

М. Герсевановъ.

**О КРУШЕНІЯХЪ
ИНЖЕНЕРНЫХЪ СООРУЖЕНІЙ.**

Изданіе Собранія инженеровъ путей сообщенія.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.
1896.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 23 Января 1896 г.

О крушеніяхъ инженерныхъ сооруже́ній.

Инженерное искусство, основанное главнымъ образомъ на математическомъ расчетѣ сооруже́ній, кромѣ того въ значительной степени основано и на точномъ знакомствѣ съ естественными явленіями (изъ области геологіи, физики, химіи, метеорологіи и проч.), имѣющими преобладающее значеніе въ другихъ специальностяхъ, какъ-то: горнаго инженера, лѣсничаго, медика и т. д. Проводя параллель между преподаваніемъ инженернаго искусства и медицины мы видимъ, что преподаваніе медицины имѣетъ то преимущество предъ преподаваніемъ инженернаго искусства, что тамъ молодые люди поучаются причинамъ рокового исхода болѣзней на вскрываемыхъ трупахъ.

Нѣчто подобное, казалось бы, возможно было ввести и въ преподаваніе инженернаго искусства, раскрывая предъ молодыми инженерами причины крушенія капитальныхъ сооруже́ній, заключающіяся въ ошибкахъ при проектированіи ихъ, при исполненіи ихъ и наконецъ при недостаточномъ или чаще небрежномъ наблюденіи за сохранностью ихъ, что составляло бы такъ сказать инженерную патологию. Конечно, на землѣ все имѣетъ свой опредѣленный вѣкъ. Подобно тому, какъ медикъ не можетъ до безконечности поддерживать жизнь человѣка, такъ точно и инженеръ не можетъ ручаться, что возведенное имъ сооруженіе вѣчно. Дѣйствіе перемѣнъ температуры, атмосферные осадки, дѣйствіе вѣтра, вулканическія причины и многое другое лежащее внѣ теперешняго предѣла знаній человѣка в слѣдовательно внѣ власти его, полагаетъ предѣлъ и вѣку са-

мыхъ монументальныхъ и капитальныхъ сооружений. Конечно, тщательнымъ выборомъ матеріаловъ, добросовѣстнымъ исполненіемъ проекта, самымъ тщательнымъ надзоромъ за сооруженіемъ, можно сохранить его на гораздо болыній срокъ чѣмъ не обращающая вниманія на эти капитальныя условія. Очевидно, что сохраненіе сооруженийъ возведенныхъ вполне удовлетворительно, даже съ извѣстными ошибками, независимо отъ послѣднихъ, зависитъ еще отъ тщательности послѣдующаго за ними надзора, что уже входитъ въ область *эксплуатаціи сооружений*, болѣе или менѣе удовлетворительной, смотря по организаціи надзора и по составленнымъ для этого инструкціямъ и правиламъ, исполненіе которыхъ лежитъ на низшихъ служащихъ, большею частью не инженерахъ.

Тѣмъ не менѣе, при каждой катастрофѣ съ какимъ либо инженернымъ сооруженіемъ, на практикѣ упреки всегда падаютъ на инженеровъ-строителей, не принимая во вниманіе, что именно причиной катастрофы: дурной ли проектъ и дурное исполненіе постройки (что, конечно, лежитъ на отвѣтственности инженера) или неумѣлый, чаще небрежный надзоръ за сооруженіемъ, что уже должно лежать на другихъ служащихъ, большею частью не инженерахъ. Такое воззрѣніе не только публики, но нерѣдко и официальныхъ лицъ, принадлежащихъ высшимъ сферамъ, сказывается напримѣръ въ томъ фактѣ, что разъ сооруженіе возведено, на поддержаніе его въ исправности нерѣдко жалѣютъ назначенія ремонтныхъ средствъ и затѣмъ, когда сооруженіе приходитъ въ ветхость и разрушеніе, въ этомъ прямо винятъ инженеровъ. По всему этому, какъ въ видахъ поученія для молодыхъ инженеровъ, такъ и въ видахъ справедливости весьма важно, при каждомъ крушеніи или катастрофѣ подобнаго рода, точно выяснить всѣ обстоятельства дѣла, что и происходитъ обыкновенно на судѣ и лишь случайно доходить до свѣдѣнія публики. Между тѣмъ подробный разборъ недостатковъ проекта и исполненія его чрезвычайно поучителенъ для молодыхъ инженеровъ и студентовъ, обращающа ихъ вниманіе на то, къ какимъ несчастьямъ, сопряженнымъ съ потерей человѣческихъ жизней и затраченныхъ капиталовъ, ведетъ недобросовѣстное и неумѣлое испол-

неніе возложеннаго на нихъ дѣла. Въ случаѣ катастрофъ происходящихъ отъ неумѣлаго или неудовлетворительнаго надзора за готовыми сооруже́ніями, возлагаемаго обыкновенно на низшихъ служащихъ, какъ сказано выше, большею частью не инженеровъ и на основаніи предъявляемыхъ имъ болѣе или менѣе удовлетворительныхъ инструкцій и правилъ, разъясненіе всѣхъ обстоятельствъ катастрофы укажетъ на неудовлетворительность этихъ инструкцій, или вѣри́те на плохую организацію надзора за сооруже́ніями, независимо отъ вины какого нибудь низшаго служащаго, происходящей отъ неумѣлости или переутомленія и кара котораго мало приноситъ пользы улучшенію дѣла. Это часто бываетъ по желѣзнымъ дорогамъ. Здѣсь кстати упомянуть, что нашей мысли о пользѣ изученія причинъ катастрофъ въ области эксплуатаціи желѣзныхъ дорогъ отчасти соотвѣтствуетъ статья инженера К. Завадскаго, напечатанная въ № 8 Киевскаго журнала *Инженеръ* 1888 г., подъ заглавіемъ „*Бѣдствія Сѣверо-Американскихъ желѣзныхъ дорогъ въ 1887—1888 г.*“

Но надо прибавить, что трудъ г. Завадскаго имѣетъ главобразомъ *статистическій характеръ*, тогда какъ особенно желательны труды, въ которыхъ подобные вопросы были бы разсмотрѣны преимущественно съ технической стороны.

Въ этомъ отношеніи необходимо указать на статью профессора Нюберга какъ вполне отвѣчающую моимъ взглядамъ и напечатанную въ Сборникѣ Института Инж. Путей Сообщенія въ 1893 г. въ XXIV выпускѣ подъ заглавіемъ „*Портовые набережныя на илистыхъ и плавучихъ грунтахъ*“, въ которой изложены катастрофы съ набережными въ Триестъ и Роттердамъ.

Подробный разборъ катастрофъ готовыхъ сооруже́ній укажетъ намъ и на то, что причиною ихъ (главною или второстепенною) было игнорированіе такихъ мѣстныхъ фактовъ изъ области естественныхъ наукъ (физики, химіи, минералогіи и геологіи), которые обязательны для знающаго инженера и такимъ образомъ покажетъ молодымъ инженерамъ важность изученія естественныхъ наукъ, къ которымъ, скажемъ кстати, у многихъ инженеровъ существовало недавно еще какое-то необъяснимое пренебреженіе. По всѣмъ вышеприведеннымъ

причинамъ казалось бы весьма полезнымъ представить, въ двухъ-трехъ публичныхъ лекціяхъ, обстоятельный разборъ причинъ крушенія инженерныхъ сооружений въ нѣкоторыхъ замѣчательныхъ случаяхъ, сдѣлавшихся извѣстными по несчастнымъ послѣдствіямъ въ Россіи и Европѣ, каковы напримѣръ: крушеніе Тейскаго моста, крушеніе Мюнхенштейнскаго моста, прорывъ Соутфоркской плотины въ Пенсильваніи, (близъ Джонстауна въ іюнѣ 1889 года) провалъ возведенныхъ моловъ Триестскаго порта, провалъ угла нефтяной гавани въ Одессѣ, прорывъ плотины Бузейскаго резервуара, неудачи съ Мургабскимъ орошеніемъ, крушеніе Кукуевской насыпи, крушеніе поѣзда на Тилигульской насыпи и многія желѣзнодорожныя катастрофы въ Россіи и за границей, происшедшія непосредственно болѣею частью по винѣ низшихъ служащихъ, а вѣрнѣе отъ неудовлетворительной и нераціональной организаціи надзора и эксплуатаціи, или отъ дурно составленныхъ инструкцій для низшихъ служащихъ, и наконецъ отъ непосильныхъ требованій отъ послѣднихъ. То же самое можно сказать о другомъ родѣ катастрофъ, случающихся на водахъ ввѣренныхъ Министерству Путей Сообщенія (столкновенія и пожары пароходовъ на Волгѣ (Вѣра) на Ладожскомъ озерѣ (Царь и Царица и т. д.)

