

мых участков, расположенных в Волго-Ахтубинской пойме, оказывает влияние весенне-летнее половодье, ведущее к уменьшению концентрации поллютантов.

#### Список использованных источников

1 Рыбашлыкова, Л. П. Пастбищные экосистемы Сарпинской низменности и интродукция лекарственных растений / Л. П. Рыбашлыкова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 3(59). – С. 117–120.

2 Рыбашлыкова, Л. П. Анализ состояния древесно-кустарниковой растительности Волго-Ахтубинской поймы / Л. П. Рыбашлыкова, С. В. Конев // Вестник Прикаспия. – 2017. – № 3(18). – С. 47–51.

3 Зайцев, В. Ф. Оценка состояния Волго-Ахтубинской поймы по содержанию тяжелых металлов в почве и растительности / В. Ф. Зайцев, Л. П. Рыбашлыкова, С. В. Конев // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономического обеспечения сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБНУ «ПНИИАЗ». – Солёное Займище, 2017. – С. 11–13.

4 Бердникова, А. В. Содержание цинка, марганца и меди в почвах Астраханской области / А. В. Бердникова // Природные условия и ресурсы Нижнего Поволжья. – Волгоград: Волгогр. пед. ин-т им. А. С. Серафимовича, 1981. – С. 112–117.

УДК 626.862.4

**А. А. Кисиль, Д. Г. Васильев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**А. А. Кисиль**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

#### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИЙ

*В статье рассмотрены методы расчета водоприемной способности закрытого горизонтального дренажа. Для сравнительной характеристики различных конструкций дренажей следует использовать такие показатели, как гидравлическое и гидродинамическое сопротивление. Данные два вида сопротивления водоприемная часть дренажа оказывает грунтовому потоку. Снижение скоростей потока грунтовых вод в дренах на границе фильтра достигается созданием «обратных» фильтров и реализуется применением фильтровых обсыпок. Одним из наиболее перспективных материалов для создания структурных объемных фильтров являются отходы тепловых электростанций, угольной промышленности и карьеров по добыче щебня.*

*Ключевые слова: дренаж, водоприемная способность, критерии оценки эффективности, коэффициент гидравлического сопротивления, коэффициент водозабора.*

\*\*\*\*\*

**A. A. Kisil', D. G. Vasilyev**

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

**A. A. Kisil'**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

#### THE CLOSED HORIZONTAL DRAINAGE OPERATING EFFICIENCY EVALUATION CRITERIA AND PERSPECTIVES OF ITS DESIGN IMPROVEMENT

*The calculation methods of water intake capacity of closed horizontal drainage are considered in the article. Such indicators as hydraulic and hydrodynamic resistance should be used for the comparative characteristics of different drain designs. These two types of resistance, the water intake part of the drain exerts underflow. Reducing the groundwater flow rates into the drain at the filter boundary is achieved by creating “backward” filters and is implemented by applying filter coatings. One of the most promising materials for creating structural volume filters is waste from thermal power plants, coal industry and quarries for crushed stone extraction.*

*Key words: drainage, water intake capacity, efficiency evaluation criteria, coefficient of hydraulic resistance, water intake coefficient.*

**Введение.** Конструкция дренажа должна обеспечивать поступление грунтовых вод из осушаемых почвогрунтов в полость трубы и отвод их в коллектор. Конструктивными элементами закрытого дренажа являются трубы, фильтры, фильтровые обсыпки, колодцы и устьевые сооружения. Варианты комбинаций только трех элементов – труб, фильтров и фильтровых обсыпок – позволили разработать около 30 конструкций закрытого трубчатого дренажа.

В настоящее время накоплен большой практический и теоретический опыт по оценке эффективности работы закрытого горизонтального дренажа, определены основные методы расчета, выявлены пути совершенствования дренажных конструкций [1–7].

