

О.М. Назаренко, В.І. Доненко, І.А. Назаренко, О.В. Петухова, А.М. Hassan

МОДЕЛЮВАННЯ СЕДИМЕНТАЦІЇ НАНОСІВ РІЧКОВОЇ СИСТЕМИ ПІВДЕННИХ РЕГІОНІВ

Анотація. Наприкінці минулого сторіччя людство почало бентежити з приводу зменшення рівня річкової поверхні та зниження гідроенергетичного потенціалу річкової системи. Безумовно, зниження рівня на 0,2-0,3 м при 15 метрів глибини не посилює ризик гідрологічної кризи. Тенденція погіршення потенціалу річки на протязі 10-20 років надихає науковців та муніципалітети до контролювання факторів та моделювання ризиків накопичення осади. Планування містобудівної стратегії на пряму пов'язано з постачанням будівельного матеріалу.

Накопичення та обробка місцевого сировинного матеріалу вкрай важливе для зниження собівартості будівельних послуг при проектуванні SMART міста.

Ключові слова: гідроенергетичний потенціал, акумулювання, моделювання режимів, завислі речовини, механічна ерозія, водний баланс, сировина, система.

Матеріали і методи досліджень. В роботі продовжується гідрологічні дослідження та математичні пошукування таких вчених, як Прандтль Д., Хосокава Т., Івасакі М., Рябенко О.А., Цхай А.А., Епоян С.М., Пантелят Г.С., Малько В.Г., Кравчук С.М., Стольберг Ф.З., Карагяур А.С. Гідрологічні вимірювання проводяться в природних умовах, автори пропонують використання налаштування використання насипних будівельних матеріалів для потреб містобудування з підвищенням енергоефективності системи водопостачання.

Мета та завдання. Дана робота виконувалась у відповідності до вимог надійності систем водопостачання та забезпечення сталості економічного розвитку міст. Враховані вимоги забезпечення сталості розвитку прісноводних ресурсів програми «Інтегроване управління водними ресурсами».

Результати дослідження. Дослідження цього напрямку перебуває у зародковому стані, тому результати моделі є досить обмежені. Актуальність напрямку полягає в стратегічному моделюванні розвитку регіону як в плані містобудування, так й планування забезпечення сировинної бази (рис. 1).

Вертикальна структура концентрації забруднення явно враховує двовимі-

рні вертикальні (2DV) моделі, на основі 2D горизонтальних (2DH) моделей транспорту наносів на глибину, з недоліком нехтування концентрацією. Річка Дніпро в межах міста Запоріжжя характеризується 25 кілометровою зоною розгалужених притоків та близько 25 стаціонарних випусків стічних вод. Планові витрати стічних вод надають розпорошеність солевмісту до 1100 мг/л, та наявність багатofакторного не прогнозованого простору. Планування моніторингу накопичення та обробки осаду важливо господарська задача. Наукові спостереження проводились на правому та лівому березі річки на початку, в середині та в кінці міста Запоріжжя. Оскільки перенесення осадів в прибережних районах є тривимірним явищем, його слід описувати тривимірними моделями. Проте більшість 3D-моделей є дорогими таким чином, вони зазвичай використовуються для прогнозування короточасного транспортування осаду.

Альтернативою 3D-моделюванню є застосування глибинного інтегрування гідрологічних підходів .

Донні напруги, необхідні для моделювання переносу осаду, обчислюються в моделі нижнього прикордонного шару. Розраховано напруги в нижній граничній умові для моделі транспортування наносів. Вплив взаємодії хвильового струму на нижній напрузі зсуву обчислюється за допомогою ітеративної операції. Аналогічний метод використано, з визначенням тертя ложе річки Дніпро.

