

Таким образом, колебание климатических составляющих оказало воздействие на стоковый режим рек Беларуси, особенно на реки Верхне-Днепровского и Центрально-Березинского гидрологических районов. Изменение характеристик стока рек Припятского гидрологического района вызвано как сложившимися природно-климатическими условиями, так и антропогенными воздействиями (примером служит создание водохранилища Селец на реке Ясельда).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савенок, А.Ф. Основы экологии и рационального природопользования / А.Ф. Савенок, Е.И. Савенок. – Минск: Сэр-Вит, 2004. – 430 с.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР в 5 т. – Л.: Гидрометеоздат, 1966. – Т. 5: Белоруссия и верхнее Поднепровье. – 1966. – С. 92–141.
3. Определение расчетных гидрологических характеристик: пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000.
4. Волчек, А.А. Оценка изменений внутригодового распределения стока рек Беларуси по данным гидрометрических наблюдений / А.А. Волчек, О.Н. Натарева // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2009. – С. 119–130.
5. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова– Спб.: Государственный гидрологический институт. – 600 с.

Материал поступил в редакцию 10.04.10

VOLCHEK A.A., NATAROVA O.N. Insideannual distribution of a drain of the rivers Belarus and his statistical modeling

In clause the estimation of the changes which have occurred with a river drain in developing natural-climatic conditions and under influence of anthropogenous influences by means of important hydrological and watereconomic of the characteristic – insideannual distribution of a drain of water is given.

The technique of research includes modern methods of the system analysis and his applied device of mathematical modeling. In work are widely used a method of configuration of seasons a method of statistical modeling.

УДК 626.862.1

Быков В.Л., Мешик О.П.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Введение. Вопросы определения расстояний между элементами регулирующей осушительной сети широко освещены в научной литературе [1, 2, 3, 4, 5, 6 и др.]. Особенностью расчетов является то, что в формулах используется значительное число констант, зависящих от других параметров. Многие из них получены экспериментально и представлены в справочной литературе в виде графиков функций. Некоторые из параметров уравнений по расчету междренних расстояний, например, общее фильтрационное сопротивление, в свою очередь сами зависят от междренних расстояний, следовательно, возникает задача подбора параметров для определения оптимального значения междренного расстояния. При такой сложности, не имея соответствующих компьютерных программ, произвести вычисления хотя бы для одного расчетного случая затруднительно. В БрГТУ был разработан программный комплекс «Дренаж» [6], позволяющий выполнять расчеты междренних расстояний, в основу которого положено решение задач с применением метода фильтрационных сопротивлений Ю.П. Борисова, дополненного С.Ф. Аверьяновым, А.И. Мурашко, А.И. Ивицким, В.М. Шестаковым, А.Я. Олейником и др. [1]. Однако для аппроксимации графических зависимостей были применены экспоненциальные и логарифмические функции, которые недостаточно точно передают их характер. Кроме того, с 01.07.2006 введен в действие Технический кодекс установившейся практики «Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования» (ТКП 45-3.04-8-2005 (02250)) [7], который содержит рекомендации по расчету междренних расстояний, отличные от рассмотренных, например, в [1]. Эти факторы привели к необходимости доработки программы «Дренаж» для приведения ее в соответствие с современными требованиями. В ходе доработки программы применены обновленные нормативно-технические алгоритмы, часть из которых может быть предметом анализа и обсуждения, а часть технических тривиальных алгоритмов может использоваться студентами при выполнении лабораторных работ, разработке

курсовых и дипломных проектов с помощью электронных таблиц и языка программирования Visual Basic.

1. Расчет междренних расстояний по эмпирическим формулам. Расстояние между дренами определяется по балансовому уравнению [7]

$$E = \frac{a \Psi (H_{ГР} - h_{ДР})}{q_{ТР}}, \quad (1)$$

где E – междренное расстояние, м;

a – коэффициент водообмена дрены, м/с;

$H_{ГР}$ – расчетный напор уровня грунтовых вод над дренаем, м;

$h_{ДР}$ – избыточный напор в полости дрены, м;

$q_{ТР}$ – модуль стока, м/с, подлежащий обеспечению дренажем, определяемый по формуле:

$$q_{ТР} = \frac{W}{t} \quad (2)$$

где W – слой воды, подлежащий отводу, для создания необходимых условий осушения, м;

t – время, за которое необходимо отвести избыточную воду, сут.

