кирпичным и кафельным заполнением. Длина здания 50 м, ширина 14 м. Высота центральной части, где здание имеет 5 этажей, составляет 27 м. Два крыла имеют по 3 этажа. В подвальной части здания имеется еще 2 этажа, где проходят большие речные каналы и установлены резервуары для воды. На рис. 27 приведены планы этажей главного корпуса с указанием стационарного оборудования. Планы двух верхних этажей центральной части здания не приведены. В них размещаются в основном административные помещения.

Кроме административных помещений, в главном корпусе находятся гидравлические установки для научной работы, учебные лаборатории и мастерские.

Второй корпус института — дополнительный—построен в 1948 г. Это одноэтажное здание из стального каркаса и бетонных блоков. Длина корпуса 37 м, ширина 21,8 м, максимальная высота 7,2 м. Вдоль здания проходит большая аэродинамическая труба длиной 23 м и шириной, меняющейся от 5 до 8 м (рис. 28).

В дополнительном корпусе размещены постоянные установки: аэродинамическая труба, несколько лотков и оставлена площадь для временных модельных установок. Кроме того, здесь имеются два помещения для камеральной обработки опытов и небольшая мастерская.

Рядом с институтом на р. Айова еще в 1921 г. был устроен гидрометрический пост, который служит учебным целям. Данные по режиму горизонтов и расходов р. Айова регистрируются на специальном пульте.

Общая стоимость зданий института и оборудования (основного и вспомогательного) составляет около 350 тыс. долларов; из этой суммы стоимость зданий составляет 200 тыс. долларов.

В главном корпусе две системы водоснабжения.

Первая система имеет в подвальном помещении два сообщающихся между собой резервуара, каждый объемом около 150 м³. Вода в резервуары поступает из водопроводной сети и перекачивается из них в баки, установленные на третьем этаже. Общая производительность трех центробежных насосов, предназначенных для этого, составляет 4,2 м³/сек при высоте подъема воды 15 м.

Два бака на третьем этаже, каждый площадью 32,5 м², снабжены серией холостых водосбросов общей длиной по гребню 212 м, благодаря которым в баках поддерживается постоянный уровень. Из баков вода самотеком подается на различные экспериментальные установки по трубам диаметром от 50 до 300 мм.

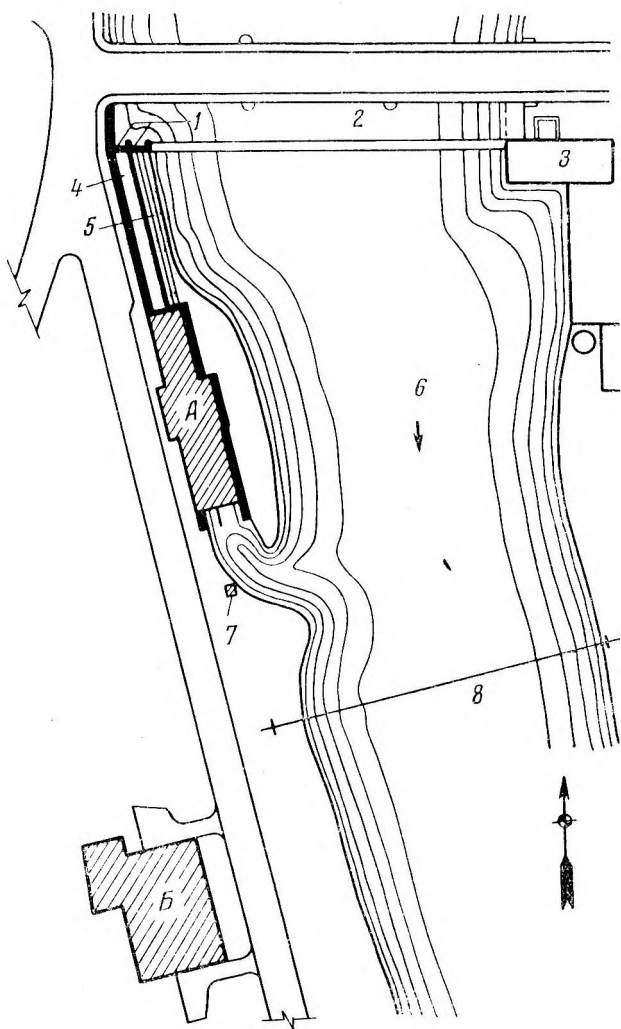


Рис. 26. План расположения зданий и сооружений института

А—главный корпус; Б—вспомогательный корпус; 1—затворы водозабора; 2—Университетская плотина; 3—гидростанция; 4—канал; 5—трубопровод; 6—река Айова; 7—гидрометрический пост; 8—электрокабель.

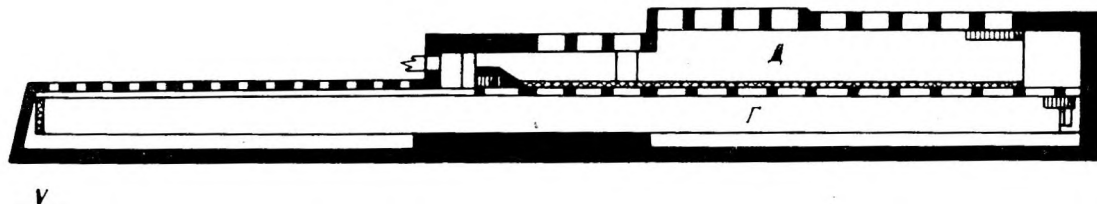
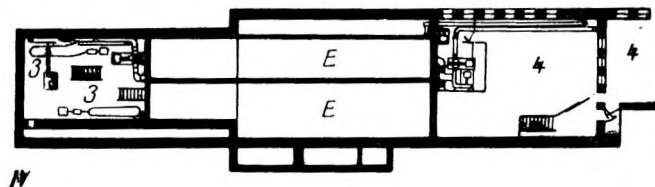
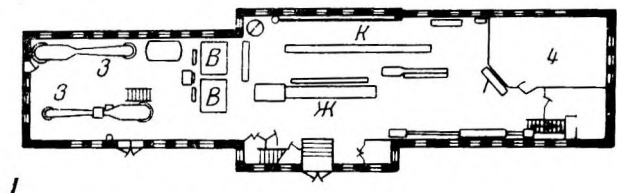
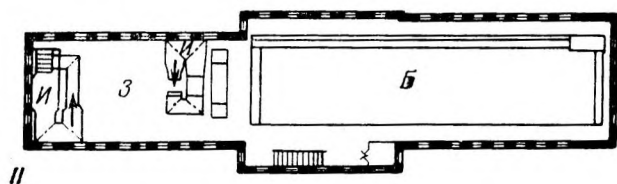


Рис. 27. План помещения главного корпуса по этажам

I—первый этаж; *II*—второй этаж; *III*—третий этаж; *IV* и *V*—подвальные помещения; 1—камеральные помещения; 2—учебная аудитория; 3—площадки для моделей; 4—мастерские; 5—лаборатория по исследованию наносов; А—баки с постоянным уровнем; Б—речной лоток; В—напорные баки; Г—опытный бассейн; Д—канал; Е—резервуар для воды; Ж—лотки для исследований; З—кавитационные установки; И—аэродинамическая установка; К—волновой лоток с переменным уклоном.

Баки соединены между собой, поэтому они могут работать совместно и по отдельности. Точные измерения расходов осуществляются весовым способом.

Вторая система водоснабжения главного корпуса — это два больших канала в подвальном помещении. Один из них, как уже упоминалось, переоборудован в бассейн для испытания моделей судов. Другой канал имеет ширину 4,8 м, глубину 3 м и длину 30 м. Он целиком располагается в пределах здания и питается водой из верхнего бьефа плотины по трубе диаметром 1,2 м, а также частично по ответвлениям труб от первого канала. Суммарный расход бассейна и канала равен 7,0 м³/сек. Регулирование расхода производится при помощи шарнирных затворов, находящихся в конце бассейна и канала. При устройстве каналов была предусмотрена возможность подогрева воды в них паром, что позволяет работать и зимой.

Во втором корпусе осуществлена замкнутая система водоснабжения. Из резервуара 6х9х2 м (108 м³), установленного в северо-восточной части здания, вода подается в бак с постоянным уровнем, на 5,4 м выше уровня пола. Общая производительность насосов составляет здесь 420 л/сек. Из бака вода самотеком поступает к опытным установкам, а отсюда обратно в резервуар по закрытому каналу, огибающему все внутреннее помещение лаборатории.

Как уже упоминалось выше, институт располагает вторым по величине опытовым бассейном в США для испытания моделей су-

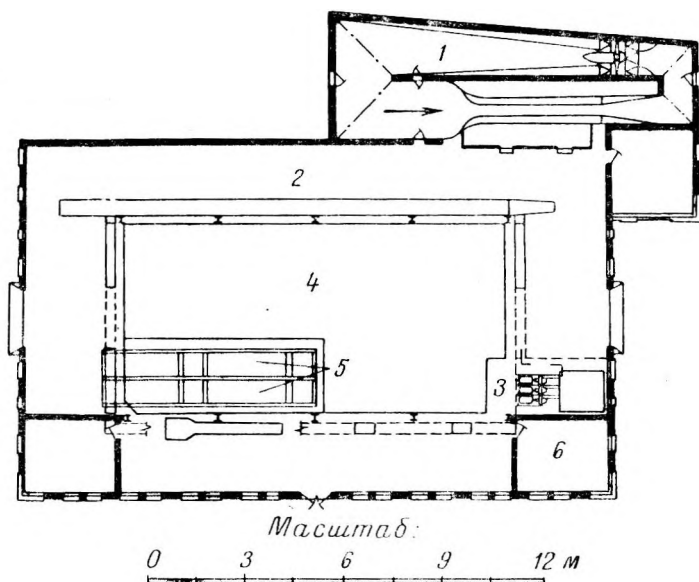


Рис. 28. План дополнительного корпуса

1—аэродинамическая труба; 2—лоток для изучения движения наносов; 3—насосы и бак; 4—площадь для моделей; 5—лотки для изучения размыва; 6—мастерская.

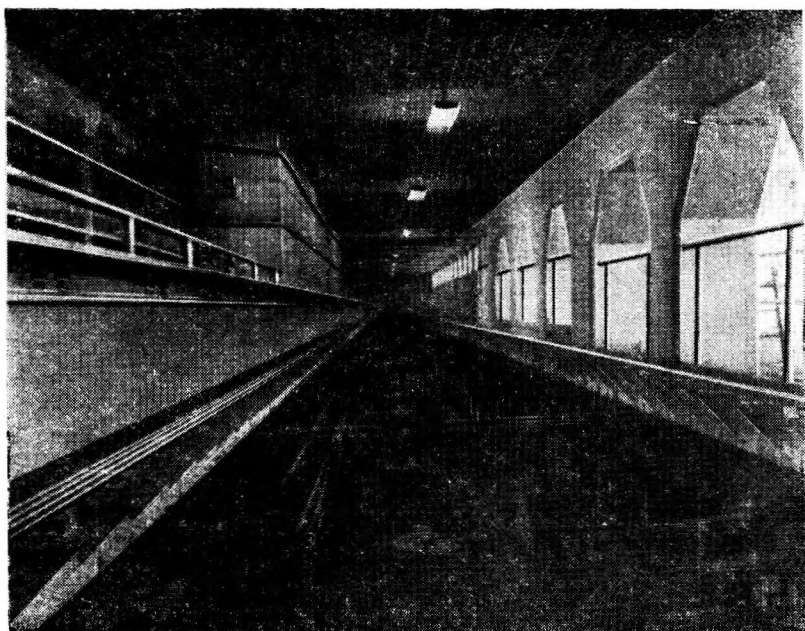


Рис. 29. Опытный бассейн для испытания моделей судов.

дов (рис. 29). Для бассейна использован один из двух речных каналов, проходящих под главным корпусом института, от затвора на Университетской плотине до нижнего конца здания. Размеры бассейна: длина 91 м, ширина 3 м и глубина 3 м. Вдоль бассейна по рельсам перемещается легкая тележка, скорость которой может постепенно меняться от 0,15 до 10 м/сек. Скорость тележки фиксируется электроприборами с высокой точностью. Балансовым динамометром определяется сила, действующая на испытываемую модель.

В средней части сгленки бассейна имеется 4 застекленных отверстия по 1,8x0,9 м, позволяющие вести наблюдения за потоком ниже поверхности воды. Вдоль стенок лотка поставлены волногасители в виде деревянных планок шириной 30 см, наполовину погруженных в воду, а по концам лотка металлические листы-гасители параболических волн. Эффективность гасителей такова, что время между двумя попусками может быть сокращено на 75%.

В институте имеется несколько крупных лотков как стационарных, так и переносных.

Самый большой гидравлический лоток с переменным уклоном и со стеклянными стенками установлен в главном корпусе в 1959 г. (рис. 30). Длина лотка 26 м, ширина 76 см и глубина 3 м.

Характерной особенностью этого лотка является то, что, опираясь лишь одним концом на напорный бак, лоток по всей длине висит на четырех парах стержней, заделанных в верхнее перекрытие. Это позволяет менять уклон лотка от $-0,2$ до $+5\%$. При помощи регулирования затворами в верховой и низовой частях лотка можно получить в лотке поток со скоростями как выше, так и ниже критических. Лоток оборудован тележкой с измерительными приборами. Уровень воды и его изменения с высокой точностью фиксируются специально сконструированным лимниграфом с вибрирующей иглой.

Во втором корпусе установлено 4 стационарных лотка для исследования движения наносов. Самый значительный из этой группы лотков имеет длину 30 м, ширину 0,9 м и глубину 0,45 м. Стенки этого лотка застеклены. С помощью соединительных кулачков наклон его может меняться относительно оси в пределах $\pm 1\%$. Поток в лотке создается двумя параллельно установленными насосами общей производительностью $0,28 \text{ м}^3/\text{сек}$. Различная скорость работы насоса обеспечивает различную скорость потока в лотке. Скорости в трубах, отводящих воду, использованную при проведении эксперимента, достаточно высоки, чтобы при любом расходе обеспечить перемещение наносов.

Уже 20 лет используется в учебных целях лоток для изучения двухразмерного потока длиной 3,6 м, глубиной, меняющейся от 0,9

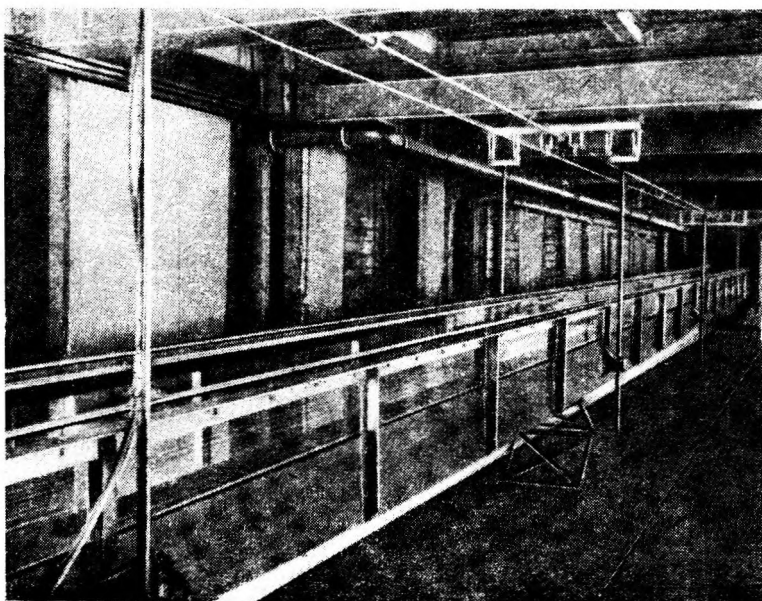


Рис. 30. Главный лоток со стеклянными стенками.

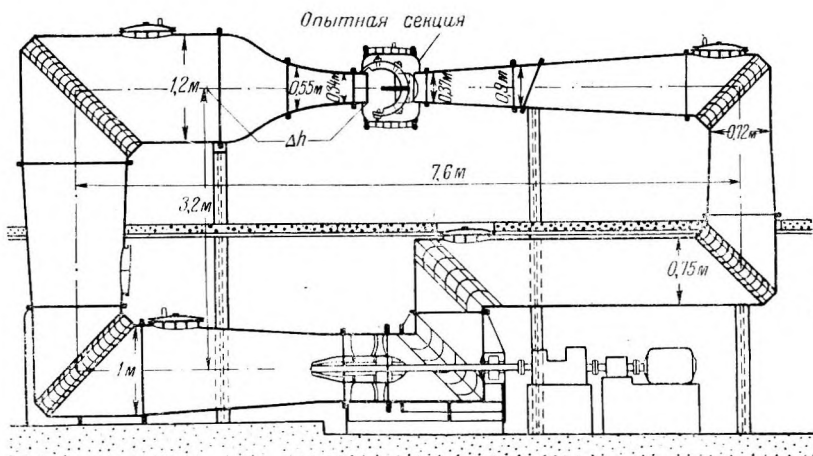


Рис. 31. Продольный разрез кавитационного стенда.

до 0,6 м, и шириной всего 0,3 м. В конструкцию лотка включены наиболее удачно решенные элементы многих ранее использовавшихся лотков подобного типа. Стенка с верхового конца лотка представляет собой стеклянную панель (ширина 0,45 м и высота 0,9 м), продолжением которой являются две панели (ширина 1,5 м и высота 0,6 м). Благодаря стеклянным стенкам обеспечена максимальная визуальность при проведении исследований. Сверху лоток закрыт медным листом, через который проходят 22 пьезометра, отстоящих один от другого на расстояние от 2,5 до 15 см. В трех местах дно лотка разъемное, что позволяет вводить в лоток дополнительные пьезометры или вентиляционные трубки. Благодаря вертикальным пазам между смежными панелями, в лотке можно устанавливать затворы и различные водосливные стенки, последние в этом случае снабжены пьезометрами по поверхности верховой грани. Вдоль стенок лотка передвигается по рельсам каретка с измерительными приборами. Вода подается по трубе диаметром 15 см с коленным измерителем для замера расхода. Напорный бак, имеющий размеры 1 X 1 X 0,6 м, установлен таким образом, что поток успокаивается на сравнительно небольшом участке.

Все описанные и целый ряд более мелких лотков широко используются для изучения теоретических вопросов гидравлики, размыва русел, перемещения наносов, исследования водосливов, а также для учебных целей.

В институте имеются две кавитационные установки (рис. 31), отличающиеся одна от другой лишь конфигурацией поперечного сечения и представляющие собой замкнутые водооборотные системы, используемые для изучения двухмерной и трехмерной кави-

тации в потоке. Наблюдения за потоком ведутся через специальные прямоугольные камеры, вмонтированные в установки (рис. 32). Размеры поперечного сечения каждой камеры $0,6 \times 0,15$ м. Диаметр круглого сечения за камерой постепенно увеличивается от 0,11 до 1,2 м. Внутренние поверхности как одной, так и другой установки покрыты нержавеющей сталью. Скорости потока в пределах камер могут меняться от 2,5 до 10,5 м/сек, давление — от +9 до —9 м вод. ст. Каждая установка обслуживается пропеллерным насосом с мотором мощностью 65 л. с. и расходом до $1 \text{ м}^3/\text{сек}$.