Конечно составленіе вполне добросовѣстнаго разбора такихъ катастрофъ есть вещь чрезвычайно деликатная. По свойственнымъ всѣмъ людямъ пытливости и любопытству, а нерѣдко вслѣдствіе недоброжелательства и зависти въ каждомъ такомъ случаѣ, многіе помимо юридическаго суда стараются доискаться кто же виноватъ въ такомъ несчастномъ случаѣ и, не справляясь съ подробностями дѣла, имъ неизвѣстными, валять вину на человека стоящаго во главѣ дѣла, болѣею частью инженера. Оно иногда и выгодно, потому что этимъ путемъ можно спихнуть человека занимающаго высокое положеніе, а иногда пожалуй и сѣсть на его мѣсто. Такимъ образомъ напримѣръ крушеніе Мюнхенштейнскаго моста не мало повредило репутаціи извѣстнаго инженера Эйфеля, на заводѣ котораго составлялся, если не ошибаюсь, проектъ этого моста и изготовлялось металлическое верхнее строеніе его. Но эта сторона дѣла не должна пре-

пятствовать осуществленію настоящаго предложенія, потому что вѣдь все можно сдѣлать хорошо и дурно, добросовѣстно и недобросовѣстно. Для начала же дѣла, чтобы избѣгнуть невольнаго задѣванія живущихъ еще почтенныхъ личностей, дѣйствующихъ у насъ на инженерномъ поприщѣ и у которыхъ были подобныя катастрофы, представляется возможность взять для разбора нѣсколько подобныхъ катастрофъ случившихся за границей и получившихъ по несчастнымъ послѣдствіямъ громкую огласку по всей Европѣ, и потому подвергшихся подробному разбору въ техническихъ журналахъ англійскихъ, американскихъ, французскихъ и нѣмецкихъ. Разборъ несчастныхъ случаевъ, бывающихъ при эксплуатаціи желѣзныхъ дорогъ, большею частью непосредственно зависящихъ отъ невольныхъ ошибокъ низшихъ служащихъ, представляетъ еще менѣе затрудненій въ отношеніи щекотливости, потому что случаи эти бываютъ или отъ недостатковъ подвижнаго состава, изготовляемаго на особыхъ заводахъ, или отъ неудовлетворительности инструкцій, а чаще всего отъ ихъ несоблюденія, и вообще представляютъ меньше шзисовъ для задѣванія видныхъ личностей и слѣдовательно менѣе соблазна для недобросовѣстныхъ критиковъ.

Въ дальнѣйшемъ своемъ изложеніи я выбралъ для примѣра нѣсколько катастрофъ съ инженерными сооружениями, при которыхъ причины крушенія болѣе или менѣе выяснены, такъ что онѣ дѣйствительно могутъ служить примѣрами того, *какъ не слѣдуетъ составлять проекты и какъ не слѣдуетъ строить*. Примѣры эти я выбралъ изъ болѣе знакомыхъ мнѣ гидротехническихъ сооружений и при томъ взялъ изъ заграничной практики, примѣры обратившіе на себя вниманіе всего инженернаго міра въ Европѣ и Америкѣ и потому подробно описанные въ разныхъ техническихъ журналахъ французскихъ, нѣмецкихъ, англійскихъ и американскихъ и наконецъ въ прекрасномъ итальянскомъ сочиненіи инженера *Крунзола* о поддерживающихъ стѣнахъ и вододержательныхъ плотинахъ.

Такомъ образомъ мой трудъ представляется вполнѣ компилятивнымъ, и весь то онъ состоялъ лишь въ переводѣ и группировкѣ фактовъ, разсѣянныхъ въ разныхъ изданіяхъ.

Свѣдѣнія о главнѣйшей и новѣйшей катастрофѣ, обрушеніи Бузейской плотины, составлены на основаніи статей французскихъ инженеровъ Rogeard и Le Brun въ *Genie Civil* за 1895 г. и статей нѣмецкихъ инженеровъ Крейтера и Бюллера въ *Centralblatt der Bauverwaltung*, а также изъ журнала *Globus* 1895 г. № 3.

Свѣдѣнія о прорывѣ Соутфоркской плотины взяты изъ журналовъ *Engineering* и *Transactions of the American Society of Civil Engineers* за 1889 годъ, наконецъ остальные приводимыя мною свѣдѣнія заимствованы большею частью изъ сочиненія итальянскаго инженера Crugnola „Sui muri di sostegno sulle traverse dei serbatoi d'acqua“ 1883 года, т. е. о поддерживающихъ стѣнахъ и о плотинахъ водныхъ резервуаровъ,—вопросъ у насъ вообще мало разработанный и по которому я могу указать только на послѣдній трудъ профессора Института М. А. Ляхницкаго— „*Подпорныя стѣны*“, 1895 г.

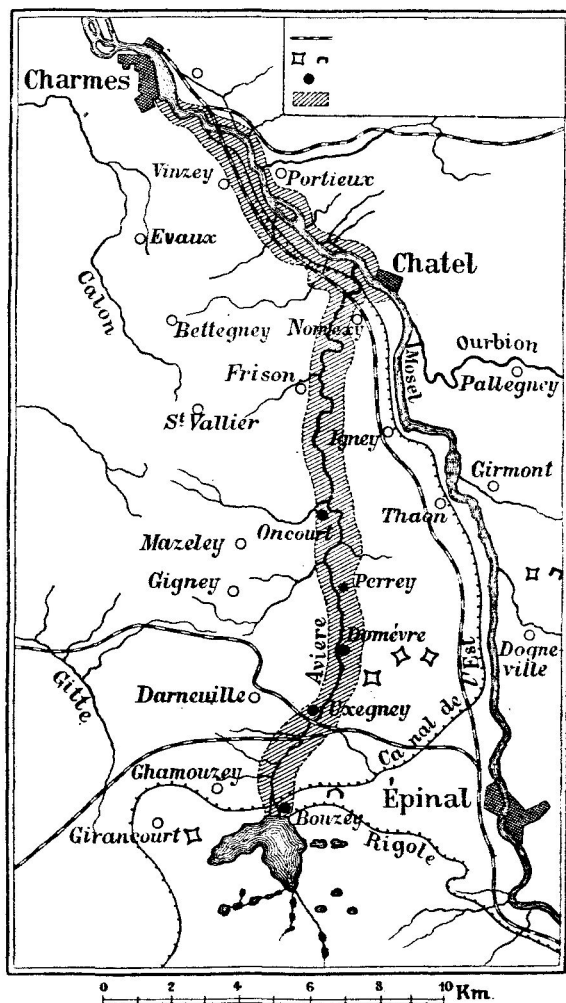
Профессору Ляхницкому я обязанъ переводомъ статьи инженера Бюллера о Бузейской плотинѣ, статьи составляющей такъ сказать приложение къ настоящему труду.

Обрушеніе плотины въ Бузей.

27 апрѣля 1895 года въ 5 часовъ 20 м. утра, обрушилась каменная плотина, отдѣлявшая, снабжающій водою canal de l'Est, Бузейскій резервуаръ отъ верхней части долины ручья Aviègre близъ г. Эпиналя въ Вогезскомъ департаментѣ (черт. 1).

Запруженная вода хлынула въ долину ручья, а затѣмъ оттуда устремилась въ рѣку Мозель. Это внезапное, совершенно непредвидѣнное наводненіе стоило 156 чловѣческихъ жизней и уничтожило имущества на сумму 40 милліоновъ марокъ, опустошивъ полосу около двухъ километровъ шириной и слишкомъ 25 километровъ длиной отъ резервуара до м. *Charmes* на р. Мозель. При этомъ четыре, лежація въ нижней части долины рѣки Aviègre, деревни были почти разрушены и желѣзная дорога была залита водою и значительно повреждена. Такъ какъ долина ручья Aviègre отъ Бузейскаго резервуара до м. *Châtel* на р. Мо-

зель имѣть паденіе 131 метръ, то понятно какую разрушительную силу представляла собою такая масса воды при такомъ уклонѣ.



Черт. 1.

Бузейскій резервуаръ образованъ каменной плотиною, устроенной въ 1879—1881 г. поперекъ долины ручья *Avière* и находящейся на сѣверной сторонѣ резервуара. По показанію Круньола,

хотя плотина эта была окончена въ 1881 г., но такъ какъ въ ней тогда же образовались двѣ вертикальныя трещины, то къ пополненію резервуара приступили только въ 1884 году.

