

Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 1.

22. Носитель биомассы фильтра для биологической очистки сточных вод и способ его изготовления: пат. 7228 Респ. Беларусь, МКИ7 С 02 F 3/02, В 29 С 41/02 / Л.С. Пинчук [и др.]. – № 20020071 ; заявл. 29.01.02 ; опубл. 30.09.05 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 3.

УДК [574 + 504] (576)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРАССЫ
ПРОЕКТИРУЕМОГО ВОДНОГО ПУТИ Е-40 И КАСКАДА
ВОДОХРАНИЛИЩ В ПРЕДЕЛАХ БЕЛАРУСИ**

*В. Е. Левкевич¹, Г. И. Касперов², В. С. Решетник³, А. В. Бузук⁴,
Д. С. Миканович³*

¹ УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, v.lev20214@mail.ru

² УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь

³ Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, rsvlad@tut.by

⁴ Университет гражданской защиты МЧС, Минск, Беларусь, uk007@rambler.ru

Аннотация. В результате предварительного обследования участка трассы будущего водного пути Е-40 и каскада водохранилищ, расположенного по территории Беларуси, были в режиме фонового прогноза определены возможные последствия развития руслового процесса. Дана прогнозная оценка масштабам деформаций берегов проектируемых водохранилищ. Определены современные эффективные, с точки зрения экономики, инженерные мероприятия по берегоукреплению. Рассмотрены варианты устройства гидроузлов с учетом предполагаемых напоров.

Ключевые слова: транспортный коридор, русловой процесс, переработка берегов, каскад водохранилищ.

**PRELIMINARY COMPREHENSIVE INSPECTION OF THE ROUTE
PROJECTED WATERWAY E-40 AND CASCADE
RESERVOIRS IN BELARUS**

*V. E. Levkevich, G. I. Kasperov, V. S. Reshetnik, A. V. Buzuk,
D. S. Mikanovich*

Abstract. As a result of a preliminary survey of a section of the route of the future E-40 waterway and a cascade of reservoirs located in Belarus, the possible consequences of the development of the channel process were determined in the background forecast mode. A predictive assessment was made of the scale of deformations of the banks of the projected reservoirs. The modern, economically efficient engineering measures for bank protection have been determined. The options for the arrangement of hydrosystems are considered, taking into account the expected heads.

Keywords: transport corridor, channel process, bank processing, cascade of reservoirs.

Введение. Целью исследований настоящей работы явилось рассмотрение возможных последствий развития руслового процесса при реализации проекта транспортного коридора Е-40, соединяющего бассейны Балтийского и Черного морей через реки Висла, Буг, Припять, Днепро-Бугский канал (ДБК), Днепр и каскад водохранилищ на реке Припять. Рассмотрены последствия, связанные с созданием водохранилищ, – абразия (переработка) естественных берегов и незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин. Определены современные эффективные инженерные мероприятия по берегоукреплению.

Материалы и методы. В работе были использованы экспериментальные данные, полученные в результате экспедиционного натурного обследования трассы Е-40 с применением инструментальных наземных методов: профилирования, батиметрической съемки, измерения скоростей течений, а также данных космической съемки различного разрешения.

Результаты и обсуждение. Проектируемый судоходный транспортный путь Е-40 предназначен для соединения Балтийского и Черного морей. Общая длина пути примерно 2000 км. По проекту маршрут проходит по реке Висла по территории Польши, через территорию Республики Беларусь по руслу р. Буг, судоходному существующему Днепро-Бугскому каналу (ДБК) и реке Припять и далее по реке Днепр через территорию Украины. Украинская часть водного пути Е-40 должна пройти частично по руслу р. Припять, через Чернобыльскую зону отчуждения и р. Днепр – до г. Херсон с выходом в Черное море. Длина украинской части пути – 970 км. Белорусская часть водного пути Е-40 составляет более 600 км.

В рамках реализации Проекта Евросоюза Е-40, охватывающего три страны Европы: Польшу, Беларусь и Украину, предусматривается строительство ряда инженерных гидротехнических объектов, в частности, гидроузлов для обеспечения необходимых для судоходства глубин на участке р. Припять: между городами Пинск–Мозырь (рис.1). При этом естественный водный режим реки Припять будет трансформирован созданным каскадом водохранилищ руслового типа. Водоохранилища будут иметь незначительные глубины с выходом на пойму в минимальных пределах, ограниченных существующими ограждающими дамбами, не затрагивая прилегающих территорий лесных, мелиоративных и пахотных угодий. Гидротехническое строительство на р. Припять несомненно скажется на режиме формирования русла, русловых процессах, устойчивости берегов в новых гидрологических условиях и условиях водохранилищ.

