

Инженеръ С. П. Шеляпинъ.

ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ ВОДОНОСНОЙ ПОЧВЫ.



Издание Бюро Създа инженеровъ сл. пути.



МОСКВА.

Типо-Литографія „ПЕЧАТНИКЪ“, Хапиловская улица, домъ № 54.

1911.

ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ ВОДОНОСНОЙ ПОЧВЫ.

Сущность цементирования.

Подъ цементированіемъ, въ собственномъ смыслѣ этого слова, надо понимать производимое подъ давленіемъ заполненіе скважинъ того или иного тѣла жидкимъ цементнымъ растворомъ. Когда цементъ осядетъ въ порахъ тѣла и отвердѣтъ, оно становится какъ бы монолитнымъ и до известной степени теряетъ способность пропускать черезъ себя воду и вообще ту или другую жидкость.

Возникновеніе идеи цементирования.

Указать въ хронологическомъ порядкѣ первое примѣненіе цементирования чрезвычайно трудно, такъ какъ, по всѣмъ вѣроятіямъ, идея эта должна была возникнуть почти одновременно въ разныхъ странахъ вмѣстѣ съ развитіемъ цементнаго производства и широкимъ примѣненіемъ цемента къ строительнымъ цѣлямъ.

Такъ, въ 60-хъ годахъ прошлаго столѣтія англійскій инженеръ Kiprle ¹⁾ примѣнилъ этотъ способъ при возстановленіи волнолома въ Jersey'ѣ для уничтоженія въ сооруженіи трещинъ и скважинъ. Вводя цементный растворъ подъ давленіемъ въ поры кладки, Kiprle обратилъ сооруженіе, состоящее изъ отдѣльныхъ глыбъ, свободно нагроможденныхъ другъ на друга, въ монолитъ.

Французскіе горные инженеры указываютъ дату 1882 г., когда Reumaux, примѣнивъ цементированіе въ рудникахъ de Lens ²⁾, прекратилъ благодаря этому значительный притокъ грунтовыхъ водъ къ шахтѣ. Онъ черезъ буровыя скважины вводилъ за обшивку шахты цементный растворъ и произвелъ дальнѣйшее ея углубленіе почти насухо.

Оба приведенные факта свидѣтельствуютъ во всякомъ случаѣ о продолжительномъ періодѣ существованія самой идеи цементирования.

Примѣненіе цементирования.

Обыкновенно цементированіе употребляется, главнымъ образомъ, какъ средство для огражденія существующихъ сооружений отъ вліянія грунтовыхъ и проточныхъ водъ, о чемъ свидѣтельствуютъ многочисленныя указанія въ технической литературѣ.

Такъ, въ 1890—91 годахъ при помощи цементирования была приведена въ полную исправность плотина de Regny на рѣкѣ Sige, построенная въ срединѣ прошлаго столѣтія ³⁾. Кладка плотины, основанной на слоѣ крупнаго гравія, подъ которымъ лежатъ частью плотный, частью щелеватый известнякъ, подъ дѣйствіемъ воды совершенно лишилась сцепляющаго раствора и казалась положенной какъ бы насухо. При помощи инъекціи жидкаго цемента собственно плотина и водосливъ были приведены въ прекрасное состояніе, при чемъ по провѣркѣ оказалось, что цементный растворъ не только проникъ во всѣ щели кладки, но и на нѣкоторую глубину въ почву основанія, связавъ ее съ фундаментомъ. Растворъ вездѣ прекрасно затвердѣлъ и былъ однороденъ. Объемъ употребленнаго въ дѣло цемента составляетъ 30%—40% объема цементированной кладки. Прочность ея получилась вполне достаточной, а работы производились чрезвычайно быстро и дали значительную экономію.

¹⁾ См. Deutsche Bauzeitung, 1905, № 80, S. 483.

²⁾ См. Annales des mines. T. XIII, 4-e livraison de 1908, p. 347.

³⁾ См. Annales des ponts et chaussées. 1898, 1-er trim., p. 290.

При переустройствѣ барражей на р. Нилъ въ концѣ прошлаго столѣтія англійскими инженерами неоднократно примѣнялось цементированіе для заполнения пустотъ подъ фундаментами ¹⁾.

Въ періодъ 1897—98 годовъ во время работъ по укрѣпленію барража дельты буреніемъ были обнаружены пустоты въ тѣлѣ фундамента. Для устраненія ихъ каждый быкъ барража пробуривался по оси 5 скважинами діаметромъ 12 см. Черезъ эти скважины цементный растворъ проникалъ въ пустоты и подъ основаніе фундамента подъ давленіемъ столба раствора высотой въ 18,5 м. Такимъ образомъ фундаментъ и основаніе подъ быками были укрѣплены въ достаточной мѣрѣ.

Въ 1898 году инъекція жидкаго цемента была примѣнена при починкѣ одной изъ опоръ моста черезъ р. Yonne въ округѣ Sens, во Франціи ²⁾.

Съ одной стороны этой опоры вдоль нея образовалась настолько глубокая промоина, что обнажились сваи. Образовавшаяся промоина (рис. 1) была заложена при помощи водолаза кладкой, въ которую были задѣланы гончарныя трубы діаметромъ 15 сант. Черезъ эти трубы было произведено цементированіе, связавшее новую кладку фундамента со старой и заполнившее всѣ пустоты въ основаніи. Затѣмъ всю вновь возведенную кладку окружили каменной отсыпью для предохраненія фундамента опоры отъ вліянія проточной воды. Въ 1899 г. послѣ прохода весеннихъ водъ водолазъ осмотрѣлъ фундаментъ опоры и не нашелъ ни малѣйшихъ поврежденій. Въ 1899 г. Portier, инженеръ въ рудникахъ Cougnières, сдѣлалъ водонепроницаемой обшивку шахты, цементируя пространство между нею и грунтомъ ³⁾.

Весною 1906 г. одинъ изъ быковъ поворотнаго моста Восточной желѣзной дороги черезъ каналъ Императора Вильгельма получилъ столь сильный ударъ отъ наскочившаго на него парохода, что верхняя часть опоры на глубинѣ 3 м. подъ водою откололась отъ нижней и наклонилась впередъ, при чемъ ось проѣзжей части отошла отъ оси моста на 40 см. Въ мѣстѣ же откола образовались трещины въ 10—15 сант. шириною ⁴⁾. Такъ какъ перестройка опоры должна была надолго задержать оживленное движеніе какъ на каналѣ, такъ и на дорогѣ, то рѣшено было оставить опору наклоненной, скрѣпивъ отколовшіяся части цементированіемъ, что и было выполнено съ полнымъ успѣхомъ. По окончаніи работъ опора выдержала значительную пробную нагрузку, что и позволило возобновить движеніе по мосту.

При сооруженіи Парижскаго метрополитена цементированіе служило обычнымъ приемомъ для приданія кладкѣ сводовъ водонепроницаемости и для заполнения пустотъ, ко-

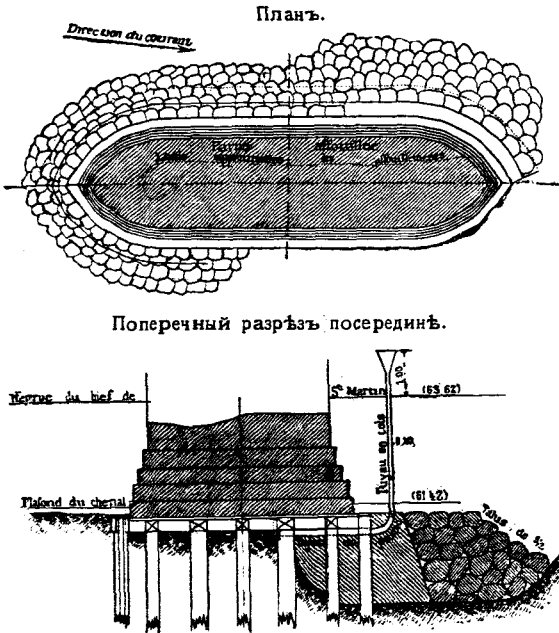


Рис. 1.

¹⁾ См. W. Willcocks. Egyptian irrigation. London, 1899.

²⁾ См. Annales des ponts et chaussées. II-e trim. 1899, p. 252.

³⁾ См. Annales des mines. T. XIII, 4-e livraison de 1908, p. 347.

⁴⁾ См. Nouvelles annales de la construction. 1909, p. 43. Beton und Eisen. 1907, S. 143.