Ось плотины совершенно прямолинейна. Длина ея 432 метра на уровнѣ земли обоихъ береговъ и равна 520 метрамъ, если считать ея подземныя продолженія.

Наибольшая высота плотины 22 метра; толщина наверху равна вездѣ 4 метрамъ, а наибольшая толщина у основанія 14,80 метра. Эта послѣдняя доведена до 19,30 метра, при исправленіи плотины въ 1888 г., послѣ происшедшихъ въ ней въ 1884 году поврежденій. Плотина основана на верхнихъ слояхъ пестраго песчаника; грунтъ этотъ имѣетъ много трещинъ и потому подъ верховой гранью плотины опущена, до совершенно надежнаго грунта, оградительная каменная стѣнка толщиною 2 метра. Уровень резервуара предположенъ на высотѣ 371,50 метра общей нивеллировки Франціи.

Бузейскій резервуаръ, устроенный на раздѣльной точкѣ Восточнаго канала (Canal de l'Est), питается главнымъ образомъ водопроводнымъ каналомъ длиною 43 километра, съ расходомъ въ 2 куб. метра воды, которую получаетъ близъ Remi-gepoint изъ верхняго теченія р. Мозель.

Главные измѣренія этого резервуара слѣдующія:

поверхность—1.278.000 кв. метровъ или 127,8 гектаровъ,

объемъ содержимой воды 7.094.000 куб. метровъ,

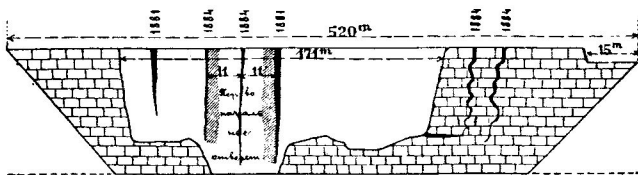
высота слоя воды, которымъ можно располагать для надобности судоходства—10,50 метра,

полная глубина резервуара отъ отмѣтки 371,50 метра до порога опорожнительной трубы 15 метровъ.

Вода выпускается изъ резервуара посредствомъ водопроводной каменной трубы, устроенной въ толщѣ плотины и снабженной двумя щитами.

Въ Бузейской плотинѣ, поелѣ впуска воды въ резервуаръ, произведены весьма важныя работы по усиленію ея. 15-го марта 1884 года вода въ резервуарѣ въ первый разъ достигла отмѣтки 368,80 метра, т. е. на 13 метровъ выше дна резервуара и на 2,70 метра ниже проектнаго уровня, при чемъ объемъ воды въ немъ составлялъ 4.700.000 куб. метровъ.

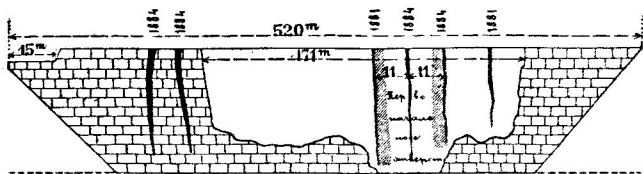
Подъ вліяніемъ напора воды въ плотинѣ образовались еще четыре вертикальныя трещины (черт. 2 и 3) и затѣмъ средняя часть ея подверглась движенію, представлявшему значительную опасность. А именно, массивъ плотины подвинулся цѣликомъ къ низовой сторонѣ, образовавъ въ планѣ почти правильную кривую, длиною 120 метровъ, со стрѣлкою въ 0,37 метра. Плотина не подверглась при этомъ ни осадкѣ, ни опро-



Черт. 2.—Наружный фасадъ.

кидыванію, но простому поступательному горизонтальному движенію, которое было объяснено скольженіемъ стѣны по тонкому слою глины подъ фундаментомъ.

Это движеніе вызвало въ серединѣ и на оконечностяхъ кри-



Черт. 3.—Внутренній фасадъ.

вой, и въ особенности въ грунтѣ, въ которомъ основана стѣна, многочисленныя трещины, вслѣдствіе которыхъ образовались фильтраціи, доходившія до 30.000 куб. метр. въ 24 часа.

Это несчастье было приписано трещиноватому состоянію грунта, на которомъ заложена стѣна. Оградительная стѣнка, опущенная въ грунтъ подъ передней гранью плотины, не могла предупредить проникновенія въ трещины воды, обнаружившей значительное давленіе снизу вверхъ. Это давленіе, уменьшивъ

вѣсъ плотины, дало возможность горизонтальному давленію оторвать стѣну отъ оградительной стѣнки и заставить ее скользить по площади основанія.

Работы по усиленію стѣны, произведенныя въ 1888 и 1889 гг., заключались въ слѣдующемъ. Съ низовой стороны, вдоль всей плотины (черт. 4) устроили каменный устой съ трапецидальнымъ сѣченіемъ, заложенный на совершенно плотномъ грунтѣ; низовая сторона устоя совершенно вертикальна и упирается въ скалу по высотѣ на 6 метровъ; верхняя его поверхность горизонтальна, при ширинѣ въ 1,50 метра; верховая сторона устоя, предназначенная для принятія на себя распора плотины, расположена нормально къ криволинейной низовой поверхности плотины, т. е. съ заложеніемъ около 3 на 5 высоты. Между устоемъ и подошвой плотины устроенъ распорный массивъ, имѣющій приблизительно форму прямоугольнаго треугольника, котораго малый катетъ, длиною 5 метровъ, упирается въ устой; большой, нѣсколько искривленный катетъ, длиною около 14 метровъ, образуетъ новую низовую поверхность плотины, а гипотенуза въ видѣ уступовъ соединяетъ массивъ съ прежнею поверхностью плотины. Кладка устоя произведена горизонтальными рядами, а кладка распорнаго массива рядами нормальными къ новой низовой поверхности плотины.

Такимъ образомъ заложеніе плотины увеличено по горизонтальному направленію на 50%; при томъ, та часть распора, которая не уничтожается горизонтальнымъ треніемъ плотины по ея основанію, уничтожается сопротивленіемъ упорной плоскости, составляющей отъ 5 до 6 кв. метровъ на одинъ погонный метръ плотины.

Подъ верховой гранью устоя расположена продольная водосборная канавка, въ которой собираются фильтраціонныя воды, выведенныя затѣмъ поперечными трубами къ низовой сторонѣ устоя.

Подъ самой плотиной, при помощи минныхъ галлерей, вынуты были части основного грунта, которые оказались особенно разстроенными вслѣдствіе скольженія плотины и долго продолжавшихся фильтрацій, и замѣнены каменной кладкой на поронико-

образномъ цементѣ. Наконецъ, съ верховой стороны плотины сперва расчистили, а затѣмъ заполнили цементнымъ растворомъ, трещину, которая образовалась между самой плотиной и огради- тельной стѣнкой и закрыли эту щель каменнымъ порогомъ, поперечное сѣченіе. котораго представляетъ четверть круга съ радіусомъ въ 2,50 метра. Этотъ порогъ затѣмъ покрытъ слоемъ мятой глины толщиной около 3 метровъ. Вертикальныя щели плотины были замазаны портландскимъ цементомъ и вся вну- тренняя поверхность плотины оштукатурена имъ же, слоемъ толщиной въ $1\frac{1}{8}$ дюйма.

Вслѣдствіе этихъ работъ французское Министерство путей сообщенія *) считало возможнымъ держать воду въ резервуарѣ на всю проектированную высоту, что и исполнялось съ 1890 г. до апрѣля 1895 г.

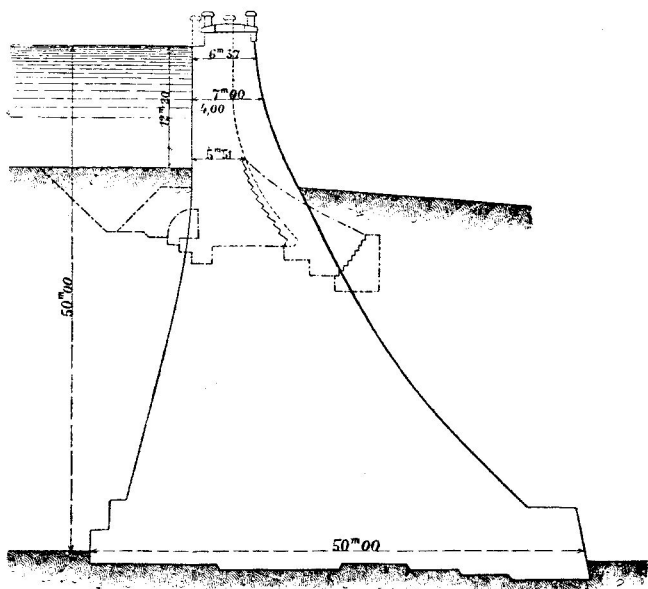
Послѣдняя катастрофа указываетъ на неосторожность такого рѣшенія, трудно оправдываемаго поелѣ происшедшаго въ 1884 году движенія, которое непременно должно было оста- вить вертикальныя трещины. Замѣчательно, что первую выр- ваною частью были участки стѣны въ 22 метра шириною, съ тремя вертикальными трещинами, изъ которыхъ одна появилась еще въ 1881 году, а двѣ другія въ 1884 г. Первоначально опрокинутая часть стѣны ограничивалась крайними трещинами и раздѣлена была на двѣ глыбы, каждая въ 11 метровъ ши- рины, трещиною приходившеюся по серединѣ.

