

Масликова О. Я. Двухмерная модель русловых деформаций в условиях формирования ледовых заторов // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 5. – С. 41–45.

3. Дебольская Е. И., Масликова О. Я., Исаенков А. Ю. Математическое моделирование деформаций русла в нижних бьефах ГЭС, расположенных в криолитозоне, при катастрофических наводнениях // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 51–58.

4. Котляков А. В., Грицук И. И., Масликова О. Я., Пономарёв Н. К. Экспериментальное исследование влияния льдистости грунтов, слагающих русло рек, на динамику берегового склона // Лёд и Снег. – № 2. – 2011. – С. 92–98.

5. Дебольская Е. И., Дебольский В. К., Масликова О. Я. Математическое моделирование деформаций дна в покрытых льдом нестационарных потоках // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 1. – С. 29–38.

6. Герсеванов М. Н., Польшин Д. Е. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения. – М.: Госиздат по строительству и архитектуре, 1948. – 486 с.

Материал поступил в редакцию 24.01.13.

Масликова Оксана Яковлевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-72-01

E-mail: oksana68@mail.ru

УДК 502/504:551.491.5

В. Ф. ЖАБИН, Н. П. КАРПЕНКО, И. М. ЛОМАКИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ РАСЧЕТНАЯ СХЕМАТИЗАЦИЯ ТОНКОСЛОИСТЫХ СРЕД И НАДЕЖНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрены основные типы осадочных пород, сформированных при выпадении частиц из взвесенесущего потока. Изучены структурные и текстурные особенности этих отложений, которые позволяют отнести их к фильтрационно-анизотропным средам с характеристиками, определенными по результатам опытно-фильтрационных работ и опытно-фильтрационным наблюдениям. Анализируются ошибки схематизации при произвольной замене анизотропной среды на фильтрационно-однородную в прогнозных оценках эффективности дренажа и безопасной эксплуатации подпорных сооружений. Даются обоснованные рекомендации по планированию опытно-фильтрационных испытаний анизотропных отложений.

Схематизация, осадочные анизотропные отложения, фильтрационная неоднородность, анизотропия, дренаж, подпорные сооружения, инженерные решения.

There are considered main types of the sedimentary rocks formed when particles falling out from a suspensions carrying flow. Structural and textural peculiarities of these sediments are studied which makes it possible to attribute them to the filtration-anisotropic media with the characteristics determined according to the results of experimental-filtration works and experimental-filtration observations. Schematization mistakes are analyzed during the unconditioned replacement of the anisotropic medium into a filtration-homogeneous one in forecast assessments of the drainage efficiency and safe operation of retaining works. There are given sound recommendations on planning experimental-filtration tests of anisotropic sediments.

Schematization, anisotropic sediments, filtration heterogeneity, anisotropy, drainage, retaining works, engineering decisions.

На мелиоративных и водохозяйственных объектах при оценке надежности инженерных решений одним из главных вопросов является обоснование фильтрационной схематизации тонкослоистых сред, а именно изучение структурных и текстурных особенностей флювиальных осадочных пород, недоучет которых может привести к ухудшению геоэкологических условий территории: подтоплению земель, снижению дренированности территорий, недостаточно эффективной работе дренажа и т. д.

Гидрогеологическое изучение природных объектов включает диагностику по заданным признакам и обоснование фильтрационной расчетной схемы, учитывающей тип инженерной задачи, соответствующие параметры массопереноса и изменение граничных условий. В процессе диагностики природной среды анализируются структурные, текстурные и генетические особенности геологической среды, ее литологические характеристики, неоднородность и ответная реакция водоносных систем на воздействие.

Фильтрационная схематизация природных условий выполняется на основе диагностического анализа и заключается в обоснованном упрощении реальной природной обстановки применительно к решению конкретной инженерной задачи. Особое внимание уделяется изучению внутрипластовой неоднородности, анизотропии, фильтрационных и емкостных характеристик, их усреднению и уточнению пространственных границ выделенных фильтрационных полей. Адекватная схематизация диктует дополнительное проведение соответствующих фильтрационных экспериментов, если таковых недостаточно для заданной надежности решения прогнозной задачи. Например, если при диагностике использовались материалы гидрогеологической съемки для поиска и разведки подземных вод, то для прогноза подтопления земель и искусственного дренирования требуется детальное изучение пород зоны аэрации, покровных отложений и зоны полного водонасыщения.

