

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЧВ ВИНОГРАДНИКОВ

Завьялова О.С., Ластовенко О.Р., Лисиутин В.А., Лучин В.Л., Петренко Н.В.,
Рогова О.В., Рыбакова К.А., Ярошенко А.А.

Севастопольский государственный университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ; e-mail: vlisiutin@mail.ru

Поступила в редакцию: 18.07.2019

Аннотация. Виноградарство – одно из приоритетных направлений экономического развития Крыма и Севастополя. Сорт, почва и климат считаются тремя основными компонентами терруара. К физическим свойствам почвы относятся гранулометрический и агрегатный состав, структурное состояние, объемная масса, пористость, гидравлическая проницаемость и др. На почвах с низкой проницаемостью вследствие недостаточного дренажа и аэрации растения недополучают не только влагу, но и кислород, что может привести даже к гибели растений. Чтобы правильно корректировать физические свойства почв виноградников необходимо сначала правильно их измерить. Статическая (для постоянной скорости течения) гидравлическая проницаемость определяется посредством известного закона Дарси. Приводится конструкция пермеметра постоянного напора. Выводится рабочая формула для измерения проницаемости. Показывается, что преимущество пермеметра предложенной конструкции заключается в том, что отбор разности давлений осуществляется непосредственно из среды, что исключает ошибки, связанные с потерей напора при прохождении сеток и фильтров. Приводится формула Козени-Кармана и графики, по которым осуществляется калибровка пермеметра. Определяется Козени-константа для стеклянных шариков. Показывается, что источником ошибки являются флуктуации упаковки.

Ключевые слова: гидравлическая проницаемость, пермеметр, Козени-Кармана соотношения.

ВВЕДЕНИЕ

Виноградарство – одно из приоритетных направлений экономического развития Крыма и Севастополя [1]. Сорт, почва и климат считаются тремя основными компонентами терруара.

К физическим свойствам почвы относятся гранулометрический и агрегатный состав, структурное состояние, плотность или объемная масса, плотность или удельная масса твердой фазы почвы, пористость, гидравлическая проницаемость, воздушные, водные, тепловые, электрические и радиоактивные свойства почвы [2].

На плотных почвах, с низкой проницаемостью, вследствие недостаточного дренажа и аэрации, растения недополучают не только влагу, но и кислород, что может привести даже к гибели растений, особенно если они страдают длительное время от дефицита питания. В таких условиях происходит отмирание корневых волосков, возобновление же нормального питания может произойти только при образовании новых. В условиях уплотненной почвы семена практически не прорастают или прорастают со значительным запозданием и неравномерностью по срокам. При этом выращивание на склонах или неровностях почвы многократно увеличивает опасность потери урожая – поверхностные потоки воды не успевают впитываться в почву вследствие её уплотнения и, соответственно, уменьшения проницаемости и при своём движении вниз по склону захватывают и сносят в низины плодородный слой почвы и посевов.

Решить указанные выше проблемы можно, используя регуляторы проницаемости почвы. Основой для этих регуляторов является водорастворимый полиакриламид или простой песок. Регулятор позволяет снизить водную эрозию почвы, одновременно увеличивая ее проницаемость.

Чтобы правильно регулировать и корректировать физические свойства почв виноградников необходимо сначала правильно их измерить.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ФИЗИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

Методы измерения гранулометрического состава, плотности и пористости хорошо разработаны [метод] и обсуждаться здесь не будут. Наоборот, для измерения проницаемости требуется специальное оборудование, которое конструируется, оснащается и изготавливается индивидуально, однако результат измерения должен соответствовать стандарту.

Статическая (для постоянной скорости течения) гидравлическая проницаемость определяется через посредство закона Дарси [3, 4]:

$$u_{av} = \frac{\kappa \Delta p}{\eta \Delta x}, \quad (1)$$

где κ – проницаемость, м^2 ; u_{av} – осредненная по поперечному сечению скорость течения жидкости, м/с ; η – динамическая вязкость жидкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$; Δp – разность давлений на расстоянии Δx , измеренная внутри среды, Па/м .

