

## Литература

1. Моргунов, Г. М. Лопастные машины для жидкостей и газов с повышенной плотностью полезно используемой энергии / Г. М. Моргунов // Вестник МЭИ. – 2007. – № 4. – С. 5–13.

2. Рябцев, Е. А. Создание и исследование полирядного конденсатного насоса первого подъёма с мультипланными рабочими органами: дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. : 05.04.13 / Е. А. Рябцев // ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет МЭИ». – Москва, 2018. – 202 с.

3. Комолов, М. Б. К созданию полирядного насоса для энергосберегающих погружных нефтедобывающих установок / М. Б. Комолов, Г. М. Моргунов // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 3. – С. 102–110.

4. Комолов, М. Б. Компьютерное обоснование параметров полирядного насоса для нефтедобывающих УЭЛН с высокой энергоэффективностью / М. Б. Комолов // Машиностроение и инженерное образование. – 2017. – № 3. – С. 2–7.

5. Комолов, М. Б. Апробация полирядных рабочих органов тройной схемы параллельного течения для корабельных лопастных насосов. Метод проектирования. / М. Б. Комолов, В. Ю. Ляпин // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – № 1. – С. 10–15.

6. Aleksander, V. Panferova Effects of nature-inspired methods on the efficiency of the flow part elements of hydraulic machines / V. Aleksander [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - ISSN 1819-6608. – 2023. – Vol. 18., № 23. – Asian Research Publishing Network (ARPN). – P. 2601–2612.

УДК 628.357

### **Анализ применимости зависимостей по расчету занесения поверхностных водохранилищных водозаборов в результате заилиenia водоемов Беларуси**

Левкевич В. Е.<sup>1</sup>, Кирвель И. И.<sup>2</sup>, Юшкевич Н. В.<sup>1</sup>, Бохан Г. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Поморский университет

Слупск, Польша

*В статье изложены основы оценки влияния перемещаемых вдольбереговых наносов на эксплуатацию поверхностных водохранилищных водозаборов*

Поверхностные водохранилищные водозаборы в Беларуси распространены достаточно широко (рис. 1).

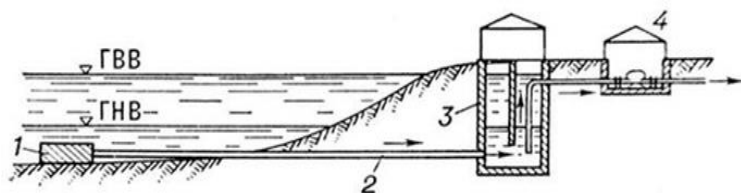


Рис. 1. Поверхностный водозабор раздельного типа:  
 1 – оголовок; 2 – самотечные линии; 3 – береговой колодец; 4 – насосная станция; ГВВ – горизонт (уровень) высоких вод; ГНВ – горизонт (уровень) низких вод

Большинство созданных на водохранилищах водозаборов расположены в приплотинной части водоемов в зоне приглубых берегов. Конструктивно водозаборы делятся на раздельные и совмещенные. Водозаборном сооружении берегового типа в приустьевой зоне имеют водоприемный железобетонный колодец, разделенный на приемную и всасывающую камеры, которые соединяется всасывающей трубой с насосами. Насосная станция подъема находится на некотором расстоянии от берегового колодца.

Береговые водозаборы совмещенного типа с насосными станциями рассчитаны на большую производительность.

К этому типу сооружений относятся водозабор Вилейско-Минской водной системы на Вилейском водохранилище и ряд других (рис. 2).



Рис. 2. Водозабор совмещенного типа

Как известно, при создании водохранилища начинается трансформация существующего рельефа, с которым граничит водохранилище.

Абразия – переработка берегов волнами является ведущим береговым процессом. Этот процесс осуществляется преимущественно ветровыми волнами, а также сопутствующими воновыми течениями. К важнейшим условиям, влияющим на масштаб и интенсивность абразии относятся: форма берегового склона, конфигурация береговой линии и положение ее по отношению к волнообразующим направлениям, геолого-литологическое строение берега и способность материала этих пород к накоплению – аккумуляции в прибрежной зоне водоема, а также способность к участию во вдольбереговом перемещении наносов, и гидрологические условия, в частности уровенный режим водохранилища.