Приемы геологического картирования позволяют выделять в вертикальном разрезе на уровне визуальной дифференциации пластов: однородный, двухслойный, трехслойный и многослойный. Легко заметить различия в представлении о

разрезе по данным бурения и описания обнажения. Представлять микронеоднородности внутри пласта и его анизотропию часто весьма затруднительно (особенно при документировании скважин). Вместе с тем, эти качества априори присущи отложениям водных суспензий [1].

Отложения потоков (флювиальные) имеют такие особенности текстуры, влияние которых на водопроницаемость пока не изучено. Фильтрационная изотропность грунтов в большинстве случаев не доказывается, а для ее выявления используются методы изучения гидрогеологических процессов, рекомендуемые только для скалярных полей.

Как правило, гидрогеологические исследования проводятся в рамках геологической формации, в пределах которой картируются различные по составу, структуре, текстуре, водопроницаемости элементы макронеоднородности (слои), изучается фациальная изменчивость отложений и степень их литификации. Если формирование слоев связано с низкочастотными колебаниями режима осадконакопления, то неоднородность внутри слоя (микро) обусловлена высокочастотными колебаниями скоростей взвесенесущего потока, разнообразием состава и объема обломочного материала, поступающего в бассейн аккумуляции. При этом характерной текстурной особенностью для толщи является слоистость различных типов, которую можно считать носителем анизотропии.

Приведение слоистой толщи к анизотропной может выполняться, исходя из известных соотношений, усовершенствованных авторами:

$$K_z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{zi} m_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{zi} m_i}{k_{zi}}}; \quad (1a)$$

$$K_x = \frac{\sum_{i=1}^n k_{xi} (1 - \alpha_{zi}) m_i}{\sum_{i=1}^n (1 - \alpha_{zi}) m_i}, \quad (16)$$

где K_z – общий коэффициент фильтрации толщи по вертикали; K_x – общий коэффициент фильтрации толщи по горизонтали; $\alpha_{zi} = m_{zi}/m$ – доля слабопроницаемых отложений в многослойной мощности m ; n – число слоев; k_{xi} , k_{zi} – коэффициенты фильтрации отдельного слоя по горизонтали и вертикали.

Результаты оценок ограничений при замене слоистой толщи на анизотропную показывают правомерность таких действий, если расстояние между дренами

$$L \geq 8m_i \sqrt{\frac{k_x}{k_z}}$$

Авторами показано, что мощность слоя при двухслойном строении должна быть не более πd , где d – диаметр дрены по контуру обсыпки. (Заметим, что сопротивление покровного слоя в двухслойной толще мощностью m при $\alpha = 0,5$ $\Delta L = 0,5m \sqrt{k_x / k_z}$, где ΔL – дополнительное сопротивление на урезе водоема (водоток), m ; m – общая мощность многослоя, m). Однако непосредственное использование формул (1а) и (1б) для тонкослойной среды технически затруднено и является недостаточным для оценки анизотропии.

Дополнительные факторы, влияющие на векторы водопроницаемости, приведены в табл. 1.

Таблица 1
Факторы, контролирующие водопроницаемость горных пород

| Факторы | Соотношение факторов проницаемости | |
|---------------------|------------------------------------|-------|
| | K_x | K_z |
| Размер зерен | + | + |
| Сортировка | + | + |
| Упаковка | - | - |
| Ориентировка частиц | + | - |
| Линейность течения | + | - |
| Слоистость | + | - |
| Знаки ряби | Const | - |

Знак (+) означает увеличение; знак (-) – уменьшение.

Как следует из таблицы 1, различие элементов седиментации внутри слоя может быть за счет формы, ориентировки и упаковки зерен. Длинные оси агрегатов при осаждении или параллельны границам слоя, или образуют с ними угол 15...18°. При выпадении частиц из потока формируется их чешуйчатая укладка, что усиливает различие проницаемости по векторам [3].

Дополнительным фактором является наличие в разрезе прослоек тонкозернистого материала. Так, отношение составляющих водопроницаемости для песков может достигать 5, для песчаников – 100. Указанный диапазон характерен и для тонкослойных песчано-глинистых

пластов, а в резко анизотропных образованиях (сланцы, алевролиты) он может быть и значительно шире.

Для сопоставления основных типов флювиальных отложений, а также для выявления их сходства и различий необходима модель формирования осадка в фациальной обстановке, обусловленной процессами транспортировки и генерации отложений. В качестве критерия можно принять особенности внутреннего строения слоя, поскольку они тесным образом связаны с анизотропией водопроницаемости водоносного горизонта.