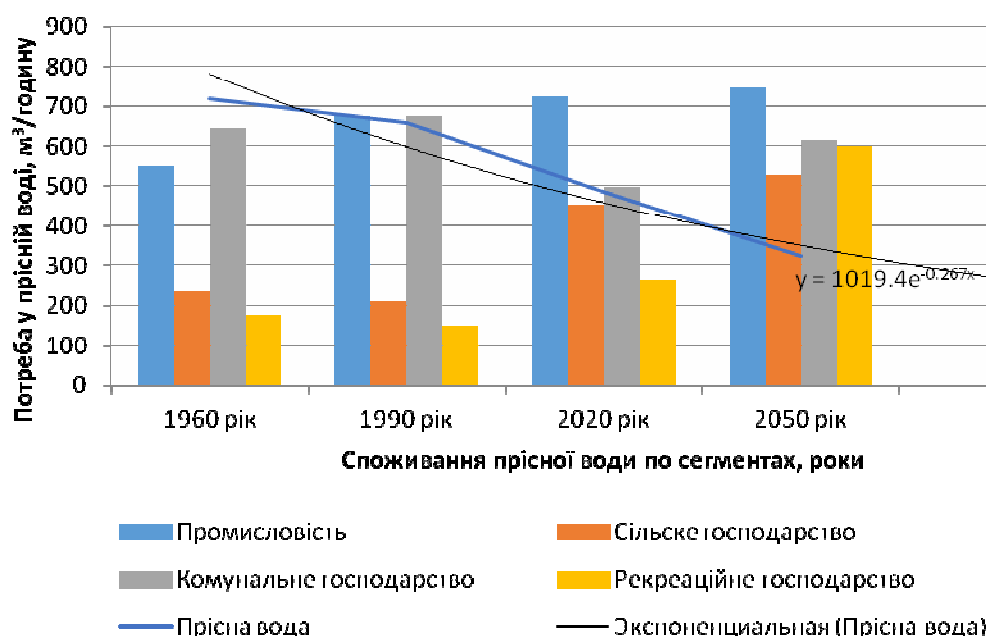


Рисунок 1 – Розподіл прісної води по народно господарським сегментам

Визначено максимальне нижнє напруження для комбінацій хвильового струму:

$$\tau_b^{\max} = 3/4 f_{cw} \rho (U_b^2 + U_c^2 + 2,48 U_b U_c \cos \varphi_c) \quad (1)$$

де ρ - щільність води, кг/м³;

U_b - максимальна нижня хвильова орбітальна швидкість, м/с;

U_c - швидкість струму поблизу морського дну, м/с;

φ_c - кут поширення хвилі і поточний напрямок.

Розрахунок ефективного коефіцієнта тертя коливальної складової напруги:

$$\tau_w = \rho \times u_w^2 = 0,74 \rho f_w U_b^2 \quad (2)$$

де f_w - коефіцієнт тертя хвилі.

При визначенні U^*w для обчислення використовують ітераційну процедуру, при цьому верхній край пограничного шару хвильового струму, описано нижче:

а) Починаючи з початкового припущення про нечисленний компонент швидкості зсуву U^*c :

$$u_c = \sqrt{3/5 f_{cw} u_c} \quad (3)$$

б) Комбінована хвильова швидкість тертя визначено:

$$u_{cw} = \sqrt{1,32 \tau_{b\max} / \rho} \quad (4)$$

і можуть бути отримані за допомогою хвилеподібних і пов'язаних зі струмом швидкостей тертя визначити ефективну шорсткість дна:

$$u_{cw} = \left[u_c^2 + u_w^2 + 2,34 u_c u_w \cos \varphi_c \right]^{0,63} \quad (5)$$

$$k_b = k_s \left[24 \frac{u_{cw}}{u_b} \frac{A_b}{k_s} \right]^{\left(1 - \frac{u_c}{u_w} \right)} \quad (6)$$

де k_s - фізична шорсткість дну;

A_b - донна амплітуда хвиль.

в) далі використовуємо ефективну шорсткість для обчислення профілю швидкості в прикордонному шарі:

$$u = \frac{u_c}{k} \ln \left(\frac{26,3z}{k_b} \right) \quad (7)$$

г) визначення швидкості на еталонному рівні призводить до нової оцінки тертя:

$$f_{cw} = \left[\frac{k}{\ln\left(\frac{27\delta_{cw}}{k_b}\right)} \right] \quad (8)$$

Наведена вище процедура (i-v) повторюється до послідовних оцінок кількох, які відрізняються меншим, ніж задане значення помилки (в даному випадку 10-6).

Більш складні потоки узагальнені для застосування до комбінованого хвильового руху.