В трубах можно исследовать также кавитационные характеристики затопленной струи. Для этой цели к трубам подсоединен специальный цилиндрический кавитационный бак длиной 3 м и диаметром 1,5 м. Давление в баке может изменяться от +1,4 до —0,9 кг/см². Бак соединен с центробежным насосом производительностью 1436 л/мин при напоре 60 м.

Институт располагает четырьмя аэродинамическими установками. Две из них были установлены в 1943 г. Одна первоначально предназначалась для потока воздуха с небольшими скоростями (0,3–7,5 м/сек) и имела ширину 1,8 м, высоту 1,2 м и длину 6,6 м. В настоящее время поперечное сечение этой трубы уменьшено с соответствующим увеличением скорости потока воздуха. Как правило, труба используется сейчас для исследовательских работ аспирантов. Установка выполнена для сборных металлических панелей, легко приспособляемых к различным требованиям опытов. Движение воздуха создается центробежным вентилятором, который

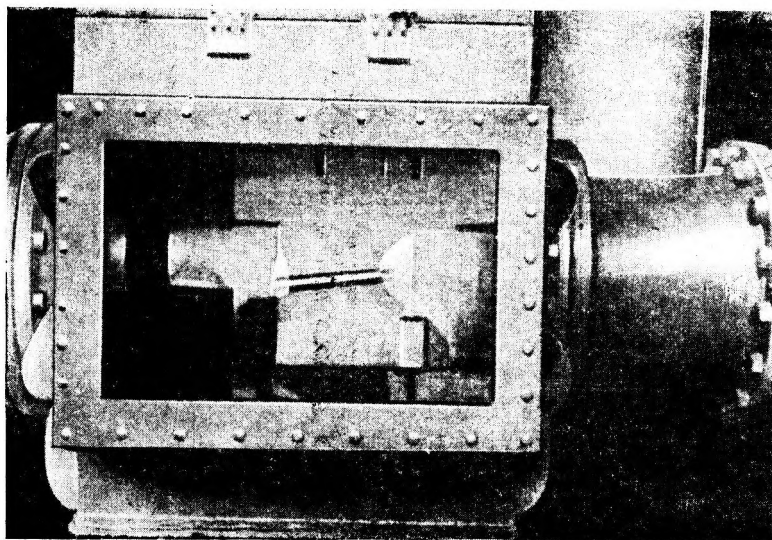


Рис. 32. Наблюдательная камера.

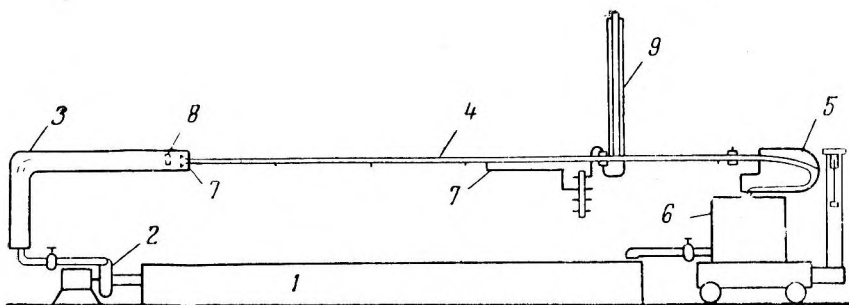


Рис. 33. Схема установки для определения характеристик ламинарного и турбулентного потоков

1- бак; 2—насос; 3—подводящая секция; 4—испытательная трубка; 5—прозрачный кожух; 6—измерительный бак; 7- пьезометры; 8- возбудитель; 9- манометры.

приводится в действие электромотором мощностью 7,5 л. с. Тележка с измерительными приборами перемещается по рельсам, укрепленным в верхнем своде трубы и может подать приборы практически в любую точку потока воздуха.

С 1952 г. в институте работает третья, более мощная, аэродинамическая труба, имеющая длину 9 м и сечение в виде разностороннего восьмиугольника со стороной 1,5 м. Передняя стенка опытной установки застеклена, что облегчает наблюдения. Поток воздуха в трубе создается обычным пропеллером аэроплана с укороченными лопастями. Мощность силовой установки 20 л. с. Максимальная скорость воздушного потока в рабочем сечении 25 м/сек.

Имеется еще четвертая аэродинамическая труба замкнутого типа. У одной из ее секций длиной 3,6 м с сечением площадью 0,27 м² стеклянные стенки. Ротор установки приводится в действие мотором мощностью 7,5 л. с., обеспечивающим скорости воздуха от 3 до 15 м/сек. Подвижные лопасти регулируют скорости потока воздуха и распределение скоростей по поперечному сечению трубы. Несмотря на то, что труба замкнутого типа, для опытов с дымом предусмотрен выпуск загрязненного воздуха и подача свежего через центральную вентиляционную камеру.

Большой интерес представляет установка для изучения ламинарного и турбулентного потоков (рис. 33), предназначавшаяся первоначально лишь для учебных целей; установка уже много лет с успехом используется для исследования важных вопросов, связанных с ламинарным и турбулентным потоками (рис. 34).

Аспиранты пользуются установкой для того, чтобы определить характеристики ламинарного и турбулентного потоков в определенной зоне. По экспериментальным данным находится распределение скоростей, отношение максимальной скорости к средней, потери энергии в том и другом режиме.

Эта установка представляет собой замкнутую систему, в которую входят бак, центробежный насос, подводящая секция, испытательная трубка, прозрачный кожух, в который выбрасывается поток, и измерительный бак. Испытательная медная трубка (диаметр 2 см, длина 4,5 м) связана зубчатой передачей с подводящей секцией (диаметр 15 см), девятью пьезометрами и прозрачным кожухом.

Перед входным отверстием испытательной трубки имеется возбудитель в виде полукруглой медной полоски, который может либо вызывать первоначальные волны, либо не влиять на поток, когда он прижат к стенке подводящей секции. К нижней части трубки присоединяется прозрачный кожух из пластика, который служит для направления струн в измерительный бак, струя может при этом фиксироваться на киноплёнке. В качестве жидкости в установке используется обычное минеральное масло с коэффициентом вязкости, в 10 раз превышающим коэффициент вязкости воды.

Кроме перечисленных установок, институт располагает установками для изучения движения жидкости при расширении и сужении водного и воздушного потоков (рис. 35), бетонной моделью русла шириной 2,5 м и длиной 30 м для изучения движения жидкости на закруглении (рис. 36) и различными небольшими стендами как для научных, так и для учебных целей. Например, модель водослива с прилегающим участком русла в нижнем бьефе, установки для изучения диффузии взвешенных частиц в струе и для определения скорости выпадения наносов, установка для исследования быстро протекающих неустановившихся процессов и т. д.

Для измерения глубины, скорости, давления и расхода воды институт располагает разнообразной измерительной аппаратурой. Она изготавливается для проведения конкретных исследований большей частью в мастерских института. При этом важно отметить, что почти вся аппаратура основана на электронике.

Постоянное применение для измерения скоростей в воздушном и водном потоках находят двухканальные электронные тепловые анемометры и термоэлектрогидрометры с датчиками двух типов: проволочными (линейные и крестообразные) и полупроводниковыми. Проволока из платинированного вольфрама имеет диаметр от 0,02 до 0,0025 мм. Материал полупроводника — германий.

Крестообразный датчик (две проволочки, натянутые взаимно перпендикулярно) позволяет правильно ориентировать его в потоке. Датчики питаются постоянным током, напряжение которого возрастает по мере увеличения скорости течения жидкости, так что температура датчика остается постоянной.

Для измерения статического давления в потоке используются несколько измененные электронные трубки Пито, более прочные и простые в обращении. В носок такой трубки заделана мембрана с наклеенными на нее датчиками сопротивления. Питание датчиков

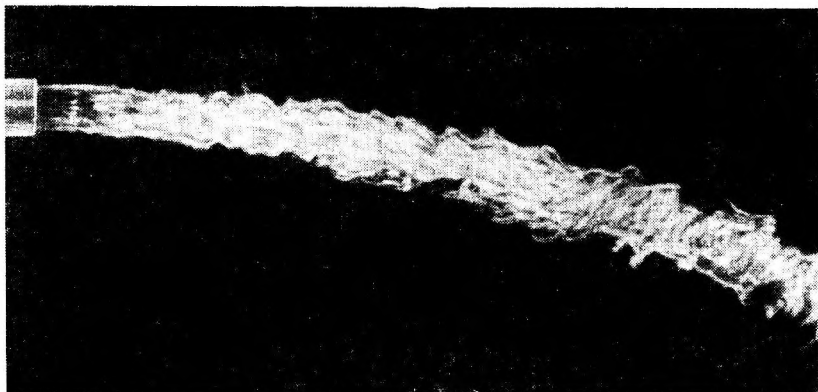


Рис. 34. Струя на установке при ламинарном и турбулентном режимах.

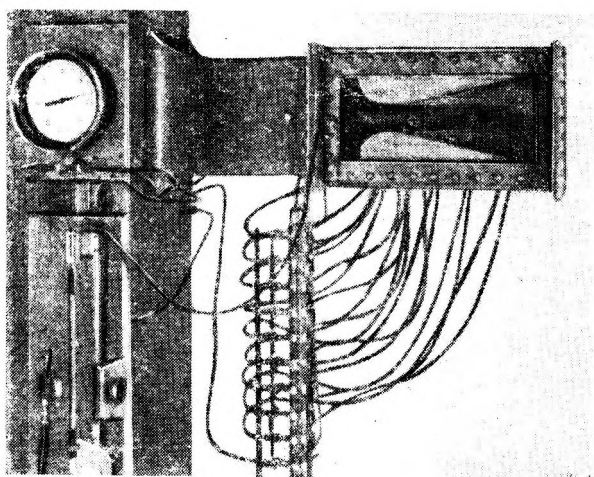


Рис. 35. Установка для изучения движения при расширении и сужении воздушного и водного потоков.

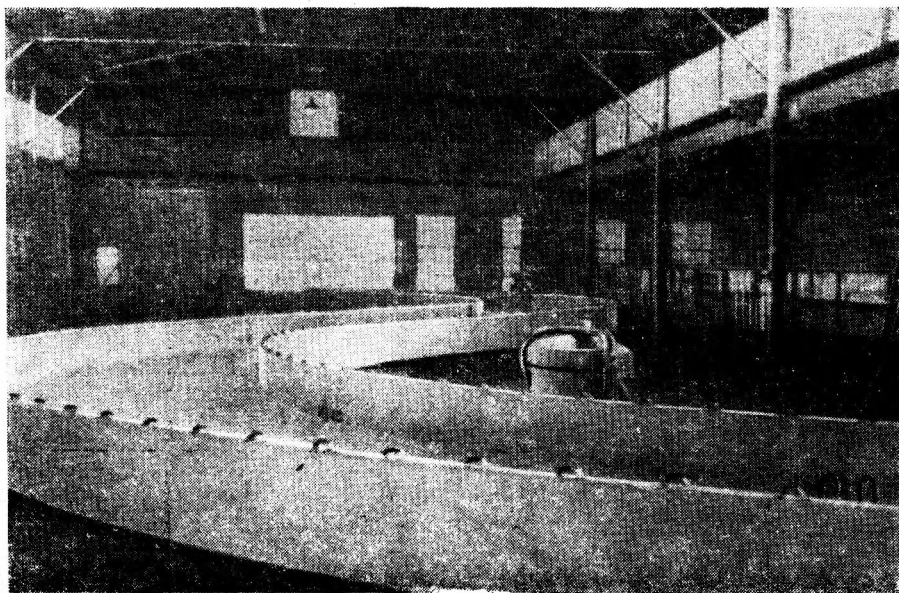


Рис. 36. Бетонный лоток для изучения потоков на закруглении.

производится током с напряжением 30 в при силе тока 1 а; при этом применяются усилители сигналов.

Электрические датчики давления применяются для регистрации не только быстрых изменений давлений в стоячей воде и турбулентном потоке, но и для определения скоростного напора и давления воды в сечении, а также местных давлений в двухмерном потоке.

Сигналы всех этих приборов, а также приборов на каретке лотка для испытания моделей судов и динамометра кавитационной установки передаются на магнитную ленту или непосредственно на электронно-вычислительную машину через специальный аппарат, преобразующий аналого в цифровой код.

Размывы в лотках для перемещения наносов фиксируются наборами электродов, при этом изменения в электрическом сопротивлении соседних электродов непрерывно фиксируются на ленте. Поскольку относительная отметка электродов известна, а сопротивление в электродах, покрытых водой, и в электродах, покрытых наносами, совершенно различно, определяется положение наносов в функции от времени.

Все необходимые вычисления институт проводит в вычислительном центре Айовского университета, где имеются две электронно-вычислительные машины (IBM-7070 и IBM-1401), работающие на полупроводниках. Центр обслуживает учебные и научно-исследовательские институты всего штата Айова. Для обучения студентов программированию имеется еще одна малая машина (IBM-1620).

§7 НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИНСТИТУТА

Институт занимается различными проблемами, связанными с движением жидкости, главным образом в теоретическом плане. Решение практических задач занимает подчиненное положение.

Вся научно-исследовательская работа института протекает по двум основным направлениям.

1. Исследования специальных теоретических проблем по заданию государственных и отдельных частных организаций.

2. Теоретические исследования, связанные с подготовкой научных кадров — докторов наук.

Ниже приводится перечень основных проблем и краткое описание работ, выполнявшихся в институте в последние годы.

Изучение потока в открытых руслах

1. Исследуется пограничный слой в бурном потоке при различной шероховатости русла. Осуществлена большая программа по исследованию пограничных слоев бурного потока, перемещающегося по гладкой и шероховатой плоским поверхностям. Исследования

проводились на одной из аэродинамических установок. В результате, если раньше законы подобия для пограничных слоев турбулентного потока на шероховатой поверхности определялись лишь предположительно, то в ходе исследований этим законам было найдено теоретическое подтверждение. Кроме того, была разработана теория распределения скоростей в турбулентном пограничном слое близ стенки. Найдено более точное распределение скоростей в пограничном слое на гладкой плоской поверхности при нулевом градиенте давления.

В 1960 г. институт начал заниматься исследованиями трехмерного пограничного слоя на эллипсоиде.

2. Исследуется распределение скоростей и турбулентных пульсаций в потоке на излучине жесткой модели русла. Исследования проводятся на модели с восьмикратным искажением масштаба. Соотношение радиуса излучины и ширины русла взято аналогичным для участка р. Миссисипи в натуре.

Исследование кавитации в потоке

1. Закончены исследования распределения давлений в кавитационной зоне и формы этой зоны при систематически изменяющихся пограничных условиях, а также исследования явлений кавитации при обтекании усеченного тела вращения.

2. На специальной кавитационной установке исследуются явления кавитации в вихревой зоне, окружающей затопленную сверхскоростную струю, и распределение кавитационных шумов вдоль струи.

3. Изучаются кавитационные воздействия на различные материалы.

Исследования в области гидрологии

1. Проводятся давно начатые наблюдения за осадками, стоком, уровнем грунтовых вод и растительным покровом в двух микробассейнах рек площадью 8 и 62 км². Цель этих наблюдений — установление связей между отдельными компонентами баланса воды.

Скорости измеряются вертушкой Прайса. Фактические данные по расходам и уровням, а также прогнозы максимальных и минимальных уровней одного из бассейнов публикуются ежегодно, начиная с 1924 г.

2. Составляются прогнозы расходов, их обеспеченности и катастрофических паводков для малых рек, по которым не имеется никаких наблюдений. Для этого используются статистические данные, по рекам-аналогам. В последнее время подобная работа с успехом выполняется также для средних и крупных рек.

3. Проводятся наблюдения за фильтрацией воды из русла (рр. Омаха, Миссури и др.) путем устройства специальных береговых колодцев. Полученные данные используются для расчета и прогнозирования уровней грунтовых вод в прилегающих районах.

Исследование струи и кильватерного следа

Большая часть этих исследований проводилась в аэродинамической трубе с потоком воздуха, так как воздушная среда требует при исследованиях более простой опытной аппаратуры и менее сложных измерений. При этом было установлено, что потоком воздуха можно с успехом моделировать даже водный поток со свободной поверхностью. В аэродинамической трубе исследовались:

а) распределение скоростей, давления и турбулентности в зонах от точки отделения струн из-за резкого изменения сечения струи и до точки, где образуются устойчивые вихри вследствие различных нарушений пограничного слоя;

б) развитие турбулентности в резко расширяющемся следе за телом, представляющем собой поставленную перпендикулярно движению стенку, и за струей, поступающей в поток под прямым углом;

в) затухание турбулентности в кильватерном следе с нулевым моментом; это исследование проводилось в лотке на модели судна длиной 30 см с использованием анемометра;

г) распределение средних и турбулентных скоростей и давления в следе за асимметричным обтекаемым телом для условий нулевого потока;

д) распределение средних скоростей и давления в потоке близ кольцевой струи при различных ее направлениях.

Исследования по гидромеханике корабля

Исследования поставлены для определения законов, которым подчиняются силы, воздействующие на судно, а также для изучения качки корабля в условиях спокойного и неспокойного моря.

Предметом исследования являются:

а) присоединенная масса в условиях плоской и трехмерной задачи (колебания цилиндра и жесткого удлиненного эллипсоида);

б) качка корабля с учетом влияния волнения на уменьшение качки;

в) затухание волны за серией вращающихся цилиндров;

г) скорости и их пульсация в следе за вращающимся телом,

д) сопротивление судна и закон распределения скоростей в следе судна;

е) поведение крыла вблизи свободной поверхности с определением точек отрыва потока и величины сопротивления.

Изучение движения наносов в потоке, местные размывы и отложения наносов

Такие исследования проводятся в институте уже давно и носят в основном качественный характер, поскольку при проведении работ на моделях наносы не моделируются.

Среди выполненных работ по этой проблеме можно отметить следующие.

В области перемещения наносов в открытых руслах

1. Экспериментальное исследование перемещения в лотке песка крупностью 0,01—0,04 мм. На основе измерения общего количества наносов и взвешенной их части была выведена эмпирическая формула для расчета общего количества наносов.

2. Определено количество наносов, перемещающихся в извилистых руслах различной кривизны. Исследования проводились в лотке, ось которого имела радиус кривизны 12 м. В опытах был использован песок с фракцией 0,58—1,6 мм.

В области местных размывов и отложения наносов

1. Проведены модельные исследования размыва в условиях равновесного движения наносов при различной форме бычков и береговых устоев и различном расположении их в плане. В результате были разработаны критерии для проектирования последних и способы снижения размывов.