Аллювиальные отложения. Несмотря на многообразие геоморфологических элементов и их сочетаний в долинах рек (талъвега, кос, стариц и т. п.), особенностью этих отложений является дифференциация рыхлообломочного материала по крупности частиц: от талъвега к бортам и от дна любой геоморфологической единицы к ее поверхности. Уменьшение размера частиц отложений происходит одновременно с увеличением слоистости: от скрытой в базальных горизонтах до визуальной различимой горизонтальной слоистости в пойменных фациях. Речным отложениям свойственны текстуры течения и ряби; при этом частицы, как правило, ориентированы по направлению переноса, а смена водного режима и смена осадка создают условия усиления неоднородности в многослое.

Дельтовые отложения. По внутреннему строению и составу различают до 5 видов дельтовых осадков, но все они имеют общую черту – частое переслаивание грубых и тонких частиц. Иногда зернистость возрастает к кровле слоя, и почти во всех случаях разрез заканчивается покровным слоем глин или суглинков (кроме субаэральных дельт). Схожие с дельтовыми отложениями последовательности осадков характерны и для формирования озерно-аллювиальных, флювиогляциальных, озерных и лагунных образований.

Отложения конусов выноса предгорных областей представляют собой сложную лито-генетическую композицию. Гипотезы о происхождении этих отложений подразумевают наличие большого объема обломочного материала, концентрацию его вблизи области сноса и дальнейшую трансформацию текучими водами. На последнее обстоятельство указывает

используемый в зарубежной литературе не совсем удачный термин «alluvial fan». Зарубежные исследователи показали, что следует различать в конусах выноса два основных типа осадков: водно-текущий – условно аллювий с характерными чертами строения и обломочно-текущий – пролювий, несортированный, грубообломочный, представляющий отложения селевого потока, имеющего вязкость более 1000 пуаз.

Эоловые образования обладают неоднородностью, в основе которой сочетаются детерминированная, случайная и периодическая составляющие изменчивости. Указанные особенности определяют место эоловых отложений в ряду флювиальных: в нижней части ветрового потока находятся песчаные частицы, в верхней – глинистые и пылеватые.

Таким образом, дифференциация материала происходит в самом потоке, что придает ему свойство водного течения. Несмотря на слабую изученность внутреннего строения дюн, отмечается наличие унимодальной и бимодальной косо́й слоистости и особенностей, присущих аллювиальным отложениям. Отложения покровов на водоразделах также обладают слоистостью, градиентами крупности и сортированностью.

Общие характерные черты флювиальных тонкослоистых отложений позволяют считать их анизотропными, однако реализация в расчетной схеме предложений, соответствующих уравнениям (1а) и (1б), практически неосуществима. Установленные качественные характеристики исследуемого слоя требуют соответствующих методических и технологических подходов для получения количественных оценок составляющих водопроницаемости. Традиционное выделение литологически однородных блоков приводит к неоправданным усложнениям. Эффективным приемом является изучение слоя в целом как элемента фильтрационной схемы, что исключает подробное литологическое разделение; достаточно определить преобладающую разность.

На мелиоративных и водохозяйственных системах расчетная схематизация флювиальных осадочных и тонкослоистых сред, их диагностика и фильтрационное опробование возможны при обоснованной постановке и проведении полевых экспериментов. Прежде всего, речь идет о

кустовых откачках, позволяющих определять в водонасыщенной среде вертикальную и горизонтальную составляющие водопроницаемости в любом слое двухслойной среды или в однородном слое с хорошей проницаемостью [2, 4 и др.].

Наибольшая информативность опытов достигается при установке этажных пьезометров в каждом слое, однако в плано-неоднородных водоносных системах в зоне влияния откачки происходит сглаживание фильтрационных неоднородностей. Полученные в этом случае гидрогеологические параметры являются усредненными. Поскольку размеры неоднородностей внутри зоны и размеры самой зоны различны, то результаты экспериментов будут смещенными. Проведение длительных и мощных кустовых откачек для оценки параметров фильтрации едва ли целесообразно, если в этом случае предполагается статистическая обработка результатов.

Вторая группа опытов включает наливки в шурфы и экспресс-откачки из скважин через стенки и дно шурфов [2]. Следует отметить, что экспресс-откачки являются единственным практическим методом, позволяющим определять горизонтальные характеристики глин, суглинков и супесей и становится возможным использование формул (1а) и (1б) при поинтервальном опробовании.