По обнаруженнымъ свѣдѣніямъ, о прорывѣ плотины, фун- даментъ стѣны при этомъ не получилъ никакого движенія; это доказываетъ, что работы, произведенныя въ 1888—1889 г. по усиленію фундамента, вполнѣ устранили опасность отъ неудо- влетворительнаго свойства грунта, на которомъ основана стѣна. Катастрофа выразилась вырываніемъ верхней части стѣны, что прежде всего можетъ быть приписано недостаточной толщинѣ профиля стѣны. Въ самомъ дѣлѣ, если профиль Бузейской пло- тины нанести на профиль Фюранской плотины (Gouffre d'Enfer

*) Génie Civil, T. XXVII, № 1 (4 Mai 1895) Rupture de la digue de Bougey, par N. Rogeard.

близъ Saint-Etienne во Франціи) (черт. 5), то увидимъ, что профиль Фюранской плотины имѣть большую толщину, а именно вверху на 2,37 метра, а у плоскости перелома на 4 метра, а въ среднемъ на 70%.

Плотины *du Ternay*, которая снабжаетъ *Annonay*, плотина *de Rive* около Saint-Chamond, плотина *de Chartrain*, устроенная



Черт. 5.

пониже Roanne, — всѣ имѣютъ такой же избытокъ толщины сравнительно съ Бузейской плотиной.

Первые два изъ этихъ сооружений, равно какъ и Фюранская плотина построены въ промежутокъ съ 1862 до 1870 г., такъ, что, ко времени постройки Бузейской плотины, онѣ уже успѣли доказать свою цѣлесообразность. Такимъ образомъ представляется яснымъ, что при постройкѣ Бузейской плотины оказано было слишкомъ большое довѣріе очевидно невѣрному расчету устойчивости, сказавшемуся въ уменьшеніи до такой степени толщины находящейся сверхъ грунта части

плотины. Это тѣмъ болѣе подлежитъ осужденію, что Бузейская плотина въ планѣ совершенно прямолинейна, между тѣмъ какъ неѣ остальные, поименованныя здѣсь плотины, представляютъ въ планѣ—дуги круга, обращенныя выпуклостью къ верховой сторонѣ — условіе чрезвычайно благопріятное для прочности такихъ сооруженій.

Надо замѣтить, что при криволинейномъ планѣ длина плотины не очень увеличивается сравнительно съ прямолинейнымъ. Такъ при углѣ въ 30° дуга круга длиннѣе стягивающей ее хорды всего лишь на $4,6\%$.

Къ невыгодной сторонѣ Бузейской плотины надо отнести еще то обстоятельство, что она съ верховой стороны не имѣетъ никакого уклона (какъ это сдѣлано напр. въ Фюранской плотинѣ) и что опорознительный каналъ, устроенный при ней въ глубинѣ тальвега ручья *Aviège*, представлялъ собою также невыгодное обстоятельство, которое было избѣгнуто при сооруженіи четырехъ остальныхъ плотинъ.

Затѣмъ можно приписать причину катастрофы, по крайней мѣрѣ въ нѣкоторой степени, дѣйствию сильныхъ холодовъ предшествовавшей зимы.

Но если дѣйствительно вліяніе мороза на хорошую каменную кладку производитъ въ ней трещины, то это было бы разговоромъ противъ каменныхъ плотинъ, такъ какъ обыкновенная каменная кладка всегда представляетъ опасность отъ швовъ и отъ размытія въ нихъ раствора дѣйствіемъ продолжительныхъ фильтрацій. Это наводитъ на мысль о замѣнѣ ея въ подобныхъ случаяхъ бетономъ на цементъ. При этомъ бетонъ долженъ быть укладываемъ непрерывно, такъ чтобы образовать настоящій монолитъ. Совершенно подходящій этому примѣръ можно видѣть въ портахъ, при работахъ производимыхъ для сухихъ доковъ.

Во всякомъ случаѣ въ подобныхъ обстоятельствахъ надо твердо помнить мудрый совѣтъ генеральнаго инспектора Кранца, который въ своемъ мемуарѣ о плотинахъ резервуаровъ говоритъ: „Въ виду подобныхъ случайностей инженеръ не долженъ щеголять смѣлостью и не долженъ представлять публикѣ ручательства своей отвѣтственности, не могущей поправить столь ужасныя

бѣдствія. При малѣйшемъ приближеніи профессиональной смѣлости къ дерзости (*témérité*) — смѣлость дѣлается преступленіемъ. Ее должно преслѣдовать и заключать въ границы строгой осторожности“ *).

Катастрофа съ Бузейскимъ резервуаромъ наводитъ еще на мысль, въ виду опасности представляемой окрестнымъ жителямъ, о пользѣ привлеченія ихъ, за извѣстное вознагражденіе, къ натуральной повинности по охраненію и исправленію подобныхъ сооружений.

Самыя вѣроятныя предположенія о причинахъ и обстоятельствахъ обрушенія этой плотины находятся въ статьѣ *La rupture du barrage du réservoir de Bouzey* въ журналѣ „*Le Génie Civil*“ № 2 (11 Mai 1895) и именно въ помѣщенномъ въ этой статьѣ письмѣ, г. Le Brun, бывшаго главнаго инженера желѣзной дороги и порта на островѣ Réunion (бывшій Bourbon) къ редактору журнала.

Въ письмѣ своемъ г. Le Brun говорить, что всѣ его выводы основаны только на извѣстныхъ ему фактахъ, отчасти приведенныхъ выше, но что вполне вѣрныя заключенія могутъ быть получены только по окончаніи работъ слѣдственной комиссіи, которыя до сихъ поръ не появлялись въ печати. Далѣе приводятся подлинныя слова этого инженера.

„Въ 1884 году воспользовались плотиною для впуска воды въ Бузейскій резервуаръ, при уровнѣ ея на 2,70 метра ниже предположеннаго по проекту, при чемъ средняя часть плотины (имѣющей въ планѣ прямолинейное начертаніе и длину 432 метра) по длинѣ 120 метровъ сдвинулась впередъ или выпучилась, сохраняя вездѣ

*) Самою дерзкою плотиною надо считать плотину Беръ-Валлей (Bear-Valley) въ Южной Калифорніи (см. статью Д. Н. Головинина—объ орошеніи въ Сѣверо-Американскихъ Штатахъ стр. 58). При высотѣ 64 фута ширина ея по верху 3,2 фута, на глубинѣ же 48 футъ 8,4 фута, далѣе идетъ 2-футовый уступъ и наибольшая ширина основанія всего 20 футъ. Въ планѣ она выпукла къ сторонѣ воды по радіусу круга въ 300 футъ. Плотина эта исполнена изъ весьма тщательной гранитной кладки на цементѣ, но очевидно можетъ сопротивляться напору воды только какъ сводъ.

вертикальное положеніе; стрѣлка этого выпучиванія дошла до 0,37 метра, но при этомъ не замѣчено ни осадки, ни стремленія къ опрокидыванію. Такое движеніе, конечно, обусловило появленіе, около середины и на оконечностяхъ кривой, многочисленныхъ вертикальныхъ трещинъ. Это поврежденіе было причиною того, что оградительная стѣнка, устроенная подъ верховою гранью плотины, уже не могла представить препятствія къ прониканію воды въ щели трещиноватой скалы, на которой заложена была плотина, при чемъ вода производила снизу вверхъ вертикальное давленіе, уменьшившее вѣсь стѣны, такъ что горизонтальное давленіе воды заставило стѣну скользить по ея основанію, отдѣливъ ее отъ оградительной стѣнки“.

„Исправленія, произведенныя въ плотинѣ въ 1888—1889 гг., имѣли главную цѣлью воспротивиться скользянію плотины съ верховой стороны къ низовой, но онѣ не увеличили вѣса верхней части стѣны надъ горизонтальной плоскостью излома и только упрочили вполнѣ фундаментъ стѣны. Въ 1890 г. въ резервуаръ впустили все предположенное количество воды, при чемъ плотина не подверглась никакимъ поврежденіямъ“.