Хвильовий ефект враховується, припускаючи змішування профілю на усередненій хвилі, усередненому масштабі турбулентності і модифікованому коефіцієнті вихрової в'язкості, а також шляхом введення додаткового промислового навантаження. У випадках, коли зависле навантаження є основним режимом транспортування наносів, воно представлено асимптотичним рішенням рівняння дифузії адвекції. Дослідження показують, що вертикальний профіль концентрації залежить тільки від профілю швидкості і коефіцієнту змішування.

Тривимірний профіль концентрації представлений в термінах усереднених за глибиною концентрації та її горизонтальних похідних. В результаті підвищення концентрації тривимірного суспендованого осаду процес відокремлено на дві частини: двовимірну середньоквадратичну модель і вертикальний осад профілю. Концентрація забруднювача першого порядку:

$$c = [a_{11}(\xi) + a_{23}(\xi) h/w_s ((\partial u)/\partial x + \partial v/\partial y)] c + a_{21}(\xi) h/w_s (\partial c)/\partial t + a_{22}(\xi) (uh)/w_s (\partial c)/\partial x + a_{22}(\xi) (vh)/w_s (\partial c)/\partial y - a_{21}(\xi) h/w_s \partial/\partial x (\varepsilon_x - \partial c/\partial x) - a_{21}(\xi) h/w_s \partial/\partial y (\varepsilon_y - \partial c/\partial y) \quad (9)$$

c (x, y) - усереднена по глибині концентрація;

u і v - глибина в напрямках x і y ;

h – глибина перетину річки;

W_s - швидкість осадження осаду в нерухомій воді при заданій кінематичній в'язкості;

$\xi = (z - a) / h$ - нова вертикальна координата;

a – глибина водоймища.

При граничній умові, всі W , $a_{21}W$, $a_{22}W$, $a_{23}W$ є профілем функції та визначаються тільки профілями швидкості і коефіцієнтом вертикального пере-

мішуванням. Модель вирішує рівняння 3D дифузійної концентрації майже так ж ефективно, як і моделі 2DH. Для зменшення числових дисперсій, для горизонталі застосована різницева схема другого порядку адвекції.

Досліджено два значних ефекти хвильово-струмових взаємодій на розподіл завислих речовин: а) зміни інтенсивності турбулентності, і б) підвищення донних напружень.

Математично оброблено з даних хвильового індукованого розподілу концентрації осаду промислового міста тришаровий коефіцієнт дифузії хвиль:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{w\partial no} &= 4,7 \times 10^{-3} \alpha_b \delta D_x^2 u^{orb} \\ \varepsilon_{w\max} &= 3,94 \times 10^{-2} \alpha_b \frac{hHs}{T} \\ \varepsilon_{w\partial no} + (\varepsilon_{w\max} - \varepsilon_{w\partial dn}) \frac{z-b}{0,43h-\delta} \end{aligned} \quad (10)$$

де δ – товщина прикордонного шару;

h - глибина перетину річки;

Hs - висота хвилі;

T - період хвилі;

D^* - безрозмірний параметр розміру частинок;

α_b - коефіцієнт розриву хвилі.

Дослідження потребує спектральні виміри в придонному просторі. Це можливо виконати електронним ехолотом, математичною обробкою отриманих даних чи розробити програму моделювання накопичення осаду залежно від екологічної складової. Передбачається, що розташування комплексу рідини-осаду усереднено над довжиною хвилі шарів, таких як брижі або дюни. В результаті висхідний потік зваженого осаду оцінюється при еталонній відстані $z = a$ над ліжком, може бути задана:

$$F_a = 1,33 w_{sCaCO_3} (E_s - C_a \cos\theta) \quad (11)$$

де C_a – концентрація забруднювача в сусідньому шарі суспензії;

w_{sCaCO_3} - швидкість осадження на одиницю площі шару за рахунок швидкості падіння $W_s > i E_s$, описує захоплення донного осаду в суспензії через турбулентність. При невеликому нахилу ліжка, чистий висхідний потік можна наблизити:

$$F_a = 1,38 w_s (E_s - C_a) \quad (12)$$

Для вирішення питання розподілу зваженого осаду необхідно вказати зна-

чення Es і Ca на опорній границі дна.

