

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Ю. Л. АВЕТИКЯН

О МЕТОДИКЕ ДЕЗАЭРИРОВАНИЯ ПОР ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ  
ПЕСКОВ ПРИ ЛАБОРАТОРНОМ ИЗУЧЕНИИ ИХ  
ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Определение коэффициента фильтрации производится различными методами. В настоящее время наибольшее распространение получил лабораторный метод, основанный на непосредственных наблюдениях за фильтрацией воды через исследуемый грунт в фильтрационных приборах различной конструкции. При таком определении коэффициента фильтрации, результаты опыта в большей мере зависят от степени влияния на процесс фильтрации чрезвычайно разнообразия одновременно действующих побочных факторов, а именно: химсостава и загрязненности воды, гидродинамического давления воды, газонасыщенности грунта и воды, температуры грунта и воды, сил поверхностного натяжения, конструктивных недостатков фильтрационных приборов, ошибок измерений и др., которые не только искажают процесс фильтрации в целом, но и, что особенно важно, искажают действительную величину определяемого во времени коэффициента фильтрации.

При хорошей организации лабораторных работ и наличии соответствующего оборудования и измерительной аппаратуры, влияние на процесс фильтрации большинства из перечисленных выше факторов может быть полностью устранено или сведено к минимуму. Однако, устранение влияния на процесс фильтрации газонасыщенности грунта связано, как показывает подробный анализ вопроса, с определенными трудностями, преодоление которых не всегда представляется возможным.

При лабораторном изучении фильтрации вопрос о газонасыщенности грунтового образца тесно связан с методикой загрузки фильтрационного прибора, так как при этом не удается добиться такого положения, чтобы все грунтовые поры были заполнены водой, почему и часть из них оказывается заполненной воздухом. В дальнейшем, при фильтрации воды часть воздуха уходит из пор, а оставшаяся часть остается в них в виде так называемого «защемленного» воздуха. Присутствие в грунтовых порах «защемленного» воздуха уменьшает площадь сечения поровых каналов. В зависимости от давления и температуры окружающей среды пузырьки такого воздуха сжимаются или расширяются, а процесс фильтрации оказывается неустойчивым и пуль-

сирующим во времени. „Защемленный“ воздух влияет также на величину коэффициента фильтрации и, в зависимости от количества грунтового воздуха, определяемый коэффициент фильтрации может уменьшиться на 30—50% и более, против случая полного насыщения пор грунтовой водой. Наконец, грунтовой воздух является причиной того, что водопроницаемость в начале опыта падает, а в конце увеличивается, хотя и общий напор на фильтрационной установке остается постоянным. Следует указать, что газонасыщение грунтовых пор может происходить не только в процессе загрузки фильтрационного прибора. Источником газонасыщения может служить и фильтрующая вода, если в ней содержится воздух или другие газы, которые, при некоторых условиях, выделяются из воды и „заилют“ грунтовые поры.

В современной лабораторной практике уменьшение газовыделения из фильтрующей воды обеспечивается, в основном, следующими методами:

1. предварительной дегазацией воды или применением в качестве фильтрата дистиллированной воды;
2. созданием условий, когда в процессе фильтрации газовыделение из воды становится невозможным.

При втором методе, согласно Н. М. Герсеванову [2], необходимо выполнить следующие условия:

- а) поддерживать температуру фильтрующей воды выше или равной температуре исследуемого грунтового образца;
- б) поступающую в грунт воду нагнетать;
- в) движение воды в грунте должно по мере продвижения характеризоваться повышением давления в каждой ее частице.

Выполнение этих трех условий, устраняющих влияние газонасыщенности воды на результаты опыта приводит, согласно [2], к схеме фильтрационного прибора, показанного на рис. 1.

Однако, если влияние на фильтрацию газонасыщенности только воды может быть в той или иной степени уменьшено методами, указанными выше, то в лабораторной практике все еще не имеется сколько-нибудь удовлетворительного метода, позволяющего полностью

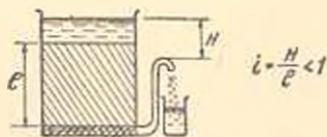


Рис. 1.