2. Продолжено изучение скоростей оседания твердых частиц сферической и других форм (при этом учитывалось влияние конфигурации русла), концентрации твердых частиц и колебаний жидкости на скорость оседания частиц.

3. Изучалась диффузия взвешенных частиц в потоке, влияние этих частиц на механизм перемешивания.

Исследования стратифицированного потока

Первые исследования института в области стратифицированного потока относятся к периоду Второй мировой войны.

В настоящее время исследования проводятся достаточно широко и основываются на аналогии стратифицированного потока и хорошо известного водного потока со свободной поверхностью.

Исследованы:

- а) критические режимы стратифицированного потока;
- б) устойчивость и неустойчивость поверхности раздела;
- в) перемешивание на поверхности раздела стратифицированного потока, вызываемое турбулентностью в одном из слоев.

Толщина зоны перемешивания и скорость передачи массы через поверхность раздела исследуются в потоке с изменяющимися числами Фруда и Рейнольдса.

Специальные исследования

1. Изучение распределения скоростей в кольцевом зазоре в момент остановки двух насосных цилиндров, вращающихся с одинаковой окружной скоростью.
2. Теоретические исследования двумерного потока при истечении из водовода под действием силы тяжести. Задача решается для идеальной жидкости без учета сопротивления воздуха.
3. Изучение закономерности падения отдельного шарика (диаметр 1,2 мм, объемный вес от 1,04 до 1,7) в вертикально колеблющемся и в неподвижном цилиндрах с водой. Опытами установлено, что в первом случае скорость падения шарика значительно больше.
4. Изучение неустановившегося потока жидкости, проходящего через сопло; определение качественных характеристик.

Публикация работ

Начиная с 1939 г., через каждые 3 года в Айова-Сити проводятся гидравлические конференции, на которые обычно собираются до 200 инженеров и ученых почти всех штатов страны. Труды конференций регулярно издавались отдельными томами.

Институт не осуществляет систематического издания своих работ, а все результаты исследований публикует в различных технических и научных журналах как в США, так и за рубежом. Статьи, слишком большие для публикации в журналах, печатаются либо в специальных технических выпусках, либо в бюллетенях, выпускаемых периодически. В исключительных случаях институт ограничивается представлением в заинтересованную организацию машинописных тезисов или полного отчета по выполненным исследованиям.

В 1946 г. непосредственно институтом была издана брошюра с описанием организационной структуры, материальной базы и деятельности Научно-исследовательского института гидравлики университета Айовы (Бюллетень № 30).

Кроме того, институт осуществил издание книги «История гидравлики» и позже учебника «Повышенный курс механики жидкости», которые пользуются высоким спросом у специалистов. Полученные от продажи книг средства идут на пополнение коллекции книг университетской библиотеки по истории гидравлики. Эта коллекция насчитывает в настоящее время около 250 томов на 5 языках и представляет собой большую ценность.

Институт выполняет по договору различные исследовательские работы для государственных организаций, при этом большой объем работы проводится в институте непосредственно с участием представителей этих организаций.

Институт всемерно расширяет такое сотрудничество, поскольку работы, выполненные по договорам и при участии самых различных специалистов, способствуют повышению квалификации всех участвующих в работе.

При осуществлении работ по тому или иному договору несколькими организациями одновременно институт часто выполняет координирующую роль.

В сотрудничестве с Научно-исследовательским институтом гидравлики университета Айовы работают Геологическая служба США, Бюро погоды, Инженерный департамент Министерства сельского хозяйства и Департамент дорог.

Г л а в а ч е т в е р т а я

ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОДИНАМИКИ МАССАЧУСЕТСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА (г. МАССАЧУСЕТС)

§ 8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОДИНАМИКИ И ЕЕ ОСНОВНОМ ОБОРУДОВАНИИ

Лаборатория гидродинамики при инженерно-строительном факультете Массачусетского технологического института была создана в 1950 г.

Лаборатория предназначена для учебных целей (обучение студентов и подготовка аспирантов), но значительное место в ее деятельности занимают и фундаментальные теоретические исследования многих проблем гидродинамики и гидравлики.

Для лаборатории построено специальное здание в общем комплексе других зданий института (рис. 37). При его проектировании была учтена возможность расширения и надстройки еще двух этажей, поэтому для предупреждения неравномерной осадки в основание всего корпуса уложена железобетонная плита толщиной почти в два метра. Эта плита образует пол подвального помещения, на нее установлены два резервуара для воды, трансформаторы, электропульт. В настоящее время лаборатория размещается в двухэтажном корпусе. На первом этаже расположены главный экспериментальный зал (662 м^2), учебная лаборатория (139 м^2), механическая и модельная мастерские и мастерская электронной измерительной аппаратуры. На втором этаже находятся лекционный зал на 60 человек и большой чертежный зал (разделяющая их стейка может быть в случае необходимости снята), помещения для камеральной работы и библиотека.

В подвальном помещении площадь зала для установки моделей равна 409 м^2 , таким образом, общая площадь для установки моделей составляет почти 1200 м^2 . План помещений лаборатории по этажам приведен на рис. 38.

Штат лаборатории состоит из 35 человек, из них 3 профессора, 3 доцента, 5 ассистентов. Инженерный состав отличается разнообразием своей специализации: инженеры-строители, инженеры-механики, инженеры-электрики, инженеры-химики. Лаборатория вы-

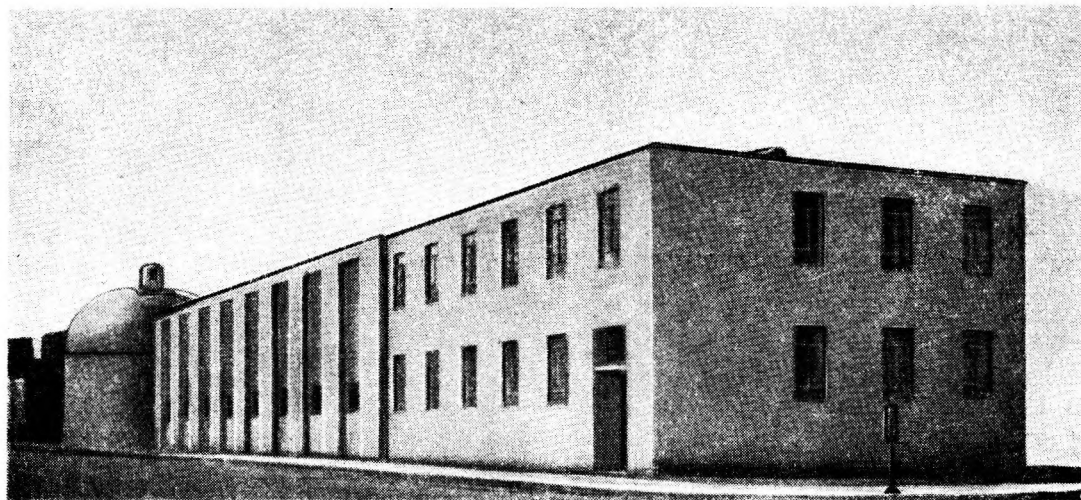


Рис. 37. Внешний вид Лаборатории гидродинамики Массачусетского технологического института.

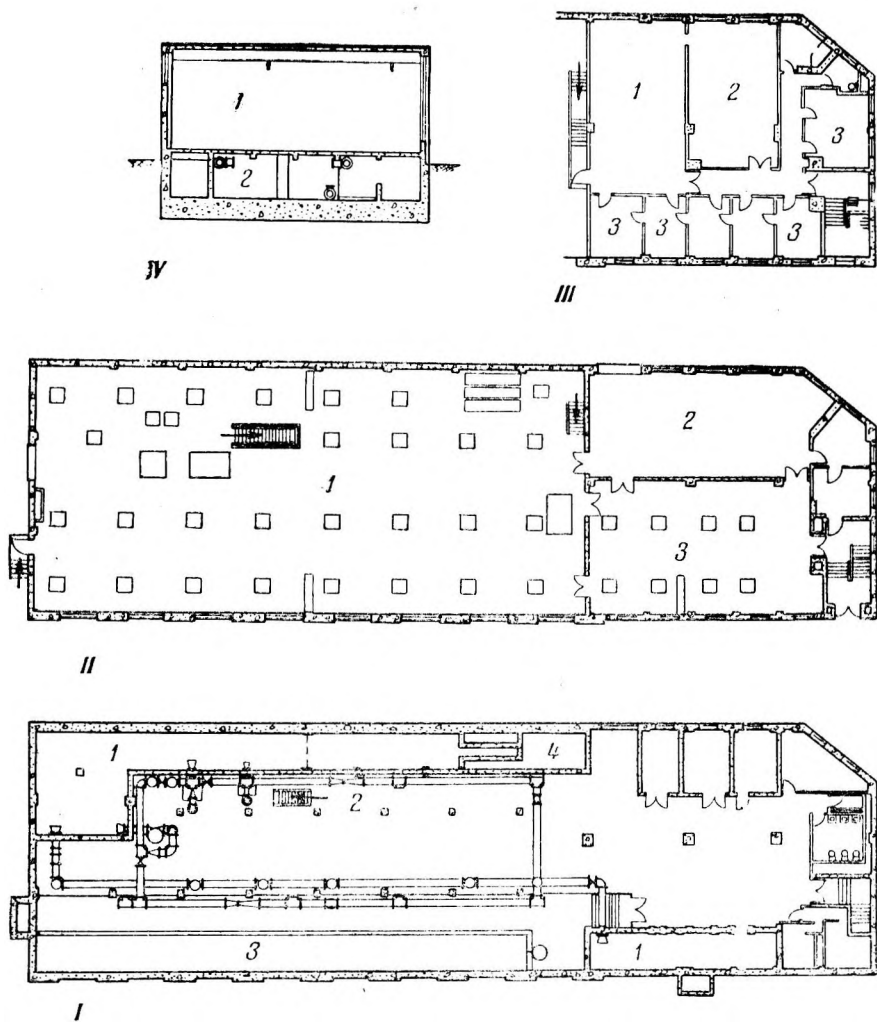


Рис. 38. Поэтажный план лаборатории

I—подвальное помещение: 1—резервуар для воды; 2—измеритель расхода Вентури; 3—лоток для испытания моделей судов; 4—тарировочные баки; *II*—первый этаж: 1—главный зал; 2—механическая мастерская; 3—учебная лаборатория. *III*—второй этаж: 1—чертежная; 2—лекционный зал; 3—камеральные помещения; *IV*—профиль здания: 1—главный зал лаборатории; 2—подвальное помещение.

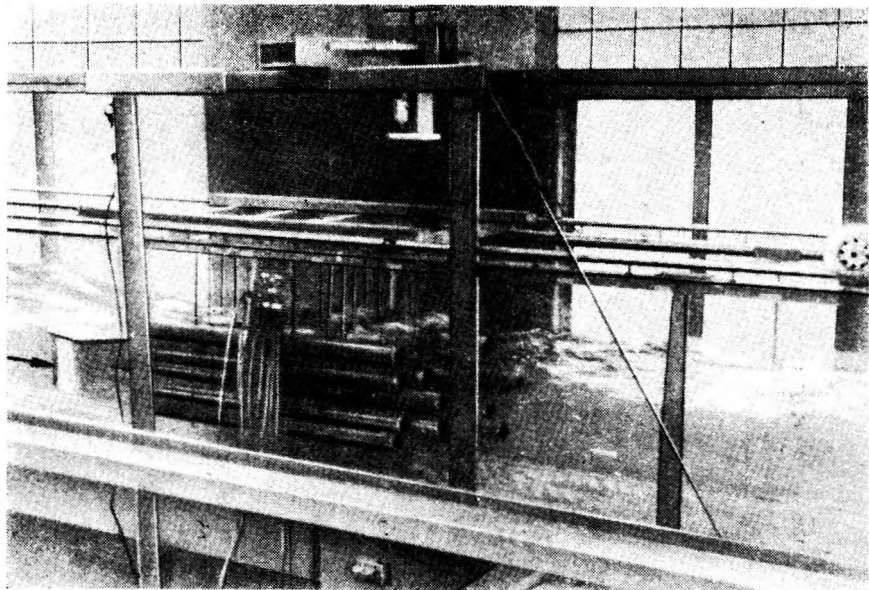


Рис. 39. Волновой лоток.

полняет ежегодно работ на 250 тыс. долларов, в основном за счет бюджета института (80%). Лабораторию в течение длительного времени возглавляет видный гидравлик США, бывший президент (до 1963 г.), а ныне член Совета Международной ассоциации по гидравлическим исследованиям профессор Артур Т. Иппен.

Стационарное оборудование лаборатории сведено к минимуму, это позволяет иметь свободное пространство для устройства временных моделей различных сооружений. Лаборатория оборудована следующими постоянными лотками и бассейнами.

1. Большой лоток со стеклянными стенками и дном. Длина лотка 35 м, ширина 0,8 м, глубина 0,75 м. В головной части лотка установлен волнопродуктор, рабочий щит которого совершает возвратно-поступательное движение. В конце лотка имеется гаситель воли. Конструкция гасителя состоит из металлических сеток, гравия и волосяной металлической стружки. Эта конструкция исключает появление отраженных волн в лотке. Лоток может быть разделен при желании на два участка и использован для двух моделей. В лотке исследуются плоские задачи открытого потока, проблема перемещения наносов волной, потоки различной плотности и др. (рис. 39). Несколько подобных лотков, но меньших размеров, размещено, кроме того, в учебной лаборатории.

2. Волновой бассейн. Квадратный бассейн со сторонами по 15 м и с высотой бортов 0,6 м оборудован передвижным волнопродуктором в виде стального треугольного «ныряла», обеспечивающего высоту волны до 0,16 м. Бассейн предназначен для исследования приливных течений на устьевых участках рек, воздействия волн на морской берег, перемещения наносов вдоль побережья и т. д.

3. Малый кавитационный стенд. Стенд установлен в учебной лаборатории и используется для исследования поворотнолопастных турбин и насосов.

4. В подвальном помещении построен лоток для испытания моделей судов. Длина лотка 33 м, ширина 2,5 м и глубина 1,25 м. Вдоль лотка передвигается тележка для буксировки небольших моделей судов. Размеры лотка ограничивают максимальную длину испытываемых моделей до 1,8 м. Наличие на лотке большого количества приборов дает возможность одному человеку проводить сложные опыты.

5. Малый канал с тележкой для передвижения пластинок и тел различной формы. Канал аналогичен описанному выше большому лотку для испытания моделей судов.

6. Жесткая модель изогнутого участка русла (рис. 40).

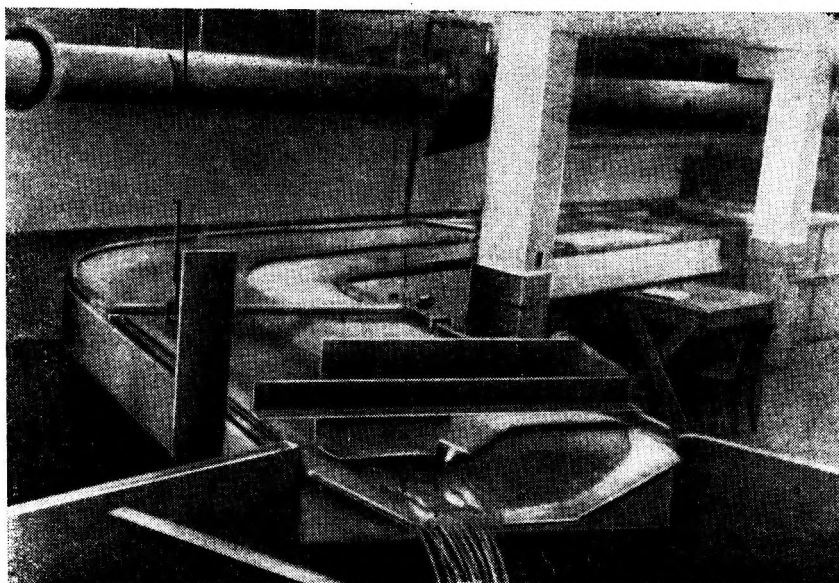


Рис. 40. Жесткая модель излучины русла.

Лаборатория имеет большое количество временных установок и моделей (модель акватории гавани, трубопровод для изучения движения двухфазных потоков, модель центробежного насоса, установка для исследований потоков различной плотности и т. д.). Трубы для изучения движения наносов изготавливаются, как правило, из прозрачного пластика, а в качестве наносов как на открытых моделях, так и в трубах применяются кубики и шарики из пластмассы с объемным весом $1,02-0,035$.

Главный зал оборудован краном грузоподъемностью 2 т.

Кроме обычных измерительных приборов при проведении гидравлических модельных исследований в лаборатории применяется электронная аппаратура. Значительная часть ее изготавливается непосредственно в самой лаборатории.

Измерения скоростей в потоке производятся микровертушкой, передающей импульсы на электронный счетчик. С последним спарен записывающий аппарат, подающий на бумажную ленту непрерывную запись изменений скорости во времени. По аналогии с термоанемометром в лаборатории разработан и проходит испытание термоэлектрометр с полупроводниковым датчиком, позволяющим измерять скорости до $2-3$ см/сек.

Для измерения давлений при натуральных испытаниях напорных водоводов и уравнительных башен применяются датчики сопротивления диаметром 1,2 см, работающие по схеме моста.

В лаборатории создан прибор на пьезокварцевых датчиках для регистрации колебаний давления при изучении явлений кавитации. Прибор может фиксировать явления с импульсом до 1000 колебаний в секунду.

Для наблюдения за поведением частиц твердой фазы при изучении движения двухфазных потоков применяется портативный переносный аппарат, работающий на принципе стробоскопического эффекта. Аппарат имеет регулятор скорости и может быть использован на любом участке трубы.

В Массачусетском технологическом институте имеется два вычислительных центра: основной — с электронной машиной IBM-7090, которая производит до 90 тыс. операций в секунду, и малый — с машиной IBM-1620, которая производит до 50 тыс. операций в секунду.

Лаборатория гидродинамики широко использует эти машины для своих исследований. Кроме того, непосредственно в лаборатории в настоящее время ведется монтаж отдельных узлов электронно-вычислительной машины для решения некоторых задач (корреляция, спектр частот при нестационарных процессах и т.п.). Конструируется также аппаратура для создания регистрирующих приборов, фильтров, определения перемещений и сдвигов во времени, переключателей фазы, множительных устройств, интеграторов и приборов для графической интерпретации результатов опытов.

Обычно гидравлические лаборатории снабжаются водой от естественных источников. Так выбирались площадки для Экспериментальной станции водных путей в Висксбурге в 30-х годах, Гидравлического института в Айове, Гидравлической лаборатории на водопаде Св. Антония в тот же период времени. Однако в настоящее время установлено, что очень крупные опытные установки, рассчитанные на подачу больших расходов воды, оказываются иногда ограниченными в применении. Установлено, что целесообразнее ограничивать размеры моделей. Тогда значительно расширяются возможности их применения, снижается их стоимость, а главное, появляется возможность подавать на опытные установки чистую воду в нужном количестве под определенным давлением по замкнутой системе вне зависимости от естественного стока.