Вызывая отступление берега и накопление возле него части размывтого материала, процесс ветро-волновой режим определяет развитие прибрежной отмели и продольного потокадвигающихся по ней наносов. Общее выравнивание берега в плане за счет срезания мысов и отчленения заливов пересыпями способствует формированию единого продольного потока наносов, обеспечивающего взаимосвязанное развитие берега на значительном его протяжении.

Образование прибрежной отмели и продольного потока наносов способствует заилению подводных элементов водозаборов

Объемы переработки – разрушения естественных берегов водохранилищах, сложенных в большинстве случаев несвязными песчаными грунтами достаточно велики и попадая в прибрежную зону под действием ветрового волнения и вдольбереговых течений, ледовых явлений перемещаются в виде потока наносов, аккумулируются, попадая в приемные ковши водозаборов, снижая производительность и затрудняя эксплуатацию последних (рис. 3).



Рис. 3. Вдольбереговое перемещение и аккумуляция продуктов абразии в прирезовой зоне

Натурное обследование поверхностных водозаборов позволило установить степень занесением песчаным материалом, в результате вдольберегового перемещения наносов в прибрежной зоне, а также оценить примени-

мость существующих методик расчета параметров стока наносов для условий водоемов страны.

Наблюдениями установлено, что максимальный расход наносов имеет место при  $\theta_{\text{гл}} = 45^\circ$ , что наблюдается в природе наиболее часто. Эту закономерность пытались уточнить И. А. Правоторов путем введения коэффициента  $n = f(\theta_{\text{гл}}, m)$ :  $p$  – поправочный коэффициент;  $\theta_{\text{гл}}$  – расход наносов придлинный,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$  – заложение отмели [1]. Б. А. Пышкин и В. Л. Макмичук определяли наносодвижущую силу в функции энергии волнения [1]. Всеми упомянутыми методами определялась какая-то условная характеристика вдольберегового потока наносов, которая давала представление об изменении относительной величины расхода наносов на разных (поразному ориентированных) участках водоема. Большой интерес представляют исследования, в результате которых получались формулы расходов наносов, т. е. определенного объема наносов ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), проходящего через заданный створ или формулы стока наносов, т. е. объема наносов, проходящего через заданный створ в некоторый отрезок времени.

Н. Д. Шишов в результате исследований на берегах Балтийского моря вывел следующую зависимость для стока наносов (тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ) [1]:

$$Q_{\text{ст}} = 80(E \sin \theta_{\text{гл}})^{1,25}, \quad (1)$$

где  $E$  – результирующая энергия ветрового волнения за год в условных единицах, или геометрическая сумма «векторов энергии» волнения по разным румбам, определяемым по формуле [1]:

$$e = npw^2 \sqrt{D}. \quad (2)$$

Здесь  $n$  – коэффициент, учитывающий влияние глубины водоема.

Формулы (1) и (2) получены для песка крупностью  $d = 0,15\text{--}0,20$  мм.

По Д Колдуэллу сток наносов (ярд<sup>3</sup>/сутки) для Калифорнийского побережья [1; 2]:

$$Q_{\text{ст}} = 210E^{0,8}, \quad (3)$$

где  $E$  – вдольбереговая энергия волн, (фут/фунт) на погонный фут длины берега.

Севил и Манохар [1; 2] на основании лабораторных и натуральных исследований получили зависимость для стока наносов (фут<sup>3</sup>/сутки):

$$Q_{\text{ст}} = 0,885E^{0,91} d^{0,59} \left( \frac{\rho}{\rho_1 - \rho} \right), \quad (4)$$

где  $E$  – вдольбереговая энергия волн;  $\rho$  и  $\rho_1$  – соответственно плотность воды и грунта, г/фут<sup>3</sup>;  $d$  – крупность песка, фут.