торыя могли образоваться за сводомъ въ земляной насыпи и вызвать осѣданія почвы ¹⁾.

Въ Россіи цементированіе было примѣнено при заполненіи пустотъ, образовавшихся за сводомъ тоннеля на одной изъ горныхъ желѣзныхъ дорогъ. Насколько извѣстно изъ технической литературы, способъ этотъ не приобрѣлъ правъ гражданства у русскихъ строителей, и лишь въ самое послѣднее время имъ воспользовались для ремонта каптажа источника „Нарзанъ“.

Всѣ эти примѣры, которые, конечно, далеко не исчерпываютъ всѣхъ случаевъ примѣненія цементирования на практикѣ, служатъ доказательствомъ широкаго распространенія этой идеи.

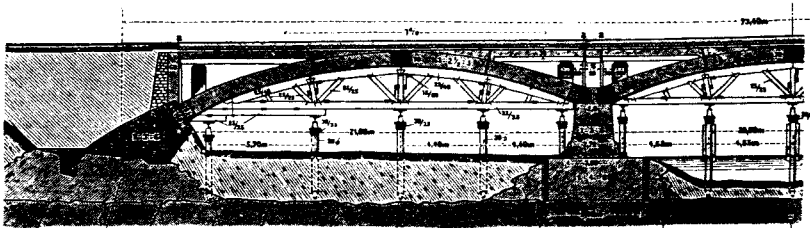
Новѣйшія примѣненія цементирования.

При послѣдовательномъ примѣненіи цементирования самыя приемы работы претерпѣвали эволюцію и достигли въ настоящее время значительнаго совершенства. Да и само цементированіе начинаютъ употреблять въ качествѣ самостоятельнаго технического приема при производствѣ тѣхъ или иныхъ работъ, во время которыхъ неизбежна борьба съ проточными или грунтовыми водами.

Еще Кипрле примѣнялъ цементированіе къ устройству основанія подъ новую часть волнолома въ Jersey'ѣ.

Чтобы образовать подъ водою бетонную подошву, онъ загрузилъ вычерпанную для фундамента выемку гравіемъ и обратилъ его въ бетонъ, вводя цементный растворъ черезъ вставленныя въ гравій трубы.

Въ 1897 году при устройствѣ основаній для новаго бетоннаго моста черезъ Дунай въ Ehingen'ѣ ²⁾ грунтъ подъ опорами, состоящій изъ водоноснаго гравія съ примѣсью песка и ила, былъ при помощи этого же способа приведенъ въ монолитное состояніе и приобрѣлъ способность выдерживать значительныя давленія (см. рис. 2).



Цементированный гравій.

Рис. 2.

Цементированный гравій.

При постройкѣ подпорныхъ стѣнокъ и основаній шлюзовъ въ нижнемъ бьефѣ барража дельты рѣки Нила ³⁾ употреблялись особые кессоны, стѣнки которыхъ состояли изъ деревянныхъ клѣтокъ, обшитыхъ изнутри листовымъ желѣзомъ. Кессоны эти, опущенныя на дно рѣки такъ, что ножъ ихъ врѣзался въ грунтъ, загружались камнемъ (20% щебня и 15% камня), въ которомъ размѣщались двойныя желѣзныя трубы: наружная съ отверстіемъ для пропуска цементнаго раствора діам. 12,5 сант. и внутренняя діам. 7,5 сант., которая подымалась по мѣрѣ заполнения скважинъ цементнымъ растворомъ. Благодаря примѣненію этого способа удалось быстро и успѣшно произвести значительныя работы, при чемъ кубическая сажень каменной кладки обошлась въ 228 руб. Наконецъ, строители пришли къ мысли, что цементированіе можно съ успѣхомъ примѣнять къ борьбѣ съ грунтовыми водами во время самаго производства работъ по устройству фундаментовъ другихъ сооружений, находящихся въ тѣхъ же условіяхъ.

¹⁾ См. Annales des ponts et chaussées. 1909—IV, p. 37.

²⁾ См. Centralblatt der Bauverwaltung. 1901, № 83, S. 506.

³⁾ См. Современное орошеніе и хлопководство Египта, М. Н. Ермолаева. СПБ. 1910 г., стр. 185—190.

Сущность цементирования водоносной почвы.

Сущность этого способа заключается в томъ, что вдоль периметра предполагаемаго къ устройству сооруженія: котлована, шахты, колодца и т. п. (рис. 3), нѣсколько отступя отъ линіи его очертанія, забиваютъ, завинчиваютъ или погружаютъ помощью буренія определенное число трубчатыхъ колодцевъ f_1, f_2, \dots, f_6 , проходящихъ черезъ весь водоносный слой.

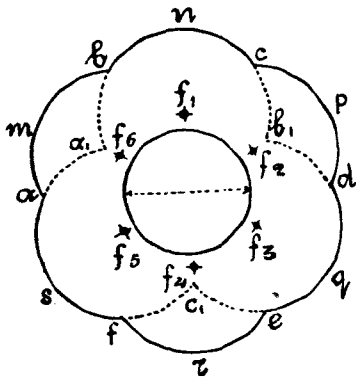


Рис. 3.

Если теперь въ эти колодцы, снабженные у нижнихъ концовъ отверстиями, вводитъ подъ давленіемъ растворъ цемента, то цементное молоко пройдетъ во всѣ поры грунта, по которымъ циркулируетъ вода, со скоростью, которая будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ дальше будетъ удаляться потокъ цемента отъ трубчатыхъ колодцевъ.

Цементный растворъ въ извѣстный моментъ осядетъ и закупоритъ поры; разстояніе отъ трубчатого колодца, на которомъ произойдетъ заполненіе поръ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ шире поры, чѣмъ выше давленіе при цементированіи и чѣмъ жиже растворъ цемента. Когда цементъ окрѣпнетъ,

вся пропускающая воду почва сдѣлается водонепроницаемой, и рытье котлована можно будетъ производить насухо.

Геологическія условія примѣненія цементирования.

Разсмотримъ теперь, къ какого рода почвамъ и при какихъ условіяхъ приложимъ данный способъ борьбы съ грунтовыми водами.

Всякій *моноклитный* грунтъ съ водоносными трещинами можетъ быть приведенъ цементированіемъ въ водонепроницаемое состояніе, такъ какъ вводимый въ подобную породу подъ давленіемъ жидкій цементъ будетъ въ ней циркулировать такъ же, какъ вода, проходящая по щелямъ. Скорость циркуляціи раствора будетъ переменна въ зависимости отъ давленія при инъекціи и потерь напора во время прохожденія по трещинамъ.

Почва, состоящая изъ *гравія* или *крупнозернистаго песка*, можетъ быть также обращена въ монолитъ при помощи цементирования. Съ уменьшеніемъ зеренъ сыпучаго тѣла предѣлы прониканія цементнаго раствора въ грунтъ все болѣе и болѣе сокращаются, особенно когда вода, проходящая черезъ почву, въ состояніи увлечь за собою отдѣльныя мелкія зерна и собрать ихъ въ плотную, почти непроницаемую массу. Опытъ въ Ehingen'ѣ показалъ, что въ чистомъ гравіи растворъ цемента, находясь подъ незначительнымъ давленіемъ въ $\frac{1}{2}$ атмосферы, проникалъ во всѣ стороны на разстояніе, большее метра. Но чѣмъ мельче зерна гравія, чѣмъ больше становится примѣсъ къ нему песка, глины или ила, чѣмъ плотнѣе слежавшейся оказывается вся масса, тѣмъ меньшихъ размѣровъ достигаетъ прониканіе цементнаго раствора въ окружающую среду. Въ подобныхъ случаяхъ плохіе результаты цементирования получаютъ даже при давленіи на вводимый растворъ до 10 атмосферъ. Кромѣ того, даже при очень маломъ разстояніи между трубами, проводящими цементный растворъ въ грунтъ, невозможно достигнуть равномернаго насыщенія даннаго объема грунта цементнымъ растворомъ, и нѣтъ никакой возможности контролировать и слѣдить за ходомъ цементирования.