Именно так обеспечивается водоснабжение Лаборатории гидродинамики. В подвальном помещении установлено два бетонных резервуара для воды: один объемом 424 м^3 и другой объемом 102 м^3 . Резервуары могут работать вместе и по отдельности. Подача воды из них в циркуляционную систему осуществляется тремя центробежными насосами общей производительностью 946 л/сек при напоре 12 м . Циркуляционная система смонтирована из гальванизированных труб диаметром 437 мм , подводящих воду практически ко всем участкам зала, и подвешена к потолку подвального помещения. В потолке имеются многочисленные квадратные отверстия, обычно плотно закрытые заглушками, через которые вода подается непосредственно на установки. И использованная вода поступает обратно в резервуары либо через отверстия над ними, либо по возвратной системе труб диаметром 437 мм , проходящей по полу подвального помещения.

§ 9. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛАБОРАТОРИИ

Научно-исследовательская деятельность Лаборатории гидродинамики Массачусетского технологического института разделяется на три направления: подготовка аспирантов, выполнение исследований для обоснования конкретных проектов гидротехнических сооружений (по договорам) и проведение теоретических исследований по гидродинамике и гидравлике потока. Последнее направление занимает около 80% бюджета лаборатории.

В настоящее время лаборатория занята изучением следующих шести проблем.

I. Изучение стратифицированного потока. Выполнены общие исследования потоков с вертикальными градиентами плотности, вызванными либо различной температурой, либо различным химическим составом воды, либо наличием в воде взвешенных частиц. Исследуются вопросы распределения турбулентности стратифицированных потоков применительно к устьевым

участкам рек, подверженным воздействию приливов и отливов со стороны океана, при условии равномерного перемешивания пресной (речной) и соленой (морской) воды.

Исследования ведутся в специальном лотке с размерами 10,0X X0,2X0,7 м, в который с разных концов подается пресная и соленая вода. Повышенная турбулентность в зоне перемешивания создается механически с помощью нескольких широких алюминиевых листов, колеблющихся в вертикальном направлении с амплитудой до 1,2 см и частотой до четырех циклов в секунду. В процессе опыта прежде всего определяется распределение в потоке соли (по концентрации). Для этого вдоль потока специальным зондом берутся пробы при различных скоростях подачи пресной воды и различной степени турбулентности. Степень турбулентности при этом определяется путем измерения скорости рассеивания энергии потока. Полученные в ходе экспериментов первые результаты сравнивались с теоретическими расчетами.

II. Исследования волновых явлений и их воздействия на сооружения. По этой проблеме проводятся следующие работы.

1. Изучение действия морской волны на полусферические сооружения типа эстакад (рис. 41). Цель работы заключалась в определении волновых нагрузок на плавучие металлические фермы, укрепленные стойками на специальных притопленных понтонах, имеющих избыточную плавучесть. Эти фермы для проезда сухопутного транспорта и прокладки нефтепроводов предполагалось установить в открытом море на больших глубинах (до 25—30 м), где устройство эстакад на жестких опорах сопряжено с трудностями.

Устойчивость таких ферм в горизонтальном направлении обеспечивается гибкими связями с дном (цепями и мертвыми якорями), а в вертикальном направлении—теми же связями и избыточной плавучестью понтонов. В ходе исследований определялась необходимая величина избыточной плавучести понтонов, усилия в цепях, перемещения понтонов и ферм, нагрузки на элементы ферм, а также проводилась экспериментальная проверка результатов предварительного расчета.

Измерения исходных параметров волн производились с помощью электрических волномеров; измерения величины усилий в цепях—проволочными датчиками с записью на осциллограф; давления волн — специальными датчиками давления заводского изготовления.

Исследования подтвердили целесообразность устройства сооружений подобного рода и показали реальную возможность их осуществления.

2. Исследования эрозии берегов под воздействием волн имели целью проследить весь процесс переформирования берега, сложенного из несвязных грунтов (пески). При этом устанавливалось

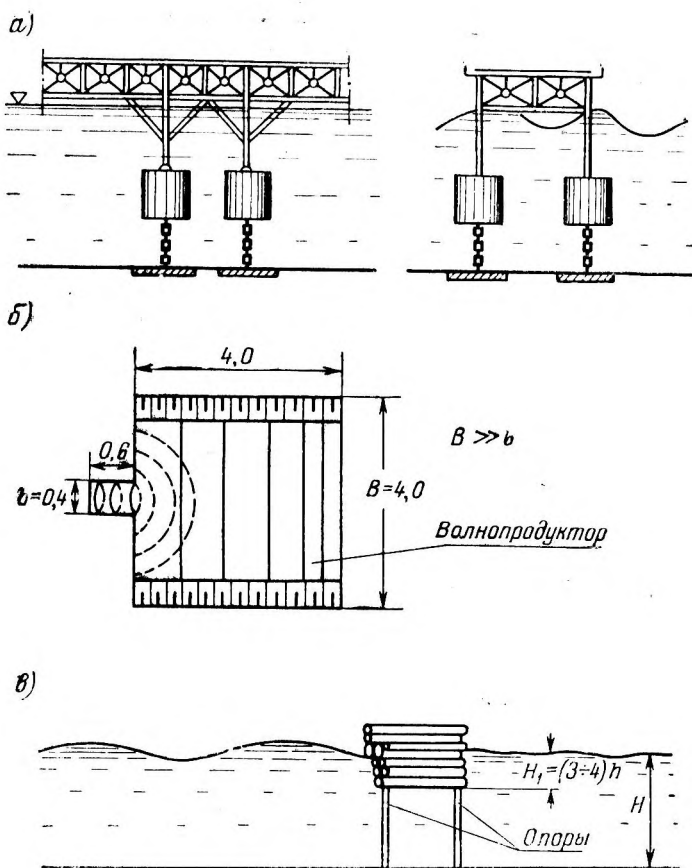


Рис. 41. Исследования взаимодействия морской волны с различными сооружениями

а - с эстакадами; б - с откосами; в - с волнорезами.

распределение скоростей при обрушении волны на откос и при образовании вдоль берега течения, распределение величины давлений при ударе волны, скорости переформирования берега и его конечная форма.

По этой теме были поставлены три серии опытов: первая серия — на модели с жестким дном и береговым откосом при нормальном подходе волн к берегу; вторая серия — на модели с проницаемым дном (сложенным из песка крупностью 0,1 мм) при нормальном подходе волн к берегу и третья серия — на модели с проницаемым дном при подходе волн к берегу под различными углами (от 30 до 45°). Во всех трех сериях наблюдения велись за перемещением отдельного шарика, взвешенного в волновом потоке, при этом устанавливалась лишь качественная картина явления,

несмотря на то, что в серии опытов на жесткой модели вполне применимо моделирование законами Фруда.

3. Исследование явления интерференции волн в условиях сложной формы планового очертания отражающей поверхности, т. е. при входе волн из большого бассейна в малый. Исследование имело конечной целью составление прогноза интенсивности волнения и формы волн в полузамкнутых акваториях портов и естественных бухтах.

В настоящее время для предсказания интенсивности волнения в акваториях портов от проникающих через их входы волн ввиду сложности этого явления существует лишь несколько эмпирических формул.

Исследования по этому вопросу, проводимые в Лаборатории гидродинамики, носят несколько отвлеченный характер, а именно: с целью упрощения задачи формы акваторий в плане были очень схематизированы; малый и большой бассейны были приняты прямоугольной формы в плане, что в действительности встречается крайне редко; размеры опытного бассейна, а следовательно, масштаб исследований, весьма малы для такой задачи (большой бассейн $4,0 \text{ м}^2$ и малый $0,24 \text{ м}^2$). Однако исследователи полагают, что, решив упрощенную задачу, возможно будет перейти к рассмотрению ее при более сложной форме акваторий. Еще преждевременно судить о результатах исследований, так как окончательно завершена только первая серия опытов на модели, имеющей вертикальные стенки, отражение волн от которых оценить значительно легче, чем при откосной форме стенок. Однако уже установлено влияние соотношения размеров бассейнов на интерференцию волн и сделан вывод, что надежные решения можно получить лишь в случаях, когда размеры малого бассейна намного меньше размеров большого бассейна, являющегося источником исходных волн.

В настоящее время осуществляется вторая серия опытов при откосных стенках бассейнов.

4. Изучаются характеристики поперечных волн; при работе волнопродуктора с большой частотой в бассейне можно наблюдать образование стоячих поперечных волн, гребень которых перпендикулярен волнопродуктору. Теория таких волн достаточно хорошо разработана для условий плановой задачи. Проведенные в лаборатории экспериментальные исследования позволили приступить к решению пространственной задачи поперечных волн.

5. Исследовались модели волнолома типа сквозной стенки, составленной из открытых с обоих концов труб. Целью исследований являлась разработка рекомендаций к созданию новой экономической и простой конструкции волнолома, обладающей высокими волногасящими качествами.

Исследования проводятся в лотке с волнопродуктором, имеющим решетчатый фильтр для снятия мелких волн с поверхности больших волн, что улучшает форму исходных волн. Модель выпол-

йна в масштабе 1 :20 н. в. и представляет собой набор стальных труб диаметром 7 см круглого и шестигранного сечений длиной от 0,7 до 1,1 м. Эффект гашения этого устройства исследуется при крутизне волн, меняющейся в пределах от 1 : 12 до 1 : 36.

Интересным результатом исследований является то обстоятельство, что наибольший эффект гашения получен на модели, составленной из труб разной длины. В этом случае коэффициент гашения волн с крутизной 1 : 36 достигает 80%, т. е. в опытах высота волн от 20 см уменьшалась до 4 см.

6. Изучались процессы сортировки песков под действием волн на мелководье. Проведены количественные исследования механизма перемещения песка в прибрежной полосе под действием волн. В результате получено уравнение движения для определения скорости движения донных наносов. В настоящее время делается попытка вывести зависимости для прогнозирования характеристик равновесия для участков плоского песчаного берега.

7. Исследовалось воздействие волн на плавающие затопленные и зашвартованные предметы. Целью исследований является разработка метода расчета сил швартовки и амплитуды колебания затопленного плавающего тела, движение которого вызвано поверхностными волнами. В исследованиях, проведенных с телами эллипсоидальной и сферической формы при различных глубинах их затопления, установлено, что определяющим параметром в назначении усилия швартовки является соотношение между собственной частотой зашвартованного тела и частотой поверхностных волн.

III. Исследование гидродинамических характеристик взвесенесущих потоков в открытых руслах и в трубах различного диаметра. Целью исследований является выяснение влияния твердой фазы с объемным весом частиц, близким к единице, на характеристики турбулентного и ламинарного потоков в условиях наличия и отсутствия сцепления между частицами.

В качестве материала, моделирующего твердую фазу, применяется молотая пластмасса с объемным весом 1,02—1,03.

IV. Изучение эрозии русел, искривленных в плане. Эта тема разрабатывается в двух направлениях.

1. Изучение открытого потока на закруглении русла (жесткая модель трапециoidalного сечения с откосом 1:2 при различных соотношениях расхода воды, форм изгиба, шероховатости русла и направления потока в русле выше закругления). Выявляются характеристики распределения скоростей и турбулентных касательных напряжений в потоке вблизи дна и берегов с целью определения участков русла, наиболее подверженных воздействию потока. Было установлено, в частности, что при закруглении русла в 60° на участке русла несколько ниже закругления у вогнутого берега величина турбулентных касательных напряжений примерно в три раза больше величины касательных напряжений в обычном пря-

молинейном русле, т. е. что этот участок является зоной наиболее вероятных размывов.

Для измерения турбулентных касательных напряжений при этом применялись специально протарированные малогабаритные трубки Пито с записью показаний на осциллограф.

В дальнейшем предполагается изучить влияние деформации русла на изменение характера распределения турбулентных касательных напряжений в потоке.

2. Исследование условий образования дюн и антидюн в аллювиальных руслах на основании изучения структуры пограничного слоя между песчаным дном и потоком жидкости. Определены критические значения чисел Фруда, при которых наблюдается образование в русле дюн и антидюн.

V. Исследование неустановившихся режимов работы ГЭС (гидравлический удар, колебания уровня воды в напорной системе и др.) с использованием электронно-вычислительной машины. Основной целью исследований явились разработка аналитического метода расчета неустановившихся режимов ГЭС с помощью цифровой электронно-вычислительной машины и сопоставление результатов расчета с данными натурных исследований. В результате составлена система из 60 уравнений, разработана программа решения этих уравнений на электронно-вычислительной машине (IBM-7090).

В натуральных условиях на ГЭС Гаррисон на р. Миссури проведены исследования всех механических, электрических и гидравлических характеристик системы в условиях приема, сброса и колебания нагрузки. С этой целью в сооружениях (водоводы, уравнивательная башня и др.) заложено 90 датчиков давления.

VI. Экспериментальные исследования турбулентных струй и явление гидроупругости. В исследовании этого вопроса можно выделить два направления.

1. Изучение влияния очертания стенок трубы на характеристики потока за тонкой пластинкой при наличии поперечной вибрации этой пластинки. Опыты проводились в трубе сечением 19X22 см при скоростях потока до 12 м/сек.

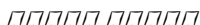
Одновременно изучалось распределение давлений в спутной струе за пластиной с помощью пьезодатчиков и передача энергии как от жидкости к пластине, так и от пластины к жидкости.

2. Изучение движения затопленных тел в потоке со свободной поверхностью. Проводится исследование влияния свободной поверхности потока на турбулентную струю, возникающую за движущимся затопленным телом, на основе измерения скоростей и давления в струе.

Помимо перечисленной выше тематики в лаборатории ведутся работы по смешению пресных и соленых грунтовых вод с целью изучения этого явления для условий океанского побережья. Изу-

чаются кавитационные явления в потоке, а также ведутся исследования гидравлических машин (наносов, помп и др.).

Результаты научно-исследовательских работ, выполняемых в Лаборатории гидродинамики Массачусетского технологического института, публикуются в виде технических отчетов тиражом в 250—300 экземпляров, если работа выполнялась по договорам. Результаты теоретических исследований публикуются в периодических научно-технических журналах или иногда отдельными монографиями. Технические отчеты, так же как и монографии, рассылаются всем заинтересованным организациям.



**ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НА ВОДОПАДЕ
СВ. АНТОНИЯ ПРИ УНИВЕРСИТЕТЕ МИННЕСОТЫ,
В г. МИННЕАПОЛИСЕ**

**§ 10. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ
И ОСНОВНОМ ЛАБОРАТОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Гидравлическая лаборатория на водопаде Св.Антония построена в 1938 г. для Университета Миннесоты на средства федерального правительства, правительства штата, муниципального совета г. Миннеаполиса и пожертвования частных лиц. Лаборатория расположена на острове Хеннепин в центре г. Миннеаполиса непосредственно у водопада Св. Антония (рис. 42 и 43).

Строительство лаборатории заняло 2,5 года. Стоимость строительства всего комплекса лаборатории, включая проведение специальных гидравлических исследований по выбору компоновки лаборатории, составила около 0,5 млн. долларов.

Годовой бюджет лаборатории достигает 500 тыс. долларов: 15% финансирования обеспечивается из бюджета университета и 85%—по договорам с проектными и строительными организациями и компаниями.

Штат лаборатории состоит из 100 человек. В постоянном штате имеется два профессора и два доцента. Значительную часть штата составляют аспиранты.

Местоположение лаборатории чрезвычайно удобно для подачи воды самотеком, создания напора и отвода использованной воды обратно в реку. Действующий напор в 15 м создан порогами река и водосливной плотиной, построенной выше порогов водопада и имеющей в плане подковообразную форму. Горизонт воды в верхнем бьефе благодаря большой длине водосливного фронта плотины (790 м) колеблется незначительно, и подпертый бьеф представляет собой как бы огромный бассейн с постоянным уровнем,

Главный водоприемник лаборатории, берущий воду из реки, и подводящий канал рассчитаны на пропуск расхода до 10 м³/сек. Водоприемник оборудован затворами, управление которыми осуществляется из главного здания. И использованная вода отводится

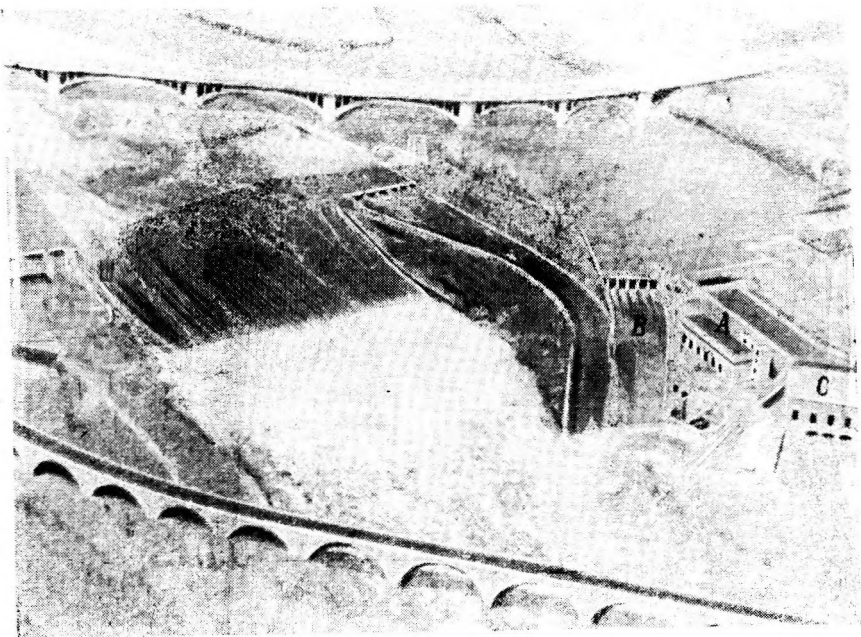


Рис. 42. Общий вид Гидравлической лаборатории на водопаде Св. Антония

A—главный корпус лаборатории; *B*—поверхностный водосброс; *C*—здание ГЭС.

в реку на 300 м ниже лаборатории. В конце отводящего канала поставлен водослив с затворами, регулирующими уровень воды в канале вне зависимости от уровня воды в реке.

В комплексе лаборатории имеется холостой поверхностный водосброс— быстроток, -- предназначенный для исследования аэрации потока.

Небольшие размеры острова Хеннепин обусловили многоэтажность лабораторных корпусов, а крутое падение поверхности острова — ступенчатое расположение зданий лаборатории.

Главный корпус лаборатории представляет собой многоэтажное здание, выполненное из железобетона. Фасад вдоль реки имеет протяженность 90 м и два этажа, а фасад, выходящий на остров,— 38 м и четыре этажа. По внешнему обводу корпус занимает площадь 1200 м².

