

5. V.V. Shabanov. 2002. The necessity for development of land reclamation. In: Food and agricultural engineering resources, in: Knowledge for sustainable development. An insight into the Encyclopedia of life support systems (EOLSS), vol. III, Chapter 14, UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK. (virtual dynamic library <http://www.eolss.net>), 29 pp.

УДК 502/504:627.8:69.05

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ КОМПОЗИТОВ В КУЛЬВЕРТАХ**

*Черных Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

*Бурлаченко Алёна Владимировна, кандидат технических наук,  
доцент ФГБОУ ВО МАДИ*

**Аннотация.** На основе анализа отечественных и зарубежных экспериментальных данных и результатов лабораторных исследований моделей металлических кульвертов с нормальным и спиральным гофром при разном конструктивном исполнении их придонной части получены результаты по оценке коэффициента шероховатости при свободном прохождении рыбы, которые могут быть использованы для расчёта и оптимизации конструкции водопропускных сооружений в природоохранном строительстве.

**Ключевые слова:** Коэффициент шероховатости, гофрированные трубы из металла, гравийное покрытие, зарыблённый водоток.

Для обеспечения эксплуатационной надёжности водопроводящих сооружений и экологической безопасности при прохождении рыб через дорожный кульверт необходимо оценить эффективность современных методов расчета шероховатости комплекса «гофрированная труба - абразивное покрытие донной части» и композита «гофрированная поверхность трубы - придонная область из каменной отсыпки», применительно к водопропускной трубе из металлических гофрированных структур (МГС), которая пока является в России практически не исследованной и нормативно не утверждённой. После аналитического обзора накопленного опыта эксплуатации, проектирования и расчётов МГС с нормальным (МГТ) и спиральным (СМГТ) гофром в России и за рубежом, были выполнены совместные лабораторные исследования на кафедре гидравлики МАДИ и гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА моделей МГТ и СМГТ соответственно диаметром в натуре 1 м и 1,2 м с линейным масштабным коэффициентом 5.

Результаты лабораторных экспериментальных исследований показали, что значение коэффициента шероховатости  $n$  при безнапорном и напорном

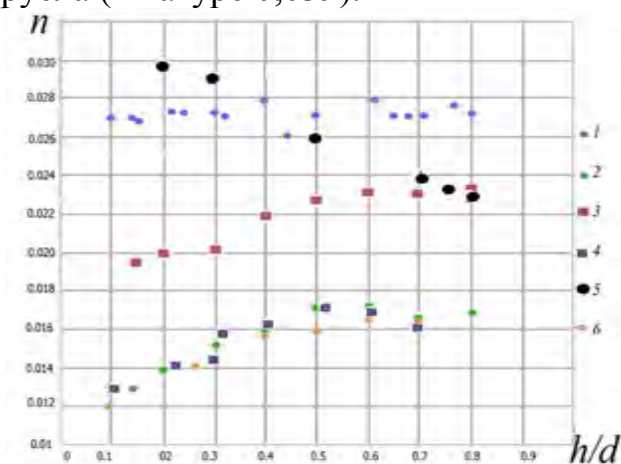
движении для МГТ и СМГТ может значительно отличаться от рекомендованных в действующих в России ОМД [1]. Установка гладкого лотка по дну гофрированных труб, обязательное устройство которого регламентировано ОМД для недопущения абразивного разрушения МГТ и СМГТ, с одной стороны, обеспечивает снижение гидравлического сопротивления, т.е. уменьшает значение коэффициента шероховатости  $n$ , а с другой – уменьшает размер проходного сечения и площадь сечения трубы. С изменением наполнения гофрированной трубы меняется соотношение между размерами гладкого лотка и гофрированного листа в живом сечении, т.е. между смоченными периметрами гладкой и гофрированной частей трубы, поэтому характер изменения коэффициента шероховатости  $n$  зависит от размеров гладкого лотка и наполнения трубы  $h/d$ . Недостатком круглых водопропускных труб на нерестовом водотоке является то, что они, стесняя поток, заставляют его проходить через меньшую площадь поперечного сечения. Это, а также устранение неровностей, характерных естественному руслу водотока, приводит к потере среды обитания, естественного субстрата и зон спокойного течения, где рыба могла раньше отдыхать. При укрытии лотковой части природным материалом, соответствующему зарыблённому водотоку, до уровня естественного русла ручья увеличивает шероховатость водопропускной трубы.

Прогнозирование значений  $n$  для круглых труб диаметром  $d$  из МГС с гравийным слоем на дне является довольно сложной задачей, о чем свидетельствуют многочисленные существующие подходы и исследования (Strickler, 1923; Meyer-Peter и Muller, 1948; Limerinos, 1970; Bray, 1979; Bruschin, 1985; Abt et al., 1987; Julien, 2002 и др.). Эти методы были разработаны в первую очередь для использования в реках с гравийным дном и получили широко варьирующиеся результаты:  $0,027 < n < 0,031$ . На практике натурные значения  $n$  в мелиоративных трубчатых переходах составляют  $0,035 \dots 0,041$  [2]. Если учесть, что при 25%-м размере гладкого лотка, достаточно подробно исследованного в МАДИ ранее [3], и наполнении менее  $0,6d$  коэффициент композиционной шероховатости должен иметь ещё большее значение, тогда при 10%-м размере гравийного ложа и наполнении примерно  $0,15d$ , соответствующем наполнению лишь зоны гладкого лотка или гравийной наброски, значение  $n$  ожидаемо должно стремиться к значению коэффициента шероховатости  $n$  для гравийного открытого русла естественного водотока.