Рассмотрим установившееся ламинарное течение жидкости по цилиндрической трубе диаметром D . Измеряемый тем или иным способом массовый расход флюида связан со средней скоростью соотношением

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho_f \Delta V}{\Delta t} = \rho_f S u_{av}, \quad (2)$$

где $S = \pi D^2/4$ – площадь поперечного сечения трубы. Сравнивая (1) и (2), получаем физическую формулу для вычисления проницаемости:

$$\kappa = \frac{\eta \Delta m \Delta x}{\rho_f S \Delta t \Delta p} = \frac{\eta \Delta V \Delta x}{S \Delta t \Delta p}. \quad (3)$$

Уравнение (3) составляет формальное решение поставленной задачи.

КОНСТРУКЦИЯ ПЕРМЕАМЕТРА

Пермеаметр представляет собой настольную разборную конструкцию (рис. 1).

Корпус пермеаметра (1) изготовлен из прозрачной акриловой трубы с изменяемой длиной, внутренним диаметром 53 мм. Внутри трубы помещается образец среды (2). Нижний конец трубы закрыт и отделен от среды проницаемой сеткой, не влияющей на результат измерений. Верхний конец трубы открыт, чтобы образец среды можно было уплотнять и воздействовать на него внешним давлением, засыпая сверху крупный кварцевый песок. Бак с водой (3) соединен с трубой пермеаметра гибким шлангом. Если бак и труба расположены на одном уровне, то без внешнего давления уровень воды внутри трубы устанавливается согласно закону сообщающихся сосудов. Внешнее избыточное давление воздуха в водяном баке создается электрическим насосом (4) и регулируется с помощью стабилизатора избыточного давления (5). При включении насоса возникает ток флюида и перепад давления внутри среды, измеряемый дифференциальным манометром (6), $\Delta p = \rho_f g \Delta h$. Вода стекает в измерительный цилиндр (7) так, что за время измерения Δt набирается Δm или ΔV флюида.

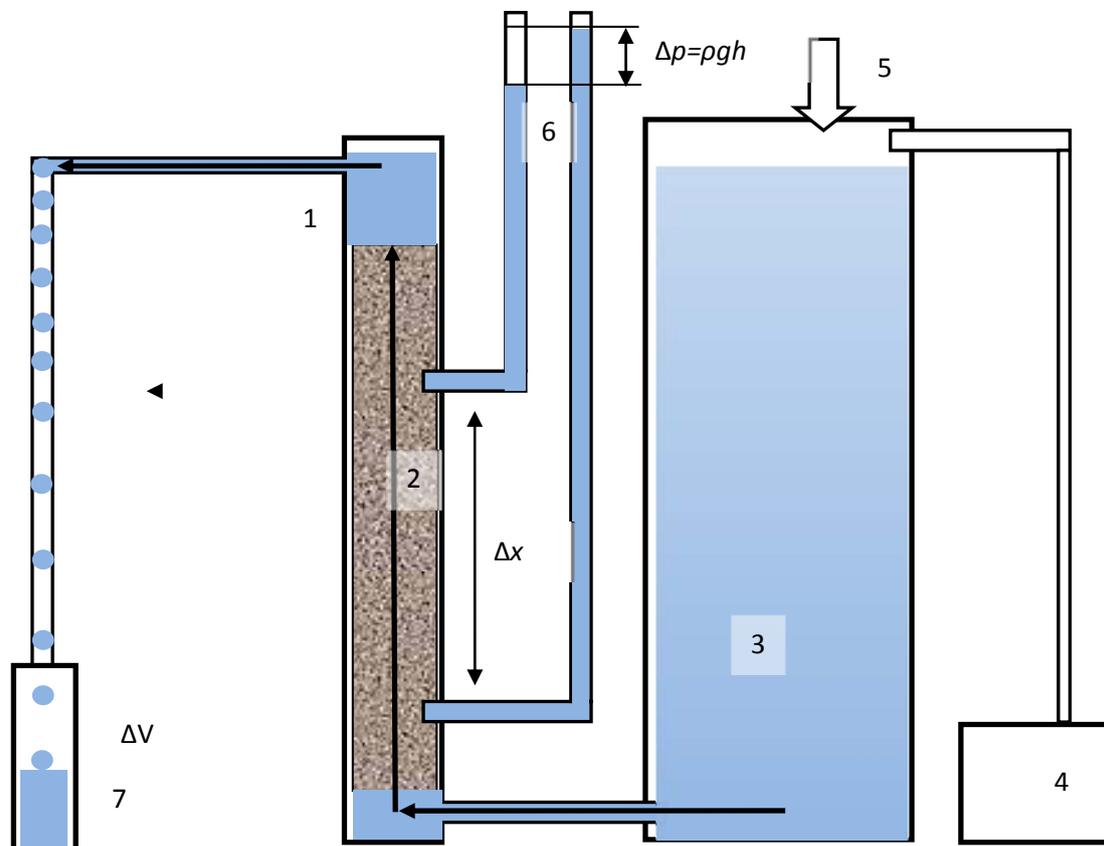


Рисунок 1. Конструкция пермеаметра постоянного напора

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КАЛИБРОВКА

Согласно стандарту ASTM – 220 принято первоначально определять коэффициент проницаемости (скорость течения, м/с). Преобразуем формулу (3) следующим образом:

$$\kappa = \frac{\eta}{g\rho_f} \frac{\Delta V \Delta x}{S \Delta h \Delta t} = \frac{\eta}{g\rho_f} k, \tag{4}$$

где $k = \frac{\Delta V \Delta x}{S \Delta h \Delta t}$ – коэффициент проницаемости, определяемый только геометрическими параметрами; g – ускорение свободного падения.

Плотность флюида при температуре измерений должна определяться экспериментально, вязкость жидкости приводится к температуре 20° С с помощью формулы $\eta = 0,000183/(1 + 0,0337t + 0,000221t^2)$, где t – температура в °С.

Калибровка пермеаметра осуществлялась двумя способами: по измерению проницаемости среды из шариков различного диаметра и по измерению проницаемости песка с различным гранулометрическим составом. Авторы располагали шариками единственного диаметра – 6 мм. Проверка осуществлялась на основе уравнения Козени-Кармана [3-5]

$$\kappa = \frac{1}{36K} \frac{P^3}{(1 - P)^2} d^2, \tag{5}$$

где P – пористость, d – диаметр шариков, K – Козени константа. В случае случайной упаковки пористость не зависит от диаметра шариков и составляет $P = 0,363$. Козени-константа в этом случае равна $K = 5$. Результат измерений проницаемости сред из шариков различного размера, взятыми из открытой печати, в том числе из [5], и собственных измерений показан на рисунке 2.

Зеленая линия соответствует значению $K = 3$, красная $K = 8$. Как видно, результаты собственных измерений находятся между двумя линиями, соответствующими пределам доверительного интервала. Для объяснения разброса экспериментальных точек на рисунке 3 приведены значения пористости, соответствующие экспериментальным точкам на рисунке 2 и инвертированные значения Козени-константы, вычисленные предполагая $P = 0,363$.

Как видно из рисунка 3, главным источником погрешности являются флуктуации упаковки. Крупные шарики, сосредоточенные в небольшом объеме стремятся упаковаться более плотно (измерения [5]), чего нельзя допускать.

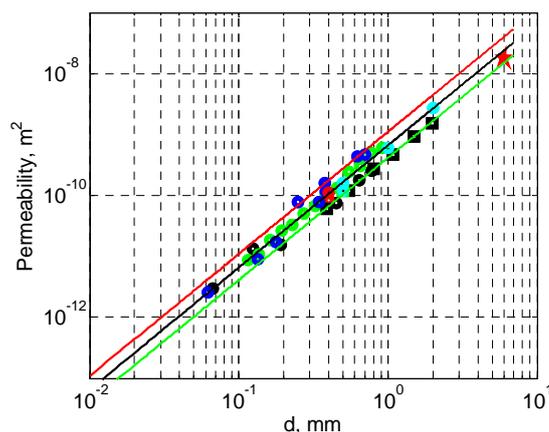


Рисунок 2. Зависимость проницаемости среды из шариков от диаметра. Красная звезда – собственные измерения