удалить из грунтовых пор защемленный в них воздух. В литературе имеются рекомендации, которые по мнению их авторов должны устранить влияние газонасыщенности грунта на процесс фильтрации (загрузка грунта в фильтрационный прибор с одновременным насыщением грунтовых пор водою, вакуумирование грунта, подача воды по направлению снизу-вверх, применение теплой воды и др.). Однако, соответствующий анализ приведенных в литературе данных, а также наши опыты по фильтрации показали, что все эти рекомендации неполноценны и не обеспечивают полного удаления защемленного в грунтовых порах воздуха не только в процессе загрузки фильтраци-

овного прибора, но и даже при дальнейшей, довольно продолжительной во времени (10—20 дней) фильтрации воды через грунт.

Нами разработана принципиальная схема дегазационной установки, которая, в отличие от существующих схем, в процессе фильтрации одновременно обеспечивает:

1. условия, при которых совершенно исключается какое бы то ни было газовыделение из воды;
2. сравнительно быстрое удаление из грунтовых пор заземленного воздуха.

При выработке излагаемой ниже методики, нами были проведены многочисленные опыты по фильтрации через различные пески, причем в качестве фильтрата применялись: вакуумированная с помощью вакуум-насоса водопроводная вода; нагретая до постоянной температуры 30°C водопроводная вода; дистиллированная вода; дистиллированная вода, нагретая до 30°C, причем осуществлялся кругооборот определенного объема воды с помощью автоматического устройства.

Во всех случаях опыты проводились по схеме рис. 1 с той лишь разницей, что уровень воды нижнего бьефа поддерживался на 2 метра выше отметки нижней крышки фильтрационного прибора.

Пески различных фракций загружались в стеклянную трубку ( $d = 40$  мм,  $l = 900$  мм), снабженную по высоте с обеих сторон шестью рядами пьезометрических отростков. В процессе фильтрации, в поры исследуемого грунта искусственно вводилось различное количество воздуха. Через стекло трубки можно было следить за скоплением или уменьшением воздуха в грунтовых порах вблизи стенок трубки. Во время опытов велись наблюдения по всем пьезометрам за ходом изменений давлений в грунте. По формуле Дарси вычислялись соответствующие коэффициенты фильтрации (при постоянном напоре на установке) и строились зависимости  $K = K(t)$ .

Не имея возможности в данной статье подробно рассмотреть результаты экспериментов, полученных в случае применения указанных выше методов дегазации водопроводной воды, отметим лишь то важное обстоятельство, что во всех случаях определяемые значения коэффициента фильтрации были получены изменяющимися во времени, а в некоторых случаях и резко разняющимися друг от друга, хотя и напор на установке оставался постоянным.

Ниже рассматривается предлагаемая принципиальная схема дегазационной установки. Известно, что растворимость газов в воде увеличивается с понижением температуры и повышением давления. Согласно закона Генри-Дальтона имеем

$$g = \alpha \cdot \frac{P}{P_0},$$

где  $g$  — количество растворенного в воде газа в кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  — коэффициент абсорбции газа водой в кг/м<sup>3</sup>;

$P$  — парциальное давление газа над поверхностью воды в  $кг/м^2$ ;

$P_0 = 10.333 \text{ кг/м}^2$  (нормальное атмосферное давление).

Эта закономерность и была нами принята в основу рассматриваемой методики дегазации грунтозных пор.

Фильтрационная установка (рис. 2), состоящая из 3-х частей (собственно фильтрационный прибор; дегазационная установка; автоматическое устройство для отвода профильтрованной воды) работала следующим образом. В бак верхнего бьефа (7) поступала водопроводная вода ( $t = 10-14^\circ\text{C}$ ), которая нагревалась с помощью нагревателя (33) до  $40^\circ\text{C}$ , причем постоянство температуры нагрева регулировалось электроконтактным термометром (34). Так как вода в баке непрерывно перемешивалась, то в шланг (12) поступала вода с постоянной температурой нагрева  $40^\circ\text{C}$ . Далее, по пути следования к фильтрационному прибору (19), вода пропусклась через холодильник, представляющий из себя бак (14), емкостью 30 литров со змеевиком из шлангов (13), длиной 20 метров, где вода двигалась по направлению сверху-вниз. Одновременно по шлангу (15) в бак, через ее нижнюю часть, непрерывно поступала холодная водопроводная вода, двигающаяся в баке снизу-вверх, которая после интенсивного перемешивания, с помощью особого устройства, отводилась через верхнюю ее часть, через трубку (17) в сборный бак (10). Нагретая до  $40^\circ\text{C}$  водопроводная вода после прохождения через холодильник охлаждалась до  $t = 13-16^\circ\text{C}$  и через шланг (18) поступала в фильтрационный прибор. Так как температура воздуха в лаборатории, где проводились эксперименты, была всегда выше  $13-16^\circ\text{C}$ , то шланги (18) и (20) были в свою очередь заключены в другие шланги большего диаметра, по которым так же непрерывно циркулировала холодная водопроводная вода. С этой же целью омывалась током холодной воды и фильтрационная трубка (19). Таким образом удавалось температуру фильтрующей через прибор воды поддерживать практически постоянной (колебания температуры фильтрата в течение дня не превышали  $0,2-0,5^\circ\text{C}$ ).