Очень мелкій водоносный песокъ, смѣшанный съ глиной, принято называть *пльвуномъ*, такъ какъ частицы его приходятъ въ движеніе одновременно съ содержащеюся въ немъ водой. Пльвунъ плохо поддается цементированію. Какъ бы ни былъ жидокъ растворъ, вводимый въ подобные пески, немедленно начнется отложеніе составныхъ частей смѣси у стѣнокъ буровыхъ скважинъ. Цементъ покрываетъ стѣнки скважины, между тѣмъ какъ

вода медленно пройдет въ песокъ, пока слой предварительно отложившагося и отвердѣвшаго цемента не начнетъ препятствовать потоку, послѣ чего всякая циркуляція станетъ невозможной.

Тѣмъ не менѣе и въ мелкозернистыхъ породахъ и даже въ пльвунахъ, пользуясь нѣкоторыми описанными ниже приѣмами, можно съ успѣхомъ примѣнять разсматриваемый методъ борьбы съ грунтовыми водами.

Порядокъ работъ по цементированію. Устройство напорныхъ колодцевъ.

Во избѣжаніе неприятныхъ неожиданностей необходимо, приступая къ работамъ по цементированію, имѣть въ виду нѣкоторыя особенности примѣненія этого способа, зная которыя, можно всегда достигнуть удовлетворительныхъ результатовъ. Эти особенности будутъ указаны въ порядкѣ изложенія послѣдовательнаго хода работъ, начинающагося съ устройства напорныхъ трубчатыхъ колодцевъ.

При зернистомъ строеніи подпочвы и когда трубы надо опустить на сравнительно небольшую глубину (3—4 метра), ихъ можно забить вручную или завинтить.

Въ подобныхъ случаяхъ практика рекомендуетъ брать стальные трубы небольшого внутренняго діаметра (40 мм.), но съ солидными стѣнками (5 мм.). Бойка трубъ производится обыкновенной ручной бабой, удары которой передаются трубѣ посредствомъ особыхъ чугунныхъ зажимовъ; примыкающихъ къ трубѣ въ верхней ея части. Завинчиваніе слѣдуетъ производить обыкновеннымъ порядкомъ. При большой глубинѣ погруженія трубъ и при очень твердомъ грунтѣ придется, конечно, прибѣгнуть къ буренію.

Для успѣшности забиванія и для прекращенія доступа въ трубу земли она снабжается небольшимъ чугуннымъ наконечникомъ, свободно насаженнымъ на нижній конецъ трубы. Когда труба забита на требуемую глубину, ее немного вытаскиваютъ и желѣзной штангой выталкиваютъ наконечникъ. При завинчиваніи нижній наконечникъ прикрѣпляется винтовой нарѣзкой, чекой и т. п., при чемъ нижній конецъ трубы долженъ имѣть небольшія отверстія для пропуска цементнаго раствора. Эти отверстія вообще полезны для продуктивности и равномерности цементированія, необходимо только на время забиванія и вообще погруженія трубъ закрыть ихъ особыми подвижными заслонками. Во время производства опытовъ передъ постройкой моста черезъ Дунай въ Ehingen'ѣ¹⁾ инженерамъ Braun'у и Neukirch'у не удалось воспользоваться боковыми отверстіями, такъ какъ во время бойки трубъ заслонки настолько засорились землею, что ихъ нельзя было открыть. Въ настоящее время существуютъ трубы для цементированія съ патентованными заслонками²⁾. На рис. 4 можно видѣть производство работъ по забиванію трубъ и цементированію грунта, какъ это производилось въ Ehingen'ѣ: *a*—стальная труба внутр. діам. въ 40 мм. при толщинѣ стѣнокъ 5 мм., длиною 2,4—5,0 метр.; *b*—диффер. блокъ подъемной силой въ 30 тоннъ; *c*—воздушный клапанъ; *d*—поршневой насосъ съ двумя шаров. клапанами (діаметръ поршня—65 мм., внутренній

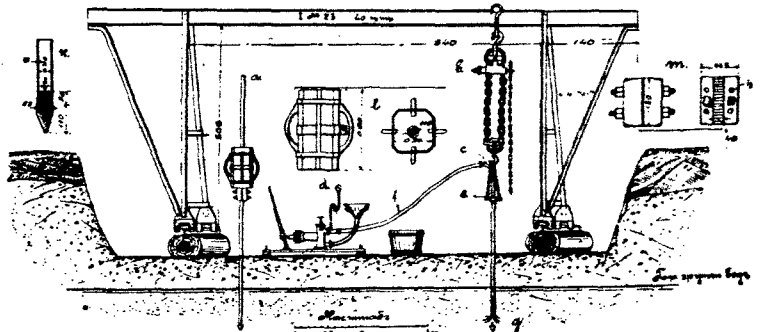


Рис. 4. Устройство основаній новаго бетоннаго моста черезъ Дунай въ Ehingen'ѣ въ 1897 году.

¹⁾ См. Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. 1898, S. 445.

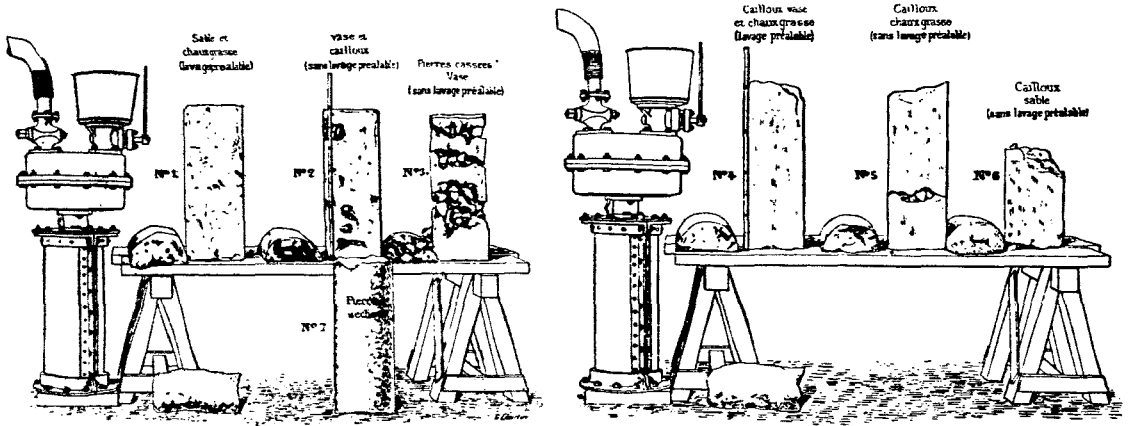
²⁾ См. Centralblatt der Bauverwaltung. 1908, № 48.

диаметръ патрубкѣ, примыкающаго къ трубопроводу, — 40 мм.); *e*—хомутъ; *f*—резиновый трубопроводъ для высокаго давленія съ нормальнымъ отверстіемъ въ свѣту 40 мм.; *g*—цементный растворъ; *k*—наконечникъ трубы вѣсомъ 14 килогр.; *l*—деревянная баба вѣсомъ 41 килогр.; *m*—чугунные зажимы.

При цементированіи мелкаго песка или гравія, промежутки между зернами котораго заполнены мелкимъ пескомъ, иломъ, глиной и т. п., условія примѣненія этого способа въ значительной степени улучшаются послѣ предварительнаго промыванія грунта. Въ простѣйшихъ случаяхъ достаточно, по окончаніи опусканія трубчатаго напорнаго колодца, соединить верхнюю его часть съ сильнымъ насосомъ и выкачивать помощью его воду изъ трубы. При быстромъ теченіи вода будетъ увлекать съ собою мелкія частицы и освободитъ отъ нихъ поры гравія или песка, что впоследствии облегчитъ цементированіе и увеличитъ сферу его дѣйствія.

О примѣнимости предлагаемаго способа удаленія глины изъ песка и гравія свидѣтельствуя опыты Самегэ и Якобъ, производившими цементированіе пористыхъ грунтовъ въ различныхъ сочетаніяхъ въ присутствіи извести и ила и безъ нихъ, съ промывкой этихъ конгломератовъ водою и безъ промывки¹⁾.

На рис. 5 и 6 показаны результаты семи опытовъ въ цилиндрѣ высоту 0,90 метра.



№ 1—песокъ и жирная известь. № 2—галька и илъ. № 3—щебень и илъ. № 4—галька, илъ и жирная известь.
№ 5—галька и жирная известь. № 6—галька и песокъ. № 7—щебень.

Рис. 5.

Рис. 6.