„Положеніе было такое: стрѣла сдвинувшейся въ 1884 г. средней части стѣны осталась та же, а равно въ томъ же состояніи остались и шесть вертикальныхъ трещинъ, образовавшихся или вслѣдствіе движенія, или вслѣдствіе дѣйствія температуры, и трещины эти открывались зимою и закрывались лѣтомъ подъ вліяніемъ температуры. Существованіе этихъ трещинъ было точно констатировано и положеніе ихъ обозначено на планѣ“.

„Наблюденіе за стѣною производилось сторожемъ, который, осматривая плотину два раза въ сутки, не замѣтилъ въ ней ничего ненормальнаго. И такъ, никакого *очень явнаго* измѣненія не было замѣчено и катастрофа случилась *внезапно*, что надо имѣть въ виду. Весьма важно бы знать не возвысился ли передъ самой катастрофой уровень

воды въ резервуарѣ выше нормальнаго, вслѣдствіе прибыли воды или вслѣдствіе волненія, такъ какъ въ такихъ глубокихъ прудахъ высота волнъ можетъ доходить до 2-хъ и даже до 3 метровъ. Важно также знать было ли въ утро этого несчастья тихо, или же подъ вліяніемъ даже умѣренного вѣтра не колебалась ли вода періодическими волнами, которыя наблюдаются на озерахъ и большихъ прудахъ, волнами, вызванными внезапными дуновеніями“.

Эти ритмическія волны, если онѣ имѣли мѣсто въ это время, представляли весьма большую опасность для поврежденной уже каменной кладки при слишкомъ жидкой профили. Это одна изъ гипотезъ, которая можетъ быть повѣрена метеорологическими наблюденіями въ сосѣднихъ мѣстахъ.

Какъ бы то ни было, обрушеніе, какъ кажется, должно было начаться въ самой глубокой части прорыва, по ниринѣ 21 метръ, на которую приходились три вертикальныя трещины: одна образовавшаяся въ 1881 году, а двѣ остальные въ 1884 году. Такъ какъ при началѣ прорыва скорость воды не была еще велика, вырванные части стѣны остались почти у самого основанія плотины, между тѣмъ какъ другія части каменной кладки были отнесены на гораздо большее разстояніе.

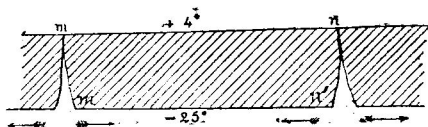
Порогъ бреши въ этой средней части находится гораздо ниже тѣмъ справа и слѣва — обстоятельство, на которое было обращено вниманіе инженеровъ. На остальной части бреши изломъ, какъ кажется, произошелъ по линіи *ab* черт. 4. Фотографіи показываютъ, что порогъ этотъ очень правиленъ съ верховой стороны, между тѣмъ какъ съ низовой стороны замѣчается призма *bcd* излома, или раздавливанія, имѣющая различныя измѣренія, что указываетъ на то, что вырванный массивъ опрокинулся на низовую сторону, вращаясь около точки *d*, приподнявшись въ то же время въ точкѣ *a*. Фундаментъ стѣны, какъ кажется, не потерпѣлъ никакихъ поврежденій.

Такимъ образомъ исправленія 1888—1889 года вполнѣ

достигли своей цѣли; онѣ предотвратили скользеніе стѣны, но онѣ не могли увеличить устойчивости и потому не могли предупредить опрокидываніе.

Все это можетъ служить объясненіемъ того, какъ произошло обрушеніе, но не указываетъ на причину катастрофы.

Была выражена также гипотеза, что пзмѣненіе въ температурѣ послѣдней зимы могло быть причиною этого несчастья, такъ какъ вслѣдствіе этого разность температуры на обѣихъ сторонахъ плотины могла доходить до 25 и 30 градусовъ Цельсія. Въ этомъ нѣтъ ничего невѣроятнаго.



Черт. 6.

Въ самомъ дѣлѣ пусть будутъ mm' и nn' слѣды температурныхъ трещинъ на горизонтальной плоскости (черт. 6). Такъ какъ температура верховой стороны каменной плотины, обращенной къ водѣ, держалась на $+4^{\circ}$, а температура низовой стороны, обращенной въ воздушное пространство, понижалась до -25° , то естественно трещины съ низовой стороны расширились, при чемъ въ кладкѣ образовались отдѣльныя глыбы, которыя держались только сдѣпленіемъ съ внутренней стороны и оставались на своихъ мѣстахъ только вслѣдствіе собственной устойчивости.

Если бы плотина имѣла въ планѣ выпуклую фигуру къ верховой сторонѣ, то распоръ порождаемый водою стремился бы закрыть эти трещины при малѣйшемъ движеніи, и всѣ эти глыбы упирались бы одна на другую; но при прямолинейномъ планѣ, приданномъ плотинѣ съ самаго начала, а тѣмъ болѣе при вогнутой формѣ, которую плотина получила вслѣдствіе катастрофы въ 1884 г., ничто не представляло сопротивленія движенію, каждаго клина такого горизонтальнаго свода, къ свободной низовой сторонѣ.

Полагають также, что могла образоваться горизонтальная трещина по *mn*, соединявшая между собою три вертикальныя трещины, приходившіеся на первоначально вырванномъ массивѣ, чрезъ что въ тѣлѣ плотины и образовался этотъ совершенно отдѣльный массивъ.

Если эта трещина существовала, то спрашивается какъ надо считать ее—за причину или за слѣдствіе? Казалось бы, что возможно допустить ея предшествовавшее существованіе. Указаніемъ этого служила чистота верховой кромки обвалившейся части.

Трещина могла явиться вслѣдствіе слабости профили выше плоскости излома, малой устойчивости этой призмы и, наконецъ, вслѣдствіе удара волнъ, или этого ритмическаго волненія большихъ-водныхъ площадей—она могла начаться едва замѣтной, увеличивающейся съ каждымъ годомъ трещиной. Съ верховой стороны когда резервуаръ былъ пустъ, массивъ принималъ устойчивое положеніе, и трещина дѣлалась невидимой; съ низовой же стороны она могла обнаруживаться только нѣкоторою разстроенностью шва, которую, не имѣвній этого въ виду, сторожъ могъ и не замѣтить.

Съ наружной стороны у разрушившейся части плотины, правда, замѣчается горизонтальный рубецъ, но можетъ быть онъ образовался при вращеніи около него обрушившейся части. Эта гипотеза отлично объясняла бы внезапность разрушенія; въ самомъ дѣлѣ, вода, проникая внутрь кладки, производила бы вертикальное давленіе снизу, уменьшая такимъ образомъ вѣсъ верхняго массива, устойчивость котораго, уже слабая сама по себѣ, быстро уменьшалась по мѣрѣ того, какъ трещина расширялась. Конечно, въ существованіи этой горизонтальной трещины можно было убѣдиться только, внимательнымъ наблюденіемъ но для того надо было это предвидѣть. Разъ массивъ находился въ неустойчивомъ положеніи, нужна была самая ничтожная внѣшняя причина, хотя бы дѣйствіе довольно низкой волны, чтобы сбросить его; вырванная часть обрушилась

путемъ вращенія, не обнаруживая никакихъ предварительныхъ признаковъ разстройства.

Во всякомъ случаѣ по поводу этого несчастія можно вывести слѣдующія, хотя и неполныя заключенія:

1) Было бы лучше придать плотинѣ выпуклую форму въ планѣ къ верховой сторонѣ. Инженеры, производившіе подобныя постройки, чаще всего прибѣгали къ этой формѣ и не потому, что рассчитывали на сопротивленіе склоновъ долины, а единственно чтобы противодѣйствовать расширенію швовъ низкой температурой.

2) Что такъ какъ поврежденія, происшедшія въ плотинѣ въ 1884 году, указывали на недостаточность вѣса плотины, надо было при проектѣ ея усиленія принять профиль вродѣ показанной на чертежѣ 4, и которая увеличила бы въ одно и то же время и сопротивленіе плотины и устойчивость ея. Кромѣ того, чтобы увеличить устойчивость плотины при полномъ резервуарѣ слѣдовало бы поднять ее больше надъ наивысшимъ горизонтомъ воды въ резервуарѣ.

3) Наконецъ было бы осторожнѣе устроить съ низовой стороны прочныя контрфорсы въ точкахъ, въ которыхъ поврежденія 1884 г. произвели наибольшее разстройство.

