

## ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ РЕШЕТЧАТЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕНИ НАД БРЫЗГАЛЬНЫМИ БАССЕЙНАМИ

© 2018 И.Н. Веселова\*, Г.В. Домрина\*\*, О.Л. Кольченко\*, Н.С. Бузало\*\*\*,  
В.Н Буров \*\*.

\*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Россия

\*\*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова  
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Ростовская обл., Россия

\*\*\*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), г. Новочеркасск,  
Ростовская обл., Россия

В работе представлены результаты гидравлических исследований влияния коэффициента проницаемости решетчатых сопротивлений на кинематическую структуру потока, трансформированного этим сопротивлением, предназначенных для снижения потерь распыленной воды над брызгальными бассейнами.

*Ключевые слова:* брызгальные бассейны, гидравлические сопротивления, кинематическая структура потока, местная скорость.

Поступила в редакцию: 11.07.2018

При эксплуатации брызгальных бассейнов возникают большие непроизводительные потери воды, связанные со сносом ветром мелких капель. Эффективным способом решения этой проблемы может быть устройство по всему периметру бассейнов лесонасаждений. Защитный эффект лесополосы (зона со скоростями  $V \leq 0,4V_0$ ) оценивается в  $5H$  – с наветренной и  $20H$  с подветренной стороны. То есть при высоте лесонасаждений  $H=10\div 12$  м защитная зона составляет  $250\div 300$  м. Но устройство лесополос противоречит требованиям безопасности АЭС, а также приведет к загрязнению бассейнов опавшей листвой.

В связи с этим, для снижения потерь предлагается формировать над частью брызгального бассейна зону пониженных скоростей воздушного потока с помощью аэродинамических сопротивлений.

Искусственная деформация поля скоростей широко применяется для выравнивания потока по сечению различных каналов в аэродинамических трубах и технологических аппаратах. Для этого в поток вводят сопротивления, распределенные по сечению – различные системы решеток, сеток и т.д. [1]. Также проводились исследования по созданию эпюр заданной формы, разработаны методы расчета деформации потока с помощью сеток переменного сопротивления с заданным распределением по сечению канала [2].

Для формирования зоны пониженных скоростей в данной работе предполагается использовать плоские частично проницаемые решетки, состоящие из продольных рабочих элементов, установленные вдоль периметра брызгального бассейна. Такие сопротивления с одной стороны затормозят скорость движения воздушных масс непосредственно в зоне охлаждения воды, с другой стороны обеспечат приток воздуха, необходимый для эффективного теплообмена.

При исследовании влияния сопротивлений на структуру воздушного потока был

применен метод гидроаэродинамического моделирования, основанного на подобии режимов протекания потоков жидкости и газа в подобных геометрических условиях [3]. Анализ литературы и проведенные предварительные исследования показали, что одним из факторов, определяющих степень трансформации эпюры, является коэффициент проницаемости решетки [4].

Коэффициент проницаемости решетки  $F_o/F_p$  – параметр, характеризующий степень перекрытия потока по площади решетки, где  $F_p$  – площадь решетки,  $F_o$  – суммарная площадь отверстий.

В гидравлических расчетах величина коэффициента проницаемости решетки используется в качестве геометрической характеристики решетки при определении величины коэффициента гидравлического сопротивления, определяющего потери напора потока при протекании через решетку, например, в формуле (1) И.Е. Идельчика [5]

$$\zeta = \left( 0,707 \sqrt{1 - \frac{F_o}{F_1}} + 1 - \frac{F_o}{F_1} \right)^2 \left( \frac{F_1}{F_o} \right)^2, \quad (1)$$

где  $F_1$  – площадь живого сечения потока.

В работах П.Р. Андропова [6], В.А. Бучина [7] при построении аналитических решений задач об обтекании жидкостью проницаемой пластины в качестве параметров, определяющих геометрические характеристики проницаемой пластины, использовались коэффициент аэродинамического сопротивления  $c_x$  и коэффициент проницаемости пластин.