**Материалы и методы.** Ввиду многообразия конструкций дренажа нужны определенные критерии для оценки эффективности их работы. Очевидно, что эффективность дренажа зависит от суммы потерь, определяемых его конструктивными особенностями. Чем меньше потери, тем меньше высота нависания и тем больше осушающее действие дренажа.

Расчетами притока воды к дренам занимались В. В. Ведерников, А. Н. Костяков, В. И. Аравин, С. Ф. Аверьянов, В. А. Ионат и др. [8–13].

Для оценки влияния диаметра дрены  $d$  на дополнительные потери для случая  $d < d_k$  ( $d_k$  – критический диаметр) удельный приток воды в дрена при удаленном водоупоре А. Н. Костяков определял по зависимости:

$$Q_0 = \frac{\pi K_\phi H}{\ln \frac{B}{d} - 1} = \frac{\pi K_\phi H}{\ln \frac{B}{ed}},$$

где  $Q_0$  – удельный приток воды, м<sup>3</sup>/сут;

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации;

$H$  – действующий напор, м;

$B$  – расстояние между дренами, м;

$d$  – диаметр дрены, м;

$e = 2,718$  – число Непера.

По С. Ф. Аверьянову удельный приток воды в дрена при удаленном водоупоре определялся по следующей зависимости:

$$Q_0 = \frac{\pi H}{\ln \frac{2B}{\pi \sqrt{2dH}}}.$$

При  $d = d_k$  действует формула В. В. Ведерникова:

$$Q_0 = \frac{\pi K_\phi H}{\ln \frac{K_\phi}{q_{\text{и}}}},$$

где  $q_{\text{и}}$  – величина инфильтрационного питания, м<sup>3</sup>/га.

Расчеты, выполненные по приведенным зависимостям, не учитывают несовершенство дрен по характеру вскрытия пласта и фильтрационные деформации в придренированной зоне. Учитывая описанное выше, следует отметить, что, определяя эффективность работы дрен различных конструкций, исследователи зачастую оперируют такими показателями, как объем стока (годовой, удельный, максимальный), глубина уровня грунтовых вод на междренье и др., т. е. преимущественно мелиоративными показателями. Но эти показатели не могут характеризовать конструктивные особенности дрен, так как они определяются факторами, слабо зависящими от конструкции. Это связано с тем, что дренажи находятся в различных гидрогеологических, почвенно-литологических и мелиоративных условиях, работают при различных действующих напорах и водных нагрузках. Малейшая ошибка проектирования при расчете междренних расстояний в сторону увеличения снизит эффективность работы дренажа, а при занижении расчетных показателей – повышает мелиоративную эффективность, но не может дать показателя эффективности конструкции.

Очевидно, для сравнительной характеристики различных конструкций дрен следует использовать такие показатели, как гидравлическое и гидродинамическое сопротивление. Данные два вида сопротивления водоприемная часть дренажа оказывает грунтовому потоку, влияя на положение уровня водоносного горизонта и указывая на степень ее гидравлического совершенства. Для учета дополнительных сопротивлений в формулы по расчету притока воды к дренам вводят коэффициент гидравлического сопротивления дренажа  $\xi$ . Для идеальных дрен  $\xi = 0$ , для дрен из перфорированных труб  $\xi \geq 0$ .

Для вычисления этого параметра В. Ф. Митин [14] предложил формулу, основанную на приеме И. А. Чарного по определению гидравлических сопротивлений при решении задач фильтрации к вертикальной скважине, несовершенной по степени вскрытия пласта:

$$Q = \frac{2\pi K_{\phi} H}{\ln \frac{2z}{R} + \xi} = \frac{2\pi K_{\phi} H}{\ln \frac{2z}{r_0} + \xi_0},$$

где  $Q$  – удельный приток воды в реальную дренаж при удаленном водоупоре, м<sup>3</sup>/сут;

$z$  – глубина заложения дренажа, м;

$R$  – цилиндрическая эквипотенциальная поверхность радиуса, м;

$r_0$  – внешний радиус дренажа, м.