Поэтому случаю было поднято много другихъ вопросовъ, между прочимъ и вопросъ объ электрическихъ предупредителяхъ. Безспорно, что всегда желательно, вѣ угрожаемой полосы, обезпечить себѣ средства телеграфнаго сообщенія, хотя въ большей части случаевъ, при растерянности, которая является при подобныхъ катастрофахъ, забываютъ ими пользоваться. Во всякомъ случаѣ не слѣдуетъ лишать себя этой помощи.

При всякомъ подобномъ сооруженіи слѣдовало бы съ низовой стороны принимать всевозможныя предосторожности, опредѣливъ участки мѣстности подверженныя большей или меньшей опасности, а- въ самыхъ опасныхъ мѣстахъ слѣдуетъ запретить возводить жилыя помѣщенія; въ другихъ, менѣе опасныхъ, установить предупредительные сигналы.

Прежде всего надо принять *всѣ извѣстныя мѣры предосторожности* при проектированіи и исполненіи этихъ сооруженій, всегда опасныхъ, но которыя, при распространяющейсѣ утилизациі гидравлической силы, хотя бы для произведенія электричества, будутъ несомнѣнно размножаться гораздо болѣе чѣмъ въ прежнее время.

По поводу, указываемой инженеромъ Le Buiп, вѣроятной непосредственной причины обрушенія Бузейской плотины, при признанной неустойчивости ея, а именно *волненія*, развитаго на резервуарѣ вѣтрами, какъ въ день катастрофы 27 апрѣля, такъ и въ предшествовавшіе дни, мы находимъ подтвержденіе въ статьѣ напечатанной въ журналѣ Globus 1895 г., № 3. Авторъ этой статьи располагалъ, при изслѣдованіи этого вопроса, только утренними наблюденіями произведенными въ Альткирхѣ, Кайзерслаутернѣ и Парижѣ, т. е. въ пунктахъ отстоящихъ отъ даннаго мѣста на 90 и болѣе километровъ. Но наблюденія эти оказались до такой степени согласными между собою, что нѣтъ основанія сомнѣваться въ вѣрности ихъ и для *Bousey*. Начиная съ 24 апрѣля, т. е. значить за три дня до катастрофы, въ Альткирхѣ преобладающее направленіе вѣтра колебалось между южнымъ и юговосточнымъ. Въ Кайзерслаутернѣ оно было западно—юго-западное.

Отсюда, въ соотвѣтствіи съ направленіемъ вѣтра, наблюдавшагося въ Парижѣ, слѣдуетъ предположить, что въ *Bousey* направленіе вѣтра было прямо съ юга, и это представляется также весьма правдоподобнымъ по тогдашнему распредѣленію атмосфернаго давленія.

Такимъ образомъ, въ теченіе трехъ предшествовавшихъ катастрофъ дней, волны, развиваясь на поверхности озера въ направленіи съ юга на сѣверъ, ударили перпендикулярно въ плотину, находящуюся на сѣверной сторонѣ резервуара, пройдя предварительно всю ширину озера составляющую отъ 2-хъ до 3 километровъ. И такъ къ утру 27 апрѣля приборъ у плотины долженъ былъ достигнуть значительной высоты. Наконецъ, въ 5 ч. 20 и. утра, изъ стѣны, предварительно разшатанной и потерявшей связь, была вышиблена одна изъ среднихъ каменныхъ глыбъ, между

существовавшими уже вертикальными трещинами по ширинѣ 22 метра, а затѣмъ прорвавшаяся въ это отверстіе вода, образуя сначала струю толщиною отъ 12 до 13 метровъ, увлекла за собою смежные глыбы и ушибла брешь до 171 метра.

Авторъ статьи въ *Globus* подтверждаетъ также мысль о важности сигнальной службы и говоритъ: при возведеніи сооружений, которыя подобно данному, такъ существенно измѣняютъ естественное равновѣсіе мѣстныхъ условій, необходимо организовать на цѣлые десятки лѣтъ особую наблюдательную службу. Въ данномъ же случаѣ слѣдовало содержать еще и особую телеграфную службу для предостереженія жителей.

Случившійся, съ 25 на 26 августа 1894 г., въ Ость-Индіи прорывъ естественно загражденный горными обвалами долины *Behai Gongga* представляется по своимъ размѣрамъ несравненно болѣе грандіознымъ происшествіемъ. Брешь здѣсь имѣла ширину не 171, а цѣлыхъ 270 метровъ ширины. Хлынувшая чрезъ нее масса воды имѣла высоту не 13 метровъ а 50 метровъ, а произведенное ею опустошеніе простиралось не на 25 или 30 километровъ, а на 200 километровъ. Тѣмъ не менѣе здѣсь не было ни одной человѣческой жертвы и это лишь потому, что, благодаря организаціи, за нѣсколько мѣсяцевъ предъ тѣмъ, особой службы, въ цѣляхъ предупрежденія несчастія, жители подвергавшіеся опасности могли быть выселены еще за 24 часа.

Случай этотъ заключался въ слѣдующемъ:

Въ горномъ ущельи *Behai Gongga* въ Гималайскихъ горахъ обрунившіяся горы въ сентябрѣ 1893 г. завалили ущелье, чрезъ что образовалась естественная плотина, высотой 270 метровъ по длинѣ 800 метровъ внизу. Ширина этой плотины внизу составляетъ 3.500 метровъ, а вверху 500 метровъ. Вода скопляясь здѣсь съ сентября 1893 года, образовала здѣсь озеро въ низовыхъ ущельяхъ Гималая. Англійскія власти, предвидя пополненіе этого озера и размывъ естественной плотины, устроили телеграфную службу для предупрежденія прибрежныхъ жителей р. *Alaklanda* до точки сліянія этой рѣки съ Гангесомъ, которая находится въ 200 километрахъ отъ этой плотины.

24 августа 1894 г. вода озера достигла вершины плотины,

гдѣ ее задерживали всю ночь, чтобы дать возможность низовымъ жителямъ выбраться изъ своихъ жилищъ. На слѣдующее утро 25 августа начался переливъ воды чрезъ плотину и самый размывъ плотины, полный прорывъ которой произошелъ въ теченіе 24 часовъ. При этомъ въ ущельи Gohua вода поднялась на 50 метровъ, а въ Гангесѣ близъ г. Hardwar, 200 километровъ ниже, вода поднялась на 3 метра.

Въ тоже время городъ Сринагаръ, который былъ покрытъ слоемъ воды толщиной отъ 15 до 20 метровъ, при огромной скорости, былъ почти совершенно уничтоженъ. Истеченіе воды совершенно окончилось только вечеромъ 26 августа, т. е. чрезъ 36 часовъ. При этомъ какъ сказано, благодаря телеграфному предупрежденію, никто не погибъ.

Возвращаясь къ катастрофѣ съ Бузейской плотиною, надо замѣтить, что иностранная особенно нѣмецкая пресса отнеслась къ этому, какъ и слѣдовало ожидать, весьма неодобрительно. Особенно замѣчательны статьи Гг. Крейтера и Бюллера въ „Centralblatt der Bauverwaltung“.

Г. Крейтеръ говорить слѣдующее:

„Руководствуясь экономическими соображеніями поставить каменную плотину на подверженной скольженію поверхности (тонкій слой глины, прорѣзывающій рыхлый слой песчаника) было непростительной ошибкой съ самаго начала. Кромѣ того форма и размѣры поперечнаго сѣченія, бросающіеся въ глаза съ перваго взгляда, находятся въ противорѣчіи съ установленными инженерами Delosté основаніями, развитыми самымъ яснымъ образомъ Ранкиномъ и которые въ то время (1879 г.) были уже хорошо извѣстны. А именно по положенію кривой давленія при совершенно полномъ резервуарѣ должны были неизбѣжно развиваться въ каменной кладкѣ со стороны напора весьма значительныя растягивающія напряженія, а кривая давленія пересѣкала основаніе не въ средней трети ея, а въ крайней наружной трети ея. Ненадежность этой профили была весьма убѣдительно доказана итальянскимъ инженеромъ г. Круньола въ мемуарѣ, появившемся

въ 1890 г. подъ названіемъ: „Serbatoi d'acqua o laghi artificiali“ (Gaetano Crugnola).

Г. Круньола указалъ, что наибольшее давленіе на подшву Бузейской плотины доходило до 11 килограмовъ на 1 квадр. сантиметръ въ то время, какъ лучшими французскими строителями не допускается въ этихъ сооруженіяхъ давленіе болѣе 7 килограмовъ на 1 квадр. сантиметръ“.