Согласно рекомендациям Э.И. Реттер [8] при определении коэффициента аэродинамического сопротивления  $c_x$  необходимо учитывать форму обтекаемого тела, его ориентацию относительно набегающего потока, геометрические размеры тела. Для решетчатых конструкций при фронтальном набегающем потоке основными геометрическими параметрами являются коэффициенты аэродинамического сопротивления составляющих элементов  $c_{xi}$ , их относительное удлинение – отношение ширины элемента к его длине, коэффициент проницаемости конструкции [9].

В работе [10] для создания в верхней части открытого потока области с пониженными скоростями с целью снижения транспортирующей способности в эту часть потока вводились решетчатые сопротивления, составленные из продольных элементов. Было показано, что при частичном перекрытии потока коэффициент гидравлического сопротивления  $\zeta$  не может однозначно определять геометрические характеристики решетки и ее влияние на гидравлическую структуру потока, поэтому в качестве управляющего фактора использовался параметр аналогичный коэффициенту проницаемости – скважность решетки  $a/(a+b)$ , где  $a$  – расстояние между элементами,  $b$  – ширина элемента. Приведены результаты лабораторных исследований влияния скважности решетки на величину деформации потока.

Для изучения влияния коэффициента проницаемости решетки, введенной в нижнюю часть потока, на его кинематическую структуру была проведена серия опытов.

Опыты проводились в стеклянном гидравлическом лотке шириной 0,115 м и длиной 8 м. На дно лотка вертикально устанавливалась решетка, составленная из продольных элементов. Решетки высотой 10 см были изготовлены из жесткого пластика толщиной 1 см. Местные скорости измерялись с помощью автоматизированной системы, включающей частотомер, преобразователь импульсов и микровертушку с ротором диаметром 0,008 м.

Коэффициент проницаемости  $F_o/F_p$  изменялся от 0,07 до 0,49. В таблице 1

представлены геометрические характеристики использованных решеток.

На рисунке 1 представлены эпюры осредненных скоростей по длине потока за решеткой при различной скважности. Были измерены скорости в свободном потоке и в потоке с решеткой на различных расстояниях за ней. Скорости измерялись по оси потока.

Таблица 1 – Геометрические характеристики использованных решеток [Geometric characteristics of the used lattices]

$F_o/F_p$	0,07	0,014	0,21	0,28	0,35	0,49
Ширина отверстия, мм	2	4	6	8	10	14
Ширина элемента, мм	22	20	18	16	14	10