Разсматривая эти рисунки, можно видѣть, что наиболѣе удовлетворительное заполненіе цементомъ безъ предварительной промывки получилось для сухого щебня (опытъ 7) и для смѣси гальки съ пескомъ (оп. 6). Наиболѣе удовлетворительное заполненіе цементомъ съ предварительной промывкой получилось для смѣси песка и жирной извести (оп. 1) и для смѣси гальки, ила и жирной извести (оп. 4). Эти опыты въ достаточной степени подтверждаютъ возможность помощью предварительной промывки увеличивать пористость глинистаго песка или гравія, смѣшаннаго съ пескомъ и иломъ.

Для промыванія зернистыхъ грунтовъ весьма практиченъ привилегированный приѣмъ инженера Н. А. Житкевича. Способъ его заключается въ слѣдующемъ (рис. 7): въ цементруемый грунтъ забиваются или завинчиваются на требуемую глубину ниже уровня воды нѣсколько желѣзныхъ или стальныхъ трубъ *a*; трубы эти снабжаются на нижнихъ концахъ вышеупомянутыми свободно надѣтыми чугунными наконечниками. Въ центрѣ

¹⁾ См. Annales des ponts et chaussées, 1900—1-er trim., p. 415.

расположенія этихъ трубъ на ту же глубину забивается всасывающая труба большого діаметра *b*, нижній конецъ которой имѣетъ небольшія отверстія и наконечникъ, прикрѣпленный къ трубѣ. Всѣ напорныя трубы *a*, послѣ забивки ихъ на требуемую глубину, выдергиваютъ кверху настолько, чтобы коническіе наконечники, діаметры основаній которыхъ больше діаметровъ трубъ, занявъ положеніе, показанное на рисункѣ, освободили нижніе концы трубъ. Послѣ этого въ напорныя трубы нагнетается вода, а изъ центральной трубы *b* помощью насоса выкачивается вода изъ грунта. Вода, проходя между частицами песка или гравія, уноситъ частицы глины или ила черезъ всасывающую трубу.

Иногда, чтобы избѣжать излишней траты времени, достаточно, если въ напорныя трубы нагнетается непосредственно жидкій цементный растворъ помощью насосовъ или естественнымъ напоромъ изъ чановъ, помѣщенныхъ на требуемой высотѣ, при одновременной откачкѣ воды изъ трубы *b*.

Такимъ образомъ, благодаря центральному положенію всасывающей трубы и совокупному ея дѣйствию съ напорными трубами *a*, жидкій цементъ будетъ быстро заполнять промежутки между частицами грунта, распространяясь, главнымъ образомъ, по направленію отъ напорныхъ трубъ къ всасывающей и замѣняя собою откаченную воду. Появленіе цементнаго раствора во всасывающей трубѣ будетъ служить признакомъ того, что на данной глубинѣ грунтъ пропитался цементнымъ растворомъ. Послѣ этого, не прекращая дѣйствія насосовъ, соединенныхъ съ трубами посредствомъ гибкихъ рукавовъ, приподнимаютъ всѣ трубы на одну и ту же высоту, поодиночкѣ или всей группой, для чего верхніе концы трубъ могутъ быть соединены другъ съ другомъ горизонтальными схватками *v* съ болтами или другимъ способомъ такъ, чтобы можно было поднять всю группу трубъ помощью цѣпей и одного дифференціального блока или другого приспособленія. Въ этомъ приподнятномъ положеніи всѣ трубы остаются до тѣхъ поръ, пока не появится цементный растворъ во всасывающей трубѣ; затѣмъ слѣдуетъ новое приподыманіе трубъ и т. д. до требуемой высоты. Въ зависимости отъ свойствъ грунта, глубины его залеганія, давления, требуемой сферы цементирования и прочихъ условій опредѣляется та или другая группировка трубъ. Рис. 7 показываетъ расположеніе трубъ двумя группами, гдѣ напорныя трубы обозначены точками, а всасывающія—кружками.

При цементированіи пlyingуновъ американскіе инженеры примѣняютъ слѣдующій способъ ¹⁾. Произведя буреніе въ двухъ верхшковыхъ обсадныхъ трубахъ на одну и ту же глубину, при чемъ глубина буренія и разстоянія между буровыми скважинами варьируются въ зависимости отъ заданія и отъ мѣстныхъ условій, въ одну изъ обсадныхъ трубъ вставляютъ другую діаметромъ въ 2 дюйма, притомъ такъ, что между стѣнками обѣихъ трубъ не можетъ возникнуть никакого теченія. Тогда сильнымъ насосомъ начинаютъ накачивать воду въ трубу меньшаго діаметра. Вода, устремляясь въ пlyingунъ, прорвется

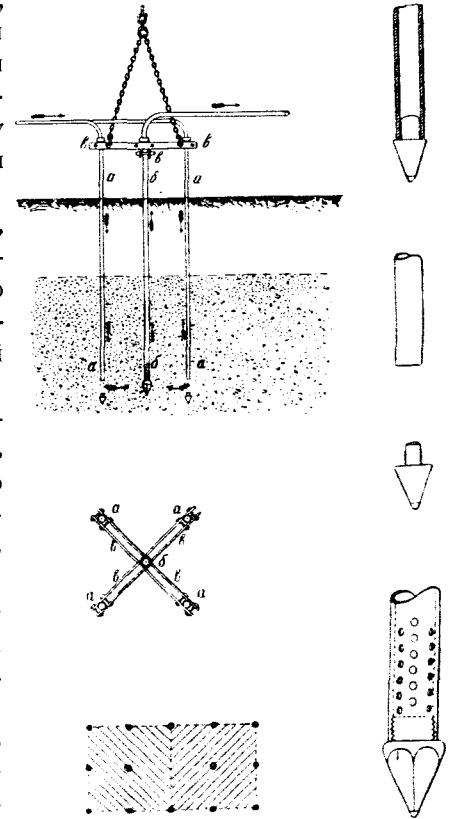


Рис. 7.

¹⁾ См. W. M. Patton. A practical treatise on foundations. New-York. 1907—339.

по линіи наименьшаго сопротивленія въ сосѣднюю буровую скважину и образуетъ между ними циркуляціонный каналъ. Закрывъ отверстіе выходной трубы, черезъ первую, подъ умѣреннымъ давленіемъ, вводятъ цементный растворъ, который не только заполняетъ образовавшійся каналъ, но и поры прилегающаго къ нему матеріала. Поднимая постепенно трубы и производя съ ними тѣ же дѣйствія, можно образовать водонепроницаемую стѣнку толщиной отъ 3 до 6 дюймовъ. Если же по изслѣдуемой площади опустить буровыя скважины симметрично на одну и ту же глубину при небольшихъ разстояніяхъ между ними, то можно образовать водонепроницаемый полъ¹⁾.

Въ монолитныхъ породахъ напорные колодцы устраиваются исключительно при помощи буренія. Буреніе производится въ грунтахъ монолитныхъ безъ всякой защиты стѣнокъ скважинъ, а въ грунтахъ сыпучихъ и легко разрушаемыхъ (мѣловыя породы)— съ обсадными трубами, имѣющими многочисленныя отверстія діаметромъ около 25 мм. Буреніе необходимо производить, по возможности, безъ промыванія скважинъ водою сверху, особенно въ породахъ монолитныхъ. Безъ давленія воды сверху грязь не можетъ далеко проникнуть въ трещины и легко вычищается ложкою, такъ какъ подъ дѣйствіемъ нѣкотораго паденія давленія, получаемаго вслѣдствіе отлива воды въ скважину, эта грязь притягивается къ центру.

Вообще же говоря, чрезвычайно важно удалить изъ поръ и трещинъ предназначеннаго для цементирования грунта грязь, глину и т. п. вещества, препятствующія успешному заполненію скважинъ, а слѣдовательно, и тщательно промыть буровыя скважины. Въ промытой скважинѣ циркуляція цементнаго раствора при одномъ и томъ же давленіи происходитъ дальше, пространство закрѣпленной почвы болѣе обширно, трещины вѣрнѣе заполнены и качество осадка, конечно, становится выше благодаря тому, что онъ осѣдаетъ въ средѣ, освобожденной отъ вредныхъ элементовъ. Поэтому полезно каждую буровую скважину по окончаніи буренія промыть, но не накачивая въ нее воды, а выкачивая послѣднюю изъ скважины.

Растворы, употребляемые при цементированіи, и ихъ составъ.