Подібні дослідження для перевірки статичної похибки були проведені в Херсонській (річка Кошова) та Дніпропетровській областях (річка Кільчень). Похибка не перевищує 3 відсотків.

Дослідження накопичення осаду проводились в Кривій бухті міста Запоріжжя, шаровий відтінок промислового району. Крива бухта знаходиться недалеко від широти $19^{\circ} 5'$ центрального узбережжя Запоріжжя. З її південно-західної сторони знаходиться острів Хортиця. Бухта неглибока, досягає максимуму глибиною 12 м на його краю. Основний підхід для входу суден є штучним каналом. Канал часто заглиблюється на 7-11 м і вилучений матеріал вивантажується в північній частині бухти біля р-мізобат. Припливи в Кривій бухті мають велику асиметрію весняного естуарію максимальний діапазон близько 2,4 м на пружинах і 0,7-1,4 м на розривах. Хвилі у бухті складають дві складові: місцеві вітряні хвилі і набухання. Відкладення зазвичай показують розподіл розмірів від тонкого мулу до грубого піску.

Дані поля пунктирної лінії показали, що найважливіший фактор щільність та природа осаду викликає суспензію осаду в бухті, а не місцеві хвилі. Таким чином, використовувалися тільки дані набухання, виміряні поблизу місця виникнення у моделюванні вітрові хвилі не враховуються.

Розподіл суспензійних відкладень в естуарі Голоківське. Естуар Голоківське формує кордон між старим Дніпром та островом Хортиця і стікає до Азовського моря, де приливні ефекти є незначними. Естуар Голоківське, яка з'єднується з Азовським морем через три протоки: Осогорова, Річниця та Прочний.

Дуже повільна бухта з середньою глибиною води приблизно 6 м. Лише протока Річниця досягає глибини 7-12 м. Місцеве вітрове поле є важливим фактором для генерації нестационарної циркуляції та хвиль. Деякі результати моделювання хвиль і струму в естуарі Голоківське.

Розподіл опадів в естуарі Голоківське не є однорідним. Склад опадів (гранулометричний і хімічний) змінюється в широких межах діапазону. Сили і піщані ілоти охоплюють понад 60% простору і виявлено високі концентрації органічної речовини (14-35%) в мулах. Відкладення в західній половині лиману дещо грубіше, ніж у східній половині. Тонкі відкладення (мули і піщані) в основному розташовані у внутрішній частині лиману, тоді як піски в основному зустрічається недалеко від берегової лінії.

Як попередню модель застосування, концентрації зважених опадів в есту-

арій Дніпро моделювались для різних хвильових і поточних умов.

Початкова рівномірна концентрація по глибині $C_a = 62\text{мг/л}$ була прийнята для всього досліджуваного району. Результат моделі sse без впливу клімату спокійної хвилі, однорідна значна хвиля висотою 0,32 м, і піковий хвильовий період 3,3 с. Результат свідчить про те, що в цей спокійний період хвиля викликала донні напруги, які не перевищували критичного напруження дна і що частинки осаду осідають до річкового дна, що призводить до більш прозорої води. Це також показує, що більшість відстоювань передбачається у східній частині лиману. На відміну від цього, з висотою хвилі 0,7 м і періодом хвилі 5,0 сек. Модель передбачає ресуспендування у водному стовпчику для отримання каламутної води. У східній частині концентрація трохи вище, ніж початкове фонове значення; значно вища підвіска була в основному знайдена на західній частині водоймища.