«Точечные», или несмещенные оценки дают основу для расчета обобщенной характеристики слоя, и на ее значение влияет количество частных определений. Технологические условия постановки и проведения опыта должны быть надежными – изоляция интервалов испытаний, частота и точность измерений и т. п. Сочетание дискретного размещения опытных кустов и массового экспресс-опробования представляется наиболее эффективным направлением фильтрационных исследований флювиальных отложений. При изучении трещиноватых и закарстованных водоносных систем следует отдавать предпочтение кустовым откачкам, но для обоих случаев оказывается весьма эффективным проведение режимных наблюдений.

Опыт эксплуатации инженерных сооружений на мелиоративных и водохозяйственных объектах показывает, что замена анизотропной среды на однородно-изотропную часто приводит к существен-

ным ошибкам в результатах составления прогнозных расчетов. В ряде работ показано, что допустимость замены возможна при $K_z/K_x > 0,6$ в задачах прогноза инфильтрационного подпора [4].

Сравнительные оценки аналогичной замены природной среды для горизонтального дренажа в анизотропном слое мощностью под дренай $m_k = 10$ м и $K_x = 3$ м/сут представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов междренних расстояний при двух схемах

| K_z | K_x/K_z | α | m_a | $T_x = K_x m_a$ | L_{an} | L_a | H_a | $K = \sqrt{k_x k_z}$ | L_k | T_k | H_k |
|-------|-----------|-------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| 0,03 | 100 | 0,716 | 7,16 | 21,50 | 102,70 | 491 | 1,5 | 0,30 | 271 | 3,0 | 0,69 |
| 0,05 | 60 | 0,780 | 7,80 | 23,40 | 83,40 | 568 | 1,5 | 0,39 | 312 | 3,9 | 0,65 |
| 0,10 | 30 | 0,852 | 8,50 | 25,60 | 60,60 | 666 | 1,5 | 0,55 | 376 | 5,5 | 0,63 |
| 0,50 | 6 | 0,946 | 9,50 | 28,40 | 24,90 | 828 | 1,5 | 1,22 | 575 | 12,2 | 0,79 |
| 0,60 | 5 | 0,951 | 9,50 | 28,50 | 22,30 | 840 | 1,5 | 1,34 | 604 | 13,4 | 0,83 |
| 1,00 | 3 | 0,965 | 9,65 | 28,95 | 16,25 | 869 | 1,5 | 1,73 | 690 | 17,3 | 0,98 |
| 1,50 | 2 | 0,973 | 9,70 | 29,20 | 12,53 | 887 | 1,5 | 2,12 | 767 | 21,2 | 1,14 |
| 2,00 | 1,5 | 0,978 | 9,80 | 29,30 | 10,40 | 898 | 1,5 | 2,45 | 826 | 24,5 | 1,29 |
| 3,00 | 1 | ≈ 1 | ≈ 10 | ≈ 30 | $\approx 8,1$ | ≈ 917 | 1,5 | 3,00 | 917 | 30,0 | 1,50 |

При составлении таблицы 2 использовали следующие формулы и обозначения:

$$L_{a,k} = 4 \left(\sqrt{L_{an,k}^2 + \frac{H_a T_{a,xk}}{2\omega}} - L_{an,k} \right); \quad (2)$$

$$L_{an} = 0,732 m_a \sqrt{\frac{K_x}{K_z} \cdot \lg C_a}, \quad (3)$$

где $m_a = am_k$; $C_a = \frac{2m_a \sqrt{K_x / K_z}}{\pi d}$; ω – инфильтрационное питание ($4 \cdot 10^{-4}$ м/сут).

Величину α при расчете активной зоны под дренай m_a определяли так:

$$\frac{0,933 H_a (1 + 0,5 H_a / m_k) K_z}{\omega m_k} = \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)^2 (1 - 0,75 \alpha) \lg^2 (\alpha C_k), \quad (4)$$

где $L_{an,k}$ – сопротивление за счет несовершенства дренай, м.

Результаты тестового расчета оценивали по расстояниям между дренами $L_{a,k}$ и величинам действующих напоров, а напоры рассчитывали по формуле

$$H_{a,k} = \frac{\omega L_{a,k}^2}{8 T_{ax}} + \frac{L_{a,k} L_{an}}{T_{ax}}, \quad (5)$$

где индексы a относятся к показателям схемы анизотропной среды; k – к условно однородной с коэффициентом фильтрации K . (При расчетах напоров в обеих схемах учитывались реальные параметры среды T_{ax} и L_{an}).