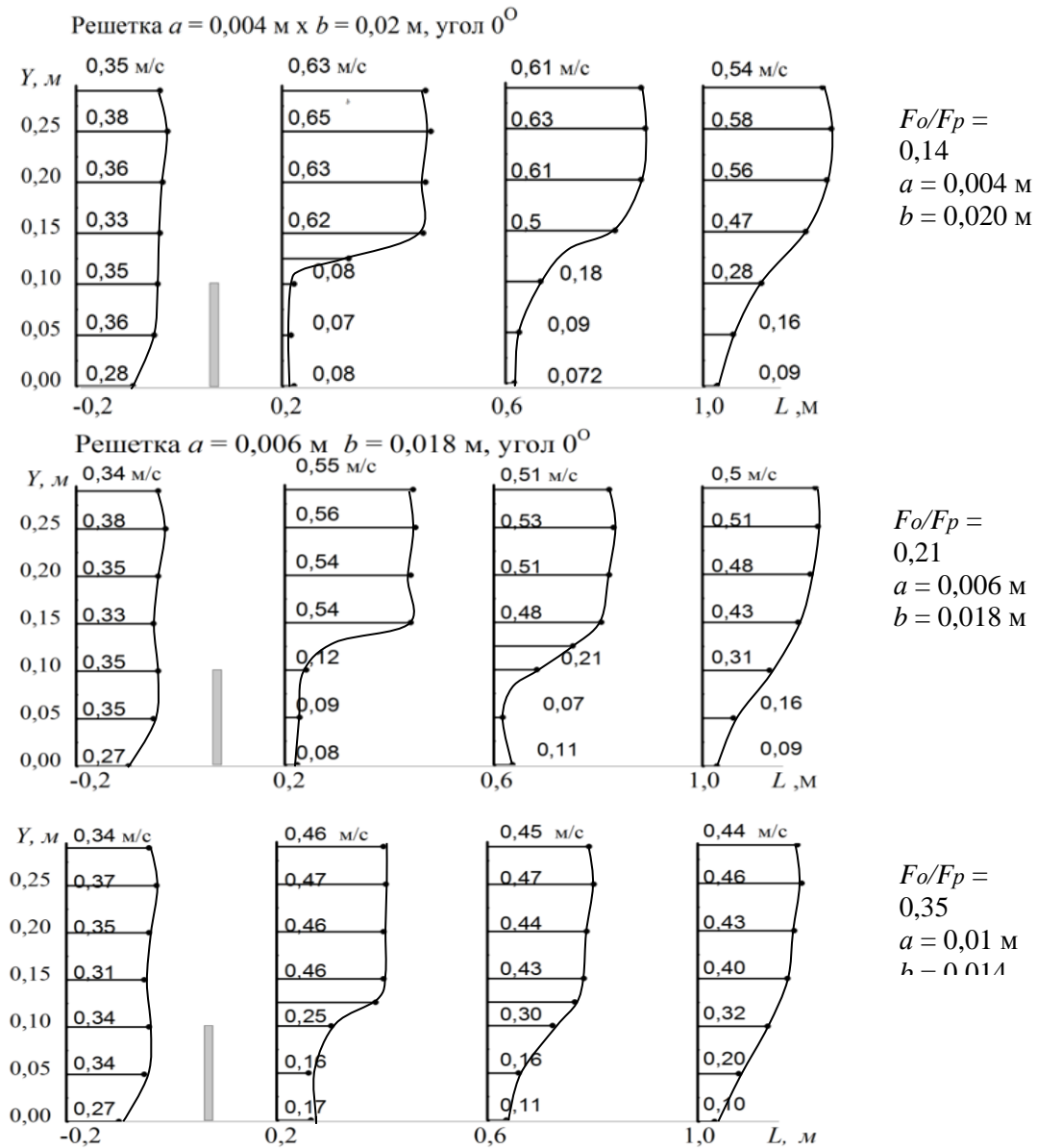


Рисунок 1 – Эпюры местных осредненных скоростей по длине потока [Diagram of local averaged speeds along the length of the stream]

Как видно из рисунка, за решеткой происходит значительная деформация скоростной структуры потока. В верхней части потока над решеткой скорости возрастают, в нижней уменьшаются в 2-3 раза, а при малой скважности и в 5 раз.

Это происходит как за счет потерь энергии потока на преодоление сопротивления и столкновение струй за решеткой, так и за счет перераспределения масс жидкости по глубине потока из нижней части в верхнюю. Это перераспределение обусловлено ограниченной пропускной способностью отверстий решетки.

Скорости уменьшились по всей высоте решетки, даже на уровне верхней кромки произошло снижение скорости в 1,4 - 4,5 раз, в зависимости от скважности. Это говорит о том, что тормозящее действие распространяется и на слои жидкости, располагающиеся выше кромки решетки.

Численно степень деформации скоростной эпюры оценивалась с помощью параметра  $v_p/v_c$ , характеризующего величину снижения скоростей в нижней части потока, где  $v_p$  и  $v_c$  – скорости, осредненные по высоте решетки за ней и в свободном потоке, и коэффициента неравномерности эпюры  $k_H$ , который аналогичен коррективу кинетической энергии [5], но применен для плоской задачи (2):

$$k_H = 1 + \int_h (u - v)^2 dh / (v^2 H), \quad (2)$$

где  $u$  – местная осредненная скорость,  
 $v$  – средняя скорость потока,  
 $H$  – глубина потока.

Результаты представлены на рисунке 2.