Растворъ лучше всего составлять изъ чистаго цемента и воды, но въ видахъ экономіи можетъ быть допущена нѣкоторая примѣсь песка. Составъ раствора зависитъ исключительно отъ строенія почвы. Въ почвѣ съ ничтожной скважностью песокъ совсѣмъ не допустимъ, такъ какъ въ данномъ случаѣ быстро произойдетъ закупорка всѣхъ поръ. Наоборотъ, въ монолитныхъ породахъ съ сравнительно широкими трещинами можно допустить, какъ показали опытъ, очень значительное прибавленіе къ цементу песка (до 3 частей песка на 1 часть цемента).

Кромѣ того, весьма большую роль играетъ плотность песка и размѣры его зеренъ. Если то и другое приближается къ соответствующимъ качествамъ цемента, то песокъ не можетъ проявить указанныхъ выше вредныхъ вліяній, такъ какъ будетъ осѣдать одновременно съ цементомъ.

На практикѣ было также испытано, какое вліяніе оказываетъ на ходъ работъ прибавленіе къ цементу извести. Дѣлали это, отчасти желая съэкономить на цементѣ, отчасти для того, чтобы ослабить закупорку насосовъ и трубопроводовъ. Опытъ показалъ, что болѣе легкая известь отдѣлялась отъ цемента еще въ напорныхъ трубахъ и могла скорѣе повредить дѣлу, чѣмъ его улучшить.

Количество воды, въ которомъ разводится растворъ, тоже зависитъ отъ строенія

¹⁾ Настоящая статья была уже въ наборѣ, когда въ № 13 журнала „Centralblatt der Bauverwaltung“, а вслѣдъ затѣмъ и въ № 13 журнала „Зодній“ за текущей годъ появилось описаніе весьма простаго, остроумнаго и практичнаго приспособленія для цементирования мелкозернистыхъ породъ и пльвуновъ, при помощи котораго удалось достигнуть блестящихъ какъ по размѣрамъ, такъ и по качеству результатовъ.

почвы. Въ почвѣ съ ничтожной пористостью растворъ долженъ содержать какъ можно больше воды. Жидкій цементъ подъ однимъ и тѣмъ же давленіемъ пройдетъ дальше и уплотнится лучше въ самыхъ узкихъ скважинахъ почвы. Конечно, потребуется больше времени и больше цемента, чтобы достигнуть полнаго заполнения, зато результаты будутъ гораздо надежнѣе. Отсюда слѣдуетъ, что въ тѣхъ случаяхъ, когда, по тѣмъ или инымъ причинамъ, нельзя работать иначе, какъ при слабомъ давленіи, слѣдуетъ всегда употреблять самый жидкій растворъ цемента. При производствѣ работъ въ рудникахъ Edouard-Agache во Франціи, для цементирования водоноснаго мѣла, употребляли растворъ чистаго цемента съ водою въ пропорціи 1:20, въ Ehingen'ѣ — 1:4.

Приведеніе въ водонепроницаемое состояніе грунта въ верхней части скважины.

Чтобы побудить цементный растворъ проникать въ скважины почвы, необходимо преградить ему доступъ на поверхность земли вдоль скважины. Для этого, если имѣются обсадныя трубы, грунтъ вынимаютъ вокругъ нихъ на нѣкоторую глубину и замѣняютъ жирнымъ растворомъ цемента и песка (1:2), давая ему время прочно отвердѣть.

Если же обсадной трубы не имѣется, то верхняя часть скважины расширяется, въ нее вставляется желѣзная труба съ флянцемъ для присоединенія къ трубопроводу, подающему цементный растворъ, а кругомъ производится тщательное заполненіе цементнымъ растворомъ. На рис. 8 показано, какъ производился каптажъ верхнихъ частей буровыхъ скважинъ въ рудникахъ Edouard-Agache.

Давленіе, необходимое для введенія цементнаго раствора.

Вначалѣ, когда всѣ поры почвы естественнымъ образомъ открыты, давленіе должно быть слабое; его слѣдуетъ увеличивать по мѣрѣ заполнения скважинъ до тѣхъ поръ, пока не остановится движеніе. Движеніе при нормальныхъ условіяхъ можетъ остановиться лишь въ томъ случаѣ, если поясъ водопроницаемаго слоя отдѣленъ отъ поверхности земли слоемъ водонепроницаемымъ, при чемъ предѣлъ давленія опредѣлится вѣсомъ этого слоя. Если же почва, находящаяся надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ, проницаема, то давленіе нельзя будетъ увеличить выше нормы, опредѣляемой высотой столба воды отъ ея горизонта въ почвѣ до поверхности земли; это давленіе можетъ быть еще увеличено потерей напора при подъемѣ воды черезъ почву на данную высоту.

Успѣшность цементирования будетъ гораздо меньше, если уровеньъ воды лежитъ недалеко отъ поверхности земли. Въ подобныхъ случаяхъ необходимо производить цементированіе подъ слабымъ давленіемъ и растворомъ съ значительнымъ количествомъ воды.

При окончаніи цементирования, особенно когда давленіе раствора довольно значительно, необходимо внимательно слѣдить за манометромъ, такъ какъ внезапное паденіе послѣдняго означаетъ, что всѣ скважины почвы заполнены и цементный растворъ, не на-

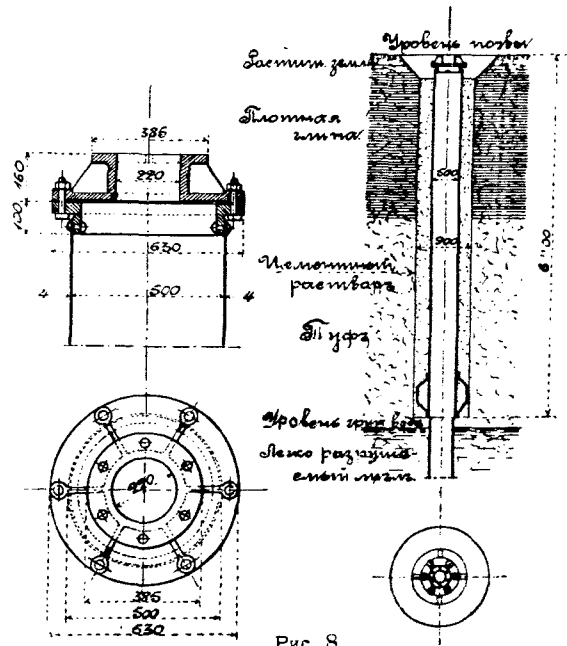


Рис. 8.

ходя выхода, или прорвался между двумя слоями грунта, или нашелъ выходъ на дневную поверхность. Въ первомъ случаѣ показанія манометра будутъ колебаться, то повышаясь, то понижаясь, во второмъ случаѣ—они постоянны. Цементный растворъ прорывается на земную поверхность обыкновенно въ весьма многочисленныхъ пунктахъ и отлагается здѣсь въ видѣ бугорковъ съ центральнымъ кратеромъ, какъ показано на рис. 9.

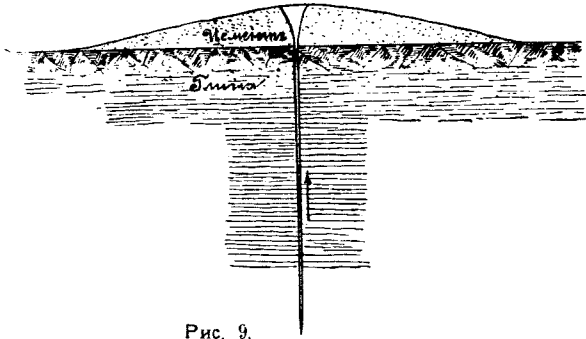


Рис. 9.

При цементированіи основанія для береговой опоры моста черезъ р. Дунай въ Ehingen'ѣ подошва котлована въ средней части подъ напоромъ вводимого цемента поднялась въ нѣсколькихъ мѣстахъ почти на 30 см.

Введеніе цементнаго раствора.

Цементированіе почвы должно производиться одновременно черезъ всѣ буровыя скважины, расположенныя вокругъ предполагаемаго къ рытью котлована. Это необходимо для достиженія равномернаго распредѣленія цементнаго раствора въ почвѣ. При производ-

ствѣ цементированія по очереди, черезъ каждую буровую скважину, можетъ случиться, что растворъ устремится въ сторону и произведетъ цементированіе такихъ участковъ, гдѣ оно совсѣмъ не нужно и даже вредно. При одновременномъ введеніи цементнаго раствора можно быть увѣреннымъ, что поясъ, захватываемый цементированіемъ, будетъ имѣть форму $a_1b_1c_1d_1e_1f_1s_1$ (рис. 3). При послѣдовательномъ цементированіи буровыхъ скважинъ рискуемъ получить только поясъ $a_1b_1c_1s_1$ со слабыми мѣстами въ пунктахъ a_1 , b_1 и c_1 и потерять выгоду отъ половины буровыхъ скважинъ.

