

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КЯРИЗОВ

HYDRAULIC ACCOUNT OF UNDERGROUND WATER-SUPPLIES

Аллахвердиева К.Э.

Азербайджанский государственный аграрный университет

Статья посвящена вопросу гидравлического расчёта кяризов, используемых с целью водоснабжения и орошения. На основе классического гидравлического способа решения фильтрационных задач с применением закона Дарси и метода «деление потока» получены расчётные зависимости для определения дебита и длины влияния кяриза, которые могут быть использованы для его проектирования и восстановления дебита древних кяризов.

Ключевые слова: кяриз, галерея, дебит, дальность влияния, расчёт, формула, водоупор.

Для цитирования: Аллахвердиева К.Э. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КЯРИЗОВ. Аграрная наука. 2019; (7–8): 61–64.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-330-7-61-64>

Allahverdiyeva K. E.

Azerbaijan State Agricultural University

The article was dedicated to issuing computational formulas for determining the expense and impact distance of underground water-supplies used for irrigation and water supply. The computational formulas have been proposed to determine the expense and impact distance of underground water-supplies on the basis of H. Darsi law and “division of flow” method used for solving the flow issues to the water-collector and water-carrier devices in underground hydraulics. The proposed formulas can be used in the design of modern underground water-supplies, as well as for the restoration of ancient ones.

Key words: underground water-supply, gallery, expense, impact distance, computational formula, waterproof layer.

For citation: Allahverdiyeva K. E. HYDRAULIC ACCOUNT OF UNDERGROUND WATER-SUPPLIES. 2019; (7–8): 61–64. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-330-7-61-64>

Введение. В технической литературе не освещён вопрос гидравлического расчёта кяризов (водосборной галереи — штольни), расположенной выше водоупорного слоя. В работах, посвящённых подземной гидравлике и водоснабжению, приводится расчётная формула для вычисления притока воды к водосборной галереи (рис. 1), расположенной на горизонтальном водоупоре и имеющая следующий вид [1, 2, 3]:

$$Q = \frac{kD(H^2 - h_0^2)}{L}, \quad (1)$$

где Q — приток воды, поступающий в галерею, длиной B , или дебит кяриза, м³/сут.; k — коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут.; H — мощность горизонта, м; h_0 — глубина воды в галерее, м; L — дальность влияния галереи или кяриза, м.

Принцип работы кяризов идентичен принципу работы водосборных галерей и горизонтальных водозаборов.

Для вывода расчётных формул притока к этим и другим гидротехническим сооружениям (горизонтальному дренажу, скважинам, коллектору, котловине и т.д.) применяется закон А. Дарси [24]. Применение закона Дарси для решения задач по фильтрации в достаточной степени освещено во многих теоретических и практических работах [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Анализ этих работ показывает, что можно использовать закон Дарси и при выводе формулы для гидравлических кяризов.

В подавляющем большинстве случаев галерея (штольня) кяризов вскрывает частичную мощность водоносного горизонта и располагается выше водоупора. При этом вода в галерею поступает со дна и с боковых стенок кяризов. Поэтому применение формулы (1), полученной для водосборной галереи или штольни кяриза, становится непригодной для данной схемы, т.к. приток к галерее или её дебит оказывается крайне пониженным.

Поэтому требуется вывод формулы для гидравлического расчёта кяриза (притока к кяризам), расположенного выше водоупора (рис. 2).

Целью исследований является вывод формулы для гидравлического расчёта кяриза, расположенного выше водоупора.

Рис. 1. Приток воды к водосборной галерее (штольне), расположенной на водоупоре

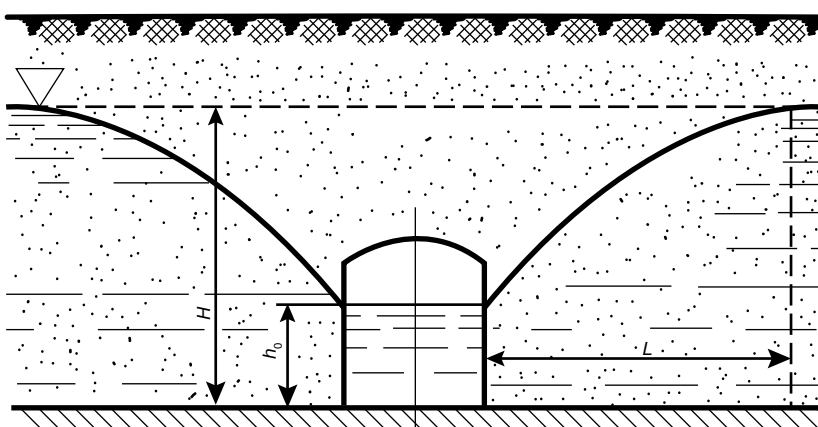
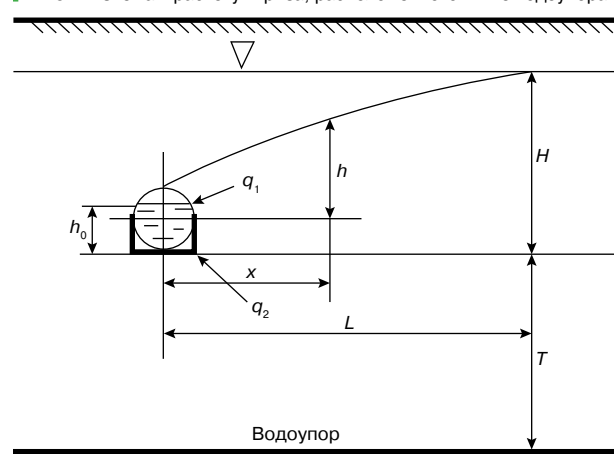


Рис. 2. Схема к расчёту кяриза, расположенного выше водоупора



Методики вывода формулы. Для вывода расчётных формул кяриза был использован классический гидравлический способ решения фильтрационных задач с применением закона А. Дарси и метода «деление потока» [10, 11, 24].

Исходное уравнение для вывода расчётной формулы. В подземной гидравлике задачи притока к гидротехническим сооружениям разрешаются тремя способами 1) экспериментальным, 2) гидравлическим и 3) гидромеханическим.

При экспериментальном способе проводятся опыты в нескольких вариантах и полученные результаты подвергаются статистической обработке. Устанавливается корреляционная связь между переменными и составляется уравнение регрессии. Затем выводится эмпирическая зависимость для определения того или иного параметра.

При гидравлическом и гидромеханическом (гидродинамическом) способах расчётные и прогнозные формулы выводятся чисто теоретическим путём с применением различных математических аппаратов, с использованием первичных и граничных условий. При применении гидромеханического способа используются более сложные математические аппараты и подходы, а при применении гидравлического способа — более простые математические аппараты и условия. По мнению гидромехаников, результаты, полученные гидромеханическим способом, являются более точными и достоверными [6]. Но некоторые известные гидромеханики этого взгляда не разделяют или считают мало обоснованным. Группа учёных, т.е. часть гидромехаников, считают, что классический гидравлический способ решения фильтрационных задач является более точным и надёжным [8, 15, 16].

Выдающийся гидромеханик И.А. Чарный [15, 16] доказал, что формулы, полученные Ж. Дюпюи для определения дебитов скважин гидравлическим методом, является более точным математическим решением.

Теоретик и выдающийся учёный-гидромеханик П.Я. Полубаринова-Кочина [8, стр. 381] писала: «При современном развитии гидравлической теории в нескольких задачах приходится пользоваться сложным математическим аппаратом, поэтому нельзя уже противопоставить гидравлическую теорию гидродинамической как простую теорию. Сравнение ряда задач гидравлических и гидродинамических решений показывает, что во многих случаях гидравлические теории дают хорошие результаты».

Большая группа специалистов считает, что для гидротехнических сооружений целесообразно использовать расчётные формулы, полученные гидравлическим способом [4, 5, 9]. При выводе расчётной зависимости дебита кяриза нами был использован гидравлический способ решения задач, изложенных в работах [4, 5, 7, 10, 15, 16, 18], с применением закона Дарси и метода «деление потока».

В общем случае грунтовая вода в галерею кяриза поступает за счёт градиента напора

$$i = \frac{dh}{dx}, \quad (2)$$

где dh — разность напоров в двух сечениях элементарного потока; dx — элементарное расстояние.

Согласно закону А. Дарси скорость фильтрации в грунте

$$v = ki, \quad (3)$$

где k — коэффициент фильтрации; i — градиент напора.

Согласно гидравлическим принципам расход воды, выходящей из грунта и поступающей в открытое русло, выражается зависимостью:

$$Q = v\omega, \quad (4)$$

где ω — площадь живого сечения потока.

Поставив (2) и (3) в выражение (4), получим:

$$Q = \omega k \frac{dh}{dx}. \quad (5)$$

Площадь живого сечения потока на расстоянии x можно выразить так:

$$\omega = \alpha' x B, \quad (6)$$

где α' — мера длина дуги окружности, проходящей через сечение x ; B — длина фронта потока или длина кяриза.

При выводе расчётных зависимостей обычно принимают $B = 1$ м, а затем включают в конечную формулу.

Подставив (6) в выражении (5), получим:

$$Q = \alpha' x k \frac{dh}{dx}. \quad (7)$$

Уравнение (7) является исходным дифференциальным уравнением для вывода расчётных зависимостей кяризов, горизонтальных водозаборов и других гидротехнических сооружений.

Расчёт дебита кяриза (приток воды к кяризу)

Расчётная схема кяриза, расположенного выше водоупора, представлена на рис. 2. Согласно методу «деление потока», приток в кяриз (Q) состоит из притоков, поступающих с области, лежащей выше центральной оси кяриза (q_1) и области, лежащей ниже его оси (q_2)

$$Q = q_1 + q_2. \quad (8)$$

В частном случае, согласно методу деления потока, приток грунтовых вод в кяриз поступает из верхней части его центральной оси с одной стороны и будет равен:

$$q_1 = \alpha_o x k \frac{dh}{dx}, \quad (9)$$

где $\alpha_o = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\alpha}{90}$ — длина дуги окружности.

Угол α определяется из условия $\sin \alpha = \frac{h}{x}$.

Учитывая, что $\alpha = \arcsin \frac{h}{x}$ и $90^\circ = \pi/2$, то можно написать:

$$\alpha_o = \frac{\pi}{2} \arcsin \frac{h}{x} / \frac{\pi}{2} = \frac{h}{x}. \quad (10)$$

Подставив значение в (9) получим:

$$q_1 = k h \frac{dh}{dx}. \quad (11)$$

Приток воды на единицу длины кяриза из его нижней части с учётом сужения потока за счёт водоупора будет иметь вид:

$$q_2 = \beta_o x k \frac{dh}{dx}, \quad (12)$$

где $\beta_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\beta}{90}$ – угловой параметр, учитывающий су-

жение потока за счёт водоупора, залегающего ниже дна кяриза; k — коэффициент фильтрации; dh/dx — градиент напора.

Угол β определяется из условия $\sin \beta = \frac{T}{x}$. Учитывая, что $\beta = \arcsin \frac{T}{x}$ и $90^\circ = \pi/2$, то можно написать

$\beta_0 = \frac{\pi}{2} \arcsin \frac{T}{x} / \frac{\pi}{2} = \frac{T}{x}$ (где T — расстояние от дна кяриза до водоупора).

Подставив значение β_0 в (12), получаем:

$$q_2 = Tk \frac{dh}{dx}. \quad (13)$$

Таким образом, подставив (12) и (13) в (8) получим исходное уравнение для вывода расчётных зависимостей с целью определения дебита и дальности влияния кяриза

$$Q = hk \frac{dh}{dx} + Tk \frac{dh}{dx}. \quad (14)$$

Разделив уравнение (14) на переменные и проинтегрировав его левую часть от $x = 0$ до $x = L$, а правую часть — от $h = h_0$ до $h = H$, получим:

$$Q \int_0^L dx = k \int_{h_0}^H h dh + Tk \int_{h_0}^H dh. \quad (15)$$

После интегрирования (15), получаем

$$QL = k \frac{H^2 - h_0^2}{2} + Tk (H - h_0). \quad (16)$$

Разрешив уравнение (16) относительно Q , после простого преобразования получаем:

$$Q = \frac{k(H - h_0)}{2L} (H + h_0 + 2T), \quad (17)$$

где Q — приток грунтовых вод на единицу длины кяриза с его одной стороны.

Общий приток на всю длину кяриза с обеих его сторон выразится так:

$$Q_{\text{общ}} = \frac{k(H - h_0)}{L} (H + h_0 + 2T), \quad (18)$$

где $Q_{\text{общ}}$ — общий приток в кяриз или его дебит, м³/сут.; k — коэффициент фильтрации водоносного горизонта, где заложен кяриз, м/сут.; L — дальность влияния кяриза, м; H — напор над кяризом, считая от его дна, м; $h_0 = r_0$ — глубина воды в кяризе или его эквивалентный радиус, м; T — расстояние от дна кяриза до водоупора, м.

Если галерея кяриза выполнена в прямоугольной форме, то в этом случае его эквивалентный радиус определяется по формуле:

$$r_0 = \sqrt{\frac{ab}{\pi}}; \quad (\pi r^2 = ab), \quad (19)$$

где a и b — соответственно ширина и высота прямоугольной части галереи кяриза, м; $\pi = 3,14$.

При проектировании и определении дебита кяризов требуется установить его дальность влияния.

Определение дальности влияния кяриза

В литературных источниках не приводятся расчётные формулы для определения дальности влияния кяриза. Однако в некоторых источниках, посвящённых вопросам расчёта галерейного водосбора, приводятся приближённые данные и формула для определения дальности влияния галереи. В работе [1] предлагается формула для определения дальности влияния водосборной галереи, расположенной на водоупоре

$$L = \frac{H - h_0}{i}, \quad (20)$$

где L — дальность влияния галереи, м; H — мощность водоносного горизонта, м; h_0 — глубина воды в водосборной галерее, м; i — гидравлический уклон или средний уклон кривой депрессии.

Гидравлический уклон изменяется в зависимости от гранулометрического состава грунта: по данным работ [1 и 7] для крупнозернистых грунтов $i = 0,003-0,006$; для песков $i = 0,006-0,020$; для супесчаных грунтов $i = 0,02-0,05$; для суглинков $i = 0,05-0,10$ и для глинистых грунтов $i = 0,10-0,15$.

В практике, где применяются водозаборные сооружения, водоносные горизонты содержат различные грунты и породы, имеющие различный гранулометрический состав. Поэтому установление действительного значения гидравлического уклона практически не возможно.

Известно, что дебит и производительность кяризов и других водозаборных сооружений формируется за счёт инфильтрационного питания, значение которого изменяется в зависимости от атмосферных осадков и гидрогеологических условий (строения пласта, глубины залегания уровня грунтовых вод и т.д.). Поэтому определение дальности влияния кяризов и водосборных галерей считается целесообразно и правильно устанавливать по средней величине инфильтрационного питания грунтовых вод. Например, в мелиоративной науке расстояние между дренами, применяемые с целью регулирования уровня грунтовых вод, удаления избытков воды из почвенной толщи, осушения земель и борьбы со вторичным засолением почвы, определяется именно по инфильтрационному питанию, образовавшемуся за счёт атмосферных осадков, фильтрации из каналов, поливов и т.д. [2, 7].

Применяя этот подход, рассмотрим вопрос вывода расчётной зависимости для определения дальности действия кяризов или водосборных галерей. С этой целью параметр Q , находящийся в левой части уравнения (14), заменяем инфильтрационным питанием W , т.е.

$$W(L - x) = h k \frac{dh}{dx} + T k \frac{dh}{dx}. \quad (21)$$

Разделив уравнение (21) на переменные и интегрируя его левую часть от $x=0$ до $x=L$, а правую часть — от $h=h_0$ до $h=H$, получим:

$$W \int_0^L (L - x) dx = k \int_{h_0}^H h dh + Tk \int_{h_0}^H dh. \quad (22)$$

После интегрирования (22), получаем:

$$W \frac{L^2}{2} = k \frac{H^2 - h_0^2}{2} + Tk(H - h_0). \quad (23)$$

Разрешая уравнение (23) относительно L для определения дальности действия кyarиза, получим:

$$L = \sqrt{\frac{k(H - h_0)}{W}(H + h_0 + 2T)}, \quad (24)$$

где L — дальность действия кyarиза или водосборной галереи, м; H — напор над кyarизом, считая от его дна, м; h_0 — глубина воды в кyarизе, м; T — расстояние от дна кyarиза до водоупора, м; k — коэффициент фильтрации, м/сут.; W — интенсивность инфильтрации, м/сут.

Пример: $A = 650$ мм; $K = 260$ мм; $T = 7$ м; $H = 6$ м; $h_0 = 0,08$ м; $k = 10$ м/сут.; $B = 2000$ м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абелев А.С. Сельскохозяйственное водоснабжение. — Л.: Изд. «Машиностроение», 1989. — 256 с.
2. Угинчус А.А., Чугаева Е.А. Гидравлика. — Л.: Стройиздат, 1971, 251 с.
3. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 640 с.
4. Гасанов С.Т. Дренаж: расчёты, проектирование и эксплуатация. — Баку: Элм, 3009. — 326 с. (на азерб. языке).
5. Гасанов С.Т. Гидравлический расчёт скважин и методы определения гидрогеологических параметров. — Баку: Элм, 2011. — 244 с. (на азерб. языке).
6. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. — М.: Колос, 1978. — 288 с.
7. Костяков А.Н. Основы мелиорации. — М.: Сельхозгиз, 1960. — 623 с.
8. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. — М.: Наука, 1977. — 664 с.
9. Разумов Г.А. Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей. — М.: Стройиздат, 1988. — 240 с.
10. Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод. — М.: Изд. Московского Университета, 1958. — 259 с.
11. Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод. — М.: Изд. МГУ, 1965. — 380 с.
12. Справочник: Мелиорация и водное хозяйство. Т.5. Водное хозяйство / под ред. И.И. Бородавченко. — М.: Агропромиздат, 1988. — 399 с.
13. Справочник по осушению горных пород / под. ред.

Требуется определить дебит кyarиза.

Решение. По формуле (25) определяем интенсивность инфильтрационного питания.

Затем по формуле (24) вычисляем дальность действия кyarиза.

По формуле (18) находим дебит кyarиза.

Как видно из примера, не используя машин-механизмы и энергию, с помощью кyarиза возможно добыть за сутки 21613 м^3 или за 1 секунду 250 литров подземной чистой воды.

Закключение

Предложенные формулы позволяют определить дебит и дальность влияния как кyarизов, так и горизонтальных водозаборов, а также осуществлять их проектирование.

И.К. Станченко. — М.: Недра, 1984. — 572 с.

14. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 1 и Т. 2 / под ред. В.М.Максимова. 3-е изд. перераб. и доп. — Л.: Недра, 1979. — 512 с. + 295 с.

15. Чарный И.А. Подземная гидромеханика. — М.-Л.: Гостройиздат, 1948. — 196 с.

16. Чарный И.А. Основы подземной гидравлики. — М.: Гостоптехиздат, 1956. — 260 с.

17. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. — М.: Изд. МГУ, 1973. — 327 с.

18. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. — М.: Гостоптехиздат, 1949. — 524 с.

19. Аскеров А.Г., Листенгартен В.А. К расчёту инфильтрационного питания грунтовых вод на Апшеронском полуострове // Уч. зап. Азгосуниверситета, сер. Геол.-геогр. — Н., 1969. — № 4-5.

20. Исрафилов Г.Ю. Грунтовые воды Кура-Араксинский низменности. — Баку: Маариф, 1972. — 206 с.

21. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. — М.: Госгеолтехиздат, 1963-1976. — 192 + 223 с.

22. Алимов А.К. Карабахская региональная водно-балансовая станция, её назначение и результаты эколого-гидрогеологических экспериментов. — Баку: «Тахсил» ТПП, 2009. — 478 с.

23. Алимов А.К., Магомедов А.М., Майилов Г.Ю. Гидрогеологические основы регулирования водно-солевого режима орошаемых земель аридной зоны. — Баку: Элм, 1995. — 383 с.

24. Darsy H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, 1856. 647 p.

НОВОСТИ•НОВОСТИ•НОВОСТИ•НОВОСТИ•НОВОСТИ•

Садоводы просят приостанавливать импорт фруктов на 2/3 года

Фермеры обратились в Минсельхоз с просьбой прекратить импорт фруктов на 9 месяцев, так как залежавшиеся плоды негде хранить.

В садах Ингушетии, например, урожай яблок достигает высоких показателей. За один сезон с деревьев планируют собрать 30 тысяч тонн плодов. Продать все объёмы в условиях сложившейся конкуренции будет сложно, так как на полках магазинов лежат ещё и импортные продукты.

«Передышка от импорта» дала бы время и на постройку новых складов, чтобы торговля проходила в дальнейшем на более высоком уровне.

Однако, как считают аналитики, если просьба фермеров будет исполнена, по закону торговли это приведёт к повышению стоимости продуктов.

Кроме того, речь идёт не только о яблоках, но и о других фруктах. А их как раз может не хватить на всех, если

в магазинах будет представлен только отечественный производитель. Так, например, в стране выращивается в 5 раз меньше ягод и плодов, чем требует продовольственная корзина.