Ранее установлено, что для МГТ при отсутствии дополнительных устройств в транзитной части трубы значение  $n$  не зависит от наполнения трубы (изменение наполнения, а соответственно и режима происходит при безнапорном режиме в диапазоне изменения наполнения  $h/d = 0,12 \dots 0,52$ , а при полунапорном -  $h/d = 0,52 \dots 0,82$ ) величина равна для модели  $0,0268$ , а для натуры  $n_n = 0,035$ . Для СМГТ с защитным лотком на дне  $n_n = 0,03$  [2, 3]. При безнапорном режиме работы МГТ с гладким лотком по дну с уклонами  $i_T = 0,01 \dots 0,1$  и расчетном заполнении на входе  $h_{вх}/d_p = 0,75$  -  $n_n = 0,019$ . При работе

МГТ с гладким лотком по дну в безнапорном режиме с заполнениями на входе  $h_{\text{вх}}/d_p = 0,9 \dots 1,0$  коэффициент шероховатости в диапазоне изменения  $i_T = 0,01 \dots 0,096$  равен  $n_H = 0,021$ , а для СГМТ с  $d = 1,2$  м  $n_H = 0,0207$  (при  $i_T = 0,03$ ) и  $n_H = 0,0226$  (при  $i_T = 0,05$ ). Результаты по увеличению коэффициента шероховатости с увеличением наполнения трубы из МГС с гладким лотком по дну качественно совпадают с имеющимися зарубежными экспериментальными данными.

При добавлении гравийного слоя в экспериментах наблюдалось снижение пропускной способности МГТ. При 10%-м занятии площади МГТ каменной отсыпкой пропускная способность трубы уменьшается на 10 - 12% не зависимо от её уклона. Значение коэффициента  $n$  в трубах с однородной равномерно уложенной гравийной отсыпкой в зависимости от изменения  $h$  может изменяться на 30% (рис.). во время экспериментов установлено, что из-за композитного составного сечения в трубе значение  $n$  варьируется на модели от 0,0230 до 0,0256, а при наполнении от 0,4  $d$  до 0,75 $d$  достигает 0,029 для гравийного русла (в натуре 0,039).



**Рисунок – График зависимости  $n = f(h/d)$  в кульвертах из гофрированного металла с композитным покрытием:**

1, 3 – соответственно МГТ и СМГТ без лотка по дну; 2, 4 и 6 – МГТ и СМГТ с гладким лотком по дну; 5 – МГТ с гравийной отсыпкой по дну

Высокие технико-экономические показатели гофрированных труб и благоприятные условия их гидравлической работы дают основание рекомендовать их к применению во всех случаях, когда это возможно вместо гладких: при уклонах  $i > 0,01$  в дорожных переходах, при любых уклонах в мелиоративных и природоохранных трубчатых сооружениях на нерестовых водотоках. Установлено, что в зависимости от уклона и режима протекания воды в заглубленной трубе, дно которой покрыто гравием не менее чем на 10%, значение коэффициента шероховатости  $n$  получается примерно в 1,1...1,4 раза больше значений  $n$  для гофрированных переходов при отсутствии обязательного лотка на дне. Это даёт возможность применять уточнённые значения  $n$  на предварительных стадиях проектирования и при расчётах в существующих программных системах.

### **Библиографический список**

1. Алтунин, В.И. Повышение эффективности гидравлической работы дорожных водопропускных труб / В.И. Алтунин, О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко // Природообустройство. – №2. – 2016. – С. 42-46.
2. Алтунин, В.И. Гидравлические сопротивления водопропускных труб из гофрированного металла с повышенной абразивной устойчивостью / В.И. Алтунин, О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко // Гидротехническое строительство. – №6. – 2016. – С. 23-29.
3. Алтунин, В.И. К вопросу выбора расчётного гидравлического режима при проектировании металлических гофрированных водопропускных труб / В.И. Алтунин, О.Н. Черных, А.В. Бурлаченко // Природообустройство. – №2. – 2014. – С. 51-57.

УДК 620.9.001.5/043.3

### **КОНСТРУКТИВНОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОВМЕЩЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В АПК**

*Черных Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

*Волианик Валерий Валентинович, доктор технических наук,  
профессор ФГБОУ ВО НИУ МГСУ*

*Бурлаченко Алёна Владимировна, кандидат технических наук,  
доцент ФГБОУ ВО МАДИ*

*Аннотация.* Предложено конструктивное и технологическое совмещение речных гидроэлектростанций с солнечными энергетическими установками с целью сокращения стоимости сооружений, совмещения функций строительного и технологического оборудования, сокращения сроков строительства, отказа от отчуждения из хозяйственного оборота земельных площадей.

*Ключевые слова:* Возобновляющиеся источники энергии, комплексное использование, плотина, сокращение отчуждения земельных площадей.

Развитие сельскохозяйственного производства во многих странах мира предусматривает использование значительного объема воды, запасы которой обеспечиваются путем создания на реках водохранилищ, образуемых за счет строительства плотин. Сооружение плотины достаточно часто сопровождается решением использовать создаваемый напор для строительства гидроэлектростанций (примерно 1/3). Верховой откос плотины всегда покрыт водой водохранилища, а низовой откос остается сухим. Такое состояние низового откоса предоставляет возможность его использовать по какому-либо хозяйственному назначению; в частности, имея в виду