Сущность изложенной выше методики дегазации грунтовых пор заключается в следующем. Предварительно нагретую до  $40^\circ\text{C}$  газонасыщенную водопроводную воду пропускают через холодильник, где ее температура понижается до  $13-16^\circ\text{C}$ . Понижение температуры фильтрата на  $24-27^\circ\text{C}$  с одной стороны и наличие определенного давления в фильтрационном приборе ( $0,2 \text{ атм.}$ ) с другой стороны резко увеличивает растворимость газов в воде (в нашем случае углекислоты на  $80\%$  и кислорода на  $53,3\%$ ), вследствие чего в фильтрационный прибор поступает уже вода с определенным дефицитом газа в ней. Поэтому в процессе фильтрации не только не должно происходить газовыделение из воды, но, что особенно важно, в фильтрующей воде должен раствориться воздух, заземленный по какой либо причине в грунтовых порах, и вместе с водой выноситься наружу. Преимуществом такой методики, против обычно принятых на практике мето-

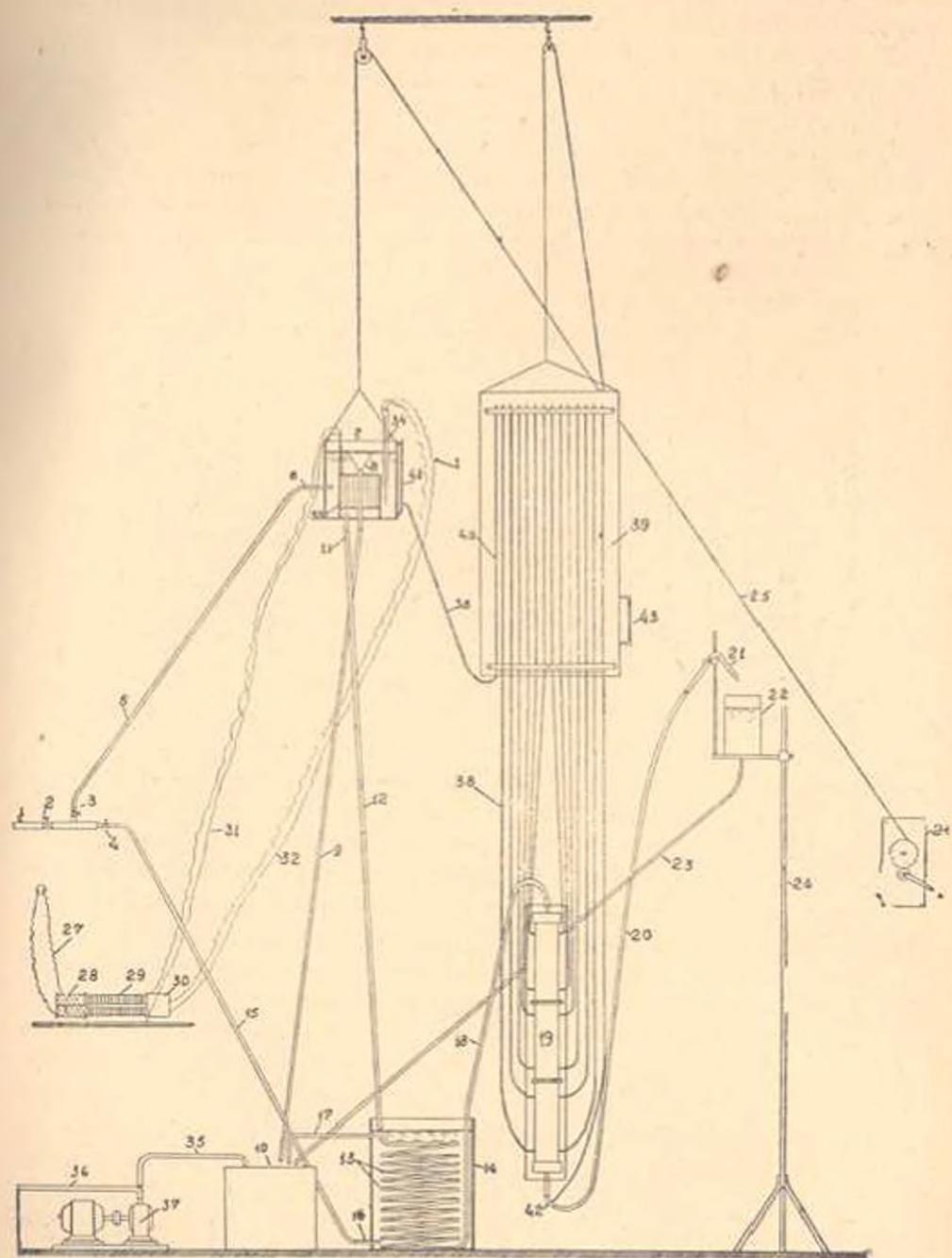


Рис. 2.

дов дегазации воды является то, что уже после нескольких часов непрерывной фильтрации последняя принимает стационарный характер для всего периода исследования. Известно, что с этой же целью различные авторы [1], [3], [4] и другие в своих опытах по фильтрации через пески пропускали воду непрерывно, в течение нескольких дней и недель, и даже после этого им не всегда удавалось получить вполне устойчивую по времени фильтрацию, хотя и напор на установке оставался постоянным. На рис. 3 приводятся некоторые из полученных ими зависимостей  $K = K(t)$ , характеризующие фильтрацию через одни и

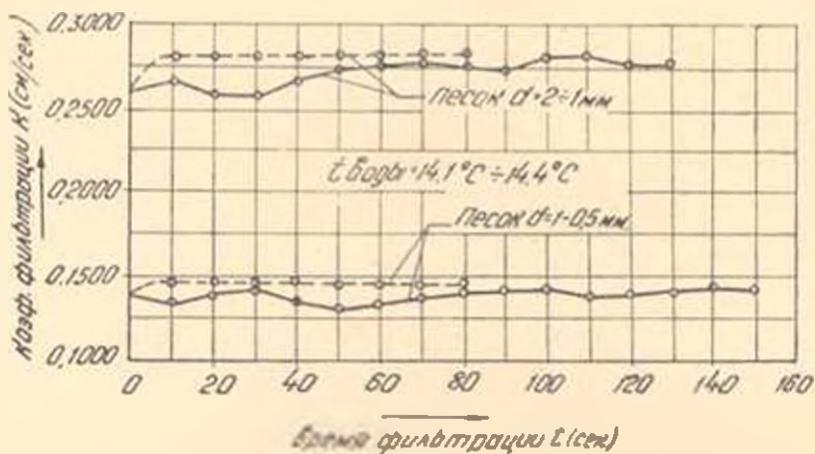


Рис. 3.