Коэффициент водообмена (a), используемый в формуле (1), вычисляется по зависимостям, имеющим определенную область применения [7] (таблица 1).

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

$K_{ГР}$ – коэффициент фильтрации, м/с;

$M_{ДР}$ – расстояние от дрены до водоупора, м;

d – наружный диаметр дрены, м;

T – водопроницаемость пласта, м²/с;

$\Phi_0, \Phi_1, L_{HD}, A$ – соответственно, фильтрационные сопротивления по степени и характеру вскрытия пласта, общие фильтрационные сопротивления, коэффициент всячести.

Быков Вячеслав Леонидович, к.т.н., доцент кафедры информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Мешик Олег Павлович, к.т.н., доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Коэффициент водообмена для различных фильтрационных схем

| Коэффициенты водообмена | Область применения |
|---|---------------------------|
| $\alpha = \frac{\pi K_{ГР}}{(2 \lg E/d)3 - 1}, \quad (3)$ | $E/M_{ДР} < 3$ |
| $\alpha = \frac{8TA}{E}, \quad (4)$ | $E/M_{ДР} > 3$ |
| $\alpha = \frac{8T}{E}, \quad (5)$ | $M_{ДР} = 0$ |
| $\alpha = \frac{8T}{E + 8L_{нд}}, \quad (6)$ | $M_{ДР}$ – любое значение |
| $\alpha = \frac{2\pi K_{ГР}}{\Phi_0 + \Phi_1}, \quad (7)$ | Подрусловая дрена |

При подстановке значений параметра (α) из выражений (3), (4), (5) и (6) в правую часть формулы (1) видно, что и в левой, и правой частях уравнения (1) содержится параметр E – междреннее расстояние. Правая часть выражения (7) не содержит параметра (E), следовательно, нет смысла анализировать это выражение, так как при подстановке в формулу величины (α) сразу же получается искомое значение (E).

После преобразования выражений, полученных в результате подстановки значения (α) из выражений (3), (4), (5) и (6) в выражение (1), получим следующие соотношения:

$$(F_1) E = E \left(2 \lg \left(\frac{E}{d} \right) - 3 \right) q_{ГР} - 3\pi K_{ГР} (H_{ГР} - h_{ДР}), \quad E/M_{ДР} < 3; \quad (8)$$

$$(F_2) E = E^2 q_{ГР} - 8TA(H_{ГР} - h_{ДР}), \quad E/M_{ДР} > 3; \quad (9)$$

$$(F_3) E = E^2 q_{ГР} - 8T(H_{ГР} - h_{ДР}), \quad M_{ДР} = 0; \quad (10)$$

$$(F_4) E = E q_{ГР} (E + 8L_{нд}) - 8T(H_{ГР} - h_{ДР}), \quad M_{ДР} - \text{любое значение.} \quad (11)$$

Формула (5) имеет ограниченное применение, так как представляет собой частный расчетный случай (дренаж совершенный). Обычно это имеет место в однородных грунтах. Поэтому выражение (5) следует анализировать отдельно.

В таблице 2 приведены исходные данные, принятые для расчетного примера. Результаты табулирования функций (8), (9), (11) приведены на рис. 1 и в таблице 3.