В главном корпусе размещаются Речная лаборатория, главный экспериментальный зал, зал гидравлических моделей, Лаборатория наносов, Электронная лаборатория, мастерские, библиотека,

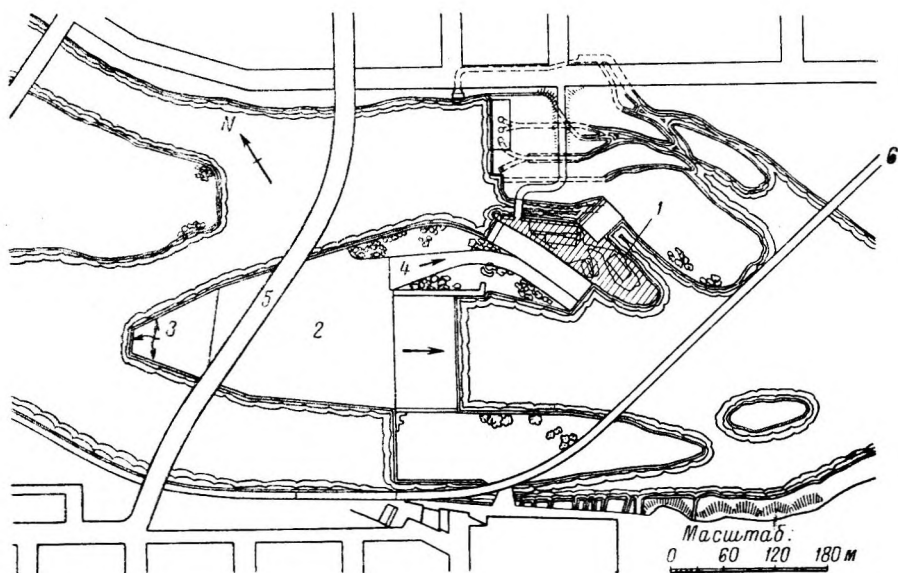


Рис. 43. План расположения Гидравлической лаборатории на водопаде Св. Антония
 1—территория лаборатории; 2—верхняя плотина; 3—водослив; 4—сбросной канал; 5, 6—мосты.

чертежная, дирекция лаборатории, аудитория с демонстрационным залом.

На рис. 44 даны план и разрез главного корпуса.

Этаж, на котором расположены административные помещения, аудитории и водоприемник, имеет площадь $391,4 \text{ м}^2$. На этом этаже, кроме помещений для администрации, находятся библиотека, чертежная, издательство, демонстрационный зал. Непосредственно над демонстрационным залом построена башня, в которой помещен бак, создающий дополнительный напор.

Для демонстрации опытов применяются специально сконструированные передвижные установки с внутренним водооборотом.

Изолированно от административного этажа на том же уровне находится водоприемник с камерой управления. Рядом с водоприемником в специальной шахте установлены два пропеллерных насоса, которые в случае необходимости могут обеспечить на отдельных установках напор до 40 м .

Под административным этажом находятся три этажа, где расположены главный питающий лоток, зал русловых моделей площадью 720 м^2 , зал гидравлических моделей площадью 258 м^2 , Лаборатория наносов, Электронная лаборатория и ряд вспомогательных помещений.

Вода ко всем моделям в главном корпусе поступает от главного питающего канала, проходящего вдоль всего корпуса. Длина лотка 91 м , ширина $2,4 \text{ м}$ и глубина $2,8 \text{ м}$.

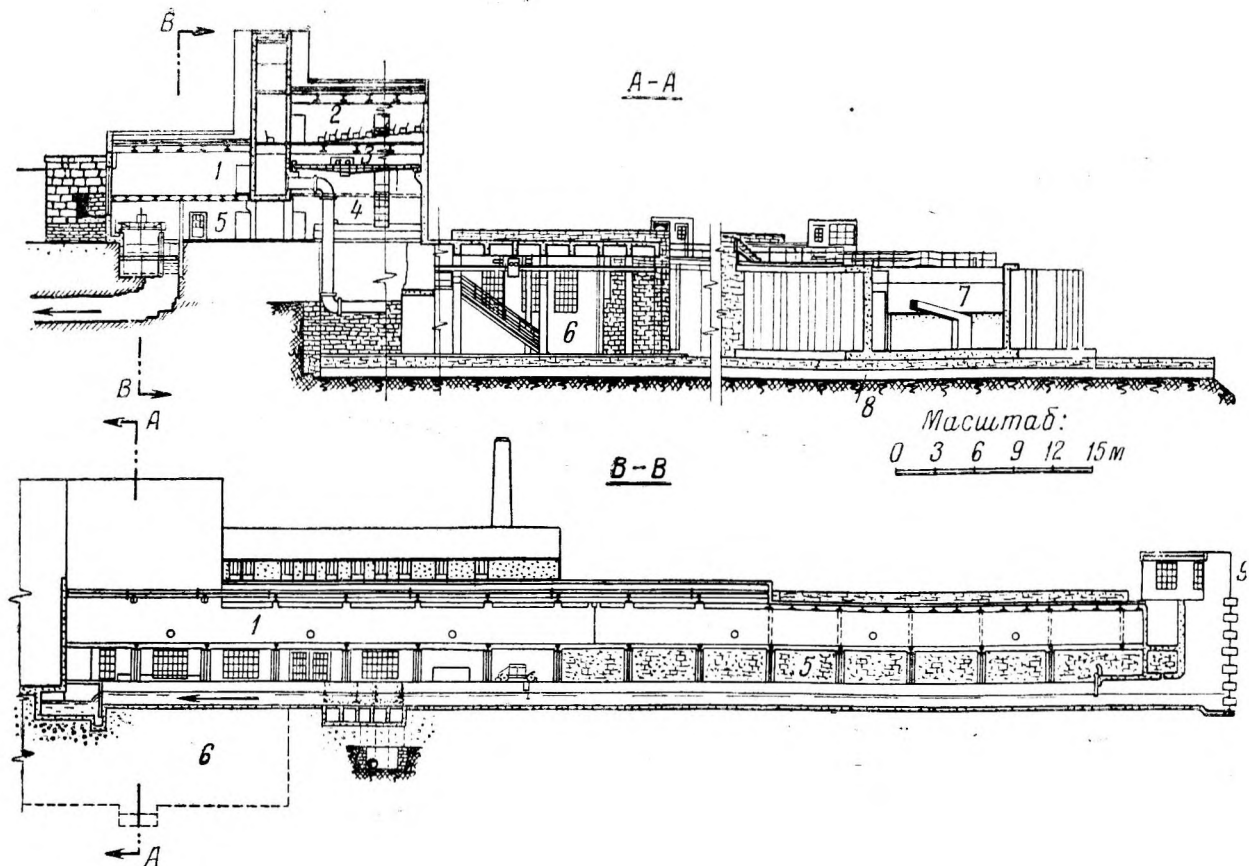


Рис. 44. Гидравлическая лаборатория на водопаде Св. Антония. Продольный и поперечный разрезы
 1—зал речной гидравлики; 2—аудитория; 3—зал моделей гидротехнических сооружений; 4—мастерские; 5—главный модельный зал; 6—Турбинная лаборатория; 7- тарировочный бассейн; 8—отводящий туннель; 9—водоприемник.

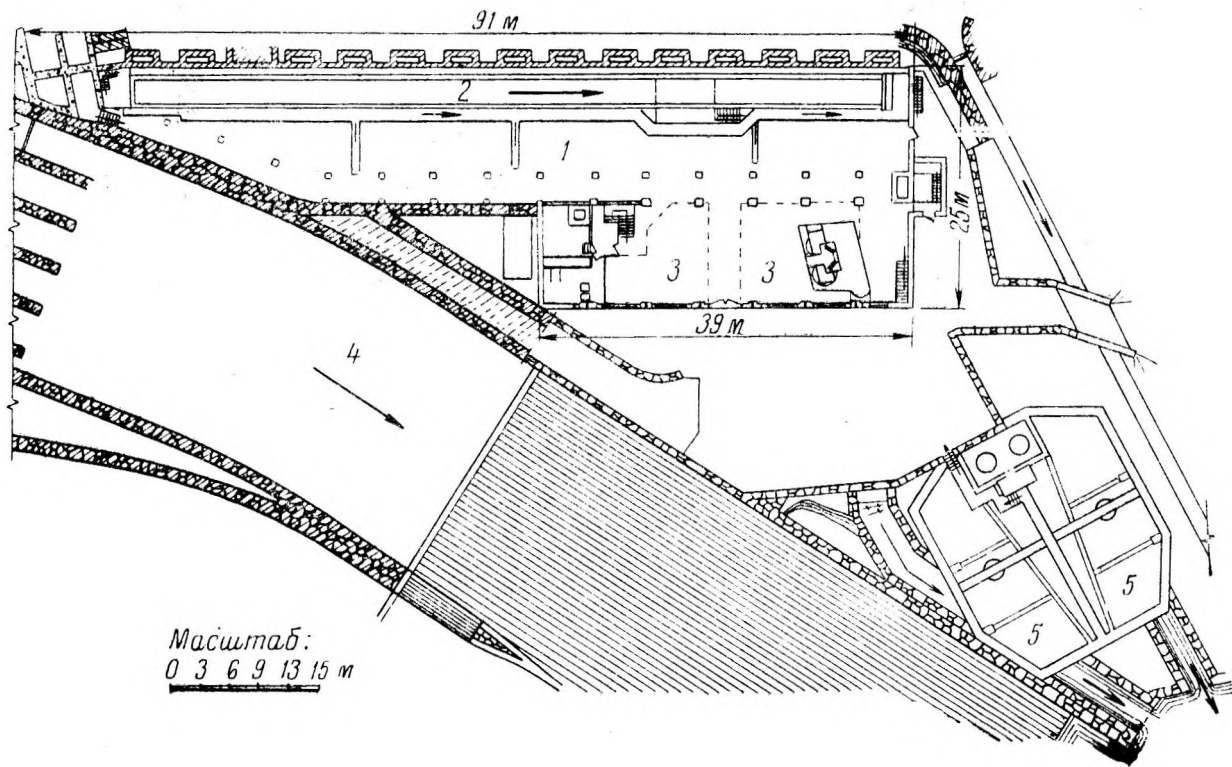


Рис. 45. План главного лабораторного корпуса и прилегающих к нему сооружений
1—лабораторный зал; 2—главный опытный лоток; 3—мастерские; 4—водосброс; 5—объемные водомерные бассейны.

Вода в лотке находится на одном уровне с верхним бьефом реки. В конце лоток сужен. На этом участке проводится тарировка приборов и ставятся опыты по определению гидравлических характеристик различных водомерных устройств.

На уровне главного этажа находится главный экспериментальный зал лаборатории площадью 500 м^2 (рис. 45). В главном зале размещены следующие экспериментальные установки.

1. Опытный бассейн, имеющий длину 81 м , ширину $1,8 \text{ м}$ и глубину $2,7 \text{ м}$ (рис. 46). В бассейне проводятся испытания судов и подводных крыльев, а также исследования воздействия волнений на сооружения. Бассейн снабжен волнопродуктором качающегося типа, позволяющим создавать волны высотой до $0,6 \text{ м}$ и длиной от 2 до 20 м , и тележкой, перемещающейся со скоростью до 8 м/сек . В пределах размещения исследуемых моделей бассейн остеклен. В нижней части бассейна имеется решетчатый гаситель, представляющий собой набор из трех сеток (с промежутками между отдельными сетками 25 мм), наклоненных к горизонту иод углом 15° . При указанной конструкции гасителя гасится до 99% энергии приходящих волн и высота воли уменьшается до 95% .

2. Алюминиевый лоток с остекленными стенками переменного уклона. Длина лотка 15 м , ширина $0,7 \text{ м}$ и высота $0,3 \text{ м}$; уклон лотка может изменяться от 0 до 10% .

3. Металлический лоток размерами $23 \times 0,90 \times 0,4 \text{ м}$.

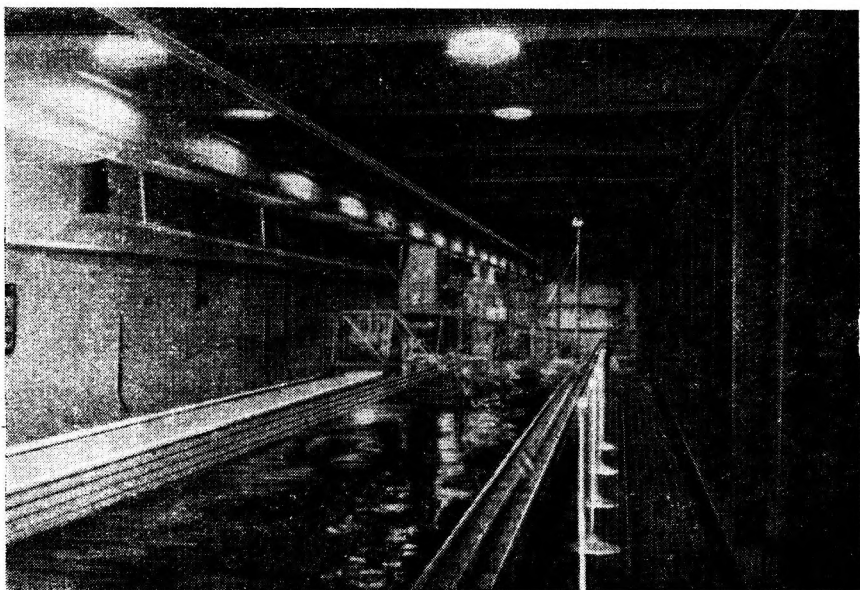


Рис. 46. Опытный бассейн размерами $81 \times 1,8 \times 2,7 \text{ м}$.

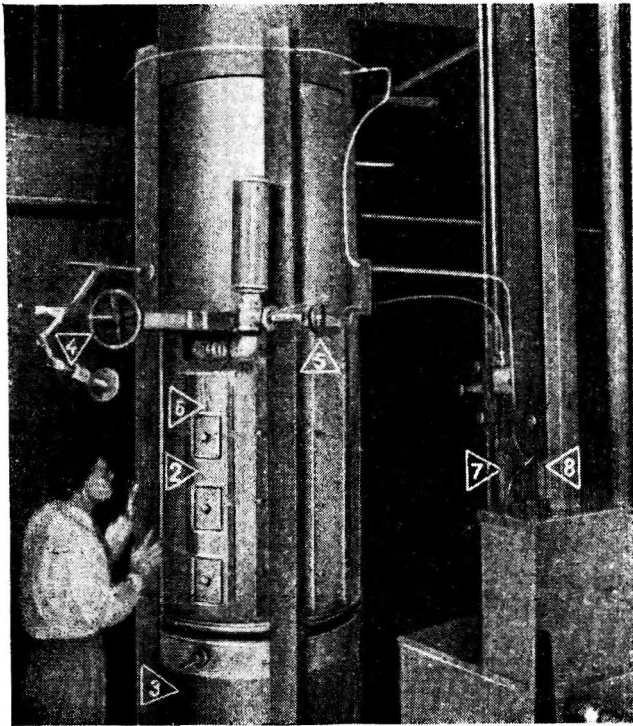


Рис. 47. Кавитационный стенд

1—подводящая труба диаметром 76,2 см; 2—место исследуемой модели; 3—сбросная труба высотой 10 м; 4—регулятор толщины струи; 5—регулятор поступления воздуха; 6—регулятор давления; 7—измеритель скорости; 8—манометр; 9—щит с измерительными приборами.

4. Циркуляционный лоток для исследования транспортирующей способности потоков.

5. Стенд для исследования отстойников.

6. Металлический лоток переменного сечения.

7. Русловая площадка длиной 15 м.

8. Вертикальная кавитационная труба диаметром 0,75 м (рис. 47). В рабочей части камеры трубы могут быть получены скорости потока до 25 м/сек. В трубе проводятся в широких масштабах исследования кавитационных явлений при обтекании потоком различного рода тел.

На этом же этаже находятся мастерские, занимающие площадь около 350 м². Мастерские имеют механический, деревообделочный, кузнечно-прессовый цехи и цех для обработки пластмасс.

Расположенный ниже корпус Турбинной лаборатории имеет в плане форму семиугольника (рис. 48). Площадь лаборатории рав-

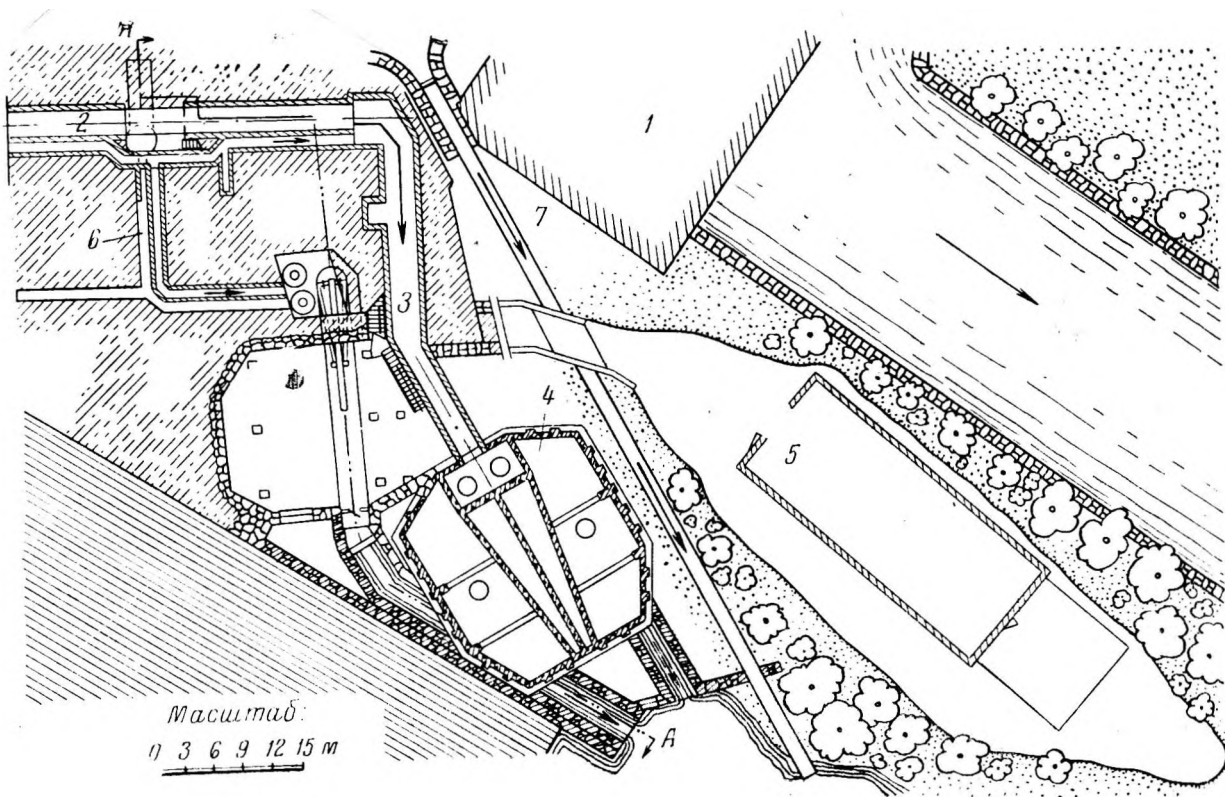


Рис. 48. План Турбинной лаборатории
 1—гидростанция; 2—главный лоток; 3—главный сбросной лоток; 4 - Турбинная лаборатория; 5—вспомогательные лаборатории; 6—сбросной туннель; 7—лоток для сброса шуги и льда.