Приборы, употребляемые для цементированія.

Давленіе при инъекціи цемента въ водоносный грунтъ, а также и въ каменную кладку съ выщелоченнымъ растворомъ можетъ производиться самыми разнообразными способами, въ зависимости отъ требуемой величины давленія и условій самой работы.

Когда не требуется очень большого давленія, можно удовлетвориться давленіемъ столба цементнаго раствора необходимой высоты. Такимъ образомъ инженеръ Portier вводилъ цементный растворъ за оболочку шахты № 3 въ рудникахъ Courgières¹⁾.

Когда замѣчалась склонность къ засоренію трубопровода, прибѣгали къ дѣйствию насосовъ (рис. 10), которые, кстати сказать, очень скоро портятся при прохожденіи черезъ нихъ цементнаго раствора. Впрочемъ при работахъ въ Ehingen'ѣ оказалось, что поршневый насосъ съ двумя шаровыми клапанами засорился сравнительно мало благодаря тому, что послѣ цементированія каждой напорной трубы черезъ насосъ и трубопровод пропускали чистую воду.

Точно такъ же производилось цементированіе шахтъ и въ рудникахъ Landres. Здѣсь

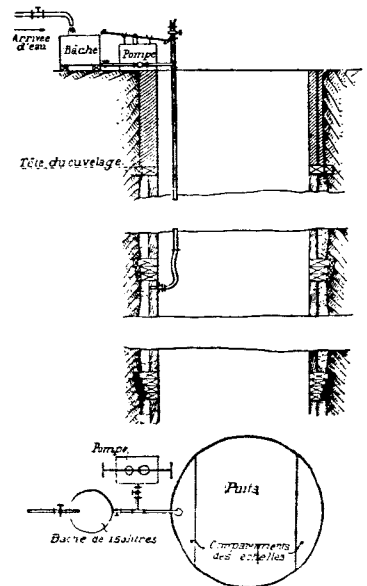


Рис. 10.

¹⁾ См. Le Génie civil, 1906, t XLIX, p. 264.

были только приняты слѣдующія мѣры противъ засоренія трубопровода (рис. 11 и 12). Растворъ приготовлялся въ резервуарѣ съ возмутителемъ на вертикальной оси. Въ нижней части резервуара имѣлся трубопроводъ, снабженный краномъ. Черезъ эту трубу цементный растворъ поступалъ въ другой резервуаръ, снабженный металлической сѣткой и предназначенный для задерживанія кусковъ цемента, которые могли бы быть увлеченными въ трубопроводъ. Изъ этого резервуара цементный растворъ подавался трубою къ мѣсту работъ и поступалъ за обшивку шахты. Чтобы быстро уничтожить могущее произойти въ трубопроводѣ засореніе, было придумано слѣдующее приспособленіе. Нисходящая колонна трубопровода была снабжена гибкимъ стальнымъ стержнемъ въ 8—10 мм. діаметромъ; стержень доходилъ до самаго низа вертикальнаго прохода и имѣлъ на своемъ концѣ утолщеніе, помѣщавшееся въ специальномъ углубленіи (рис. 12). Низъ

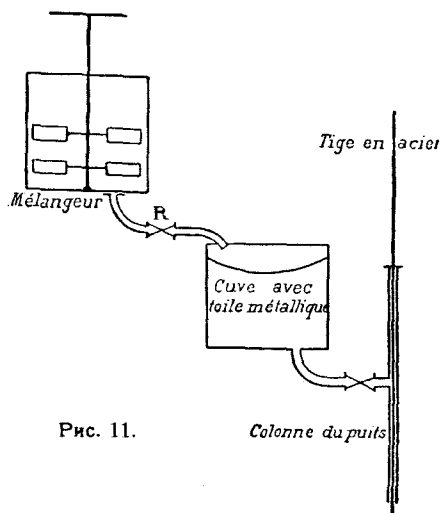


Рис. 11.

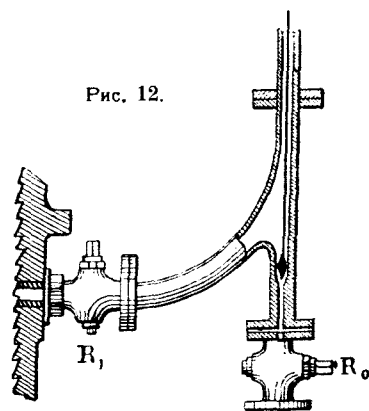


Рис. 12.

этой колонны снабженъ краномъ R_0 . Верхній конецъ стального стержня навивался на валъ, помѣщенный поблизости отъ питающаго резервуара. Вертикальная колонна присоединялась трубчатымъ отвлѣтленіемъ къ крану введенія цемента R_1 . Ходъ введенія цемента весьма простъ. Открывъ краны R_0 и R_1 , опускаютъ стальной стержень въ самое низкое его положеніе и даютъ доступъ въ вертикальную колонну струѣ воды для удаленія изъ трубъ воздуха. Затѣмъ нагнетаютъ за обшивку шахты цементный растворъ, который и поступаетъ туда до отказа, что произойдетъ или при засореніи трубъ, или по окончаніи цементирования. Во всякомъ случаѣ, рабочий, находящійся наверху, сейчасъ же прекращаетъ поступленіе цемента и при помощи вала поднимаетъ стальной стержень, который прочищаетъ всю вертикальную колонну. Рабочій, находящійся въ шахтѣ, увидитъ тогда, что цементное молоко льется черезъ край R_0 , и сейчасъ же закрываетъ кранъ R_1 . Чтобы закончить чистку всего трубопровода, верхній рабочий пускаетъ въ него сильную струю воды и опускаетъ стальной стержень на свое мѣсто. Тогда истеченіе черезъ кранъ R_0 прекращается. Это служитъ показателемъ, что чистка окончена, и рабочий, находящійся въ шахтѣ, открываетъ кранъ R_1 , послѣ чего возобновляется введеніе раствора за обшивку шахты. Если же, несмотря на произведенную чистку, цементъ больше не проникаетъ за обшивку, то это означаетъ, что цементированіе въ данномъ мѣстѣ окончено и можно переходить къ другому пункту.

Въ данномъ случаѣ, какъ мы видѣли, могутъ происходить перерывы въ цементированіи, которыхъ весьма важно избѣгать, имѣя въ виду быстрое твердѣніе цемента и

состоит из муфты *A*, над которой находится воронка *B*, сообщающаяся с муфтой краномъ *R*; сбоку къ муфтѣ примыкаетъ труба, соединяющая ее съ резервуаромъ сжатаго воздуха, выпускъ котораго регулируется краномъ *T*. Низъ муфты примыкаетъ непосредственно къ трубопроводу, подающему цементный растворъ къ скважинамъ. Заполнивъ воронку *B* жидкимъ растворомъ, понемногу пускаютъ его помощью крана *R* въ муфту *A*.

Когда кранъ *R* закрытъ, а *T*—открытъ, струя сжатаго воздуха проталкиваетъ цементный растворъ вглубь. Относительно этого способа слѣдуетъ замѣтить, что сжатый воздухъ, загоняемый въ скважины, можетъ, не находя выхода, тамъ остаться и въ значительной степени воспрепятствовать дальнѣйшему распространению цементнаго раствора. Далѣе, присутствіе воздуха въ растворѣ вредно отражается на его твердѣніи, и обыкновенно принимаются мѣры къ удаленію воздуха изъ трубопровода и скважинъ. Сверхъ того, большія количества воздуха, которыя должны попадать въ подпочву вмѣстѣ съ цементнымъ растворомъ, стремясь выйти наружу снизу вверхъ, увлекаютъ за собою растворъ и препятствуютъ правильному распредѣленію его въ отпочвѣ. Въ виду этого данный приѣмъ врядъ ли можетъ быть рекомендованъ для приведенія въ исправность сооружений, несущихъ на себѣ значительную и серьезную нагрузку.