Как следует из таблицы 2, близкие значения расстояний между дренами

получены при $K_z/K_x = 0,17$ и $K = 2,45$ м/сут. По напорам расхождение составляет 11 % при том же K , но $K_z/K_x = 0,67$. Результаты теста свидетельствуют о том, что выбор среднегеометрического значения коэффициента фильтрации для анизотропной среды неправомерен.

На водохозяйственных и мелиоративных объектах развитие подпора грунтовых вод в полуограниченном пласте при подъеме уровня воды в водохранилище замедляется, если в русле реки залегает анизотропный пласт, имеющий характеристику $\Delta L = 0,5 m \sqrt{K_x / K_z}$.

В этом случае изменение уровня воды в пласте под основанием верховой грани плотины ΔH_n и в водохранилище ΔH_r соответствует связи [4]:

$$\frac{\Delta H_n}{\Delta H_r} = 1 - \exp(\tau^2) \cdot \operatorname{erfc} \tau; \quad \tau = \frac{\sqrt{at_z}}{\Delta L}. \quad (6)$$

Время запаздывания подъема на границе пласта ($x = 0$) можно оценить по формуле в зависимости от отношения в левой части уравнения (5):

$$t_z = 0,25 \frac{\tau^2 m_p \mu}{K_z}, \quad (7)$$

если $a \approx \frac{K_x m_p}{\mu}$; m_p – глубина точечного пьезометра под основанием плотины от кровли пласта.

Зависимость $\Delta H_n / \Delta H_r = f(\tau)$ отражена в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость $\Delta H_n / \Delta H_r = f(\tau)$ [4]

| $\Delta H_n / \Delta H_r$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,83 |
|---------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| τ | 0,096 | 0,214 | 0,36 | 0,53 | 0,77 | 1,11 | 1,34 | 1,65 | 2,07 | 2,69 | 3,16 |

Опыт показывает, что резко анизотропные полускальные горные породы, моноклинально падающие в сторону нижнего бьефа, еще больше усложняют картину подпора грунтовых вод в основании плотин. Для анализа реального процесса целесообразно использовать уравнение вида [4]:

$$\frac{\Delta H_n}{\Delta H_r} = 4i^2 \operatorname{erfc}(\lambda) = (1 + 2\lambda^2) \operatorname{erfc}(\lambda) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \lambda \exp(-\lambda^2), \quad (8)$$

где $\lambda = X / (2\sqrt{at_z})$; $X = m_p / \sin\beta$; β – угол падения пласта.

Определяя величины X и a и задавая различные значения λ , можно прогнозировать соотношения в левой части уравнения (8) и время запаздывания.

Несинхронные изменения уровня воды в водохранилище и в анизотропном основании верховой призмы плотины могут привести к колебаниям жесткого сооружения, ослаблению основания и нарушению условий безопасной эксплуатации гидроузла в режиме «наполнение – сработка» емкости. Диагностика процесса подпора и его прогнозирование необходимы при проектировании сооружения и в процессе режимных наблюдений в период наполнения водохранилища.

Выбор расчетных значений водопроницаемости осуществляется на основе предлагаемых критериев анизотропии с последующей статистической обработкой по группам значений K_x и K_z . Как правило, на начальном этапе исследований исходные данные формируются из фондовых материалов, поэтому объемы частных выборок малы, а средние значения характеризуются высокой изменчивостью. Тем не менее, среднее арифметическое значение рекомендуется использовать для предварительных расчетов. На следующем этапе полевых работ необходимо планировать дополнительные определения составляющих водопроницаемости и других гидрогеологических параметров с целью уменьшения дисперсии коэффициентов фильтрации и повышения надежности решения инженерной задачи.

В большинстве случаев, в том числе и в зарубежной практике, определение необходимого объема фильтрационных испытаний назначается произвольно, на базе интуитивно-эмпирического подхода и целиком зависит от компетенции исполнителя. Однако если принять модель сре-

ды в пределах решаемой задачи, сформулировать расчетную схему и выбрать параметры оптимизации, то планирование экспериментов становится более ясным. Покажем решение поставленной задачи, ограничившись расчетами систематического линейного дренажа в анизотропной среде. Для этого воспользуемся известными положениями подхода и выберем в качестве параметров следующие: оптимизации – расстояние между дренами; управления – число опытов. Результат найдем при сравнении изменения стоимостей дренажа и опытно-фильтрационных работ.