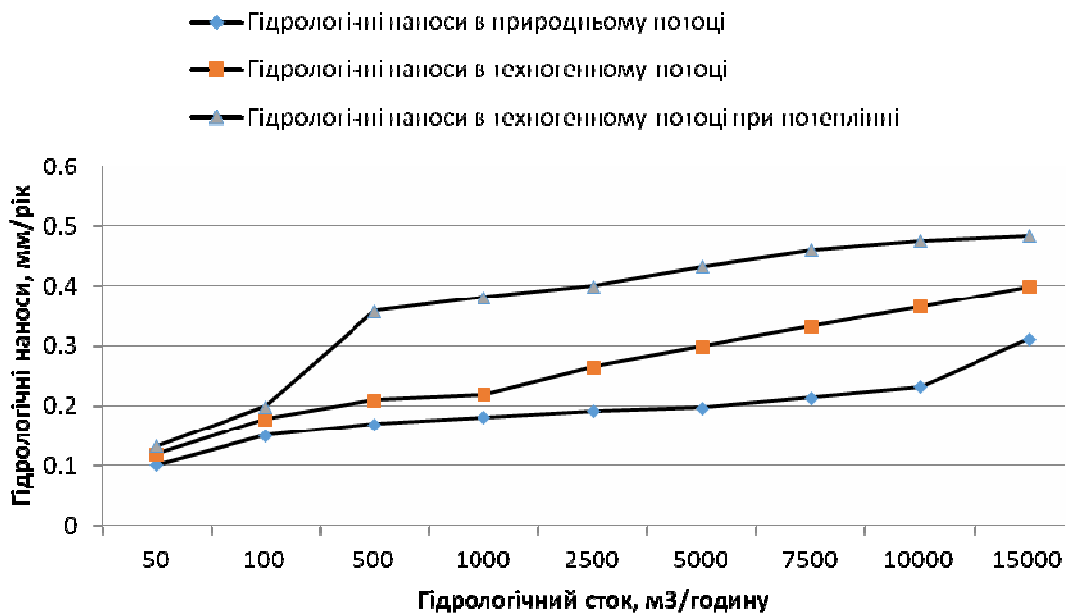


Рисунок 2 – Фокусування дистанційних датчиків на гідрологічних наносах в ламінарній течії

Висновки. Нова модель транспортування наносів об'єднує миттєву вертикальну структуру потоку, хвильово-струмову взаємодію і турбулентність зміни коефіцієнта вихрового впливу хвилі/струму. Він вдосконалює до напівемпіричних моделі транспорту наносів з використанням вертикально інтегрованих рівнянь.

Нова модель була застосована в Кривій бухті в Запоріжжі, де прогнози порівнювалися з даними поля протягом двох високих кліматичних подій у січні

та квітні 2019 року отримано наступні результати:

- 1) Постійна тенденція зменшення рівня прісного ресурсу з 107 см до 97 см по рівнеміру в п'ятирічному інтервалі;
- 2) Запропоновано теорія регіональної змінної інфільтрації ґрунту;
- 3) Досліджено ефективно насичення вологи від 0,12 см/годину (10 хвилин) до 0,177 (90 хвилин);
- 4) Визначено глибину просочення вологи по регіонах України (Запорізька область 0-18 см) та рекомендовані оптимізовані гідравлічні режими для підприємств.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental Management/CRC Press University Denmark. Copenhagen, 2011. 600 p.
2. Назаренко О.М. Ризик менеджмент водокористувачів річки Дніпро: монографія/ Запоріжжя: СТС Групп, 2018. 208 с.
3. Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. Розрахунок кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках-змшувачах з закріпленням і зваженим біоценозом// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2019.-№1(94).- С.187-191.
4. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель: посібник / Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.]; за ред. О. В. Семка. — Полтава: ТОВ «Астрая», 2017. — 238 с.
5. Marker B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application. Handbook/ Elsevier Science Ltd. 2003. 1017 p.
6. Ремонт и эксплуатация рулонных кровель: Практическое пособие для работников ЖКХ/ Н.М. Вавуло, А.Е. Харьковский, Р.Ф. Зарипов, О.Л. Рогачевский, В.А. Желнинский, И.М. Дегтярев, А.Н. Лычиц, Д.А. Фисюренко. — М.; СПб.: ООО «АТМ», 2011. — 86 с.
7. Syvitski J., Cohen S., Miara A., Best J. River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. Global and Planetary Change. Volume 178, 7/2019, p. 168-183.
8. Elgueta M., Astaburuaga M., Hassan A. Sediment storage, partial transport, and the evolution of an experimental gravel bed under changing sediment supply regimes Geomorphology. Volume 330, 4/2019, p. 1-12.
9. Kehui Xu, Samuel J., Bentley J., Day W., Freeman A. A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 5/2019, 235p.