тот же грунт при различных методах дегазации фильтрата. В одном случае, когда в качестве фильтрата применялась вакуумированная водопроводная вода (на рис. 3 сплошная линия) фильтрация через крупнозернистый песок с диаметром зерен  $d=2-1$  мм носит явно переменный характер в первые 56 часов, несмотря на постоянство температуры воды и общего напора на установке. В дальнейшем колебание значений коэффициента фильтрации выражено слабо, но все же фильтрационный процесс не носит стационарного характера.

Неустановившийся характер процесса фильтрации усматривается также и из зависимости  $K=K(t)$ , полученной для случая среднезернистого песка с диаметром зерен  $d=1-0,5$  мм (рис. 3), где изменение значений коэффициента фильтрации наиболее резко выражено в первые 80 часов. Однако и далее фильтрация все еще носит пульсирующий характер. Указанные грунты были исследованы на фильтрацию и более длительное время, в продолжении 10-15 суток, однако и тогда наблюдались колебания коэффициента фильтрации. Аналогичные результаты для данных грунтов были получены и в другой серии опытов, когда была применена не дегазированная вода, а так же в случае, когда придерживались рекомендуемых литературой методов дегазации воды. В случае, когда вышеуказанные грунты были исследованы на фильтрацию при тех же условиях, но с применением предлагаемой

методики дегазации фильтрата, нами были получены данные, резко отличные от рассмотренных выше (пунктирная линия на рис. 3). Здесь изменение значений коэффициента фильтрации наблюдается в первые 3—4 часа (для крупнозернистого песка) и 5—6 часов (для среднезернистого песка), после начала опыта. Далее, независимо от времени определения, значения коэффициента фильтрации остаются постоянными, что указывает на установившийся режим фильтрации. По данной методике нами были исследованы на фильтрацию и другие песчаные грунты ( $d = 0,5-0,25$  мм,  $d = 0,25-0,10$  мм, смешанный с фракциями от 0,05 мм до 2 мм, слоистый грунт, составленный из трех различных однородных по высоте слоев и др.) и во всех случаях были получены данные, указывающие на сравнительно быстрое установление режима фильтрации.