Как и следовало ожидать, максимальная неравномерность эпюры  $k_H = 2$  (в свободном спокойном потоке величина  $k_H$  обычно составляет около 1,1) наблюдается при минимальном коэффициенте проницаемости  $F_o/F_p = 0,07$ .

Снижение скоростей за решеткой сохраняется на значительном расстоянии от решетки. Как видно из рисунка, на расстоянии 1 м от решетки, что составляет  $10 h_p$ , скорости снижены в 1,5-2,7 раза. Максимальное деформирующее влияние коэффициента проницаемости наблюдается непосредственно за решеткой, от  $v_p/v_c = 0,19$  до 0,7, и уменьшается по мере удаления от решетки и восстановления естественной эпюры. Причем, чем выше градиент скоростей на уровне верхней кромки решетки, тем быстрее происходит восстановление скоростной эпюры. На расстоянии  $15 h_p$  это влияние практически исчезает, при том, что снижение скоростей сохраняется,  $v_p/v_c \approx 0,7-0,92$ .

Из представленных данных видно, что при уменьшении суммарной площади отверстий до 7 % от площади решетки, за ней происходит 5-ти кратное снижение местных скоростей по всей ее высоте, и на расстоянии  $15 h$  от решетки в нижней части потока сохраняется снижение скоростей в 1,5 раза. Полное восстановление формы эпюры происходит на расстоянии 25-30  $h$ .

Также следует отметить, что уменьшение коэффициента проницаемости от  $F_o/F_p = 0,28$  до 0,7 не оказывает значительного влияния на скорости за решеткой, параметр  $v_p/v_c$  уменьшился от 0,28 до 0,1, и по мере удаления от решетки эта картина сохраняется.

Анализ эпюр показывает, что восстановление скоростной структуры по длине потока происходит по высоте неравномерно, можно даже сказать послойно. На рисунке 3 представлено изменение местных скоростей по длине потока на различных глубинах.