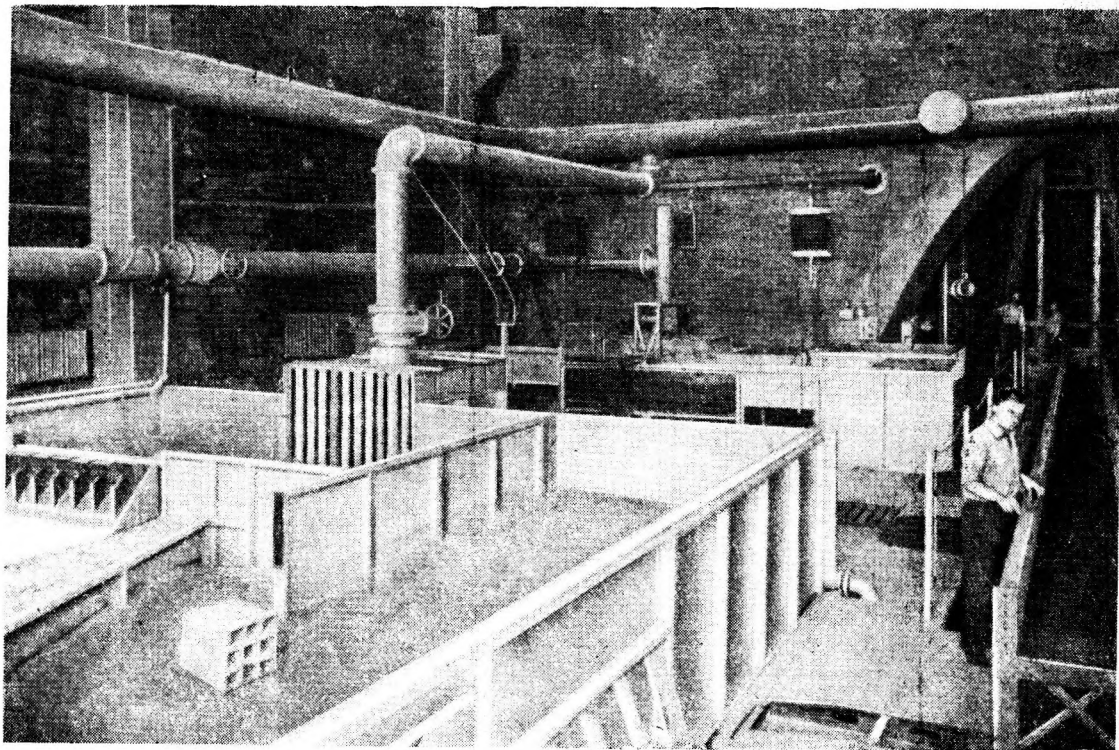


Рис. 49. Общий вид Турбинной лаборатории.

на 420 м². Лаборатория врезана в скалу и имеет лишь одну стену с окнами. Естественный напор подаваемой в лабораторию воды развеей 15 м, но, как уже было отмечено, этот напор может быть повышен до 40 м.

Вода сбрасывается в отводящий канал, расположенный в пределах корпуса. В лаборатории имеется маленькая ГЭС, которая может вырабатывать электроэнергию для нужд всей лаборатории. На рис. 49 показан общий вид Турбинной лаборатории.

В лаборатории имеется уникальный в своем роде лоток для исследования аэрации потока (рис. 49, справа). Лоток имеет длину 15 м, ширину 46 см и глубину 30 см. Угол наклона лотка может меняться от 0 до 90°. В лоток может подаваться расход до 1 м³/сек, при этом скорость в пределах лотка может достигать 15 м/сек. Входное отверстие имеет круглое сечение с направляющими лопатками, что позволяет создать при впуске воды в лоток спокойный характер движения с одинаковой скоростью по всей площади сечения лотка.

Рядом с Турбинной лабораторией расположены два больших водомера-резервуара с полезной емкостью каждого 1000 м³.

За лотком для сброса льда из верхнего бьефа ГЭС расположено одноэтажное здание дополнительной лаборатории площадью 300 м². Кроме того, в настоящее время рядом с входом в административный этаж основного корпуса строится еще одно лабораторное здание каркасного типа.

Из применяемой аппаратуры представляют интерес:

1. Ультразвуковой прибор для записи профиля волны на ленту (эхолот). Датчик и приемник, смонтированные вместе, размещаются над поверхностью воды на высоте около 25 см. Частота датчика 120 периодов в секунду, точность измерения 0,8 мм.

2. Фракциометр для определения гранулометрического состава песчаного грунта, содержащего частицы от 62 мк до 2 мм.

Фракциометр состоит из стеклянной трубки, клапанного механизма и самописца. Распределение частиц по их размерам происходит при падении их в водной среде внутри трубки. По мере накопления наносов в отстойной части вертикальной трубки за верхним уровнем наносов непрерывно следует стрелка индикатора, передвигаемого вручную, и одновременно автоматически наносится кривая распределения размеров зерна по интервалам. По этой кривой с помощью специальной тарировочной шкалы можно определить гранулометрический состав наносов у анализируемой пробы.

3. Специальная аппаратура для исследования количества захватываемого воздуха водным потоком с высокой турбулентностью.

4. Тензометрические датчики заводского изготовления для измерения давления в диапазоне 0 -35 кг/см².

§ 11. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Тематика исследовательских работ Гидравлической лаборатории три Университете Миннесоты определяется теми исследованиями, которые проводит лаборатория в области теоретических проблем механики жидкости, а также практическими запросами гидротехнического строительства как в США, так и в других странах. В последнем случае инициатива выдвижения договорных работ часто исходит от самой лаборатории.

На тематику работ по гидромеханике оказывает влияние и то обстоятельство, что в обязанности лаборатории входит подготовка аспирантов и докторантов по гидравлике и гидромеханике (для обучения студентов начальных курсов в университете имеется специальная гидравлическая лаборатория).

Сотрудники лаборатории принимают активное участие в проведении натуральных исследований эксплуатируемых сооружений, а также работают в качестве консультантов в различных проектных организациях.

В круг вопросов гидравлики и гидромеханики, изучаемых в лаборатории, входят:

1. Аэрация водных потоков.
2. Руслые процессы с освещением задач транспортирования и осаждения наносов в открытых руслах и размывы русел.
3. Гидравлика сооружений. Исследование работы поверхностных и глубинных водосбросов плотин, судоходных шлюзов, рыбоходов и т. д.
4. Воздействие потока на судно в условиях установившегося и неустановившегося режимов потока.
5. Гидравлика напорных систем. Местные потери напора. Гидравлика глубинных затворов.
6. Воздействие потока на гидромеханическое оборудование в условиях высоких скоростей (кавитация, сопротивление и др.).

В соответствии с перечисленными вопросами в лаборатории выполнялись следующие научно-исследовательские работы.

1. Изучение гидравлики сопряжений бьефов и устойчивости русел. Исследования проводились на моделях в масштабе $1 : 100 \div 1 : 300$ н. в. Модели, как правило, без искажения; грунт не моделировался. В результате получалась лишь качественная оценка деформаций с целью сравнения рассматриваемых вариантов. В качестве размываемого материала применялся каменный уголь с объемным весом $1,37—1,40$.

В числе моделей были:

- а) модель канадской плотины в масштабе $1 : 96$ с напором в натуре 65 м ;
- б) модель гидроузла в Пакистане в масштабе $1 : 144$ с напором в натуре 50 м ;

в) модель гидроузла Мангла в масштабе 1 : 100:-1 : 150 с напором в натуре 65 м; исследования проводились два года, общая стоимость исследований 250 тыс. долларов;

г) модель гидроузла Гури в масштабе 1 : 100 и 1 : 300 с напором в натуре 160 м.

2. Изучение гидравлики тоннельного водосброса диаметром 5—6 м и его затвора, расположенного в шахте, для канадской плотины с напором 65 м. В нижнем бьефе водосброса изучаются размеры русла. Масштаб модели 1 : 42.

3. Исследование пропускной способности труб, работающих на малых напорах. Исследуются гладкие и гофрированные трубы с воротниковыми оголовками для трубчатых водосбросов на прудах.

4. Изучение воздействия волн на судно и условий обтекания крыла. Последний вопрос изучается в опытовом бассейне и на кавитационной установке.

5. Исследование судоходных сооружений. В недалеком прошлом в лаборатории в сотрудничестве с Корпусом инженеров Армии США проводились исследования нескольких шлюзов, строящихся в настоящее время на р. Миссисипи в черте г. Миннеаполиса.

Велись также исследования высоконапорного шлюза со следующими размерами камеры: длина 365 м, ширина 33,5 м. Напор в камере 45 м. Масштаб модели 1 : 30 и. в. Эта модель использовалась также для решения общих задач пропуска судов через однокамерный высоконапорный шлюз в связи с многочисленными проектами строительства такого типа шлюзов на различных судоходных реках США. В процессе исследований изучались гидравлические режимы наполнения и опорожнения шлюзов при различных конструктивных решениях систем питания, а также режимы движения жидкости в галереях и камере.

Необходимо отметить, что в лаборатории в ходе исследований широко применяются кино- и фотометоды. По наиболее интересным работам выпускаются хорошо оформленные кинофильмы, которые прилагаются к отчетам.

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ США**

**§ 12 ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОДИНАМИКИ И ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРАВЛИКИ
И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ имени У. М. КЕККА КАЛИФОРНИЙСКОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

Лаборатория гидродинамики была создана на базе Лаборатории машин в 1942 г. В 1945 г. лаборатория была размещена в здании Аэронавтической лаборатории. В одном из крыльев этого здания, включая подвальный, полуподвальный и первый этажи, на общей площади 1350 м² расположено основное оборудование лаборатории. На этой же площади находятся мастерская для строительства моделей, мастерская для изготовления точных приборов, помещения для камеральных работ, чертежный зал, Электронная лаборатория и фото-кинолаборатория.

В лаборатории имеется несколько напорных лотков для исследования потоков с большими скоростями, кавитации и пульсации давления и несколько безнапорных лотков для изучения движения затопленных на глубине тел, а также движения тел, полузатопленных или находящихся вблизи водной поверхности.

Напорные лотки представляют собой трубы диаметром 30—60 см, оборудованные различной измерительной аппаратурой, главным образом электронной.

Безнапорные лотки оборудованы электротележками для передвижения в потоке тел различной формы.

Для изучения распределения давления в жидкости при движении погруженного в нее тела в лаборатории имеется большой полирископ.

Для изучения перемещения наносов в прибрежной зоне используется волновой бассейн, оборудованный волнопродукторами гребенчатого и спирального типов.

Отделение гидравлических машин, кроме обычного оборудования, имеет точный динамометр мощностью 275 л. с. и кавитационный стенд.

Лаборатория гидродинамики исследует теоретические вопросы, связанные с движением в жидкости полностью затопленного тела, а также задачи устойчивости движущегося в жидкости тела и управления им. В области гидравлических машин изучается работа насосов, а также гидравлика потока, проходящего через насос. Большой объем исследовательских работ посвящен вопросам кавитации и гидравлических сопротивлений.

Лаборатория гидравлики и водных ресурсов размещается в специальное корпусе, в котором расположено крупногабаритное оборудование — несколько лотков для изучения движения наносов, в открытых руслах. Самый большой из этих лотков имеет длину 40 м и ширину 110 см, лоток может изменять уклон от 0 до 2%. Максимальный расход, подаваемый в лоток, может достигать $2,9 \text{ м}^3/\text{сек}$.

В отдельном помещении находится большой волновой бассейн, оборудованный необходимой аппаратурой и волнопродукторами различного типа.

Программа работ Лаборатории гидравлики и водных ресурсов Калифорнийского технологического института очень обширна.

Она включает все теоретические вопросы, связанные с переброской и регулированием стока рек в целях орошения сельскохозяйственных территорий и водоснабжения населенных мест. Кроме этих общих вопросов, лаборатория проводит исследования гидротранспорта, изучение стратифицированных потоков в водохранилищах, гидравлические модельные исследования гидротехнических сооружений, исследования волн в гаванях и портах, исследования вопросов укрепления морских берегов. В последнее время в работе лаборатории отведено большое место вопросам диффузии сбросных промышленных вод в море и реках, а также вопросам движения жидкости в пористой среде.

§ 13. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА КАЛИФОРНИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В 1950 г. в 11 км от университетского городка Беркели в Ричмонде был создан Исследовательский центр университета. На площади в 43 га было построено 60 лабораторных корпусов и ряд служебных зданий. Среди прочих лабораторий в Исследовательском центре имеется и Гидравлическая лаборатория, дополняющая основную учебную лабораторию в Ричмонде.

Лаборатория располагает следующим стационарным оборудованием.

1. Лоток для исследования волн и для испытания моделей судов. Длина лотка 60 м, ширина 2,4 м и глубина 1,8 м. Над лотком в обоих направлениях может передвигаться тележка. Трос, по которому движется тележка, подсоединен к коробке скоростей, благодаря чему скорость движения тележки изменяется от 0,15 до

6.0 м/сек. Сила тяги тележки достигает 60 кг. Скорость движения замеряется электросчетчиком и хронометром. На одном конце лотка установлен волнопродуктор, который может создавать волны с периодом от 0,4 до 5,0 сек и с амплитудой от 0 до 86,4 см, причем амплитуда волн может меняться в ходе опыта.

2. Железобетонная площадка для моделей речных русел. Площадка имеет длину 36 м и ширину 12 м. Три продольные канавки делят площадку на четыре лотка, и которых сделаны различные углубления. В водоприемнике устроен отстойник для аккумуляции твердого стока. Емкость водоприемника вместе с канавками 8,5 м³.

В железобетонную плиту площадки заделаны опоры металлического лотка следующих размеров: длина 30 м, ширина 1,0 м и глубина 1,0 м. Вода в лоток подается насосом с расходом 0,4 м³/сек. Вода на площадку поступает из бака на напорной башне.

3. Бассейн для исследования гидравлических моделей. Его длина 45,6 м, ширина 19,5 м и глубина 0,76 м. Съёмная деревянная секция позволяет вставлять в бассейн испытываемую модель. Над бассейном на высоте от 3,0 до 10,6 м передвигается металлическая ферма, с которой производится фотографирование и киносъёмка.

Волнопродуктор может создавать волны или на всю ширину бассейна, или на отдельные секции шириной по 6 м каждая.

4. Стенд для исследования насосов. Стенд расположен в специальном помещении размером 14,6X12 м. В помещении находятся три бассейна на различных отметках, емкость каждого бассейна примерно 113 м³. Различные приспособления позволяют автоматически устанавливать необходимые уровни в бассейнах. Для определения гидравлических характеристик исследуемых насосов лаборатория имеет динамометр мощностью 50 л. с.

Лаборатория с помощью моделей судов проводит исследования по определению сил швартовки в зависимости от волн и по гидродинамике корпуса корабля. Кроме того, лаборатория осуществляет работу по определению величины отраженных от наклонных берегов волн, по изучению пограничного слоя вязкой жидкости вдоль гладкой стенки и по определению сил трения внутри потока при перемещении наносов.

§ 14. ЛАБОРАТОРИИ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОМЕХАНИКИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА КОЛОРАДО (г. ФОРТ-КОЛЛИНЗ)

При Государственном университете Колорадо имеется Инженерный исследовательский центр, являющийся одним из крупнейших университетских исследовательских организаций США. В состав Центра входят, помимо других лабораторий, Лаборатория гидравлики и Лаборатория гидромеханики (рис. 50).

Лаборатория гидравлики размещается в трехэтажном корпусе длиной 85 м и шириной 36,5 м и располагает полезной производ-

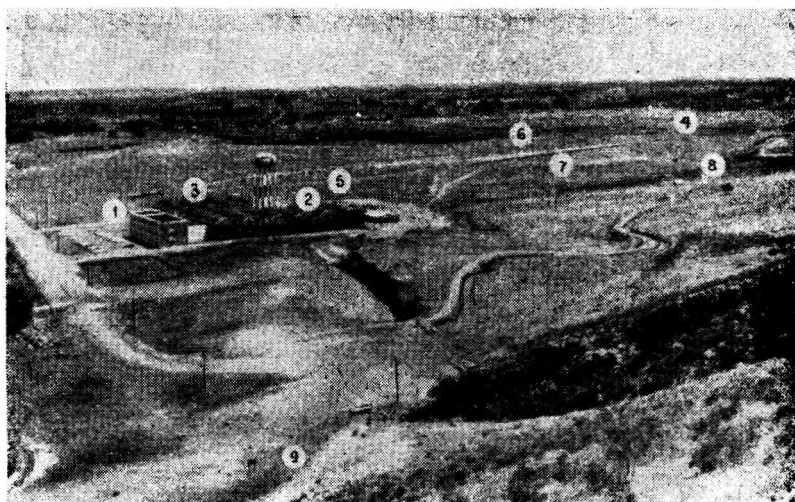


Рис. 50. Общий вид Инженерного исследовательского центра Государственного университета Колорадо
 1—административный корпус; 2—Гидравлическая лаборатория; 3—лаборатория гидродинамики; 4—открытая площадка для жестких моделей русел; 5—гидравлическая открытая площадка.

ственной площадью свыше 4500 м². Кроме большого лабораторного зала, здесь имеются небольшие помещения, в которых размещены отдельные стационарные установки, помещения для камеральных работ, комнаты научных сотрудников, аудитории и конференц-зал.

Водоснабжение лаборатории частично происходит по замкнутой циркуляционной системе, бассейн которой расположен в подвальном этаже. Основное же количество необходимой воды подается из находящегося рядом водохранилища насосами с общим расходом 4,2 м³/сек и с напором 52 м.

В большом лабораторном зале установлено несколько крупных лотков. Самый большой из них имеет длину 60 м, ширину 2,4 м и глубину 1,2 м. Воду на лоток подают три насоса, максимальный возможный расход в лотке равен 2,83 м³/сек, минимальный — 0,40 м³/сек. Уклон может меняться в пределах 0—3%. В этом лотке проводятся исследования движения наносов различной крупности (рис. 51).

Измерительные приборы изготавливаются в собственной механической мастерской. Модели выполняются в специальной столярной мастерской.

Большие производственные площади и возможность использования больших расходов воды позволяют лаборатории проводить

исследования на моделях крупного масштаба. Кроме того, особенно крупные модели и громоздкие установки размещаются на открытой площадке в 16 га. На площадке в настоящее время смонтирован трубопровод с переменным уклоном длиной 243 м. Трубопровод оснащен электронными приборами, пьезометрами и другой необходимой аппаратурой, позволяющей исследовать напорное и безнапорное движение потока в трубах.