Изложенная методика была применена для уточнения ряда вопросов, связанных с лабораторным исследованием фильтрационных свойств песчаных грунтов. Многочисленные опыты (более 350), проведенные в гидротехнической лаборатории Ереванского политехнического института привели нас к следующим выводам:

1. Результаты лабораторного изучения фильтрационных свойств грунтов зависят, в основном, от степени влияния на процесс фильтрации различных побочных факторов, искажающих фильтрацию, в особенности газонасыщенности грунта и воды. Рекомендуемые в литературе методы устранения влияния последних на процесс фильтрации не являются полноценными.

2. Предлагаемая в работе методика дегазации грунтовых пор песков, в отличие от существующей, обеспечивает условия фильтрации, при которых газовыделение из воды становится невозможным, а заземленный в грунтовых порах воздух сравнительно быстро растворяется и с фильтруемой водой выносится наружу.

3. Преимуществом такой методики следует считать и то, что она может быть применена для определения коэффициента фильтрации песков с нарушенной и ненарушенной структурой.

4. В качестве фильтрата можно применять газонасыщенную воду, которая, согласно предложенной методике, может быть сравнительно легко превращена в воду, поглощающую воздух и газы из грунтовой массы.

5. Применение данной методики позволяет в лабораторных условиях получать устойчивый, стационарный во времени режим фильтрации, независимо от степени газонасыщенности грунта и фильтруемой воды. Это очень важно в том смысле, что определяемые во времени значения коэффициента фильтрации, при прочих равных условиях, будут свободны от искажения.

ՅՈՒ. Լ. ԱՎԵՏԻ-ԲԱՅԷՆ.

ԳԱԶԱՀԱԳԵՑՎԱԾ ԱՎԱԶՆԵՐԻ ՅԻԼՏՐԱՅԻՈՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
 ԼԱՐՈՐԱՏՈՐ ՌԻՍՈՒՄԵՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԾԱԿՈՏՅՈՒՆՆԵՐԻ  
 ՈԳԱԶՐԿՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հողվածում նկարագրվում է ավազների դրոնտային ծակոտիների օդա-  
 զրրկման առաջարկվող նոր եղանակ, որը դոլաթյուն ունեցող եղանակներից  
 տարբերվում է. ապահովելով ֆիլտրացիայի պրոցեսում այնպիսի պայման-  
 ներ, ինչպիսիններն են՝ շրից գազանջատման լուրաքանչյուր հնարավորաթյուն,  
 գրունտային ծակոտիներում պարփակված օդի համեմատաբար արագ հեռա-  
 ցում:

Նշված մեթոդիկայի մշակման ժամանակ բաղմաթիվ փորձարկումներ է  
 կատարված տարբեր ֆրակցիաների ավազների ֆիլտրացիայի վերաբերյալ.  
 Ընդորում փորձերը կատարվել են համաձայն նկ. 1 բերված սխեմայի Բեր-  
 ված են նաև փորձարկումներից ստացված որոշ արդյունքներ Խ—ԽՂ ֆունկ-  
 ցիայի ձևով:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андрущенко А. Г. «Сравнительное рассмотрение способов определения коэффициента фильтрации на приборах типов Дарси и Форхгеймера». Сборник трудов Украинского отделения института ВОДГЕО, Харьков, 1910 г.
2. Герсегова Н. М. «Опыт развития динамики грунтовой массы». Сборник «Исследования работы грунта в железнодорожных сооружениях» Трансжелдориздат, М., 1910 г.
3. Зауербрый Н. Н. «К вопросу о коэффициенте фильтрации грунтов и методике его исследования». Известия НИИ гидротехники, том V, 1931 г.
4. Пузыревская Т. Н. «Прочаивание воды через песчаные грунты». Известия НИИГ, т. 1, 1931 г.