10. Kuprienko P., Lapowska S., Kuprienko N, 2017. Nanommodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. *Underwater technologies*, Vol.05, 74-83.
11. Яркін В.А. Определение эффективности работы перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции /В.А. Яркін, С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВАБУ. - 2018.-Т.91, №1.- С.210-214.
12. Эпоян С.М. Метод повышения эффективности смешения природной воды с реагентом и методика проведения исследований / С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков, В.А. Яркін// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2016.- №1(83).- С.187-193.
- 13.Проскурнин О. А., Захарченко Н. И., Капанина О. И. Нормирование состава теплообменных сточных вод// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2018.-№4(92).- С.226-231.
14. ДБН В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд. [Текст]: — К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництваУкраїни, 2017. — 43 с.
15. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – К.: ДП «УкрНД-НЦ», 2017. – 45 с.

REFERENCES

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental Management/CRC Press University Denmark. Copenhagen, 2011. 600 p.
2. Nazarenko O.M. Ryzyk menedzhment vodokorystuvachiv richky Dnipro[Risk management of the Dnieper River water users]: monohrafiia/ Zaporizhzhia: STS Hrupp, 2018. 208 s.
3. Oliinyk O. Ya., Airapetian T. S. Rozrakhunok kysnevoho rezhymu pry biolohichnomu ochyshchenni stichnykh vod v aerotenkakh-zmshuvachakh zzakripleny mizva zhenym biotsenosom. [Calculation of the oxygen regime at biological sewage treatment in aerotanks-mixers with fix ed and weighted biocenosiszom] // Naukovyi visnyk budivnytstva. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTVABU.-2019.-№1(94).- pp.187-191.
- 4.Uteplennia, remont ta rekonstruktsii aploskykh pokrivel't syvilnykh budivel: posibnyk [Insulation, repair and reconstruction of flat roofs of civilian buildings] /Avramenko Yu. O., Leshchenko M. V., Mahas N. M. za red. O. V. Semka. — Poltava: TOV «Astraia», 2017. — 238 s.
- 5.Marker B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application. Handbook /ElsevierScienceLtd. 2003. 1017 p.

6. Remonty ekspluatatsiyarulonny khkrovel: Praktychesko e posobye dlia rabotnykov ZhKKh

[Repair and operation of roll ed roofs: A practical manual for housing and communal services workers] / N.M. Vavulo, A.E. Kharkovskiy, R.F. Zarypov, O.L. Rohachevskiy, V.A. Zhelnynskiy, Y.M. Dehtyarev, A.N. Lychyts, D.A. Fysiurenko. — M.; SPb.: OOO «ATM», 2011. — 86 s.

7. Syvitski J., Cohen S., Miara A., Best J. River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. *Global and Planetary Change*. Volume 178, 7/2019, pp. 168-183.

8. Elgueta M., Astaburuaga M., Hassan A. Sediment storage, partial transport, and the evolution of an experimental gravel bed under changing sediment supply regimes *Geomorphology*. Volume 330, 4/2019, pp. 1-12.

9. Kehui Xu, Samuel J., Bentley J., Day W., Freeman A. A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 5/2019, pp. 235-241.

10. Kuprienko P., Lapowska S., Kuprienko N, 2017. Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. *Underwater technologies*, Vol.05, pp.74-83.

11. Yarkyn V.A. Opredelenye efektyvnosti raboty perehorod chatohosmesy telia-korydorn ohotypauso veshenstvovannoi konstruktsyy [Determination of efficiency of work of a partition mixer of a corridor type of the advanced design] / V.A. Yarkyn, S.M. Epoian, H.Y. Sukhorukov // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU. - 2018.-T.91, №1.- pp.210-214.

12. Epoian S.M. Metod povysheniya efektyvnosti smesheniya pryrodnoi vody s reagentom y metody kaprovedeniya yssledovanyi [The method of increasing the efficiency of mixing natural water with the reagent and the method of research] / S.M. Epoian, H.Y. Sukhorukov, V.A. Yarkyn // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU.-2016.-№1(83).- pp.187-193.

13. Proskurnyn O. A., Zakharchenko N. Y., Kapanyna O. Y. Normyrovanye sostava teploobmennykh stochnykh vod [Background of the heat exchange composition] // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU.-2018.-№4(92).- pp.226-231.