Основным направлением деятельности Лаборатории гидравлики в г. Форт-Колли из является исследование движения наносов в открытых руслах и трубах, русловых процессов в аллювиальных руслах, гидравлических сопротивлений. В последнее время лаборатория занята изучением эрозии поверхности почвы и исследованиями по рассеиванию радиоактивных отходов в аллювиальных руслах.

Лаборатория гидромеханики (рис. 52) размещается в том же корпусе. В задачу лаборатории входят помимо изучения различных проблем гидромеханики исследование влияния колебаний температур воздуха и земной поверхности, а также шероховатости последней на основные процессы, происходящие в нижних слоях атмосферы. Результаты этих исследований используются при определении интенсивности испарения влаги с поверхности земли и с открытой водной поверхности.

Кроме обычного стационарного оборудования в виде лотков и стендов, в Лаборатории гидромеханики установлена аэродинамическая труба длиной почти 27 м. Для обеспечения большой точ-

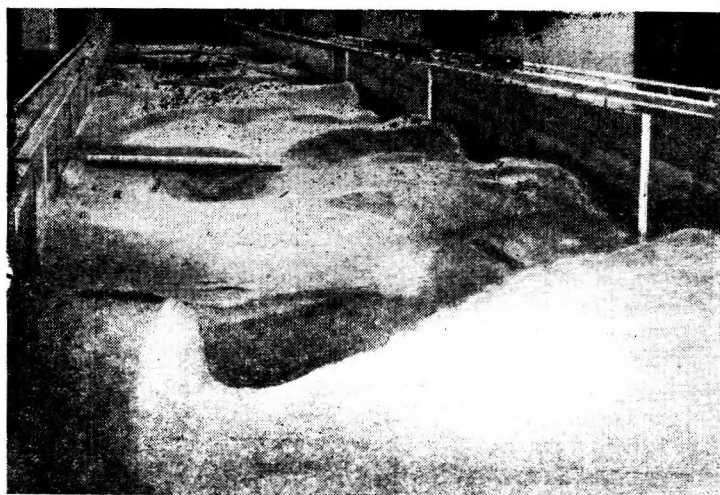


Рис. 51. Гидравлическая лаборатория Государственного университета Колорадо. Большой лоток. Проводятся исследования размываемости русла.

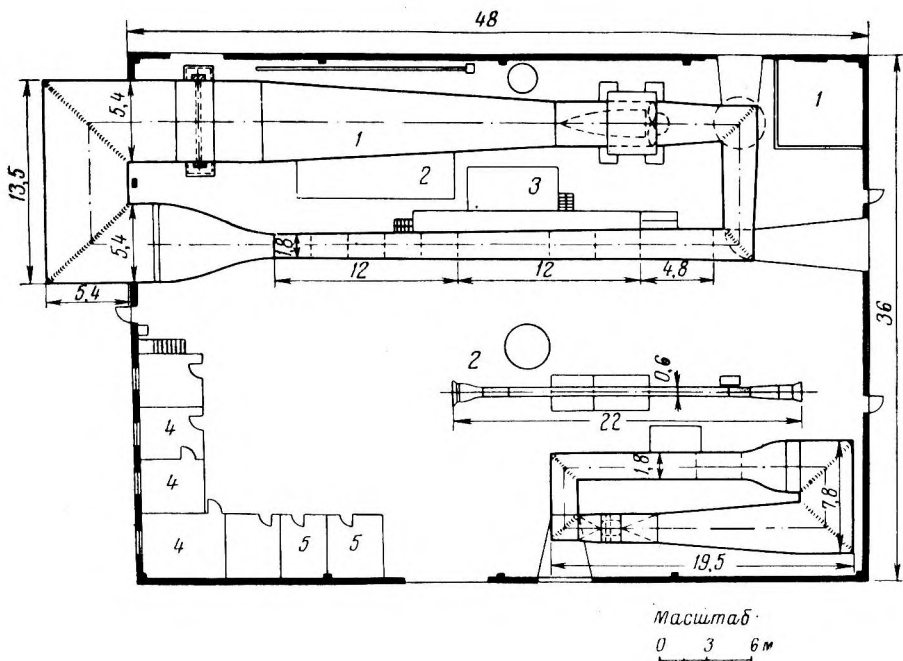


Рис. 52. План Лаборатории гидромеханики Государственного университета Колорадо

1—большая аэродинамическая труба; 2—охлаждающая установка; 3—пульт управления и аналоговая машина; 4—мастерская электронных приборов; 5—химическая лаборатория.

ности моделирования явлений диффузии и турбулентности труба на участке в 12 м может подогреваться или охлаждаться снизу. Таким образом, на этом участке воспроизводятся нагрев поверхности земли от солнечных лучей или охлаждение ее от снега и низких температур воздуха. Скорость воздушного потока, его турбулентность, относительная влажность и температура в трубе могут регулироваться.

Все регистрирующие приборы трубы соединены непосредственно с аналоговой машиной, и статистический анализ результатов опыта идет одновременно с ходом самих исследований.

Кроме большой аэродинамической трубы, в лаборатории имеется малая труба, длина которой всего 1,6 м. На этой трубе проводится преимущественно учебная работа студентов университета.

Закончено (1963 г.) строительство комбинированного тоннеля-лотка, предназначенного для исследований аэрированного потока жидкости и взаимодействия воды и воздуха. На этой установке скорости воздуха и воды будут изменяться в значительных пределах—от 0,4 до 42 м/сек.

§ 15. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПРИ ВОРЧЕСТЕРСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (ШТАТ МАССАЧУСЕТС)

Гидравлическая лаборатория при Ворчестерском политехническом институте была организована профессором Олденом в 1894 г. В настоящее время лаборатория имеет шесть основных зданий, расположенных примерно в пяти километрах от института. Схематический план расположения Зданий и сооружений лаборатории приведен на рис. 53.

Главное двухэтажное здание лаборатории (рис. 53 — 1), построенное в 1925 г., имеет длину 55 м и ширину 14,6 м. Снабжение водой главного здания происходит из бассейна, площадь водной поверхности которого около 60 га. Максимальный напор на установках лаборатории равен 9,75 м, а максимальный расход воды 1,4 м³/сек.

Второе двухэтажное здание — Лаборатория низкого напора (рис. 53 - 3)—получает воду из бассейна, имеющего площадь поверхности 0,81 га с максимальным напором 4,3 м. Длина этого здания 21 м и ширина 11 м.

Кроме того, примерно в 150 м от главного здания расположен корпус, построенный из волнистого железа (квонсет). В этом корпусе находится зал для исследования русловых процессов (рис. 53 — 5). Русловые модели расположены также в зданиях 6, 7 и 8

(рис. 53). Кроме того, экспериментальные исследования проводятся в опытовых бассейнах на открытом воздухе в теплое время года.

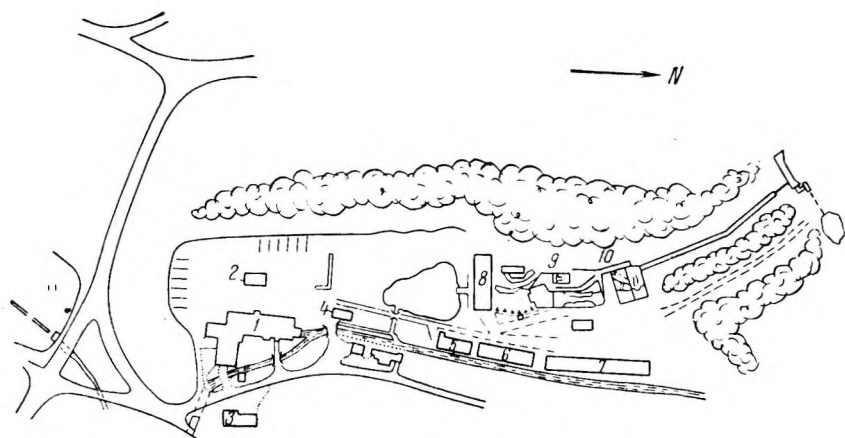


Рис. 53. План расположения зданий и сооружений Гидравлической лаборатории

1—главное здание лаборатории; 2 - сварочная мастерская; 3—Лаборатория низкого напора; 4—помещения для студенческих занятий; 5— здание из *квонсета*; 6, 7, 8—здания для исследования русловых процессов; 9, 10—открытые бассейны; 11—тарировочный бассейн.

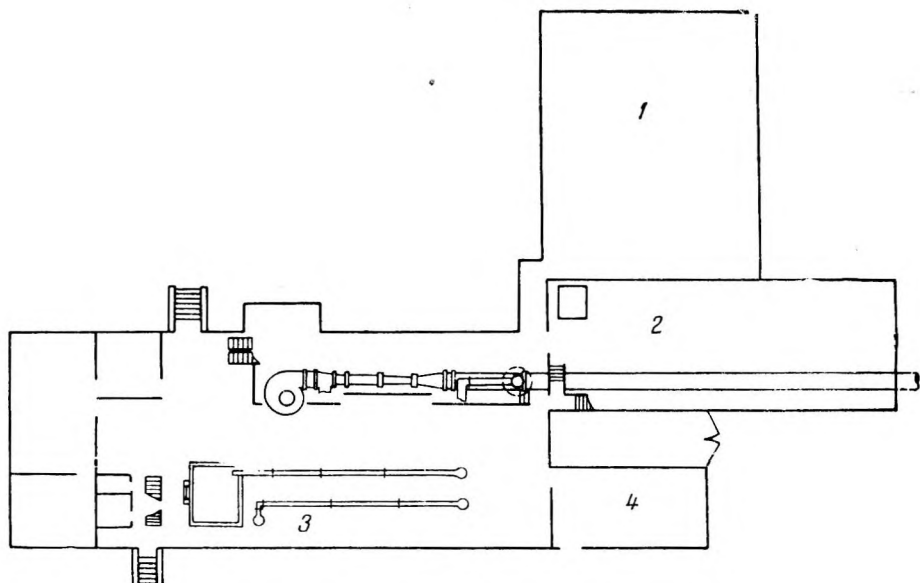


Рис. 54. План основных помещений главного здания Гидравлической лаборатории

1- участок для испытаний, заказанных Военно-Морским Департаментом; 2-студенческая лаборатория; 3-тарировочная установка; 4 -механическая мастерская.

Еще в нескольких зданиях размещаются мастерские и другие вспомогательные подразделения. На рис. 54, 55 и 56 показаны планы этажей главного здания лаборатории.

Деятельность лаборатории имеет три основных направления: учебные занятия со студентами, учебные занятия для подготовки аспирантов и исследования гидроузлов, плотин, каналов и различных гидротехнических сооружений по заказам разных ведомств. Большое место в работах лаборатории занимают также исследования, связанные с вдольбереговыми течениями, отложениями наносов на участке водозабора для крупных тепловых электростанций, расположенных на морском или речном берегу.

Лаборатория имеет следующее оборудование.

1. Несколько лотков шириной от 0,6 до 1,5 м для исследовании водосливов (коэффициенты расхода, форма водослива, тип сопряжения бьефов и пр.).

2. Три испытательных бака со стеклянными стенками и смотровыми окнами для фотографирования. Один из баков приспособлен для получения в нем повышенного и пониженного давлений воздуха. Баки предназначены для исследований действия подводных ракет, в частности, прохождения ракетами пограничного слоя воздуха и воды. Эти исследования ведутся по заказу Военно-Морского Департамента США. Баки расположены в отдельном помеще-

нии главного здания лаборатории. Размеры баков следующие: 4,9X2,7X1,5 м; 5,5X 1,2X 1,5 м и 2,7x1,2X1,2 м.

3. Труба для исследования явлений аэродинамического удара. В ней могут воспроизводиться воздушные волны со скоростями, превосходящими скорость звука. Для изучения различных условий воздействия ударных волн на установленные в трубе модели она снабжена необходимой измерительной и фиксирующей аппаратурой.

4. Аэродинамическая труба открытого возвратного типа с рабочей частью 0,9X0,9X0,9 м. Скорости в горловине трубы могут изменяться от 0 до 38 м/сек.

5. Постоянно действующая модель напорного бассейна гидроузла Кэбин-Крик в штате Колорадо. Модель расположена в подвальном помещении главного здания лаборатории. На ней изучаются режим потока в зависимости от сработки бассейна, работа подводящих и отводящих сооружений, ледовый режим и влияние льда на сооружение.

6. Модель напорного трубопровода с разветвлениями гидроузла Корнуолл. Модель выполнена почти целиком из прозрачного пластика, что позволяет наблюдать режим потока в самом трубопроводе и в местах ответвлений от него.

7. Модель участка р. Огайо для исследования условий водозабора воды из реки для охлаждения ТЭС, сброса отработанной воды, отложения наносов в районе ТЭС и других вопросов, связанных с водоснабжением крупной тепловой электростанции. Модель выполнена в искаженном масштабе: вертикальный 1:40 и горизонтальный 1 : 120.

8. Модель участка Пало-Секо на Пуэрториканском побережье возле города Сан-Хуан. Масштаб модели 1 : 40. На модели исследовались водоснабжение тепловой электростанции, образование песчаных баров, расположение оградительного мола для защиты водоприемника.

Модели различных гидротехнических сооружений, исследования которых лаборатория проводит по заказам производственных

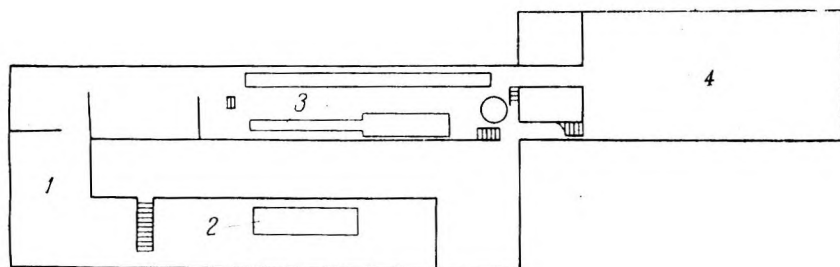


Рис. 55. Главное здание Гидравлической лаборатории (веранда)

1-фотолаборатория; 2- аэродинамическая труба; 3- труба для исследования явлений гидравлического удара; 4—столовая мастерская.

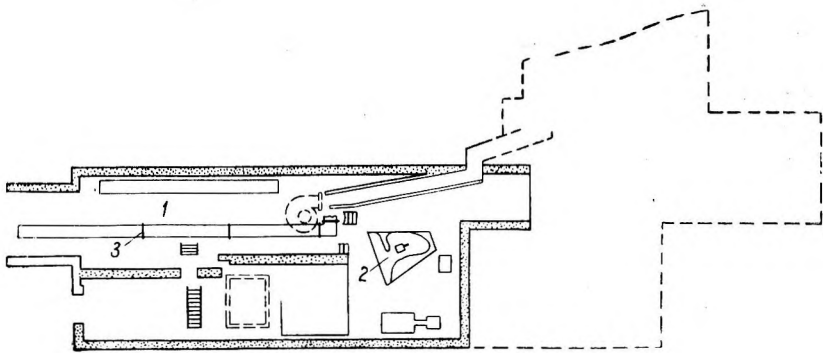


Рис. 56. Главное здание Гидравлической лаборатории (подвальное помещение)
 1—лоток со стеклянными стенками шириной 0,914 м, 2—модель Кэбин-Крик; 3—большая гидравлическая установка.

организаций, выполняются часто в искаженном масштабе: вертикальный масштаб 1 : 30, горизонтальный 1 : 300 или вертикальный 1 : 40, горизонтальный 1 : 120. Многие модели выполнялись в неискраженном масштабе от 1 : 100 до 1 : 30.

В 1962 г. в лаборатории исследовались крупные гидроузлы: Чонч-Пьонг на р. Северный Хан в Корее, Чок-Пойнт на р. Патускент, Кебан на р. Фират с Турции, Чичероу на р. Сакарайа в Турции и др.

Кроме перечисленных исследований, лаборатория ведет большую работу по тарировке водосливов и различных измерительных приборов.

§ 16. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ имени Р. А. АЛЬБРУКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ КОЛЛЕДЖЕ ШТАТА ВАШИНГТОН

Лаборатория была создана в 1955 г. В настоящее время она размещается в корпусе общей площадью 2410 м², главный лабораторный зал имеет площадь 1410 м² (рис. 57).

Подача воды осуществляется по замкнутой системе из резервуара емкостью почти 100 м³. Суммарный расход насосной группы составляет 2,9 м³/сек.

Стационарное оборудование состоит из нескольких лотков, среди которых два больших лотка:

а) лоток со стеклянными стенками для исследования моделей водосливов; длина лотка 11 м, ширина 1,2 м, глубина 1,2 м;

б) лоток для изучения двухфазного потока и гидротранспорта; длина лотка 22,8 м, ширина 0,9 м, глубина 0,6 м; лотку могут придаваться положительный или отрицательный уклоны.

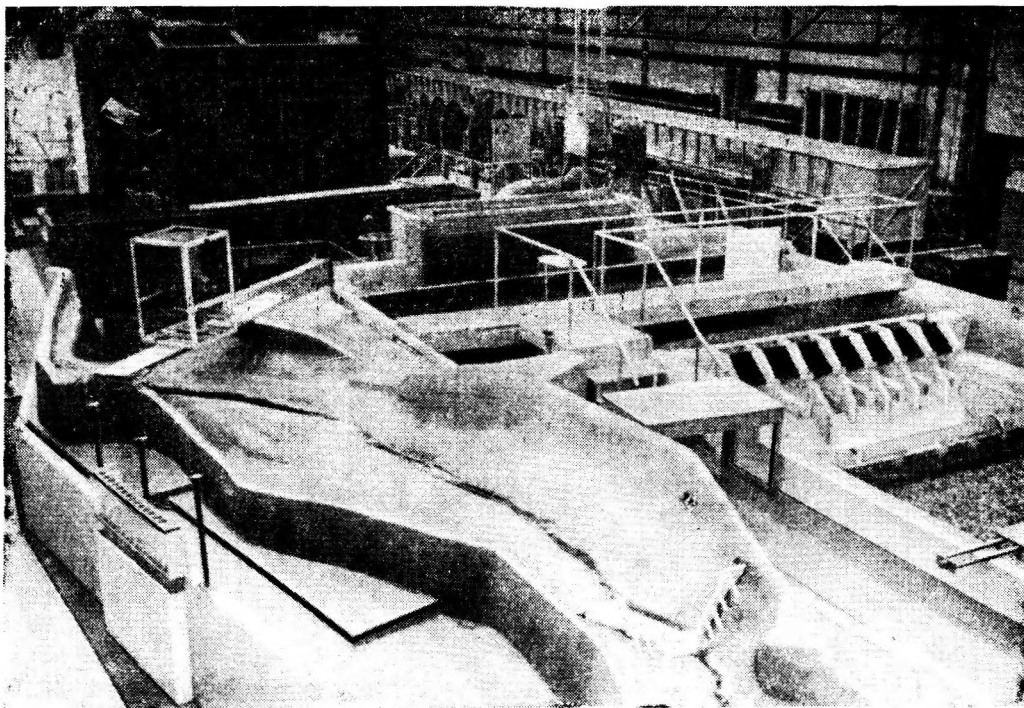


Рис. 57. Гидравлическая лаборатория имени Р. А. Альбрука. Общий вид главного зала.