Проведенные нами натурные исследования режима движения наносов в береговой зоне водохранилища Дрозды и Петровичи позволили установить, что под воздействием ветрового волнения в приурезовой зоне за счет взвешивания частиц происходит естественная сортировка частиц по крупности и их дифференциация по неоднородности. Ширина зоны перемещения и сортировки наносов в условиях водохранилищ Беларуси составляет 2,0–5,0 м от границы уреза. Экспериментальные исследования в береговой зоне водохранилища Дрозды, выполненные при штормовых условиях (высота ветровой волны  $h_{1\%} = 0,4–0,7$  м) с использованием наносоуловителей, выявили наличие подвижного слоя наносов на поверхности отмели, что позволило получить зависимость для расчета расхода влекомых наносов в приурезовой зоне. Полученные натурные данные и сравнение их с результатами расчетов по (1)–(4) показали невозможность применения последних при оценке заносимости водозаборов.

По результатам натурных экспериментов нами была получена эмпирическая зависимость для определен суммарного объема стока наносов ( $\Delta Q_{ст}$ ), приведенная к единичной ширине береговой отмели ( $l_x$ ) [2]:

$$\Delta Q_{ст} = 0,137 \cdot 10^{-5} l_x h_{1\%}^2 T n \quad (5)$$

где  $h_{1\%}$  – высота волны 1 % – ой обеспеченности, м;  $T$  – длительность безледного периода, сут.;  $n$  – количество лет эксплуатации водохранилищ;  $h_{1\%}$  – высота расчетной волны, м.

Зависимость может быть использована при укрупненной оценке заносимости приемных колодцев водозаборных сооружений. Зависимость применима для расчетных высот волн высотой до 0,70 м и несвязных песчаных грунтов крупностью частиц не более  $d_{50} = 0,1$  см.

Существующие водохранилищные водозаборы подвержены занесению вдольбереговым потоком наносов, образующимся при переработке берега ветровым волнением. При этом значение песчаных наносов в процессе занесения водозаборов намного более значимо в средней и приплотинной частях водохранилищ, когда как, в верховьях водоемов более значимым фактором, затрудняющим эксплуатацию водозабора, является зарастание водоема и образование донных органических отложений. Расчет стока наносов в условиях Беларуси следует выполнять по зависимости (5).

### Литература

1. Максимчук, В. Л. Рациональное использование берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев, Наукова думка, 1981. – 176 с.

2. Левкевич, В. Е. Инженерная защита и мониторинг прибрежной зоны водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2020. – 152 с.

УДК 648.6

### **Полифункциональные каталитические материалы из отходов станций обезжелезивания**

Пилипенко М. В.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов  
Минск, Республика Беларусь

*В работе представлены результаты по получению полифункциональных материалов для очистки сточных вод красильно-отделочных производств.*

Очистка сточных вод, содержащих растворенные органические вещества, является актуальной проблемой [1; 2]. В современной литературе для очистки таких вод наибольшее внимание уделяется разработке новых сорбционных [3–7] и фотокаталитических материалов [8–10]. Одним из актуальных направлений в данной области является использование отходов различных производств для получения таких материалов [11; 12]. Отдельный интерес представляет получение материалов с несколькими свойствами, например, сорбционными и магнитными. Для этого материалы должны быть двух и более компонентными. С точки зрения вовлечения в хозяйственный оборот отходов, перспективными могут рассматриваться и отходы гальванических производств для получения материалов с полифункциональными свойствами [13–15].

Целью работы было синтезировать полифункциональные фотокаталитические материалы для эффективной очистки сточных вод красильно-отделочных производств.

В качестве функциональных свойств были выбраны: высокая фотокаталитическая активность по деструкции органических веществ, наличие магнитных свойств для эффективной сепарации материала из очищаемых сред, эффективные инактивирующие свойства для предотвращения биообрастания при долгом нахождении в водной среде, содержащей органические вещества. В качестве исходного материала для получения материалов с заданными свойствами были выбраны осадки очистки промывных вод фильтров обезжелезивания. Наличие высокого содержания железа будет обеспечивать возможность получения как магнитных фаз (магнетит), так и