В предложенной формуле за область водоприемных щелей принята цилиндрическая эквипотенциальная поверхность радиуса  $R$  ( $R > r_0$ ). Полученное выражение определяет структуру формулы притока воды к дренажу с учетом влияния водоприемных щелей, стыков, проницаемости стенок.

Для оценки водоприемной способности определяют величину коэффициентов эффективности  $\eta$  и фильтрационного сопротивления  $\xi_0$  для реальной дренажа при известных значениях  $Q$  и  $Q_0$  по следующим зависимостям:

$$\eta = \frac{Q}{Q_0} = \frac{\ln \frac{2z}{r_0} + \xi_0}{\ln \frac{2z}{r_0}} = 1 + \frac{\xi_0}{\ln \frac{2z}{r_0}},$$

$$\xi_0 = \eta \cdot \ln \frac{2z}{r_0} - \ln \frac{2z}{r_0} = \ln \frac{2z}{r_0} \cdot (\eta - 1).$$

Коэффициент фильтрационного сопротивления  $\xi_0$  для керамических труб Н. Т. Эфендиев [15] определяет по формуле:

$$\xi_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{4l_T}{d} \cdot \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi B_{\text{ст}}}{2l_T}},$$

где  $l_T$  – длина трубок, м;

$B_{\text{ст}}$  – ширина стыка, м.

Коэффициент фильтрационного сопротивления  $\xi_0$  для пластмассовых перфорированных труб А. И. Мурашко [15] определил по формуле:

$$\xi_0 = \frac{2S_{\text{щ}}}{ml_{\text{щ}}} \cdot \ln \frac{1}{\sin \frac{ml_{\text{щ}}}{2S_{\text{щ}}} \cdot \theta}, \quad m \geq 2,$$

где  $S_{\text{щ}}$  – шаг между продольными щелями, м;

$m$  – число рядов симметрично расположенных по окружности трубы прерывистых щелей;

$l_{\text{щ}}$  – длина щелей, м;

$$\theta = \arcsin \frac{B_{\text{щ}}}{d};$$

$B_{\text{щ}}$  – ширина щели, м;

$d$  – внутренний диаметр трубы, м.

А. И. Мурашко и Н. Г. Пивовар [16] получили значения коэффициентов эффективности объемных фильтров и фильтров из волокнистых материалов для различных видов перфораций. Ими установлено, что в случае уменьшения расчетных диаметров дрен до фактически применяемых при сжатии потока грунтовых вод возникнут гидравлические сопротивления и расход снизится с  $Q_k$  до  $Q_0$ .

Если при этом дренаи несовершенны по водопримной способности или характеру вскрытия водоносного слоя, то они при притоке к ним грунтовых вод будут оказывать дополнительные фильтрационные сопротивления, в результате чего расход дренаи уменьшится с  $Q_0$  до  $Q$ .

Для компенсации этого отрицательного явления с целью увеличения расхода дренаи с  $Q$  до  $Q_0$  и даже до  $Q_k$  необходимо применять фильтры.

Расход «идеальных» по водопримной способности дренаи при их критическом диаметре  $d_k$  и относительно близком водоупоре можно определять по формуле:

$$Q_k = \frac{K_{\text{ф}} \cdot (H^2 - h^2)}{B} \cdot \alpha_k,$$

где  $Q_k$  – расход дренаи при их критическом диаметре  $d_k$ , м<sup>3</sup>/сут;

$H$  – действующий напор при отсчете от водоупора, м;

$h$  – высота нависания над дренаи при отсчете от водоупора, м;

$\alpha_k$  – коэффициент степени вскрытия водоносного слоя грунта дренаи при критическом диаметре дренаи, «идеальных» по характеру вскрытия водоносного слоя грунта.