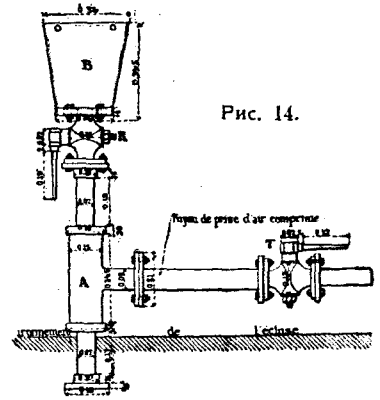


Рис. 14.

На рис. 15 показанъ весьма остроумный приборъ инженера Vuignet для цементирования.

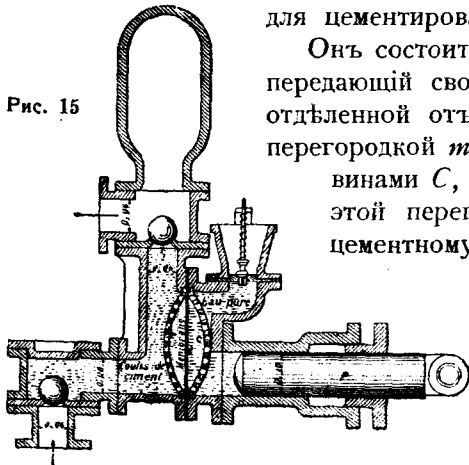


Рис. 15

Онъ состоитъ изъ цилиндра, въ которомъ движется поршень *P*, передающій свои колебательныя движенія чистой водѣ въ камерѣ, отдѣленной отъ резервуара съ цементнымъ растворомъ каучуковой перегородкой *m*, которая можетъ колебаться между 2 литыми раковинами *C*, покрытыми многочисленными отверстиями. Колебания этой перегородки передаютъ усилія, производимыя поршнемъ, цементному раствору, находящемуся въ резервуарѣ съ другой стороны прибора; растворъ входитъ въ этотъ резервуаръ и выходитъ изъ него при помощи двухъ шаровыхъ клапановъ. Воздушный колоколь, находящійся надъ выходнымъ отверстиемъ, регулируетъ поступленіе цементнаго раствора въ трубопроводъ. Отверстія въ раковинахъ играютъ въ данномъ приборѣ роль возмутителя. Приборъ приводится въ дѣй-

ствіе электромоторомъ въ 1 лош. силу и дѣйствуетъ регулярно, быстро и экономично. Порча резиновой перегородки незначительна, особенно если ее тщательно промывать по окончаніи работы. Этимъ приборомъ въ теченіе дня можно инъектировать до 22 тоннъ сухого цемента или сухой смѣси цемента съ пескомъ.

Самымъ практическимъ все-таки слѣдуетъ признать способъ инъекціи цемента, примененный въ рудникахъ Edouard-Agache ¹⁾.

Изъ показаннаго на рис. 16 схематическаго изображенія этого приспособленія видно, что трубы буровыхъ скважинъ *F* соединены радіальными трубопроводами *R* съ центральнымъ распредѣлителемъ *D*, который составляетъ основаніе прибора для введенія рас-

¹⁾ См. Annales des mines. T. XIII, 4-e livraison de 1908, p. 361.

творя. Выше распределителя находится резервуар, составленный из опрокинутого конуса C_1 съ клапаномъ S_1 у основанія резервуара, захлопывающимся снизу вверхъ, изъ цилиндрическаго тѣла и изъ второго конуса C_2 съ клапаномъ S_2 около вершины резер-

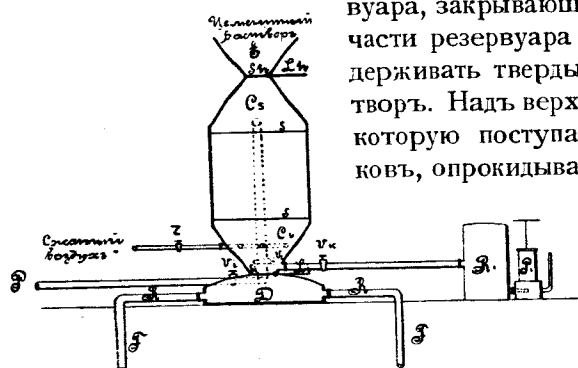


Рис. 16.

вуара, закрывающимся тоже снизу вверхъ. Въ цилиндрической части резервуара помѣщены сита S , назначеніе которыхъ задерживать твердые куски цемента, случайно попавшіе въ растворъ. Надъ верхнимъ конусомъ C_2 помѣщена воронка E , въ которую поступаетъ цементный растворъ изъ особыхъ баковъ, опрокидывающихся въ воронку E . Клапаны S_2 и S_1 дѣйствуютъ автоматически, хотя для большей вѣрности ими можно управлять при помощи рычаговъ L_2 и L_1 . Нижний конусъ C_1 соединенъ: 1) съ резервуаромъ R_1 при помощи трубы и затвора v_k , которые даютъ возможность въ нужный моментъ совершенно опорожнить резервуаръ съ ситами;

2) съ резервуаромъ со сжатымъ воздухомъ, который поступаетъ подъ сита посредствомъ трехъ трубочекъ и крана r и служитъ возмутителемъ во время заполнения растворомъ резервуара съ ситами.

Труба, черезъ которую нагнетается чистая вода, при помощи затворовъ v_2 и v_1 можетъ быть соединена или съ верхомъ цилиндрической части резервуара, или съ распределителемъ D , такъ что вода или направляется непосредственно въ буровыя скважины, или предварительно проходить черезъ сита, увлекая съ собою находящийся тамъ цементный растворъ опять-таки въ буровыя скважины. Дѣйствіе прибора слѣдующее. Когда кранъ v_1 открытъ, а v_2 —закрытъ, вода циркулируетъ въ распределителѣ. Затворъ v_k также закрытъ. Тогда въ воронку E наливаютъ цементный растворъ, который черезъ клапанъ S_2 поступаетъ на сита S , гдѣ все время нахождения перемѣшивается струями сжатого воздуха. Затѣмъ быстро закрываютъ затворъ v_1 и открываютъ — v_2 , послѣ чего нагнетаемая вода поступаетъ въ резервуаръ съ ситами, своимъ давлениемъ открываетъ нижній клапанъ S_1 и увлекаетъ цементный растворъ въ буровыя скважины. Черезъ 2—3 минуты открываютъ v_1 и закрываютъ v_2 , послѣ чего клапанъ S_1 захлопывается. Тогда при помощи затвора v_k опорожняютъ резервуаръ съ ситами и, закрывъ v_k , снова заполняютъ резервуаръ растворомъ. Такимъ образомъ, введеніе раствора при помощи этого прибора совершается непрерывно, трубы все время промываются чистой водою, благодаря чему засореніе ихъ невозможно. Нетрудно также регулировать давленіе. Единственный недостатокъ состоитъ въ томъ, что въ растворъ могутъ попадать пузырьки воздуха, но врядъ ли количество ихъ будетъ значительно и принесетъ существенный вредъ.

Произведенныя цементирования водоносной почвы.

Изъ произведенныхъ уже цементированій водоносной почвы можно указать на прекрасные результаты, полученные при углубленіи и постройкѣ новыхъ шахтъ въ рудникахъ Bethune (Le Génie civil за 1906 г., т. XLIX), Edouard-Agache (Annales des mines за 1908 г., т. XIII, 4-й выпускъ) и Saint-Pierremont въ Mancieulles (Bulletin de la Société de l'Industrie minière за 1909 г.). Въ Россіи цементированіе водоносной почвы съ предварительными забитыми въ нее бетонными сваями Штрауса было съ успѣхомъ примѣнено при ремонтѣ каптажа источника Нарзана.

Въ началѣ 1908 г. проф. Н. А. Житкевичемъ были сдѣланы доклады въ Обществѣ горныхъ инженеровъ, въ Императорскомъ Петербургскомъ Обществѣ архитекторовъ и въ

Императорскомъ Русскомъ Техническомъ Обществѣ о своемъ проектѣ ремонта каптажа, въ которомъ осуществлена идея, возникшая у горн. инж. Ячевскаго и у автора проекта. Идея эта заключается въ восстановленіи бетонной перемычки вокругъ колодца забивкой въ пространство между шпунтовымъ огражденіемъ вокругъ колодца и самымъ колодцемъ, а также въ пространство, прилегающее къ водоотводному каналу, бетонныхъ свай Штрауса, и въ заполненіи промежутковъ между ними цементнымъ растворомъ, инъектируемымъ въ грунтъ, состоящий частью изъ разрушеннаго бетона, частью изъ песка и гравія¹⁾ (рис. 17).