Вопросомъ о каменныхъ плотинахъ болѣе всего занимались французскіе инженеры Гг. Кранцъ Graeff, Sazilly и Delocré. Прекрасными пособіями для практиковъ можетъ служить трудъ г. Кранца „Etude sur les murs de reservoirs“ 1870 г., въ которомъ собраны примѣры замѣчательнѣйшихъ сооружений этого рода. Затѣмъ всѣ теоретическія соображенія по этому вопросу можно найти въ статьяхъ инженеровъ Sazilly — (Annales des ponts et chaussées 1853), затѣмъ въ статьяхъ Гг. Graeff и Delocre, въ „Annales des Ponts et Chaussées“ 1866 г., въ которыхъ выработанъ профиль нормальной каменной плотины, имѣющей видъ тѣла равнаго сопротивленія, при чемъ въ дѣло идетъ наименьшее количество каменнаго матеріала.

Какъ образчикъ безукоризненной и при томъ монументальной каменной плотины здѣсь слѣдуетъ привести Фюранскую плотину на ручьѣ Furgans, который запруженъ въ мѣстности называемой Gouffre d'Enfer, близъ и для снабженія города St. Etienne во Франціи. Плотина эта построена въ 1862 — 1866 годахъ инженерами Graeff и Mongolfier и имѣетъ высоту въ 50 метровъ. Расчетъ ея устойчивости и прочности сдѣлавъ инженеромъ Delocre, такъ что всякая точка въ каменной плотинѣ нигдѣ не подвержена давленію болѣе 6 килогр. на 1 кв. сантиметръ, которое Кранцъ считаетъ предѣльнымъ въ практикѣ, т. е. 2.363 пуда на 1 кв. дюйм.

Только послѣ сооруженія Фюранской плотины (называемой также Digue de Roche-taillée), устраивая плотину на р. Вап близъ st. Chamond, рѣшили довести давленіе въ каменной кладкѣ до 8 килограмовъ на 1 кв. сантиметръ.

Въ заключеніе представляю здѣль извлеченіе изъ интересной

таблицы, приведенной на стр. 274 сочиненія Crugnola о каменных плотинахъ.

Названіе плотины и годъ сооруженія.	Толщина на- верху.	Толщина внизу.	Высота уровня воды надъ по- дошвой плотины.	Объемъ камен- ной кладки на 1 пог. метрѣ.	Наибольшее давле- ніе, которому под- вержена кладка.
	МЕТР.	МЕТР.	МЕТР.	КУБ. МЕТР.	КАЛ.
Бузейская пл. (1879—1881) . .	4	14,77	24,50	182,17	11
Del Nejar (Испанія 1848—1850).	7,40	20,60	25,00	500,39	7,50
Ternay (Annonay) (Фр.) 1865—1868	4,5	24,90	33,00	404,64	7
Furens st. Etienne 1862—1866 .	5,70	49,08	50,00	995,30	6,67
Ban (St. Chamond) 1866—1871 .	5	33,69	42,00	630,04	7,20

Плотины St. Chamond и Ternay ограничены съ верховой стороны прямолинейными гранями, а съ низовой имѣютъ криволинейную профиль. Изслѣдованіе профили равнаго сопротивленія какъ образецъ сдѣлано французскими инженерами Sazilly и Deloste и новѣйшія французскія плотины (Furens, Ternay, Ban) построены по ихъ системѣ и представляютъ на практикѣ блистательное подтвержденіе ихъ теоріи.

Здѣсь очень интересно привести заключеніе экспертной комиссіи, назначенной французскимъ правительствомъ для изслѣдованія причинъ крушенія Бузейской плотины, состоявшей изъ инженеровъ Forgue, Egrioud-Desvergnès, Mallez, Guénard, Brosselin и пришедшей къ слѣдующимъ выводамъ: (Schweizerische Bauzeitung, Декабрь 1895 г.) 1) Каменная кладка Бузейской плотины подвергалась разрывающимъ усиліямъ, превосходившимъ ея силу сопротивленія вслѣдствіе недостатка сцѣпленія каменной кладки произведенной въ 1880 году съ кладкой исполненной въ лѣто 1879 года. Вслѣдствіе этого подѣвліяніемъ разрывающаго усншія, въ среднемъ отъ 0,565 килогр. до 1,13 килогр., въ плоскости соприкосновенія старой и новой кладки образовалась длинная горизонтальная трещина. Давленіе снизу вверхъ воды проникавшей чрезъ эту трещину и трещины

вызванныя движеніемъ происшедшимъ въ 1884 году и было причиною крушенія всего сооруженія. 2) Бузейская катастрофа показываетъ, что каменные плотины надо строить такимъ образомъ, чтобы каменная кладка вовсе не подвергалась разрывающимъ усиліямъ. 3) Въ случаѣ несчастія съ другими сооруженіями, подобнаго происшедшему съ Бузейской плотиною въ 1884 году, необходимо не колеблясь передѣлать за-ново тѣ части кладки въ когорыхъ можно подозрѣвать существованіе трещинъ, способныхъ вызвать на стѣну давленіе снизу вверхъ. 4) Необходимо приступить къ повѣркѣ условій устойчивости существующихъ каменныхъ плотинъ и въ случаѣ надобности надо понизить въ резервуарахъ уровень воды настолько, чтобы уничтожить въ каменной кладкѣ всѣ разрывающія усилія.

Прорывъ плотины South Fork.

Въ Transactions of the American Society of Civil Engineers (Vol XXIV, № 477) находится рапортъ комиссіи назначенной этимъ Обществомъ съ цѣлью изученія причины прорыва плотины South Fork, который случился въ іюнѣ 1889 года и былъ причиною гибели огромнаго числа людей и произвелъ страшныя опустошенія въ Джонстаунѣ въ Пенсильваніи у подножія Аллеганскихъ горъ. Изъ этого рапорта видно, что постройка плотины была начата въ 1839 году, для резервуара, долженствовавшаго питать каналъ изъ Джонстауна въ Питтсбургъ. Матеріалъ плотины состоялъ отчасти изъ земли и отчасти изъ камня; откосы плотины имѣли заложеніе 2 : 1 на верховой сторонѣ и $1\frac{1}{2} : 1$ на низовой сторонѣ. Ширина плотины первоначально равнялась на верху 10 футамъ, но затѣмъ, для продолженія дороги, гребень плотины былъ пониженъ на 2 фута и такимъ образомъ получилось болѣе широкое полотно. Ширина плотины внизу равнялась 200 футамъ. Высота ея была 70 футъ, а количество запруженной воды составляло болѣе 500.000.000 кубическихъ футовъ. Площадь озера или резервуара равнялась при обыкновенномъ уровнѣ 407 акрамъ, при 5 ф. выше — 456 акрамъ.

Проектировавшій и начавшій это сооруженіе въ 1839 году, инженеръ Моррисъ, остановился на земляной плотинѣ, гребень которой долженъ былъ возвышаться на 10 футъ надъ уровнемъ воды въ озерѣ и которая должна была быть снабжена однимъ или двумя водосливами общео шириною въ 150 футовъ, вырытыми въ скалистомъ грунтѣ на одномъ или на обоихъ берегахъ. Въ дѣйствительности ширину водослива уменьшили вдвое, такъ что онъ имѣлъ ширину 70 фут., при чемъ вода могла свободно протекать по немъ, слоемъ толщиною лишь около 8 футъ.

Во время катастрофы во всей окрестности выпадали весьма обильные дожди и количество воды притекавшей къ резервуару составляло около 10.000 куб. ф. въ секунду, такъ что для пропуска ея, по существующему водосливу, слой ея долженъ былъ имѣть толщину 12,63 фута.

Гораздо раньше катастрофы, въ 1862 году, всѣ окрестные жители были встревожены фильтраціями вдоль водоспускныхъ трубъ, заложенныхъ по дну плотины поперекъ ея. Образовавшіеся промоины были исправлены Соутфоркскимъ рыболовнымъ и охотничьимъ клубомъ, и водоспускъ былъ задѣланъ наглухо, такъ, что въ случаѣ надобности вся излишняя вода могла протекать только по водосливу. Закрытый такимъ образомъ водоспускъ, состоявшій изъ пяти 24 дюймовыхъ чугунныхъ трубъ, съ напоромъ въ 70 футъ, значительно помогъ бы водосливу, если бы могъ дѣйствовать во время катастрофы.