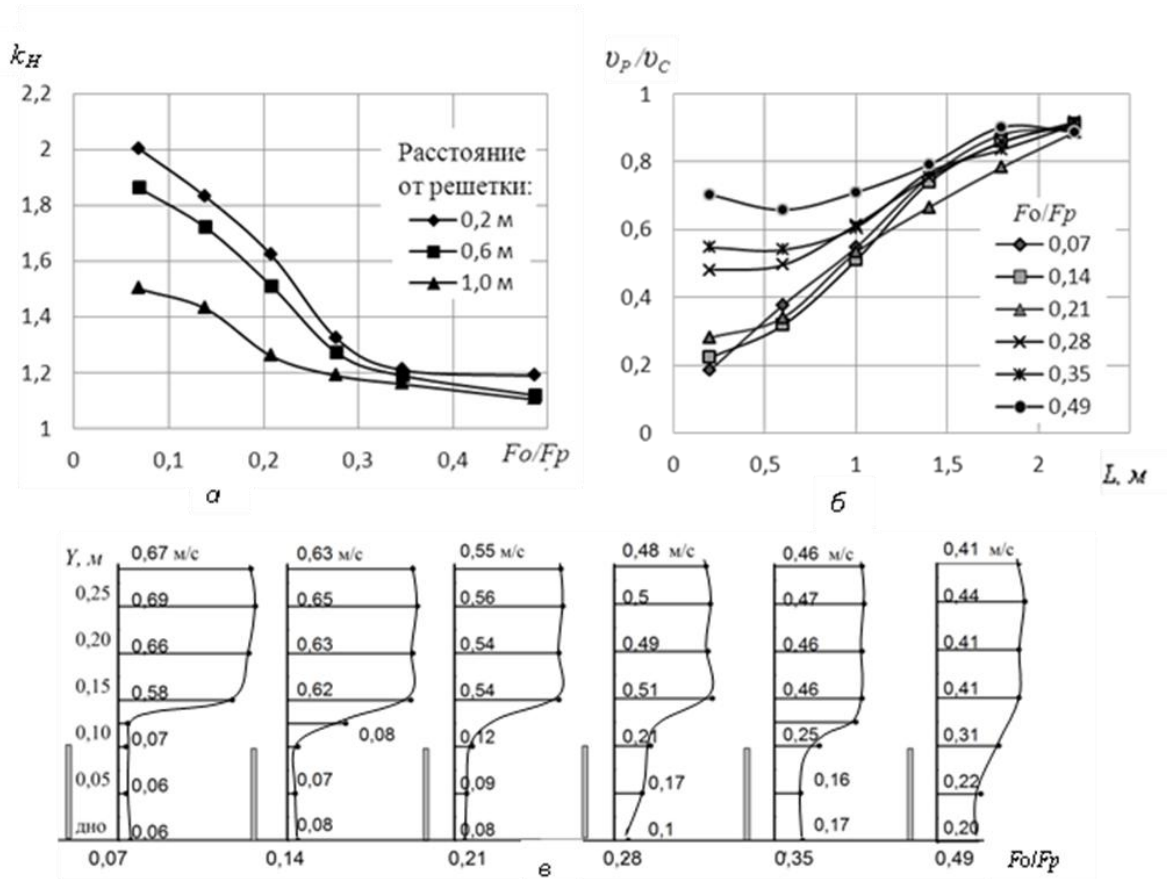


Рисунок 2 – а) – графики зависимости коэффициента неравномерности эпюры  $k_H$  от коэффициента проницаемости решетки  $Fo/Fp$  на различных расстояниях от решетки;  
 б) – графики зависимостей параметра  $v_p/v_c$  от коэффициента проницаемости решетки;  
 в) – вертикальные эпюры осредненных скоростей за решеткой при различном коэффициенте проницаемости решетки [a) graphs of the unevenness coefficient dependence of the  $k_H$  diagram from the permeability coefficient of the  $Fo / Fp$  lattice at various distances from the lattice;  
 б) – diagrams of dependences of the parameter  $v_p / v_c$  on the permeability coefficient;  
 в) – vertical diagrams of averaged velocity behind the lattice with different lattice permeability coefficient]

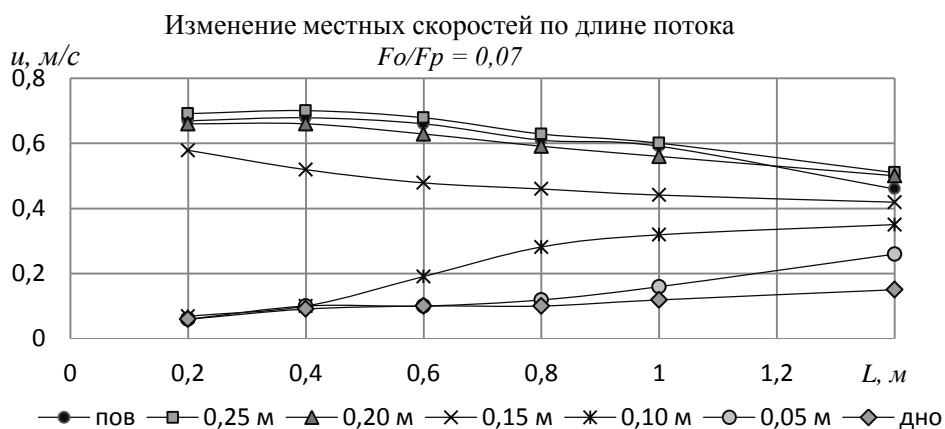


Рисунок 3 – Изменение местных скоростей за решеткой по длине потока [Variation of local velocities behind the lattice along the length of the stream]

Как видно из рисунка, чем ниже располагаются слои, тем медленнее происходит восстановление скоростей. Это происходит за счет передачи импульсов от более

быстрых слоев потока к более медленным.

Зона перехода от пониженных скоростей к повышенным во всех опытах располагается выше верхней кромки решетки. Из этого следует, что изменяя высоту решетки, можно создавать зону пониженных скоростей необходимой высоты.

Таким образом, наличие зоны пониженных скоростей за решеткой позволяет создать благоприятные условия для оседания распыленных в воздухе капель воды при повышенной скорости и резких порывах ветра.