Таблица 2. Исходные данные, принятые для расчетного примера

| | |
|---|-------|
| Расчетный напор $H_{ГР}$, м | 0,7 |
| Избыточный напор в полости дрены $h_{ДР}$, м | 0,35 |
| Модуль стока $q_{ГР}$, м/с | 0,118 |
| Коэффициент фильтрации $K_{ГР}$, м/с | 1 |
| Фильтрационное сопротивление A | 3,096 |
| Водопроводимость пласта T , м ² /с | 1,5 |
| Диаметр дрены d , м | 0,072 |
| Расстояние от дрены до водоупора $M_{ДР}$, м | 1,15 |

Оптимальным является значение междренного расстояния, при котором функция обращается в ноль. В таблице 3 этот момент отражен сменой знака функции и цвета заливки. Из рисунка 1 и таблицы 3 видно, что оптимумы имеют место для различных функций при различных междренных расстояниях. Шаг табулирования функций в примере принят равным 1 м. Формула (8) дает оптимальное значение $E=16$ м, формула (9) – $E=10$ м, формула (11) – $E=1$ м.

Условиям применения, определяемым выражениями (8), (9), (11), удовлетворяют две функции: (9) – для условия $E/M_{ДР} > 3$, и (11) – для условия $M_{ДР}$ – любое значение. Поэтому итоговое реше-

ние неоднозначное и будет зависеть от субъективных оценок исследователя. Однако, учитывая, что уравнение (9) имеет более жесткое ограничение в области определения функции, в качестве оптимального можно рекомендовать междренное расстояние $E=10$ м. Подобным образом поступают при исходных данных, отличных от принятых в таблице 2.

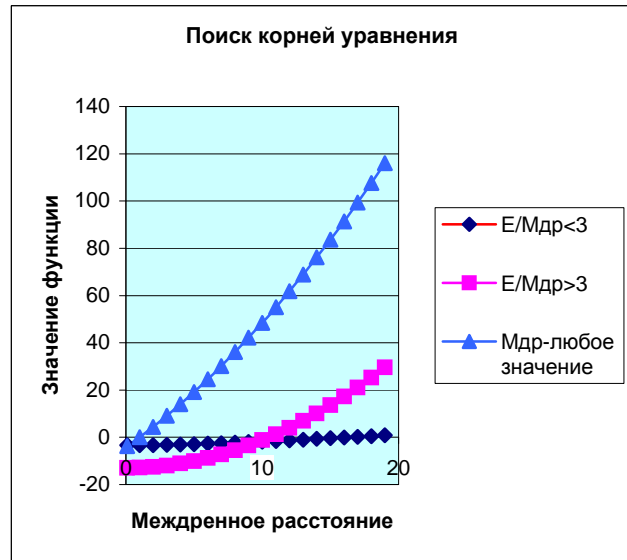


Рис. 1. Графики зависимости функции $F(E)$

В таблице 4 приведены результаты оценки междренных расстояний при различных исходных данных и расчетных схемах.

В таблице 4 приняты следующие обозначения расчетных схем: 1 – установившаяся фильтрация, 2 – неустановившаяся фильтрация, 3 – весенний период, 4 – летне-осенний период, 5 – без затопления поверхности почвы, 6 – при затоплении поверхности почвы, 7 – по норме осушения (по заданному понижению УГВ), 8 – по скорости освобождения пахотного слоя (по допустимому подъему УГВ).

Проведенные расчеты показали, что выражение (8) не обеспечивает получения решения ни по одной расчетной схеме, выражения (9) и (11) дают подобные результаты, так как имеют одну и ту же область определения при $E/M_{ДР} > 3$, причем выражение (11) всегда дает меньшие значения междренных расстояний. При автоматизированном анализе результатов оптимальное значение междренного расстояния будет зависеть от последовательности рассмотрения ограничений на область применения функций. Поэтому, с математической точки зрения, не достаточно ясно, в каких случаях целесообразно применять выражение (11).

Проведенный анализ позволяет оптимизировать алгоритм поиска корректного решения:

- протабулировать все функции на заданном интервале возможного изменения междренного расстояния с заданным шагом;
- определить область смены знака функции или вычислить минимальное значение функций по модулю;
- выбрать вариант, удовлетворяющий требованиям, указанным в таблице 1 «Область применения».

Диапазон табулирования функции можно выбрать от 0,1 м до 200 м. Максимальное значение может быть скорректировано при необходимости в настройках программы. Шаг табулирования достаточно принять равным 0,5 м, так как большей точности при определении междренного расстояния не требуется.