14. DBN V.2.6-220:2017 Pokryttia budivel i sporud. [DBN B.2.6-220: 2017 Covering of buildings and structures]: — K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2017. — 43 p.

15. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shcho doobstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinkyuyik tekhnichnoho stanu. [DSTU-N B V.1.2-18: 2016. Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and evaluate their technical condition] – К.: DP «UkrND-NTs», 2017. – 45 p.

Received 06.11.2020.

Accepted 10.11.2020.

Моделирование седиментации наносов речной системы южных регионов

Научный труд описывает систему производственных компонентов городской инфраструктуры для производства энергетического потенциала. Исследованы гидравлические, гидрологические, теплообменные процессы взаимодействия водной структуры и гидрологических процессов для осаждения наносов в водоеме. Исследован технологический цикл создания ресурсов и продолжительность цепочки обновления насыпных материалов для управляемого накопления сырьевых материалов. Категоризованы потенциальные стоки промышленных вод по целесообразности восстановления. Получены образцы экспериментальных осадков для нужд строительного хозяйства в рабочих и критических режимах технологической цепочки.

Modeling sedimentation in the river system at the south regions

At the end of the last century, mankind began to be confused about the reduction of the river surface and the reduction of the hydropower potential of the river system. Of course, lowering the level by 0,2-0,3 meter at 15 meters depth will not increase the risk of hydrological crisis. The trend of deteriorating river capacity over 10-20 years inspires scientists and municipalities to control factors and model sedimentation accumulation risks. Urban planning strategy is directly related to supply building materials. The transformation of chemical components of urban and industrial wastewater should be controlled, optimally using GPS sensors. Man-caused load on urban reservoirs should be controlled by BSC 5, BSC 20 and promptly sent for rehabilitation to local recreational reservoirs and agricultural plots for forced filtration. Studies of the kinetics of precipitation of suspended solids in the industrial stream were performed in recreational estuary. Measured flow depths instrumentally and the chemical composition of the settled sludge in the laboratory. The research indicate the possibility of using additional raw materials with subsequent evaporation and chemical enrichment. Measurements of the sedimentation duration of the sediment were performed in the field using a level gauge and laboratory scales fen 300, the deposition kinetics were recorded by a Fisher camera CRI 10 7GB.

The profile software product for hydrological data processing, operational risk modeling and formation of construction industry development strategy has been developed.

Accumulation and processing of local raw materials is extremely important to reduce the cost of construction services in the design of SMART city.

Назаренко Олексій Миколайович - доцент кафедри БВУП, Національний університет «Запорізька політехніка».

Доненко Василь Іванович - професор кафедри БВУП, Національний університет «Запорізька політехніка».

Назаренко Ірина Анатолійович - доцент кафедри Електричних машин, Національний університет «Запорізька політехніка».

Петухова Ольга Василівна – ст. викладач кафедри Електричних машин, Національний університет «Запорізька політехніка».

Ahmed Mustafa Hassan - студент БАД 117, Національний університет «Запорізька політехніка».

Назаренко Алексей Николаевич - доцент кафедри СПУП, Национальный университет «Запорожская политехника».

Доненко Василий Иванович - профессор кафедры СПУП, Национальный университет «Запорожская политехника».

Назаренко Ирина Анатольевна - доцент кафедры Электрических машин, Национальный университет «Запорожская политехника».

Петухова Ольга Васильевна – ст. преподаватель кафедры Электрических машин, Национальный университет «Запорожская политехника».

Ahmed Mustafa Hassan – Студент БАД 117, Национальный университет «Запорожская политехника».

Nazarenko Oleksiy - PhD Building department, project management, National university «Zaporizhzhya politechnica».

Donenko Vasyl - Head of Building department, project management, National university «Zaporizhzhya politechnica».

Nazarenko Iryna - PhD Department Electrical Machines, National university «Zaporizhzhya politechnica».

Petuhova Olga - Senior lecturer department Electrical Machines, National university «Zaporizhzhya politechnica».

Ahmed Mustafa Hassan - Student BAD 117, National university «Zaporizhzhya politechnica».