При  $d < d_k$  расход составит:

$$Q = \frac{K_{\text{ф}} \cdot (H^2 - h^2)}{B} \cdot \alpha,$$

где  $\alpha$  – коэффициент степени вскрытия водоносного слоя грунта дренаи при реальном диаметре дренаи, «идеальных» по характеру вскрытия водоносного слоя грунта.

Для реальных дренаи при их недостаточной водопримной способности расход грунтовых вод составит:



$$Q = \frac{K_{\phi} \cdot (H^2 - h^2)}{B} \cdot \alpha_c,$$

где  $\alpha_c$  – обобщенный коэффициент сопротивления («висячести») дрен.

Критерий эффективности реальных дрен по сравнению с «идеальными» (при критическом их диаметре) можно найти из соотношения:

$$\eta = \frac{Q}{Q_k} = \frac{\alpha_c}{\alpha_k},$$

а критерий эффективности реальных дрен по сравнению с «идеальными», но при  $d < d_k$  можно определить по зависимости:

$$\eta = \frac{Q}{Q_0} = \frac{\alpha_c}{\alpha}.$$

Для дрен, заложенных в водоупоре:

$$\eta = \frac{1}{1+c},$$

где  $c$  – коэффициент гидравлического сопротивления водопроницаемости стенок, стыков, перфорации дренажных труб.

Ю. Г. Филиппов и Р. Г. Джанумов [17] апробировали предложенную методику А. И. Мурашко для определения водозаборной способности и технического состояния закрытых дрен в полевых условиях. По этой методике определяются два показателя: коэффициент гидравлического сопротивления и коэффициент водозабора. При этом сравниваются удельный приток и напор реальной и идеальной дрен.

Водоприемная способность устанавливается по двум коэффициентам:

- гидравлического сопротивления:

$$\xi = \frac{H_{\phi}}{H_T},$$

где  $H_{\phi}$  – фактический напор реальной дрены, м;

$H_T$  – теоретический напор идеальной дрены, м;

- водозабора, определяемого как:

$$\mu = \frac{Q_{\phi}}{Q_T},$$

где  $Q_{\phi}$  – фактический удельный приток реальной дрены,  $\text{см}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ ;

$Q_T$  – теоретический удельный приток идеальной дрены,  $\text{см}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ .

При значениях  $\xi$  и  $\mu$  (коэффициентах гидравлического сопротивления и водозабора), равных единице, дрена работает хорошо. С уменьшением водоприемной способности дрен коэффициент  $\mu$  уменьшается, а  $\xi$  возрастает.

Методика сопоставительной оценки дрен различной конструкции, предложенная В. П. Насиковским [18, 19], заключается в определении фильтрационного сопротивления  $\Phi_d$ , обусловленного конструкцией дрены. Оно рассчитывается по формуле:

$$\Phi_d = \Phi_c - \Phi_{\Gamma},$$

где  $\Phi_c$  – суммарное фильтрационное сопротивление, м;

$\Phi_{\Gamma}$  – фильтрационное сопротивление пласта грунта, м.

Значение  $\Phi_c$  при неустановившемся режиме фильтрации определяется по формуле:

$$\Phi_c = \frac{H_c - H_g}{i_{\text{л}} + i_{\text{п}}} = \frac{\Delta H}{\alpha \cdot (i_{\text{л}} + i_{\text{п}})},$$

где  $H_c$  и  $H_g$  – соответственно отметки уровней воды в совершенной и несовершенной дрене, м;

$i_l$  и  $i_p$  – уклон грунтовых потоков слева и справа от дрены;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий неустановившийся режим фильтрации при спаде поверхности грунтовых вод,  $\alpha = 0,913$ .

По методу решения обратных задач суммарное фильтрационное сопротивление дренажной конструкции определялось с помощью теоретической зависимости, вытекающей из формулы расстояния между дренами:

$$B = 4 \cdot \left( \sqrt{\Phi^2 + \frac{Th}{2W}} - \Phi \right),$$

где  $\Phi$  – фильтрационное сопротивление, м;

$W$  – модуль дренажного стока, м/сут;

$T$  – проводимость водоносного пласта, м<sup>2</sup>/сут;

$h$  – напор между дренами, м.