Выводы:

1) Коэффициент проницаемости решетки является фактором, определяющим деформирующие свойства решеток.

2) Решетки, составленные из вертикальных элементов, позволяют формировать скоростную эпюру с равномерным распределением скоростей по высоте решетки в нижней части потока.

3) Изменяя коэффициент проницаемости решеток можно добиваться 4-5 кратного снижения скоростей в нижней части потока.

4) Влияние коэффициента проницаемости наиболее выражено на расстоянии  $10 h_p$  от решетки. Далее по мере удаления от решетки влияние коэффициента проницаемости уменьшается, но снижение скоростей на 20-30 % сохраняется. Полное восстановление эпюры происходит на расстоянии 25-30  $h_p$  от решетки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идельчик, И.Е.* Аэрогидродинамика технологических аппаратов [Текст] / И.Е. Идельчик. – Москва : Машиностроение, 1983. – 349 с.
2. *Риман, И.С.* Простой приближенный метод расчета изменения профиля скоростей в потоке жидкости под действием сопротивления [Текст] // И.С. Риман – Промышленная аэродинамика. – 1962.– Вып. 24. – С. 158-167.
3. *Бекетов, В.Г.* Управление аэродинамической тенью над брызгальными бассейнами АЭС. Гидродинамическое моделирование [Текст] / В.Г. Бекетов, О.Л. Кольченко, Г.В. Домрина, Ю.М. Матевосян. // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №3. – С. 78-84.
4. *Идельчик, И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик – Москва : Книга по Требованию, 2012. – 466 с.
5. *Киселев, П.Г.* Справочник по гидравлическим расчетам: учеб. пособие для вузов. [Текст] / под ред. П.Г. Киселева. – Москва : Эколит, 2011. – 312 с.
6. *Андронов, П.Р.* О струйном обтекании проницаемой пластины в плоскопараллельном канале [Текст] / П. Р. Андронов, С. В. Гувернюк // Прикладная математика и механика (ПММ). – 2015. – Т.79, вып.3. – С. 391-404.
7. *Бучин, В.А.* Решение задачи об истечении жидкости из полупространства через частично проницаемую стенку [Текст] / В.А. Бучин, С.В. Гувернюк, С.А. Фещенко // Изв. АН СССР. МЖГ. – 1985. – № 5. – С. 174-176.
8. *Реттер, Э.И.* Аэродинамическая характеристика жилых зданий [Текст] / Э.И. Реттер, Ф.Л. Серебровский // Журнал «АВОК». – 2008. – №5. – С. 81-87.
9. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия [Электронный ресурс] / <http://docs.cntd.ru/document/1200084848>
10. *Домрина, Г.В.* Наносорегулирующее устройство бесплотинных водозаборов малой производительности из горных рек с высокой концентрацией взвешенных наносов: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Г.В. Домрина. – Новочеркасск, 2000. – 24 с.

#### REFERENCES

- [1] Idelchik I. E. Aerogidrodinamika tekhnologicheskikh apparatov [Aerohydrodynamics of Technological Devices]. Moskva. Mashinostroyeniye [Moscow.Machine Building]. 1983. 349 p. (in Russian).
- [2] Riemann I.S. Prostoy priblizhenny metod rascheta izmeneniya profilya skorostey v potoke zhidkosti pod deystviyem soprotivleniya [A Simple Approximate Method for Calculating the