Прорывъ въ плотинѣ образовался по длинѣ 420 фут., а количество вынесеннаго изъ нея матеріала составляло 90.000 кубич. ярдовъ. Коммиссія вполнѣ приписываетъ катастрофу недостаточной ширинѣ водослива, составляющей только половину первоначально проектированной инженеромъ Моррисомъ. Коммиссія, изслѣдовавшая разрушенную плотину, указываетъ на тщательную земляную работу и прекрасный матеріалъ и объясняетъ катастрофу какъ приведенными выше обстоятельствами, такъ и необыкновенными дождями, бывшими 30, 31 мая и 1 іюня на площади въ 20.000 кв. англ. миль въ Пенсильваніи между хребтами Аллеганскихъ горъ, имѣющихъ крутые склоны. Тол-

нина слоя выпавшаго въ это время дождя составляла отъ 8 до 10 дюймовъ въ промежутокъ времени отъ 18 до 36 часовъ. Такихъ дождей здѣсь никогда не бывало со времени постройки плотины, т. е. съ 1839 года. Время—въ которое опорожнился резервуаръ чрезъ образовавшуюся брешь—равнялось 45 минутамъ. Долина, по которой вода устремила къ Джонстауну, имѣетъ уклонъ въ 33 фута на милю. Вода въ рѣкѣ поднялась почти на 30 футъ, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ значительно больше. Всѣ мосты между станціями South Fork Station и Джонстауномъ были смыты вмѣстѣ съ насыпями желѣзной дороги и путемъ, при чемъ наибольшее разрушеніе произошло въ пяти миляхъ отъ города.

Во время катастрофы почти всѣ рабочіе Пенсильванской желѣзной дороги были заняты исправленіемъ поврежденій, произведенныхъ шедшими предъ тѣмъ дождями на другихъ частяхъ линіи. Служащіе къ западу отъ Джонстауна начали собирать людей для спасательныхъ работъ въ субботу, день слѣдующій за прорывомъ, а въ понедѣльникъ вечеромъ собрали 1.250 человекъ, которые работали днемъ и ночью въ теченіе 11 дней. За это время ими было устроено для дороги 3.200 футъ эстакадъ, высотой отъ 15 до 20 фут., положено 29.000 футъ главнаго пути и 9.000 футъ боковыхъ путей. Одинъ мостъ длиною 2.200 футъ былъ устроенъ въ 48 часовъ.

Уничтоженіе имущества наводненіемъ опредѣляется суммою отъ 3 до 4 милліоновъ долларовъ, а число погибшихъ при этомъ людей по тщательному опредѣленію доходить до 2.500; хотя цифра эта оказывается вчетверо менѣ первоначально опубликованной, но все же представляется ужасающею.

Весьма живое и интересное описаніе этой катастрофы находимъ въ Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. XXIV, 1891 г., въ письмѣ инженера John G. Parke, бывшаго свидѣтелемъ этого бѣдствія; онъ былъ занятъ въ это время устройствомъ дренажа на мѣстности, принадлежавшей Соутъ-Форкскому клубу.

Наканунѣ прорыва г. Parke отправился въ лодкѣ чрезъ озеро къ ручью South Fork Creek, снабжавшему озеро и

имѣвшему обыкновенно 75 ф. ширины и 2 ф. глубины; теперь оно обратилось въ бурный потокъ, вырывавшій деревья и спрямившій себѣ путь къ озеру, при чемъ прилегающая дорога была покрыта слоемъ воды въ 3 фута. Предвидя несчастье, начали на одномъ скалистомъ берегу прорывать канаву для пропуска прибывавшей воды; по тверлости грунта успѣли прорыть канаву только въ 2 ф. ширины и 14 д. глубины, устремясь въ которую вода расширила ее до 25 ф. и углубила до 20 д. Въ то же время вдоль гребня земляной плотины прошли плугомъ, чтобы поднятой землей возвысить плотину со стороны озера. Протокъ воды по существовавшему водосливу былъ затрудненъ стойками устроеннаго чрезъ него моста. Вода прибывала въ озеро на 9 д. въ часъ. Несмотря на принятыя мѣры, вода стала переливаться чрезъ плотину по длинѣ 300 футъ и всѣ рабочіе тогда бѣжали. Вода стала смывать уступами низовую сторону плотины и когда уступы приблизились къ озеру, при чемъ земляная часть плотины утонилась такъ, что не выдерживала напора, плотину прорвало по всей высотѣ и озеро опорожнилось сполна въ 45 минутъ, при чемъ вода уносила огромныя деревья, какъ соломенки. Вода переливалась чрезъ плотину отъ 11½ часовъ утра до 3 часовъ пополудни.

По заключенію комисіи все несчастье произошло отъ перелива воды чрезъ земляную плотину вслѣдствіе недостаточнаго отверстія водослива для пропуска прибыли въ 10.000 куб ф. въ секунду; водосливъ при своей ширинѣ въ 70 ф. долженъ былъ пропускать воду по крайней мѣрѣ слоемъ въ 12,63 ф., между тѣмъ при уровнѣ воды на 10 ф. выше дна водослива вода уже переливалась чрезъ гребень плотины.

Обрушенія Шеффильдекой и Виллѣмбургской плотинъ.

Резервуаръ Dale Dike около Шеффилда былъ образованъ земляной плотиною высотой 28,95 метровъ и имѣлъ вмѣстимость въ 3.000.000 куб. метровъ. Плотину эту прорвало въ пол-

ночь на 11 марта 1864 года, при чемъ понесены громадныя матеріальныя убытки, 238 человѣкъ лишились жизни и снесено течешемъ 800 домовъ.

По этому поводу Cugnola замѣчаетъ, что земляныя плотины не должны имѣть высоту болѣе 20 метровъ, а нѣкоторые полагаютъ не болѣе 15 метровъ, между тѣмъ, какъ Шеффилдская плотина имѣла высоту 29 метровъ. При такой значительной высотѣ по его мнѣнію надо прибѣгать къ каменнымъ плотинамъ, хотя уже нѣсколько вѣковъ существуютъ въ Индіи, въ Шотландіи и въ самой Англіи резервуары съ земляными плотинами еще большей высоты 30 метровъ и которыя и въ настоящее время находятся въ хорошихъ условіяхъ прочности.

Плотина резервуара устроенная на р. Mill въ Вилліамсбургѣ (Massachusetts), построенная въ 1865 году, состояла изъ земляной насыпи и каменной стѣны внутри. Ея наибольшая высота была 13,10 метра, а длина 160 метровъ. Стѣна находилась внутри насыпи и имѣла высоту 12,80 метра и толщину вверху 0,60 метра, а внизу 1,75 метра. Вода здѣсь просачивалась между подошвой плотины и поверхностью земли, которая размокла на извѣстной длинѣ, такъ что стѣна, не находя подъ собою опоры, обрушилась 16 мая 1874 г. При этомъ погибло 143 человѣка, а имущественныя убытки дошли до 500.000 франковъ. Это обрушеніе произошло отъ медленнаго и постояннаго просачиванія воды, а не отъ большого давленія, потому что уровень воды во многихъ предшествовавшихъ случаяхъ достигалъ высоты гораздо болѣе, чѣмъ въ моментъ обрушенія плотины.

Вообще необходимо сказать, что смѣшанная система (земляная насыпь и каменная стѣна), принятая для Вилліамбургской плотины, сама по себѣ ошибочна и что именно въ этомъ обстоятельстве и надо искать главную причину этой катастрофы.

Кончая этотъ обзоръ несчастныхъ случаевъ съ водоудержательными плотинами за границей, происшедшихъ вслѣдствіе ошибокъ сдѣланныхъ при ихъ сооруженіи, а также вслѣдствіе отсутствія необходимаго надзора и предупредительныхъ мѣръ для

огражденія населенія живущаго ниже такихъ опасныхъ сооруженийъ, нельзя однако не согласиться съ инженеромъ Le Vign, что сооруженія эти имѣютъ большую будущность вслѣдствіе развитія промышленности и выгоды пользоваться даровою силою воды, хотя бы для добыванія электричества. При томъ, вопросъ о рациональной и экономической постройкѣ плотинъ настолько разработанъ трудами французскихъ инженеровъ и такъ очевидна возможность принять необходимыя мѣры предосторожности, что нѣтъ основанія отступать предъ страхомъ бѣдствій, бывшихъ послѣдствіемъ приведенныхъ здѣсь несчастныхъ случаевъ.

Сколько мнѣ извѣстно, въ Россіи до сихъ поръ почти не строили сколько нибудь значительныхъ каменныхъ вододержательныхъ плотинъ, но нѣтъ сомнѣнія, что онѣ скоро явятся особенно въ такихъ гористыхъ мѣстахъ нашихъ южныхъ окраинъ, какъ Кавказъ, Туркестанъ и другія, и тогда можетъ быть приведенные здѣсь факты и соображенія не окажутся бесполезными.