2. Использование при расчетах данных, представленных графически. Как уже упоминалось ранее, многие данные в нормативно-методических источниках и справочниках приведены в виде графиков функций и номограмм. Пользоваться такими данными при автоматизированных расчетах крайне неудобно. При выборе гладкой аппроксимирующей функции трудно получить адекватные результаты. Самый простой и доступный путь – подобрать

Таблица 3. Результаты табулирования функций (8), (9), (11)

| Междреннее расстояние E , м | Расчетная формула и область ее применения | | |
|-------------------------------|---|------------------------|------------------------------------|
| | (8) при $E/M_{ДР} < 3$ | (9) при $E/M_{ДР} > 3$ | (11) при $M_{ДР}$ – любое значение |
| 0,1 | -3,33071 | -13,002 | -3,79007 |
| 1 | -3,383 | -12,8852 | 0,00552 |
| 2 | -3,32525 | -12,5312 | 4,44704 |
| 3 | -3,21386 | -11,9412 | 9,12456 |
| 4 | -3,06765 | -11,1152 | 14,03808 |
| 5 | -2,89554 | -10,0532 | 19,1876 |
| 6 | -2,70279 | -8,7552 | 24,57312 |
| 7 | -2,49288 | -7,2212 | 30,19464 |
| 8 | -2,26828 | -5,4512 | 36,05216 |
| 9 | -2,03084 | -3,4452 | 42,14568 |
| 10 | -1,78198 | -1,2032 | 48,4752 |
| 11 | -1,52285 | 1,2748 | 55,04072 |
| 12 | -1,2544 | 3,9888 | 61,84224 |
| 13 | -0,97739 | 6,9388 | 68,87976 |
| 14 | -0,69249 | 10,1248 | 76,15328 |
| 15 | -0,40027 | 13,5468 | 83,6628 |
| 16 | -0,1012 | 17,2048 | 91,40832 |
| 17 | 0,204271 | 21,0988 | 99,38984 |
| 18 | 0,515777 | 25,2288 | 107,6074 |
| 19 | 0,83298 | 29,5948 | 116,0609 |
| 20 | 1,15558 | 34,1968 | 124,7504 |

Таблица 4. Результаты оценки междренных расстояний при различных расчетных схемах

| N п/п | $M_{ДР}$, м | $H_{ГР}$, м | $h_{ДР}$, м | $q_{ТР}$, м/с | $K_{ГР}$, м/с | A | T , м ² /с | d , м | Расчетная схема | E , м |
|-------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|------|-------------------------|---------|-----------------|---------|
| 1 | 0,15 | 1 | 0,25 | 0,018 | 1 | 2,29 | 0,5 | 0,072 | 1-3-5 | 19,5 |
| 2 | 0 | 0,85 | 0,425 | 0,003 | 1 | - | 0,425 | 0,072 | 1-3-5 | 21,5 |
| 3 | 0 | 1,15 | 0,325 | 0,023 | 1 | - | 0,325 | 0,072 | 2-3-5-7 | 9,5 |
| 4 | 1,15 | 0,7 | 0,35 | 0,118 | 1 | 3,09 | 1,5 | 0,072 | 1-3-5 | 10 |
| 5 | 1,15 | 0,95 | 0,475 | 0,122 | 1 | 3,54 | 1,63 | 0,072 | 1-4-6 | 13 |
| 6 | 2,15 | 0,7 | 0,35 | 0,223 | 1 | 6,35 | 2,5 | 0,072 | 1-3-5 | 14 |
| 7 | 2,15 | 0,74 | 0,37 | 0,22 | 1 | 6,44 | 2,52 | 0,072 | 1-3-6 | 14,5 |
| 8 | 2,15 | 1 | 0,25 | 0,243 | 1 | 5,91 | 2,4 | 0,072 | 2-3-5-7 | 18,5 |
| 9 | 2,15 | 1,1 | 0,425 | 0,231 | 1 | 6,7 | 2,58 | 0,072 | 2-4-6-7 | 20 |
| 10 | 2,15 | 0,5 | 0,25 | 0,001 | 1 | 5,91 | 2,4 | 0,072 | 2-4-5-8 | 168 |