- Change in the Velocity Profile in Liquid Flow under Resistance]. Promyshlennaya aerodinamika [Industrial Aerodynamics]. 1962. Vypusk [1962 Issue] 24. P. 158-167 (in Russian).
- [3] Beketov V.G. and others. Upravleniye aerodinamicheskoy ten'yu nad bryzgal'nymi basseynami AES. [Control of Aerodynamic Shadow above the NPP Spray Ponds. Hydrodynamic Modeling]. Global'naya yadernaya bezopasnost [Global Nuclear Safety ], 2014. №3. P. 78-84 (in Russian).
- [4] Idelchik, I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Reference Book on Hydraulic Resistance] Moskva. Kniga po Trebovaniyu [Moscow.Book on Demand]. 2012. 466 p. (in Russian).
- [5] Kiselev P.G. and others. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. Uchebnoye posobiye dlya vuzov [Reference Book on Hydraulic Calculations. Textbook for High Schools]. Moskva [Moscow]: Ekolit, 2011. 312 p. (in Russian).
- [6] Andronov P.R. O struynom obtekanii pronitsayemoy plastiny v ploskoparallel'nom kanale [Jet Flow around Permeable Plate in Plane-Parallel Channel]. Prikladnaya matematika i mekhanika (PMM) [Applied Mathematics and Mechanics]. 2015. T. 79. Vypusk [release] 3. P. 391-404 (in Russian).
- [7] Buchin V.A., Guvernyuk S.V., Feshchenko S.A. Resheniye zadachi ob istechenii zhidkosti iz poluprostranstva cherez chastichno pronitsayemuyu stenku [Solution of the Problem of Fluid Flow from Half-Space through Partially Permeable Wall]. Izv. AN SSSR. MZHG. 1985. № 5. P. 174-176 (in Russian).
- [8] Retter E.I. Aerodinamicheskaya kharakteristika zhilykh zdaniy [Aerodynamic of Residential Buildings], Zhurnal «AVOK». 2008 [“AVOK” journal]. №5. P. 81-87 (in Russian).
- [9] SP 20.13330.2011 Nagruzki i vozdeystviya [Loads and Impacts] (in Russian).
- [10] Domrina G.V. Nanosereguliruyushcheye ustroystvo besplotinnykh vodozaborov maloy proizvoditel'nosti iz gornyykh rek s vysokoy kontsentratsiyey vzveshennykh nanosov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Nano-Regulation Device of Low-Density Water Intakes with Low Productivity from Mountain Rivers with a High Concentration of Suspended Sediments: Abstract of PhD Thesis in Engineering]. Novochoerkassk [Novochoerkassk]. 2000. 24 p. (in Russian).

## **Influence of Lattice Resistance Transparency Coefficient on Aerodynamic Shadow Formation over Spray Ponds**

**I.N. Veselova\*<sup>1</sup>, G.V. Domrina\*\*<sup>2</sup>, O.L. Kolchenko\*<sup>3</sup>, N.S. Buzalo\*\*\*<sup>4</sup>, V.N. Burov\*\*<sup>5</sup>**

\* *Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»  
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

<sup>1</sup> *ORCID:0000-0001-5867-5690*

*WoS Researcher ID: M-1893-2018*

*e-mail: INVeselova@mail.ru*

<sup>3</sup> *ORCID: 0000-0003-3356-06*

*WoS Researcher ID:L-8565-2018*

*e-mail: kolol@mail.ru*

\*\* *Novochoerkassk reclamation engineering Institute University of Agriculture Don State «NIMI»  
Pushkinskaya st., 111, Novochoerkassk, Rostov region, Russia 346428*

<sup>2</sup> *ORCID: 0000-0003-2022-7264*

*WoS Researcher ID: L-9605-2018*

*e-mail: domrina@yandex.ru*

<sup>5</sup> *ORCID: 0000-0002-4928-4329*

*WoS Researcher ID: L-9557-2018*

*e-mail: BVA1960@yandex.ru*

\*\*\* *Platov South-Russian State Polytechnic University «NPI»  
Prosveshcheniya St., 132, Novochoerkassk, Rostov region, Russia 346428*

<sup>4</sup> *ORCID: 0000-0001-9151-395X*

*WoS Researcher ID:R-9360-2016*

*e-mail: bouzalo@mail.ru*

**Abstract** – The paper presents the results of hydraulic studies of the lattice resistance transparency coefficient on the kinematic structure of the flow transformed by this resistance, designed to reduce sprayed water losses over the spray ponds.

**Keywords:** spray ponds, hydraulic resistance, kinematic flow structure, local speed.