Решение формулы относительно величины  $\Phi$  имеет вид:

$$\Phi = \frac{T \cdot h}{q} - \frac{B}{8},$$

где  $q$  – дебит дрены, м<sup>3</sup>/(с·м).

**Результаты и обсуждение.** Большое внимание исследователей к оценке водоприемной способности дрен, а в конечном счете к оценке эффективности их работы, разработке методов их определения говорит о большом значении этого параметра, сложности расчетов и стремлении упростить процесс его определения. При оценке водоприемной способности дренажных конструкций удобно использовать критерий эффективности, а для повышения водоприемной способности дрен необходимо создавать такие конструкции, у которых критерий эффективности стремится к единице.

Все анализируемые методы и способы определения фильтрационных и гидравлических сопротивлений имеют определенные ограничения по таким показателям, как однородность литологического строения, глубина залегания водоупора, режим фильтрации, обоснованность расчетной фильтрационной схемы и др. Более чем 35-летний период эксплуатации закрытого дренажа не позволил с достаточной достоверностью выявить оптимальные конструкции дрен в различных гидрогеологических условиях.

Исследованиями эффективности работы различных конструкций дрен в пределах опытно-производственных участков Ростовской области в различное время занимались Э. П. Носов, П. Д. Ким, В. А. Васильченко, В. Е. Синеок, Э. Е. Фишер, Т. М. Муравенко, Ю. Г. Филиппов, Р. Е. Джанумов, П. И. Семин, Я. К. Левин, В. П. Андриянов, П. Е. Григоренко, Н. Н. Бредихин и др. [20–23].

Указанными исследователями решен ряд важных вопросов проектирования и строительства дренажа, создана база для изучения его эффективности, разработана методика определения водозахватной способности закрытых дрен различных конструкций, установлена кольматируемость мелкозернистых песков местных карьеров, используемых при строительстве в водонасыщенных грунтах в качестве фильтровых обсыпок трубчатого дренажа.

Анализ проведенных в пределах участков опытно-производственного дренажа работ и испытанных конструкций дрен свидетельствует о необходимости совершенствования дрен в направлении применения труб и фильтров из новых материалов и создания высокомеханизированных и технологичных конструкций закрытого горизонтального дренажа. Конструктивные решения диктуются номенклатурой дренажных материалов, возможностями технологий и требованиями обеспечения необходимой технической эффективности.

В Ростовской области для строительства закрытого дренажа в начальный период мелиоративного строительства применялись в основном перфорированные асбестоцементные трубы с песчано-гравийной обсыпкой. С 1983 г. начато массовое строительство дренажа из поливинилхлоридных (ТУ 33-350-85) и полиэтиленовых гофрированных (ТУ 6-19-224-83) труб с их укладкой экскаваторами-дреноукладчиками. Практика показывает, что не все построенные дрены работают удовлетворительно. Основной причиной является низкий уровень строительства, особенно фильтров и фильтровых обсыпок, и неудовлетворительная эксплуатация дренажных систем. Таким образом, достаточно актуальными являются вопросы совершенствования конструкций закрытых дрен, повышения их водоприемной способности и надежности работы.

Одним из перспективных направлений в совершенствовании конструкций закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях является применение в качестве защитно-фильтрующего материала (ЗФМ) геотекстиля.

Техническая и мелиоративная эффективность закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях зависит в первую очередь от конкретных гидрогеологических условий (глубины залегания уровней грунтовых вод, особенностей гранулометрического состава водовмещающих пород, наличия водообмена с нижележащими водоносными горизонтами, агрессивности грунтовых вод и др.), конструктивных особенностей дрен и фильтрационных деформаций в придренированной зоне (степени уплотненности грунта), кольматируемости фильтровых обсыпок и фильтров, зависящей от условий строительства в сухих или водонасыщенных грунтах. Поэтому о возможности применения конкретного вида геотекстиля в качестве ЗФМ для горизонтального дренажа на орошаемых землях можно будет судить после проведения соответствующих исследований.