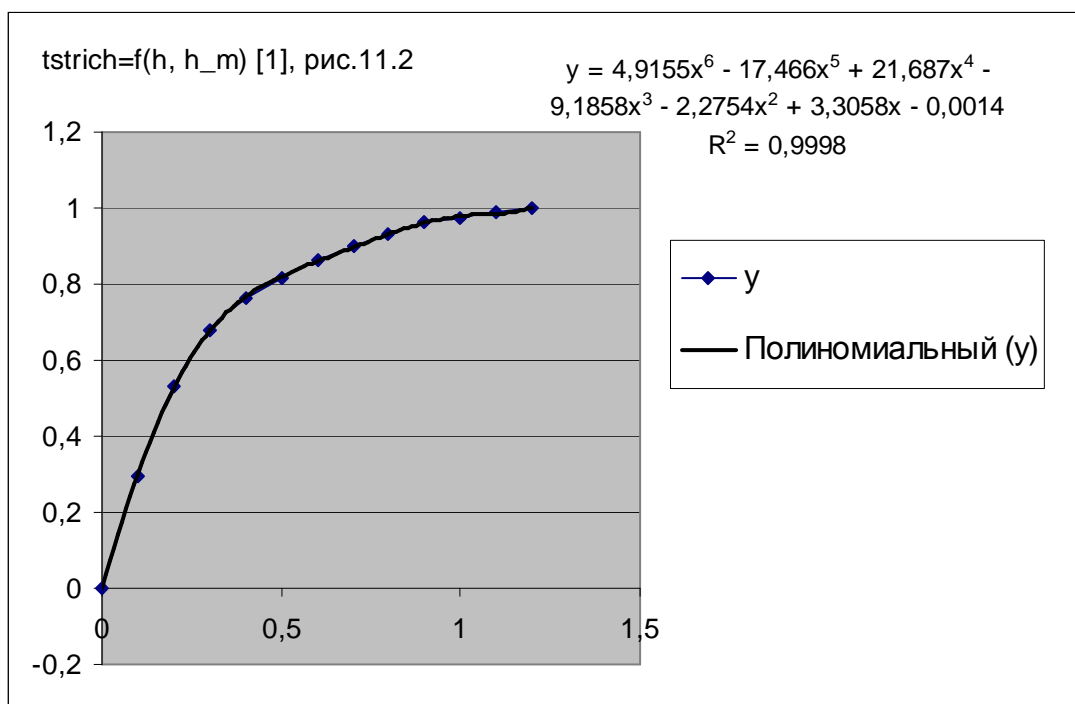


Рис. 2. Пример аппроксимации данных таблицы полиномом

аппроксимирующую функцию, используя встроенные средства электронных таблиц. Для этого оцифровывается рисунок из используемых литературных источников, строится по полученным табличным данным график функции и подбирается аппроксимирующая функция. Качество аппроксимирующей функции оценивается по значению коэффициента детерминированности (R^2). На рис. 2 приведен пример аппроксимации табличных данных полиномом пятой степени. Для функции $t_{strich} = f(h, h_m)$ согласно рис. 2 [1]. Значение (R^2) близко к единице, что свидетельствует о практически полном совпадении аппроксимирующей кривой с исходными данными. Полученная функция может корректно использоваться в разрабатываемой программе по расчету междренних расстояний.

Заключение. В настоящей статье исследованы функции для расчета междренних расстояний, указанные в [7] на предмет наличия корня, и определен общий алгоритм поиска оптимального значения междренного расстояния в зависимости от его отношения к расстоянию от дрены до водоупора. Данный алгоритм использован при доработке программы «Дренаж» с целью приведения ее к современным нормативно-техническим требованиям. Приведен пример использования эмпирических данных, представленных в табличной и графической формах. Установлено, что коэффициент водообмена (3) (таблица 1) не находит применения в области допустимых значений. Коэффициент водообмена (6) дает результаты, подобные коэффициенту водообмена (4), но смещенные в область меньших значений междренных расстояний. Область применения коэффициента водообмена (6) перекрывается областью применения коэффициента водообмена (4), и поэтому использование зависимости (6) на