Приведем основные элементы алгоритма применительно к особенностям строения пористой среды. Сравнение стоимостных показателей будем искать согласно следующему условию:

$$C_{x,z} N \cong \left(\frac{S}{L^*} - \frac{S}{L_a} \right) C_d, \quad (9)$$

где $C_{x,z}$, C_d – единичные стоимости одного эксперимента и одного погонного метра дренажа; S – площадь исследуемого участка.

Величину L^* находим по формулам (2)...(4), задавая число однотипных экспериментов N и определяя $K_{x,z}$ в уравнении

$$K_{x,z}^* = K_{x,z} - \frac{t' \sigma_{k(x,z)}}{\sqrt{N}}. \quad (10)$$

Для иллюстрации расчета используем данные второй строки табл. 2 с дополнениями: $C_x = C_z$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_x = 1,2$ м/сут; $\sigma_z = 0,025$ м/сут; $S = 10^6$ м²; $C_d / C_x = 1/50$; t'_z – коэффициент надежности (принимая равным 0,85).

Условие (9) выполняется при новом междренном расстоянии $L^* = 497$ м с общим числом экспериментов $N = 5$. Следует отметить, что планирование опытно-фильтрационных работ может осуществляться и на другой эколого-экономической основе, например при оценках экологических рисков: потерь урожая или подтопления при недостаточно эффективной работе дренажа, при переосушении торфяников, при нарушении устойчивости элементов сооружений и др.

Выводы

Тонкослоистые отложения потоков (флювиальные) обладают характерными особенностями, позволяющими считать эти отложения фильтрационно-анизотропными. Изучение структурных и текстурных особенностей флювиальных осадочных и тонкослоистых сред и прове-

дение фильтрационной схематизации являются важными этапами исследований при решении задач оценки надежности инженерных решений на мелиоративных и водохозяйственных объектах.

Картирование и проведение опытно-фильтрационных работ с использованием структурного и фашиально-генетического анализа позволяет дифференцировать геологический разрез с выделением и количественной оценкой составляющих водопроницаемости горных пород. Произвольное допущение фильтрационной однородности анизотропных горных пород приводит к ошибкам при гидрогеологических прогнозах подпора и дренирования на мелиоративных системах.

При планировании опытно-фильтрационных испытаний геологической среды на мелиоративных и водохозяйственных объектах следует принимать модель анизотропной среды, что позволяет снизить экологические риски от подтопления территории при недостаточно эффективной работе дренажа, при переосушении торфяников, при нарушении устойчивости элементов сооружений и т. д.

1. **Жабин В. Ф., Манукьян Д. А., Фельдман А. Л.** Физические и математи-

ческие предпосылки решения обратных гидрогеологических задач: Рациональное использование водных ресурсов: сборник науч. тр. – М.: Наука, 1986. – Вып. 6. – С. 70.

2. **Жабин В. Ф., Карпенко Н. П., Ломакин И. М.** Особенности определения гидрогеологических характеристик анизотропных сред для расчета дренажа // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 80–87.

3. **Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.** Пески и песчаники. – М.: Мир, 1976. – 535 с.

4. **Шестаков В. М.** Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. – М.: Изд-во МГУ, 1965. – 233 с.

Материал поступил в редакцию 03.05.12.

Жабин Виктор Федорович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Тел. 8 (499) 976-21-56

Карпенко Нина Петровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Геология и гидрогеология»
Тел. 8-916-069-75-12

E-mail: npkarpenko@yandex.ru

Ломакин Иван Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Геология и гидрогеология»
Тел. 8 (499) 976-22-27

УДК 502/504:532.543

Е. В. ДУВАНСКАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»

В. А. ВОЛОСУХИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская мелиоративная академия»

НОВОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СВОБОДНОГО РАСТЕКАНИЯ БУРНОГО ПОТОКА

Предлагаются два основных решения для функции тока при числах Фруда, меньших четырех и больших четырех, которые определяются из общего решения двумерной плановой задачи для бурного потока при свободном растекании. Новые решения лучше согласуются с экспериментом.

Двухмерная плановая задача, бурный поток, свободное растекание, горизонтальное отводящее русло.

In the work there are proposed two basic solutions for the flowing function with the Froude numbers of smaller than four and bigger than four which are determined from the general solution of the two-dimensional planned task for the rapid flow under free spreading. New solutions are better matched with the experiment.

Two-dimensional planned task, a rapid flow, free spreading, horizontal discharge channel.