Не менее важным направлением в совершенствовании конструкции закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях является применение качественных объемно-фильтрующих материалов при строительстве дрен.

В первые годы строительства дренажа в качестве фильтровой обсыпки применялся мелкозернистый песок, использование которого не рекомендуется рядом исследователей. В РосНИИПМ разработаны и внедрены конструкции дрен с применением в качестве объемных фильтрующих материалов отходов тепловых электростанций и угольной промышленности [24]. Однако отвалы тепловых электростанций и угольной промышленности характеризуются неоднородностью гранулометрического состава (таблица 1), поэтому в проектах предусматривались работы по выбору места разработки отвала с уточнением гранулометрического состава и коэффициентов фильтрации золошлакового материала (ЗШМ).

**Таблица 1 – Средние значения гранулометрического состава золошлаков в зависимости от их возраста**

| Название фракции                   | D, мм    | Процентное содержание фракции в пробе ЗШМ | Процентное содержание фракции в пробах ЗШМ различных лет |           |           |
|------------------------------------|----------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                    |          |                                           | 1 год                                                    | 13–15 лет | 25–30 лет |
| Галька                             | 10       | 0,5–19,6                                  | 6,6                                                      | 3,1       | 3,6       |
| Гравелистые                        | 2–10     | 31,2–57,6                                 | 43,7                                                     | 38,6      | 47,1      |
| Песчаные средние                   | 0,5–1,0  | 1,02–5,8                                  | 4,0                                                      | 4,7       | 3,0       |
| Песчаные крупные                   | 1,0–2,0  | 9,7–55,9                                  | 21,0                                                     | 29,6      | 26,7      |
| Песчаные мелкие                    | 0,25–0,5 | 3,08–12,5                                 | 7,2                                                      | 7,4       | 4,9       |
| Песчаные очень мелкие пылеватые    | 0,25     | 1,2–39,3                                  | 17,2                                                     | 16,6      | 20,5      |
| Средний коэффициент неоднородности |          |                                           | 36                                                       | 74        | 47        |

В настоящее время при разработке терриконов, золоотвалов и карьеров по добыче щебня применяют дробильно-сортировочные установки, которые позволяют отбирать ЗШМ оптимального гранулометрического состава для формирования качественных объемных дренажных фильтров под конкретные гидрогеологические условия.

**Выводы.** Основной характеристикой эффективности работы закрытого дренажа является показатель фильтрационного сопротивления, которое водопримная часть дрены оказывает фильтрационному потоку на входе в фильтр. Исследования и анализ опубликованных работ по рассматриваемой проблеме показывают, что водопримная способность дрены зависит от скорости потока грунтовых вод в дрину на границе фильтра. Снижение скоростей достигается созданием «обратных» фильтров и реализуется применением фильтровых обсыпок.

Перспективным направлением поиска надежной фильтровой защиты закрытых дренажей является применение при строительстве дренажа на орошаемых землях геотекстиля в качестве ЗФМ и создание структурных объемных фильтров. Одним из наиболее перспективных материалов для создания структурных объемных фильтров являются отходы тепловых электростанций, угольной промышленности и карьеров по добыче щебня. Вопрос использования таких материалов должен увязываться с конкретными грунтовыми и гидрогеологическими условиями участка строительства дренажа и технологиями строительства дренажей.

#### Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

2 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

3 Капустян, А. С. Состояние и перспективы развития дренажа на Юге России / А. С. Капустян, В. А. Васильченко, В. С. Крючин // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. по материалам науч.-практ. семинаров по проблемам мелиорации 2005 г. / ФГНУ «РосНИИПМ»; под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск, 2005. – С. 45–51.

4 Лисконов, А. Т. Закрытый дренаж при орошении / А. Т. Лисконов, Н. Н. Бредихин, Д. П. Савчук. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 288 с.

5 СТО НОСТРОЙ 2.33.20-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Ч. 1. Оросительные системы. Общие требования по проектированию и строительству. – Введ. 2012-12-05 // ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2017.

6 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 395 с.

7 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 262 с.

8 Аверьянов, С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель / С. Ф. Аверьянов. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 84 с.

- 9 Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа / В. В. Ведерников. – М. – Л.: Госстройиздат, 1939. – 248 с.
- 10 Костяков, А. Н. Основы мелиорации: учеб. для гидромелиоратив. ин-тов и фак. / А. Н. Костяков. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.
- 11 Фаворин, Н. И. Орошаемые каналы и грунтовые воды / Н. И. Фаворин. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 96 с.
- 12 Костяков, А. Н. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод / А. Н. Костяков, Н. И. Фаворин, С. Ф. Аверьянов // Сб. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 48–62.
- 13 Аверьянов, С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. – М.: Колос, 1965. – С. 36–54.
- 14 Митин, В. Ф. Фильтрующие материалы и засыпки для закрытого дренажа в зоне осушения / В. Ф. Митин, Н. В. Акимов // Мелиорация и водное хозяйство. Водохозяйственное строительство: обзор. информ. / ЦБНТИ Минводстроя СССР. – 1989. – Вып. 10. – С. 46–51.
- 15 Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – М.: Колос, 1982. – 272 с.
- 16 Пивовар, Н. Г. Трубчатый дренаж из полимерных материалов / Н. Г. Пивовар, Н. Г. Бугай, В. Л. Фридрихсон // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 4. – С. 48–50.
- 17 Филиппов, Ю. Г. Исследование работы закрытого дренажа на орошаемых землях Ростовской области / Ю. Г. Филиппов, Р. Г. Джанумов // Эксплуатация оросительных систем и мелиорация орошаемых земель Северного Кавказа: сб. науч. тр. / Южгипроводхоз. – Ростов н/Д., 1973. – Вып. 4, ч. 2. – С. 37–53.
- 18 Кононов, И. В. Методика оценки фильтрационных деформаций в области контакта защищаемого грунта и дренажного фильтра / И. В. Кононов, В. П. Насиковский // Мелиорация и водное хозяйство: респ. межведомств. темат. сб. – Киев: Урожай, 1974. – Вып. 30. – С. 84–92.
- 19 Насиковский, В. П. Экспериментальное определение коэффициента водоотдачи и недостатка насыщения / В. П. Насиковский, В. Я. Шапран // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев, 1971. – Вып. 19. – С. 134–142.
- 20 Васильченко, В. А. Временные рекомендации по оптимальным конструкциям и параметрам закрытого дренажа для условий Северного Кавказа / В. А. Васильченко, Н. Н. Бредихин; ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1983. – 56 с.
- 21 Бредихин, Н. Н. Техническое состояние закрытого дренажа и эффективность его работы / Н. Н. Бредихин // Вопросы мелиоративного состояния орошаемых земель и использования водных ресурсов Северного Кавказа: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1983. – С. 67–72.
- 22 Бредихин, Н. Н. Выбор оптимальных конструкций закрытого дренажа по различным водным нагрузкам / Н. Н. Бредихин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1984. – № 8. – С. 32–34.
- 23 Васильченко, В. А. К обоснованию типов и параметров мелиоративного дренажа / В. А. Васильченко // Вопросы мелиоративного состояния орошаемых земель и использования водных ресурсов Северного Кавказа: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1983. – С. 15–17.
- 24 Кисиль, А. А. Эффективность работы закрытого горизонтального дренажа с фильтрами из золошлаковых отходов ГРЭС: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02, 25.00.36 / Кисиль Андрей Алексеевич. – Новочеркасск, 2002. – 27 с.