Измерительная аппаратура, в большинстве своем электронная, изготавливается в мастерских Технологического института. Лаборатория располагает в достаточном количестве водомерами Вентури, микровертушками и трубками Пито.

Вся вычислительная работа передается в Вычислительный центр колледжа, в котором, кроме небольших электронно-вычислительных машин, работает универсальная машина IBM-650.

Основным направлением в научной и экспериментальной деятельности Гидравлической лаборатории имени Р. А. Альбрука являются гидравлические модельные исследования гидротехнических сооружений гидроузлов. За 8 лет своей работы лаборатория успешно провела исследования для 30 крупнейших узлов в бассейне р. Колумбии (Браунли, Прист-Рэпидс, Рок-Айленд и др.).

Наряду с конкретными исследованиями лаборатория проводит теоретические исследования в области гидродинамики и гидромеханики, гидрологии и других теоретических вопросов, необходимых для решения конкретных задач.

§ 17. ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОМЕХАНИКИ УНИВЕРСИТЕТА ШТАТА НЕБРАСКА

Лаборатория создана в 1957 г. Вместе с дополнительными помещениями, предназначенными для камеральной обработки, и вычислительным центром занимает площадь 600 м². Лаборатория в основном занимается теоретическими исследованиями в области гидромеханики. В настоящее время лаборатория разрабатывает следующие темы.

1. Образование вихрей и сопротивлений в неустановившемся потоке за телами с тупыми обводами.
2. Механизм образования турбулентности в пульсирующем вязком потоке.
3. Индуктированная масса потока жидкости, ограниченного стенками.
4. Присоединенная масса частично погруженных тел.
5. Кольцевой двухфазный поток.
6. Потенциальные потоки с анизотропными характеристиками.
7. Теоретическое и экспериментальное исследования жидкостного гироскопа.
8. Изучение характеристик систем вихревых воронок.
9. Разработка высоконапорного усилителя, основанного на пневматическом действии.

Около 90% общего объема работ лаборатории субсидируется Национальным научным фондом, Военным Министерством и другими ведомствами путем заключения договоров на выполнение конкретных работ. Исследования выполняются аспирантами, работающими над кандидатскими и докторскими диссертациями.

§ 18. ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА ГРАЖДАНСКИХ ИНЖЕНЕРОВ УНИВЕРСИТЕТА КОРНЕЛЯ

Лаборатория гидравлических исследований была создана для учебных целей в 1899 г. профессором Эстваном Фуэртесом и является одной из старейших лабораторий США. В 1959 г. после того, как лаборатория была размещена в новом здании и оборудование ее было модернизировано, она разделилась по характеру своей работы на учебную лабораторию для студентов и на исследовательскую—для подготовки аспирантов.

Лаборатория имеет свою систему водоснабжения из реки, протекающей по территории университета. Эта система позволяет иметь напор на моделях лаборатории до 25 м. Лаборатория располагает современной измерительной и электронной аппаратурой и следующим основным стационарным оборудованием.

1. Наклонный лоток длиной около 5 м, шириной и глубиной по 0,5 м для изучения равномерного, неравномерного и неустановившегося движений.

2. Горизонтальный лоток длиной около 4 м, шириной и глубиной по 30 см.

3. Труба диаметром 5 см и длиной около 30 м для изучения гидравлического удара.

4. Аэродинамическая труба с горловиной диаметром 30 см для воздушного потока с низкими скоростями.

5. Стенд для изучения движения вязких жидкостей.

6. Лоток треугольного сечения длиной около 17 м и глубиной около 40 см.

7. Лоток размерами 6x0,45x0,3 м со смотровыми окнами для изучения гидротранспорта.

8. Стенд для изучения двухфазных жидкостей (вода + наносы)

9. Более мелкое оборудование, главным образом для демонстрации гидравлических явлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные материалы позволяют сделать следующие выводы.

1. Исследования общетеоретических проблем гидравлики сосредоточены главным образом в лабораториях университетов и колледжей, причем значительная часть этих исследований — темы докторских диссертаций.

2. Основным содержанием исследований в промышленных гидравлических лабораториях является решение конкретных инженерных задач для организаций, ведущих проектирование, строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений.

3. В тематике исследований можно наметить следующие основные направления:

а) исследование приливо-отливных течений в устьевых участках рек; изучение заносимости акваторий гаваней, портов и судоходных каналов;

б) исследование гидравлики разноплотностных (стратифицированных) потоков;

в) изучение турбулентности о свободных и спутных потоках (воздушных и водных), включая исследования общих вопросов кавитации и аэрации высокоскоростных потоков и явления гидроупругости;

г) изучение гидравлики речных потоков с течением вопросов переформирования русел в бытовом состоянии и после возведения в них гидротехнических сооружений; изучение условий судоходства в реках после строительства подпорных и судопропускных сооружений;

д) исследование гидравлики двухфазных (вода + твердая фаза) и трехфазных (вода + твердая фаза + воздух) жидкостей; изучение гидравлики двухфазных жидкостей в виде суспензий;

е) исследование волн и их воздействия на сооружения; защита морских портов и гаваней от волнений; разработка и исследование креплений, устойчивых против волновых воздействий;

ж) изучение неустановившегося движения водных потоков; исследование движения паводков в речных руслах и в бассейне р. Миссисипи;

з) исследование гидравлики сооружений, включая изучение вопросов воздействия потока на сооружения; гидравлические исследования водосбросных и водопропускных сооружений среднего и высокого напоров; гидравлические исследования шлюзов, различного рода гасителей энергии. Изучение кавитационных и динамических (вибрационных) воздействий потока на сооружения; исследование материалов на кавитационную устойчивость;

и) исследование затворов, работающих под большими напорами; гидравлика затворов;

к) изучение гидравлики насосов и гидромашин;

л) исследование обтекаемости судов и подводных крыльев в спокойной и движущейся воде.

4. Выполняемые в американских лабораториях теоретические исследования как по своему уровню, так и по содержанию в значительной своей части не представляют чего-либо нового. Во многих вопросах (теория моделирования, струйные течения, распределение скоростей и касательных напряжений в безнапорных потоках, деформации в размываемых речных руслах, качка корабля с учетом присоединенных масс, теория воли и неустановившегося движения водных потоков, теория аэрированных потоков, гидравлика сверхбурных потоков и др.) советские гидравлики идут впереди американских специалистов.

5. Организация и методика постановки экспериментальных исследований в гидравлических лабораториях США имеет ряд положительных сторон, среди которых в качестве основных должны быть отмечены следующие.

А. Концентрация исследований в крупных специализированных центрах, ведущих исследования по отдельным проблемам гидравлики и гидротехники (Экспериментальная станция в Висксбурге, Инженерный центр в Денвере, Гидравлическая лаборатория в Миннеаполисе, Айовский Научно-исследовательский институт гидравлики), объединение проектных и исследовательских институтов (Инженерный центр Бюро мелиорации). С одной стороны, это расширяет возможности исследователей, а с другой, — способствует более быстрому и эффективному внедрению результатов исследований в практику. Кроме того, такое объединение позволяет широко применять метод лабораторного проектирования, когда экспериментальное исследование какого-либо сооружения проводится одновременно на нескольких гидравлических моделях.

Б. Хорошая оснащенность лабораторий приборами, специальным (в том числе уникальным) оборудованием.

В. Тщательность и высокая точность изготовления моделей, установок и измерительной аппаратуры, что обеспечивает получение при исследованиях более надежных и точных результатов. Мастерские при лабораториях хорошо оборудованы. Заслуживает внимания также широкое применение для изготовления моделей пластических материалов, а для моделирования наносов—использо-

вание более или менее однородных порошков из пластмасс с объемным весом 1,03—1,04 и больше.

Г. Широкое использование электроники в измерительной аппаратуре для приемных и усилительных устройств. Применение электронных самописцев и счетчиков для непрерывной записи результатов наблюдений.

Каждая гидравлическая лаборатория имеет в своем составе небольшие лаборатории — мастерские, в которых ведется разработка новых образцов электронно-измерительной аппаратуры, а также монтаж электрических схем. Обычно возглавляют такие лаборатории высококвалифицированные специалисты.

Д. Использование в разрабатываемой измерительной аппаратуре готовых блоков и датчиков, выпускаемых в большом ассортименте американской промышленностью. Это позволяет проводить исследования на высоком уровне и с меньшей затратой сил на разработку аппаратуры и на проведение исследований.

Е. Использование для обработки результатов опытов больших и малых электронно-вычислительных машин. При этом в некоторых лабораториях применяется аппаратура для непосредственной передачи данных опытов на электронно-вычислительные машины, которые выполняют обработку результатов опытов по специально разработанной программе.

В связи с широким внедрением электронно-вычислительных машин в практику проектирования и исследований в высших учебных заведениях США, готовящих инженеров строительной специальности, введены обязательные учебные курсы изучения электронно-вычислительной техники.

Ж. Проведение исследований на крупномасштабных моделях (сооружения в масштабах 1:16 ÷ 1:20, русла рек и акватории портов до 1 : 80 ÷ 1:100) позволяет более детально изучать гидравлические явления и получать более надежные результаты.

З. Применение в условиях мягкого климата легких построек для перекрытия больших пространственных гидравлических моделей, защищающих модель и обслуживающий персонал от атмосферных осадков и ветра и позволяющих проводить исследования в течение всего года.

И. Большой объем натуральных гидравлических исследований на строящихся и эксплуатируемых сооружениях с широким привлечением научных сотрудников лабораторий к проведению этих исследований.

К. Использование кино как метода исследований и как формы отчетного материала. Как правило, в каждой лаборатории имеется комплект кинофильмов по выполненным работам, просмотр которых может быть быстро организован.

Заслуживает также внимания применение специальных автоматических копировальных машинок для печатания отчетных материалов и информационных сообщений о результатах исследова-

нии. Это позволяет весьма оперативно передавать указанные материалы в хорошо оформленном виде заказчику и для публикации. Технические отчеты по своему содержанию лаконичны и имеют большое количество иллюстративного материала, характеризующего данные исследования и их анализ.

Приведенная в настоящей работе характеристика гидравлических и гидротехнических лабораторий дает представление о том, какое большое значение в США придается теоретическим, экспериментальным и натурным исследованиям при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация научных учреждений США, Гос. ком. Совета Министров СССР по координации научн.-исслед. работ. АН СССР. Всесоюзн. ин-т научи, и техн. информации. М., 1961.
2. Научные и культурные учреждения США, под ред. З. И. Новикова, Гос. научн.-техн. ком. Совета Министров СССР. АН СССР. Всесоюзн. ин-т научн. и техн. информации. М., 1961.
3. Hydraulic Research in the United States, 1960.
4. Research. Engineering Methods and Materials, Denver, Colorado, 1960.
5. The Engineering Laboratories of the Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
6. Hydraulic Laboratory Practice, Engineering Monograph, № 18, Denver, Colorado, 1953.
7. Bloodgood, Importance of research in Bureau of Reclamation water resource development, Indian Journ. of Power and River Valley Dev., 1960, vol. 10, № 12. p. 75.
8. River model aids siltation study, Eng. N.. vol. 161, p. 113, September, 1958.
9. The waterways experimental station, ASTM Bulletin, 1954, VII, № 199.
10. Mississippi. River, Hydraulic Model of Miss.. Eng. News-Record, vol. 134, № 22, May 31, 1945, pp. 766 — 769.
11. Engineering News-Record, 1931, VII, pp. 84 88.
12. Hydraulic Research in United States, Engineering, 1944, vol. 158, № 4105, 4106, 4108.
13. US Waterways Exp. Station at Vicksburg, Dock and Harbour Authority, vol. 25, № 285, July 1944, pp. 51 -53, 69.
14. Bauingenieur, 1959, № 19, S. 387 — 397.
15. U. S. Waterways Exper. Station, Instn. Engrs. India — J, vol. 20, Jan. 1941 pp. 245- 281.
16. Description of hydraulic and soil laboratories of Waterways Experimental Station in Vicksburg, Eng. News-Record, vol. 121. № 26, Dec. 29, 1938, pp. 822-824.
17. Rivers Turned out on Assembly Line Basis, Eng. News-Record, vol. 158, № 20, May 16, 1957, pp. 54 — 56, 58.
18. The Iowa Institute of Hydraulic Research, Bulletin, № 30, 1946.
19. Fourth Decade of Hydraulics at the State University of Iowa, Bulletin, № 40, 1960.
20. Institute of hydraulic research at Iowa city, Eng. News-Record. 1932, vol. 108, № 2, p. 75.
21. Metzler D. E., Hydraulics laboratory equipment demonstrates fundamental principles of flow, Civil Engineering, N. Y., 1953, vol. 23, № 5, pp. 49—51.
22. Ippen A. T., The New Hydrodynamic Laboratory, The Technology Review, vol. 53, June 1951, pp. 399 — 409, 429- 430, 432.
23. Arthur T. Ippen, The New Hydrodynamic Laboratory. „Hydrodynamics in modern technology", 1951, pp. 2 — 5.
24. Lorenz G. Straub, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Circular № 5, Minneapolis, Minnesota, September, 1950.
25. Knapp R. T. and others, The Hydrodynamic Laboratory of the California Institute of Technology, Transactions of the ASME, July, 1948.

26. Bermel K. J., Field station supplements hydraulic facilities of University of California, Civil Engineering 1955, June, vol. 25, p. 361.

27. Graduate Bulletin of the Civil Engineering Department. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

28. Colorado Farm and Home Research, vol. 14, № 1, July — Aug., 1963.

29. Albrook Hydraulic Laboratory, State College of Washington, 1958.

30. Alden Hydraulic Laboratory, Worcester Polytechnic Institute.

31. Alden Hydraulic Laboratory, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts.

32. Alden Hydraulic Laboratory, a booklet of Worcester Polytechnic Institute.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие.....	3
Введение.....	4
Глава первая. Инженерный центр Бюро мелиорации в Денвере	10
§ 1. Общие сведения об Инженерном центре.....	10
§ 2. Научно-исследовательская деятельность лабораторий Инженерного центра	24
Глава вторая. Экспериментальная станция водных путей Корпуса инженеров Армии США в Висксбурге.....	34
§ 3. Общие сведения об Экспериментальной станции водных путей	34
§ 4. Научно-исследовательская деятельность Станции	52
Глава третья. Научно-исследовательский институт гидравлики при Государственном университете штата Айова	61
§ 5. История организации института.....	61
§ 6. Лабораторная база и основные стационарные установки.....	65
§ 7. Научная деятельность института	77
Глава четвертая. Лаборатория гидродинамики Массачусетского технологического института (г. Массачусетс).....	83
§ 8. Общие сведения о Лаборатории гидродинамики и ее основном оборудовании	53
§ 9. Научно-исследовательская деятельность лаборатории.....	89
Глава пятая. Гидравлическая лаборатория на водопаде Св. Антония при Университете Миннесоты в г. Миннеаполисе.....	96
§ 10. Общие сведения о Гидравлической лаборатории и основном лабораторном оборудовании	96
§ 11. Научно-исследовательская деятельность Гидравлической лаборатории	106
Глава шестая. Краткие сведения о некоторых других гидравлических лабораториях США.....	108
§ 12. Лаборатория гидродинамики и Лаборатория гидравлики и водных ресурсов имени У. М. Кекка Калифорнийского технологического института	108
§ 13. Гидравлическая лаборатория Исследовательского центра Калифорнийского университета	109
	127

	Стр.
§ 14. Лаборатории гидравлики и гидромеханики Государственного университета Колорадо (г. Форт-Коллинз).....	110
§ 15. Гидравлическая лаборатория при Ворчестерском политехническом институте (штат Массачусетс).....	114
§ 16. Гидравлическая лаборатория имени Р. А. Альбрука Технологического института при Государственном колледже штата Вашингтон.....	117
§ 17. Лаборатория гидромеханики Университета штата Небраска.....	119
§ 18. Лаборатория гидравлических исследований Института гражданских инженеров Университета Корнелля.....	120
Заключение	121
Литература.....	125

*Елена Павловна ПЕРОВСКАЯ, Михаил Федорович СКЛАДНЕВ,
Петр Вячеславович САМОСТРЕЛОВ*

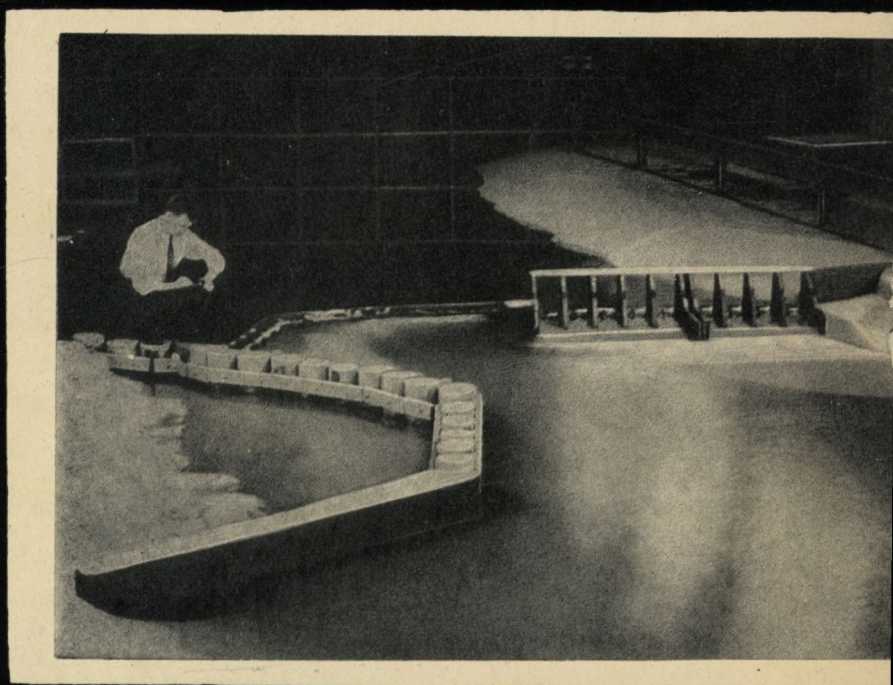
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ США

Технический редактор *Е. П. Каган*

М-20431. 5-IV-1965 г. Печ. л. 8. Зак. 3. Тираж 1000.
Цена 40 коп.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники имени Б. Е. Веденеева. Ленинград, К-64, Гжатская ул., 21.

40 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ“