УДК 532.5

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ ДНА И БОКОВЫХ СТЕНОК КАНАЛОВ

Усмонов Алишер Хабибулло угли

Заведующий кафедрой «Инженерные и цифровые технологии» Университета «Сарбон».

E-mail: alishertuit@mail.ru

Аннотация. В данной статье проанализировано влияние изменения коэффициента проницаемости дна и боковых стенок каналов на величину потерь воды. Потери воды в оросительных каналах в основном связаны с процессами инфильтрации, которые напрямую зависят от конструкции канала и свойств грунта. В ходе исследования коэффициенты проницаемости дна и боковых стенок канала рассматривались при различных значениях, а изменение величины потерь воды оценивалось с использованием математических и графических методов. Полученные результаты имеют важное значение для рационального использования водных ресурсов, снижения потерь воды в оросительных системах, а также совершенствования процессов проектирования и эксплуатации каналов.

Ключевые слова: канал, потери воды, коэффициент проницаемости, инфильтрация, дно канала, боковые стенки, оросительная система, свойства грунта, гидравлические процессы.

Annotatsiya. Ushbu maqolada kanallar tubi va yon devorlarining o‘tkazuvchanlik koeffitsienti o‘zgarishining suv yo‘qotilishiga ta’siri tahlil qilinadi. Sug‘orish kanallarida suv yo‘qotilishi asosan infiltratsiya jarayonlari bilan bog‘liq bo‘lib, bu jarayon kanal konstruksiyasi va grunt xususiyatlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Tadqiqot davomida kanal tubi va yon devorlarining o‘tkazuvchanlik koeffitsientlari turli qiymatlarda ko‘rib chiqilib, suv yo‘qotilish miqdorining o‘zgarishi matematik va grafik usullar orqali baholandi. Olingan natijalar suv resurslaridan samarali foydalanish, sug‘orish tizimlarida suv yo‘qotilishini kamaytirish hamda kanallarni loyihalash va ekspluatatsiya qilish jarayonlarini takomillashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so‘zlar: kanal, suv yo‘qotilishi, o‘tkazuvchanlik koeffitsienti, infiltratsiya, kanal tubi, yon devorlar, sug‘orish tizimi, grunt xossalari, gidravlik jarayonlar.

Abstract. This article analyzes the effect of changes in the permeability coefficient of canal beds and side walls on water losses. Water losses in irrigation canals are mainly associated with infiltration processes, which are directly influenced by canal design and soil properties. During the study, various values of permeability

coefficients for the canal bed and side walls were considered, and changes in water loss were evaluated using mathematical and graphical methods. The obtained results are of great importance for efficient water resource management, reduction of water losses in irrigation systems, and improvement of canal design and operation processes.

Keywords: canal, water loss, permeability coefficient, infiltration, canal bed, side walls, irrigation system, soil properties, hydraulic processes.

ВВЕДЕНИЕ.

Рациональное использование водных ресурсов является одной из наиболее актуальных задач современного водного хозяйства, особенно в условиях развития орошаемого земледелия и дефицита пресной воды. Значительная часть потерь воды в оросительных системах связана с фильтрацией через дно и боковые стенки каналов, что существенно снижает эффективность водоподачи и приводит к перерасходу водных ресурсов.

Интенсивность фильтрационных потерь определяется физико-механическими свойствами грунта, конструктивными особенностями каналов, а также величиной коэффициента проницаемости дна и боковых стенок. Изменение коэффициента проницаемости может быть обусловлено неоднородностью грунтов, колебаниями уровня грунтовых вод, изменением концентрации солей, а также длительной эксплуатацией каналов. В этих условиях возникает необходимость всестороннего анализа влияния проницаемости элементов канала на величину потерь воды.

В настоящее время для исследования процессов фильтрации в оросительных каналах широко применяются методы математического моделирования и аналитические подходы, основанные на законе Дарси и теории потенциальных течений. Использование таких методов позволяет получить количественные зависимости между параметрами фильтрационного процесса и гидравлическими характеристиками канала, а также оценить влияние изменения коэффициента проницаемости на распределение скоростей, линию депрессии и величину водных потерь.

Постановка вопроса. Фильтрации воды из оросителя бороздового типа ирригационной системы. Почвы грунта являются многофазной и многокомпонентной средой, и состоит из почвенного скелета, которого берем за твердой фазой. Почвенный скелет имеет сложную геометрию и обладает большой удельной поверхностью. Который имеет своего рода большой проницаемостью, т.е. фильтрации жидкостей, поэтому коэффициент фильтрация имеет определённое значение в зависимости от концентрации жидкости.

ISSN 3030-3907

Рассмотрим задачу о фильтрации воды из оросителя бороздового типа ирригационной системы (рис.1.), при этом учитывается капиллярность грунта. Для применения к решению задачи струйного метода Жуковского, оросителя заменим источником жидкости. В дальнейших предположениях, принимая одну из линий равных напоров за поперечные сечения русла оросителя, распространим полученные результаты на случай оросителя, ближнего к трапеции поперечного сечения.

Рассматривается задача о фильтрационном течении воды из канала в плоской постановке ([7],[8]). Предположим, что поток воды течет равномерно по каналу трапецеидального поперечного сечения BCDC'B' со средней скоростью V_T - с расходом:

$$Q = V_1[bH + (B - b)H + \beta\pi]$$

H-глубина потока в канале определяемой равенств и свободной поверхности канала, *b, B*- ширина дна канала.

Где

$$H = \frac{B - b}{2} tg\beta\pi$$

По смещенному периметру *DCB*, происходит протекания жидкости (воды) в почву равномерно, а форма поперечного сечения призматического русла состоит из равнобедренной трапеции, с углом наклона-$\beta\pi$. боковых сторон к горизонтальной плоскости. Тогда вертикальная линия -*DE* будет симметричной линией фильтрационного потока и совпадает с координатной линией oy.Вследствие подвижности потока по (руслам) каналу, жидкость, проникает в грунт под углом $\alpha\pi$ (в область G_z).

Для водоема, где жидкость (вода) находится в колебании равновесия, угол проникание будет равен $\alpha\pi = \frac{\pi}{2}$ (вертикально к стенкам корпуса). Вдали от источника (стенки и дно канала) кривая депрессии становится горизонтальным и это создаёт условию применение рассматриваемой задачи струйную модель И.Е. Жуковского (рис.1). При предположение кривой подпора K_1K (рис1) непроницаемой и расположенной горизонтально.

Канал расположен на поверхности грунта, который имеет коэффициент проницаемости- k. Через смоченный периметр трапеции *BCDC'B'* происходит фильтрации воды, которая распространяется по грунту, а на глубине h_F имеется непроницаемый водоупор *EA*. Если коэффициент проницаемости-$k(x, y)$ симметричен относительно вертикальной оси *ED(Oy)*, то за областью течения G_z *(z=x+iy)* примем *AEDCBF* (где *x>0*), при этом образуется свободная поверхность *AFB*, где точка *F*-является точкой перегиба. При отсутствии точки перегиба точка *F* совпадает с точкой *B*.

ISSN 3030-3907

Вдоль границы *DE*, в основном, происходит вертикальное течение из-за симметрии области течения G_z. В качестве закона фильтрациии принят закон Дарси [1]:

$$\vec{V} = -kgradh \quad (1)$$

Где $\vec{V}$ – фильтрационная скорость; h- напор.

Здесь:

$$h = \frac{p}{\rho g} + y,$$

Где h - пьезометрическая высота, p, ρ –давление и плотность частиц жидкости, y – ордината точки.

Предположим, что течение потенциальное, тогда можно ввести потенциал скорости $\phi(x, y)$ в виде

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} = grad\phi.$$

откуда

$$u = \frac{\partial\phi}{\partial x}, v = \frac{\partial\phi}{\partial y}. \quad (2)$$

Отсюда получим равенство $grad\phi = -kgradh$

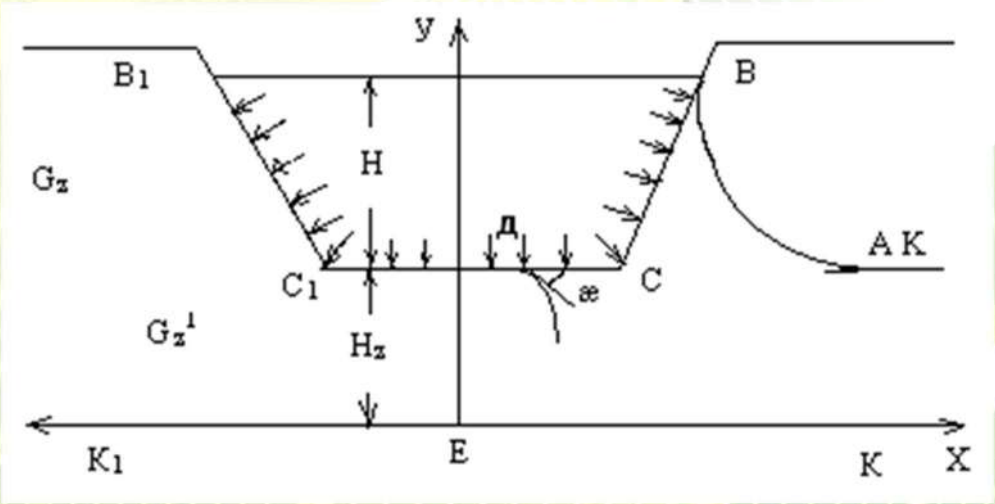


Рис. 1. Зависимость потерь воды от изменения коэффициента проницаемости дна и боковых стенок каналов

или

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} = -k\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial\phi}{\partial y} = -\frac{\partial h}{\partial y}k.$$

При постоянстве коэффициента проницаемости k в области течения будем иметь следующую функцию скорости потенциала:

$$\phi = -kh + C \quad \text{или} \quad \phi + kh = C$$

Если жидкость несжимаема, то:

$$(\rho = const)$$

и поэтому уравнение неразрывности имеет следующий вид:

ISSN 3030-3907

$$div\vec{V} = 0$$

Введем функцию тока, $\psi(x,y)$ удовлетворяющую уравнению неразрывности:

$$u = \frac{\partial\psi}{\partial y}, v = -\frac{\partial\psi}{\partial x}.$$

$$u = \frac{\partial\phi}{\partial x} = \frac{\partial\psi}{\partial y} = -k\frac{\partial h}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial\phi}{\partial y} = -\frac{\partial\psi}{\partial x} = k\frac{\partial h}{\partial y}. \qquad (4)$$

Учитывая равенства (2) и (3), получаем следующую зависимость между введенными нами к рассмотрению функциями $\phi(\mathrm{x},\mathrm{y})$ и $\psi = (\mathrm{x},\mathrm{y})$:

$$\frac{\partial\psi}{\partial y} = -k\frac{\partial h}{\partial x}, \qquad \frac{\partial\psi}{\partial x} = k\frac{\partial h}{\partial y}. \qquad (5)$$

Если коэффициент проницаемости *к* постоянен, то функция $\phi(\mathrm{x},\mathrm{y})$ $\psi = (\mathrm{x},\mathrm{y})$ и $h(x,y)$ будут гармоническими в области течения, а при переменном к(x,y) в силу равенства:

$$\vec{V}\psi = [gradk, gradh]$$

Получаем, что вдоль линии постоянного напора коэффициент проницаемости должен быть постоянным, т.е.

$$gradk = gradh,$$

отсюда получаем равенство $[gradk, gradh] = 0$.

Решение задачи строим известным методом Жуковского [2]. Для этого введем в рассмотрение каноническую область G_0, (верхнюю полуплоскость, где $\varsigma = \xi + i\eta$ и $\eta = 0$), действительная ось которой совпадает с границей области течения G_z, где *(z=x+iy)*, а также функцию Жуковского

$$\omega(\varsigma) = ln\frac{V_0}{V} = \tau + i\theta(\xi,\eta),$$

Где V_0 −скорость фильтрации в некоторой точке свободной поверхности BFA; $\vec{V} = u - iv$ −сопряженная комплексная скорость, $\tau = ln\frac{V_0}{|V|}, \theta(\xi,\eta)$ − угол наклона вектора скорости $\vec{V}$ к горизонту, т.е. к оси *Ox*.

Для введенной функции $\omega(\varsigma)$ будем иметь следующие граничные условия ([1],[2],[3]):

вдоль KA при $\eta = 0, \xi \in [-\infty, -a], lm\omega = 0,$

вдоль AFB при $\eta = 0, \xi \in [-a, 0], Re\,\omega = \tau_i(\xi),$

вдоль BC при $\eta = 0, \xi \in [0, c], lm\omega = \beta\pi - \alpha\pi,$

вдоль CD при $\eta = 0, \xi \in [c, 1], lm\omega = -\alpha\pi,$

вдоль DE при $\eta = 0, \xi \in [1, e], Im\,\omega = -\frac{\pi}{2},$

вдоль EK при $\eta = 0, \xi \in [e, \infty], lm\omega = 0.$

ISSN 3030-3907

Введя функцию $\omega_1(\varsigma) = \frac{\omega(\varsigma)}{\sqrt{\varsigma}\sqrt{\varsigma+a}}$ и пользуясь интегральной формулой Шварца (4),

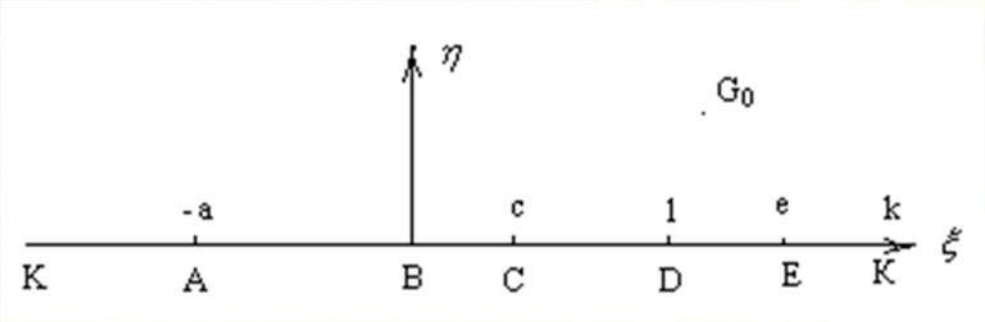


Рис. 2. Каноническая область фильтрационного течения

получим аналитическое вкражение для функции Жуковского [5,6]:

$$\omega(\varsigma) = \frac{\sqrt{\varsigma}\sqrt{\varsigma+a}}{\pi}\int_{-a}^{a}\frac{\tau_1(t)dt}{\sqrt{|t|}\sqrt{|t+a|}(t-\varsigma)} - (x-\alpha)I_2(\varsigma) - \alpha I_3(\varsigma) \qquad (6)$$

$$I_2(\varsigma) = \int_0^a \frac{dt}{\sqrt{t}\sqrt{a+t}(t-\varsigma)},\ I_3(\varsigma) = \int_c^1 \frac{dt}{\sqrt{t}\sqrt{a+t}(t-\varsigma)},$$

$$I_1(\varsigma) = \int_{-a}^{a}\frac{\tau_1(t)dt}{\sqrt{|t|}\sqrt{|t+a|}(t-\varsigma)}$$

Для определения неизвестной функции $\tau_1(t)$, используя условие постоянства давления вдоль свободной поверхности AFB, будем иметь равенство (при отсутствии инфильтрации и испарения) (1).

$$\tau_1 = ln\left[\frac{k}{V_0}sin\,\theta\,(\xi)\right] \qquad (7)$$

Учитывая равенство (6) и (7), а также теорему Сохоцкого-Племеля (5), получим следующее сингулярное уравнение вдоль свободной поверхности AFB:

$$\theta(\xi) = \frac{\sqrt{|\xi|}\sqrt{|\xi+a|}}{\pi}\int_{-a}^{a}\frac{ln\left[\frac{k}{V_0}sin\,\theta(t)\right]dt}{\sqrt{|t|}\sqrt{|t+a|}(t-\xi)} + \theta_0(\xi) \qquad (8)$$

Где

$$\theta_0(\xi) = lm[(\alpha-x)I_2(\varsigma) - \alpha I_3(\varsigma)]$$

Решение нелинейного сингулярного интегрального уравнения осуществляется методом последовательных приближений, где за нулевое приближение принимается случай отсутствия силы тяжести и сил поверхностного натяжения $\theta^{(0)} = \theta_0(\xi)$:

$$\theta^{(S)}(\xi) = \frac{\sqrt{|\xi|}\sqrt{|\xi+a|}}{\pi}\int_{-a}^{0}\frac{ln\left[\frac{k}{V_0}sin\,\theta^{(S-1)}(t)\right]dt}{\sqrt{|t|}\sqrt{|t+a|}(t-\xi)} + \theta_0(\xi) \qquad (9)$$

Приведем решение задачи в линейной постановке, где предполагается, что модуль скорости фильтрации на отрезке [a,0] при $\eta = 0$ линейно зависит от ξ:

ISSN 3030-3907

$$V = V_1(a+\xi) = V_0(1+\xi/a) \qquad (10)$$

Тогда $\tau_1(\xi) = ln(1+\frac{\xi}{a})$ и для функции Жуковского в области G_0 имеет вид

$$\omega(\varsigma) = ln[\phi(\varsigma)] \qquad (11)$$

Где

$$\phi(\varsigma) = [F(-a,\varsigma)]^{-2}[F(c,\varsigma)]^{-2\beta}[F(1,\varsigma!]^{2a-1}[F(e,\varsigma)]^{-1}, \qquad (12)$$

$$F(-a,\varsigma) = \frac{\sqrt{\varsigma+a}}{\sqrt{\varsigma}+\sqrt{\varsigma+a}}, \quad F(1,\varsigma) = \frac{\sqrt{a}\sqrt{\varsigma-1}}{\sqrt{\varsigma}\sqrt{a+1}+\sqrt{\varsigma+a}},$$

$$F(c,\varsigma) = \frac{\sqrt{a}\sqrt{\varsigma-c}}{\sqrt{\varsigma}\sqrt{a+c}+\sqrt{c}\sqrt{\varsigma+a}}, \quad F(e,\varsigma) = \frac{\sqrt{a}\sqrt{\varsigma-e}}{\sqrt{\varsigma}\sqrt{a+e}+\sqrt{e}\sqrt{\varsigma+a}},$$

Отсюда находим вкражение для сопряженной комплексной скорости в области G_0

$$\bar{V} = V_0[F(-a,\varsigma)]^{-2}[F(c,\varsigma)]^{-2\beta}[F(1,\varsigma)]^{1-2a}[F(e,\varsigma)]. \qquad (13)$$

Теперь приступим кпостроению функции комплексного потенциала $w = \phi + i\psi$ в области G_0.

Вдоль *BC, DC* при $\eta = 0, \xi \in [0,1], Im\frac{dw}{d\varsigma} = \psi_\xi;$

Вдоль *KA, AB, DE,* и *EK* при $\eta = 0, \xi \in [0,1], Im\frac{dw}{d\varsigma} = 0.$

Учитывая эти краевые условия и интегральную формулу Шварца, получим интегральную равенству:

$$\frac{dw(\varsigma)}{d\varsigma} = \frac{1}{\pi}\int_0^1 \frac{\psi_1 dt}{t-\varsigma} \qquad (14)$$

Отсюда при условии вдоль проницаемкх границ *BC* и *CD* ,$\eta = 0, \xi \in [0,1]$ получим равенство:

$$\phi(\xi,0) = \frac{1}{\pi}\int_0^1 \frac{\psi_1 dt}{t-\varsigma} \qquad (15)$$

Тогда для неизвестной функции ψ_ξ получим следующее сингулярное интегральное уравнение:

$$\psi_\xi = \frac{tg\alpha\pi}{\pi}\int_0^1 \frac{\psi_1 dt}{t-\varsigma} \qquad (16)$$

Решением уравнения (16) получим функцию

$$\psi_\xi = \frac{Q\sin\alpha\pi}{\pi\xi}\left(\frac{\xi}{1-\xi}\right)^a \qquad (17)$$

Далее из равенств (15) и (16) определяем функции $w(\xi)$ и ϕ_ξ:

$$\phi_\xi = \frac{Q\cos\beta}{\pi\xi}\left(\frac{\xi}{1-\xi}\right)^a \qquad (18)$$

Функция комплексного потенциала определится интегрированием из формулы (15):

ISSN 3030-3907

$$w(\varsigma) = \frac{Q}{\pi}\left(\frac{t}{t-1}\right)^{a}\frac{dt}{t} \qquad (19)$$

Используя выражения для комплексной скорости (13) и комплексного потенциала, получим выражение для функции, отображающей область течения $G_{я}$ на область G_0:

$$z(\varsigma) = \frac{Q}{\pi V}\int_0^c \frac{1}{\varphi(t)}\left(\frac{t}{t-1}\right)^{a}\frac{dt}{t} + z_B \qquad (20)$$

Где

$$z_B = b + \frac{B-b}{2} + i\frac{B-b}{2}tg\beta\pi$$

Таким образом, решение задачи определяется выражениями (13), (20), полученными в параметрической форме:

$$\begin{cases}\bar{V} = u - iv = \phi(\varsigma)V_0 \\ z(\varsigma) = \frac{Q}{\pi V_0}\int_0^{\zeta}\frac{1}{\phi(t)}\left(\frac{t}{t-1}\right)^{\alpha}\frac{dt}{t} + z_H\end{cases} \qquad (21)$$

$\bar{V}$-скорость частиц жидкости, $z(\varsigma)$ - характерная функция движущейся жидкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В результате проведённого математического моделирования и численных расчётов установлено, что коэффициент проницаемости дна и боковых стенок каналов оказывает существенное влияние на величину потерь воды. Расчёты выполнены на основе закона Дарси при различных значениях коэффициента проницаемости в диапазоне

$$k = 10^{-6} \div 10^{-3}\ \text{м/с}$$

Полученные результаты показали, что с увеличением коэффициента проницаемости наблюдается монотонный рост фильтрационных потерь воды. При малых значениях коэффициента проницаемости ($k \le 10^{-5}$ м/с) потери воды незначительны и практически не влияют на общий расход воды в канале. Однако при увеличении коэффициента проницаемости свыше 10^{-4} м/с потери воды резко возрастают, что свидетельствует о высокой интенсивности фильтрационного процесса.

Установлено, что основная доля потерь воды приходится на фильтрацию через дно канала, что связано с большей площадью контакта воды с грунтом. В то же время вклад боковых стенок в общие потери возрастает при увеличении глубины потока и наклона стенок. В случае однородного коэффициента проницаемости дна и стенок канала зависимость потерь воды от коэффициента проницаемости носит близкий к линейному характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В результате проведённого исследования установлено, что коэффициент проницаемости дна и боковых стенок каналов

ISSN 3030-3907

является одним из определяющих факторов, влияющих на величину потерь воды в оросительных системах. Математическое моделирование фильтрационного процесса на основе закона Дарси позволило выявить закономерную зависимость между изменением коэффициента проницаемости и интенсивностью фильтрационных потерь.

Полученные результаты показали, что при низких значениях коэффициента проницаемости потери воды незначительны и практически не оказывают влияния на общий расход воды в канале. Однако с увеличением коэффициента проницаемости наблюдается резкий рост потерь воды, что особенно характерно для высокопроницаемых грунтов. При этом основная доля потерь приходится на фильтрацию через дно канала, тогда как вклад боковых стенок возрастает с увеличением глубины потока и площади увлажнённого периметра.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. П.Я. Полубаринова - Кочина, Теория движения грунтовых вод, Москва, Наука, 1977, 664 с.
2. В. Ведерников, Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа, Москва, 1939, 248 с.
3. А.Р.Цицкишвили. Изв СССР, Отд. техн. наук № 3, стр 125-133.
4. А.А.Хамидов, С.И.Худайкулов. Теория струй многофазной вязкой жидкости. Ташкент «Фан» 2005г.120 стр.
5. Woumeni R. S., Vauclin Michel. A field study of the coupled effects of aquifer stratification, fluid density, and groundwater fluctuations on dispersivity assessments // Advances in Water Resources, 2006, 29 (7). - P. 1037-1055.
6. Rehman Kh.Ur., Khan A.A., Malik M.Y., Usman Ali. Mutual effects of stratification and mixed convection on Williamson fluid flow under stagnation region towards an inclined cylindrical surface // MethodsX, 2017. Vol. 4. - P. 429–444.
7. Ravshanov N., Kurbonov N., Mukhamadiev A. An Approximate Analytical Solution of the Problem of Fluid Filtration in the Multilayer Porous Medium // International Journal of Computational Methods. - 2016. - Vol. 13, № 6. - 1650042 [10 pages] DOI: http://dx.doi.org/10.1142/S0219876216500420.
8. Khujaev I.Q., Mamadaliev X.A., Boltibaev Sh.K. Modelling the Propagation of mass consumption waves in the Pipeline with Damper of pressure Disturbances // Florence (Italy), International Journal of Sciences and Research. Vol. 74 | No. 8/1 | Aug 2018. DOI: 10/21506/j.ponte 2018.8.12. – PP. 163-170.
9. Malikov, Z., Mirzoev, A., Madaliev, M., Yakhshibayev, D., Usmonov A. Numerical simulation of flow through an axisymmetric two-dimensional plane

ISSN 3030-3907

diffuser based on a new two-fluid turbulence model // 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 03-05 November 2021, INSPEC Accession Number: 21532587, DOI: 10.1109/ICISCT52966.2021.9670145, Scopus Author ID: 57221789793

ISSN 3030-3907