практике не рационально. Из проведенных исследований очевидно, что область применения коэффициентов водообмена, представленных в [7], требует дополнительного анализа и уточнения.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / Под ред. Б.С. Маслов [и др.]. – Москва: Агропромиздат, 1985. – Т. 3. – 447 с.
2. Мурашко, А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А.И. Мурашко. – Москва, 1982. – 126 с.
3. Руководство по проектированию и изысканиям объектов мелиоративного и водохозяйственного строительства в Белорусской ССР (РПИ-82). – Минск: Белгипроводхоз, 1985. – Часть 2: Осушительные и осушительно-увлажнительные системы. – Книга 1. – Осушительные системы самотечные. – 280 с.
4. Установление расстояний между дренами. Дополнение 1 к Руководству по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения. – Минск: Ураджай, 1981. – 70 с.
5. Проектирование и расчеты регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах. Рекомендации / редкол.: А.И. Ивицкого [и др.]. – Минск: Ураджай, 1979. – 80 с.
6. Программный комплекс для автоматизированного проектирования дренажа / В.Е. Валуев [и др.] // Вестник БПИ. – 2000. – № 2. – С. 49–53.
7. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Введ. 01.07.2006. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. – 106 с.

Материал поступил в редакцию 09.03.10

ВУКОВ В.Л., МЕШИК О.Р. Optimisation of algorithms of definition of distances between drains

In work results of the analysis and practical use of factors of the water exchange used for calculation of distances between drains are resulted. The algorithm of the decision of the settlement equations is optimised.

УДК 621.565.93

Новиков В.М., Меженная О.Б., Нагурный С.Г.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРНЯХ С ОРОСИТЕЛЕМ В ВИДЕ ЧЕТЫРЕХ ЯРУСОВ ВОДОСЛИВОВ С КРУГЛЫМ РЕБРОМ

Введение. Учитывая значительные сложности построения математической модели, позволяющей описать закономерности процесса тепло- и массообмена между фазами, и малый опыт эксплуатации градирен нового типа, предлагается рассмотреть теплообмена в этих градирях с самых общих позиций.

Теплообмен в вентиляторных градирях нового типа. В результате проведенной работы по изучению тепло- и массообмена в градири нового типа, при сохранении формы и размеров ограждающей конструкции и размещения энергетического оборудования, установлена возможность наведения в рабочем пространстве градири четырех куполообразных жидкостных завес (рис. 1) [1, 4, 6].

Уравнение теплового баланса градири с учетом допущений Меркеля можно представить в следующем виде [2]:

$$[G(t_1 - t_2) + G_u t_2] c_{ж} = G_e (h_1 - h_2), \quad (1)$$

где левая часть уравнения представляет собой количество тепла, отданного водой в охладителе, а правая – количество тепла, принятого воздухом,

- G – расход воды на градирию, кг/ч;
- G_u – количество испарившейся воды, кг/ч;
- G_e – расход воздуха, через ороситель, кг/ч;
- t_1, t_2 – температура поступающей и охлажденной воды, °С;
- h_1 – теплосодержание (Дж/кг) наружного воздуха на входе в градирию;
- h_2 – то же на выходе из градири;
- $c_{ж}$ – теплоемкость воды, принимаемая равной 4,19 кДж/кг·К.

Материальный баланс (баланс влаги) определяется равенством между количеством испарившейся жидкости и приращением влагосодержания воздуха [3, 5].

$$G_u = G_e (x_1 - x_2). \quad (2)$$

При тепловом расчете градири необходимо будет определить параметры t_2, x_2, h_2 , поэтому необходимо составить уравнения, описывающие процесс теплообмена между водой и воздухом в оросителе градири.

Для элементарного объема оросителя dV с единичной площадью и высотой dh имеем

Новиков Владимир Макарович, к.т.н., профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Нагурный Сергей Григорьевич, ассистент кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Меженная Ольга Борисовна, к.т.н., доцент кафедры экономики Полесского государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.