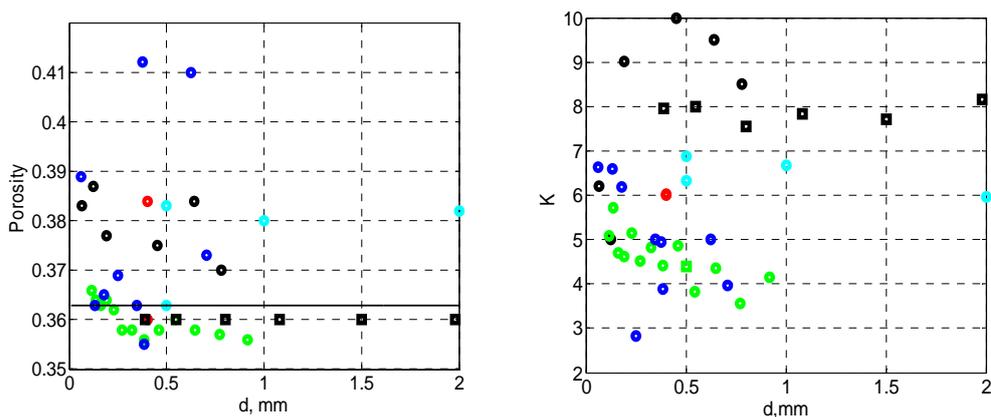


Рисунок 3. Разброс пористости и Козени – константы от диаметра шариков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущество пермеметра предложенной здесь конструкции заключается в том, что отбор разности давлений осуществляется непосредственно из среды, что исключает ошибки, связанные с потерей напора при прохождении сеток и фильтров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-42-920001.

Список литературы / References:

1. Гайсарова А.А., Филипенко Н.Ю. О проблемах и перспективах развития отраслей виноградарства и виноделия Республики Крым. *Агропродовольственная экономика: научно-практический электронный журнал*. Нижний Новгород: НОО «Профессиональная наука», 2017, № 01, с. 90-99. [Gaisarova A.A., Filipenko N.Yu. On the problems and prospects of development of the viticulture and winemaking sectors of the Republic of Crimea. *Agricultural and food economics: a scientific and practical electronic journal*. Nizhny Novgorod: The NGO Professional Science, 2017, no. 01, pp. 90-99. (in Russ.)]
2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. *Методы определения физических свойств почв и грунтов*. М.: Высшая школа, 1961, 345 с. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods for determining the physical properties of soils and soil*. М.: Higher School, 1961, 345 p. (In Russ.)]
3. Лисютин В.А. Простая акустическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним и вязким трением. *Экологический вестник научных центров ЧЭС*, 2018, т. 15, № 3, с. 39-51. DOI: 10.31429/vestnik-15-3-39-51. [Lisyutin V.A. A Simple Acoustic Model of Unconsolidated Marine Sediments with Internal Friction and Viscous Dissipation. *Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 39-51. DOI: 10.31429/vestnik-15-3-39-51. (in Russ.)]
4. Лисютин В.А. Обобщенная реологическая модель неконсолидированных морских осадков с внутренним трением и эффективной сжимаемостью. *Морской гидрофизический журнал*, 2019, т. 35, № 1, с. 85-100. DOI: 10.22449/0233-7584-2019-1-85-100. [Lisyutin V.A. Generalized Rheological Model of the Unconsolidated Marine Sediments with Internal Friction and Effective Compressibility. *Physical Oceanography*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 77-91. DOI: 10.22449/1573-160X-2019-1-77-91.]
5. Kimura M. Prediction of tortuosity, permeability, and pore radius of water-saturated unconsolidated glass beads and sands femur. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2018, vol. 143, no. 5, pp. 3154-3168. DOI: 10.1121/1.5039520.

LABORATORY COMPLEX FOR MEASURING PERMEABILITY OF SOILS OF VINEYARDS
Zavjalova O.S., Lastovenko O.R., Lisyutin V.A., Luchin V.L., Petrenko N.V., Rybakova K.A., Rogova O.V.,
Jarochenko A.A.

Sevastopol state university

Universitetskaya Str., 33, Sevastopol, 299053, Russia; e-mail: vlisiutin@mail.ru

Abstract. Viticulture is one of the priorities of the economic development of the Crimea and Sevastopol. Variety, soil and climate are considered the three main components of the terroir. The physical properties of the soil include the granulometric and aggregate composition, structural condition, bulk density, porosity, hydraulic permeability, etc. On soils with low permeability, due to insufficient drainage and aeration, plants receive less than just moisture, but also oxygen, which can even lead to plant death. In order to properly adjust the physical properties of the vineyard soils, it is necessary to first measure them correctly. The static (for a constant flow rate) hydraulic permeability is determined by the well-known Darcy law. The design of the constant head permeameter is given. Displays the working formula for permeability measurement. It is shown that the advantage of the permeameter of the proposed design is that the selection of the pressure difference is carried out directly from the environment, which eliminates errors associated with pressure loss during the passage of the grids and filters. The Kozeny-Carman formula and the graphs used to calibrate the permeameter are given. Determined by Kozeny-constant for glass beads. It is shown that the source of error is the packing fluctuations.

Key words: *hydraulic permeability, permeameter, Kozeny-Carman relation.*