Одно цементированіе грунта, мысль о примѣненіи котораго въ данномъ случаѣ принадлежитъ инж. Ячевскому, не могло бы достигнуть цѣли при существованіи промоинъ съ утечкой воды въ 200000 ведеръ въ сутки. По проекту инж. Житкевича необходимо было предварительно забить бетонныя сваи Штрауса, которыя произвели бы закупорку промоинъ и облегчили бы въ дальнѣйшемъ примѣненіе цементирования. Цементъ какъ для изготовленія свай, такъ и для инъекціи рекомендовалось въ проектѣ брать не порландскій, а романскій, нѣкоторые сорта котораго содержатъ въ своемъ составѣ меньшій процентъ извести (40—45% противъ 60—65%) и при томъ въ видѣ болѣе устойчивыхъ соединений, что дѣлаетъ ихъ вполне пригодными для сооружений, омываемыхъ водою, содержащею углекислоту. Часть этой работы уже выполнена. Результаты получились превосходные, такъ какъ уровень воды въ колодцѣ поднялся на давно недостижимую высоту.

Такой успѣхъ, по нашему мнѣнію, зависитъ главнымъ образомъ отъ того, что инъектируемый цементъ заполнилъ не только поры грунта между сваями, но и всѣ пустоты, щели и промоины, образовавшіяся въ окружающемъ водоотводный каналъ грунтѣ, черезъ которыя и происходила самая значительная утечка воды.

Не останавливаясь болѣе на описаніи произведенныхъ работъ, приведемъ въ заключеніе сравненіе цементирования съ другими способами борьбы съ грунтовыми водами, а также и нѣкоторыя данныя для сужденія объ экономической сторонѣ дѣла.

Сравненіе цементирования съ другими способами устройства котловановъ, шахтъ, колодцевъ и т. п.

Способы, имѣвшіе примѣненіе при устройствѣ котловановъ, шахтъ, колодцевъ и т. п., весьма многочисленны и разнообразны. Въ числѣ ихъ можно указать на устройство при помощи сжатаго воздуха (кессоны), на устройство безъ пониженія уровня воды по способу Kind'a и Chaudron'a, на способъ Guibal'я, замораживаніе, временное пониженіе грунтовыхъ водъ и цементированіе.

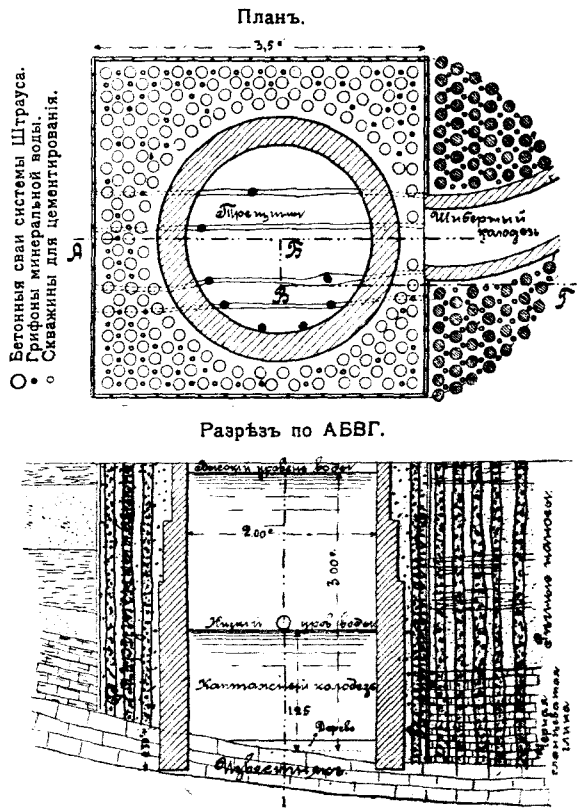


Рис. 17. Эскизъ ремонта каптажа Нарзанъ.

¹⁾ См. Зодчій 1908 г., № 9.

Всѣ эти способы чаще всего встрѣчаются въ практикѣ горныхъ инженеровъ, но лишь нѣкоторые изъ нихъ оказываются дѣйствительными при устройствѣ особенно глубокихъ шахтъ. Въ послѣднемъ случаѣ съ цементированіемъ можетъ конкурировать развѣ только замораживаніе, которое тѣмъ не менѣе уступаетъ цементированію въ практичности.

Такъ, при замораживаніи водоноснаго грунта приходится производить болѣе частое буреніе, нежели при цементированіи.

Кромѣ того, при цементированіи не могутъ имѣть мѣста несчастные случаи, которые происходятъ иногда при замораживаніи благодаря разрывамъ трубъ при обращеніи въ нихъ охлаждающей жидкости.

Затѣмъ, если вода находится въ движеніи, то замораживаніе и совсѣмъ нельзя примѣнить, такъ какъ всѣ, охлажденные циркуляционными трубами, элементы будутъ увлекаться теченіемъ къ мѣсту стока воды. Наконецъ, цементированіе навсегда укрѣпляетъ почву вокругъ сооруженія, что не имѣетъ мѣста при замораживаніи.

Не останавливаясь на сравненіи цементированія съ другими весьма сложными способами (Kind и Chaudron, Guibal, кессоны), укажемъ еще, что при пониженіи уровня грунтовыхъ водъ также не имѣетъ мѣста укрѣпленіе окружающей почвы.

Иногда послѣдній способъ и вовсе не можетъ быть примѣненъ, такъ какъ при глубокомъ пониженіи горизонта грунтовыхъ водъ получается отливъ воды къ мѣсту откачки изъ окрестныхъ хозяйственныхъ прудовъ и колодцевъ, что можетъ послужить причиной многочисленныхъ и серьезныхъ недоразумѣній съ сосѣдями. При цементированіи всѣ подобныя недоразумѣнія избѣгаются.

Стоимость цементированія.

Пользуясь однимъ изъ описанныхъ приборовъ (Greathead), примѣненныхъ при цементированіи грунта, окружающаго своды и стѣны тоннеля Парижскаго метрополитена, можно въ теченіе $1\frac{1}{2}$ рабочихъ дней инъектировать 1 куб. саж. сухого цемента или смѣси цемента съ пескомъ. При приборѣ должны находиться машинистъ, десятникъ, наблюдающій за работами, лицо, производящее прокладку трубъ, и 4 поденныхъ рабочихъ. Расходы по содержанію прибора и по поддержанію его въ исправности составляютъ около 3 руб. въ сутки. Исходя изъ среднихъ русскихъ цѣнъ на рабочія руки и принимая во вниманіе измѣненія въ цѣнахъ цемента, можно опредѣлить, что инъектированіе 1 куб. саж. чистаго цемента обойдется въ Россіи въ 400—525 руб.¹⁾

При смѣшиваніи цемента съ пескомъ въ пропорціи 1:2 стоимость кубической сажени падаетъ до 200—250 руб. При цементированіи водоносной почвы сюда надо еще присоединить стоимость буренія.

Объемъ цемента или смѣси его съ пескомъ составляетъ, какъ мы уже упоминали, 20%—40% объема цементируемой почвы или кладки, въ зависимости отъ степени ихъ пористости. Приведенныя данныя позволяютъ каждому сравнить стоимость даннаго способа борьбы съ грунтовыми водами съ другими ея приемами.

При цементированіи почвы въ рудникахъ Edouard-Agache стоимость углубленія шахты была значительно меньше стоимости примѣненія всякаго другого способа для ея углубленія. На основаніи изложеннаго можно съ достаточной степенью вѣроятія утверждать, что въ извѣстныхъ случаяхъ данный способъ не только легче, но и выгоднѣе.

Инженеръ Шеляпинъ.

¹⁾ Инженеру Portier, производившему въ 1899 г. инъекцію чистаго цемента за обшивку шахты въ рудникахъ Courrières, кубъ инъектированнаго сухого цемента обошелся въ 320 р. При производствѣ цементированія въ Ehingen'ѣ было инъектировано въ грунтъ 81,5 тон. цемента, на что употреблено 625 раб. дней. Принимая въ расчетъ стоимость оборудованія въ 940 мар. и среднія цѣны на цементъ и рабочія руки, получимъ, что стоимость 1 куб. саж. инъектированнаго сухого цемента должна обойтись въ 470 р., а слѣдовательно, при незначительней пористости грунта расходы на обращеніе куба гравія въ бетонъ не превышали 100 руб.