Считается, что эта проблема является одной из самых важных при реализации проекта Е-40, т.к. она затрагивает динамику русловых процессов, протекающих в условиях как естественного русла [1–8], так и берегов будущего каскада водохранилищ, где динамика берегоформирования совершенно отлична от русловых деформаций и развивается под воздействием и сочетанием факторов, характерных только для водохранилищ (уровенный режим, ветровое

волнение, течения, ледовые явления, судовые волны) [2–16]. Трансформация и масштаб русловых процессов будет определять наличие судоходных глубин и возможности судоходства.

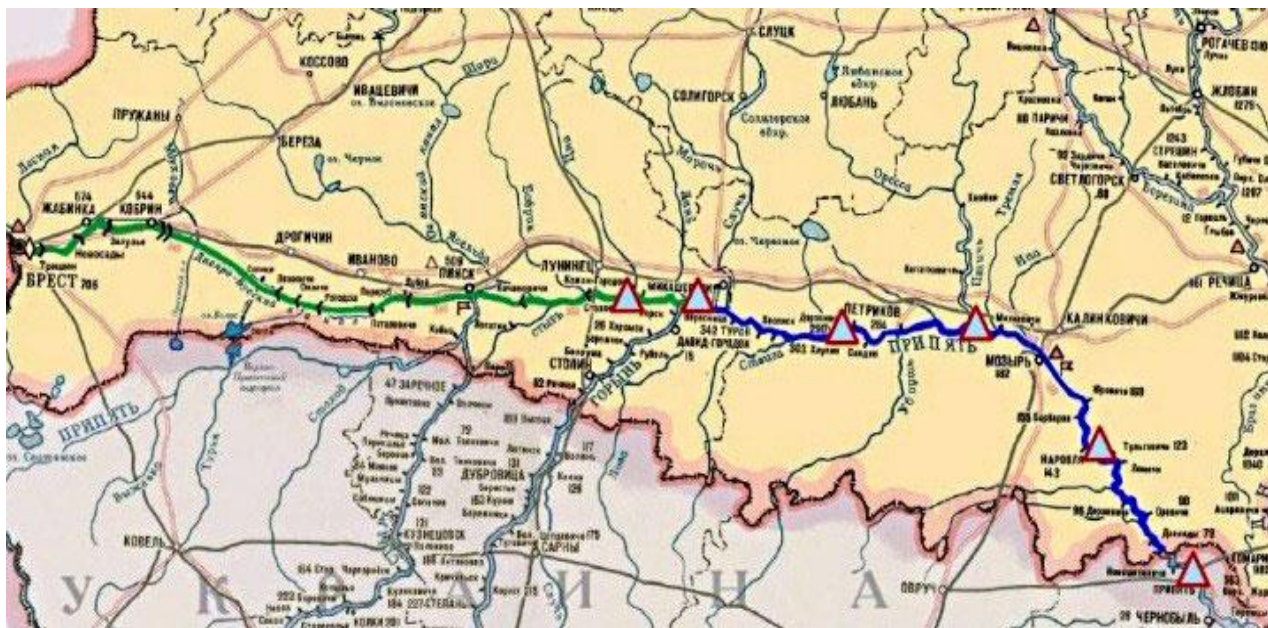


Рисунок 1 – Схема белорусской части водного пути Е-40 и створы расположения водохранилищ

В результате строительства водохранилищ водный и скоростной режимы реки Припять будут зарегулированы. Соответственно режимы движения материала переработки русла и береговых склонов будут изменены, что приведет к трансформации исторически сложившихся руслового и берегового процессов. В результате воздействия стоковых течений, ветрового волнения, а также навалов льда и волнения от движения судов в новых условиях несомненно вызовут активизацию русловой эрозии и на участках созданных водохранилищ – абразии берегов [2–5] (рис. 2).



Эрозия русловая



Абразия берегов водохранилищ

Рисунок 2 – Проявление эрозионных процессов

В условиях естественного русла после оценки общей устойчивости следует предусматривать крепление откосов с учетом прогноза их возможных деформаций по методике, предложенной Э. И. Михневичем [1, 6, 9]. В условиях каскада из 6 проектируемых водохранилищ берега водоемов будут

подвергаться волновой переработке, прогноз которой следует выполнять с учетом прогнозных и научно-обоснованных предложений, полученных в [2–4], для условий водохранилищ Беларуси.

Данный метод разработан на основе натуральных многолетних наблюдений по тестовым опорным водохранилищам страны. Для прогноза использовались статистические модели, построенные на учете основных берегообразующих факторов. Все берегообразующие факторы были агрегированы, что позволило сформировать безразмерные комплексы: $X_1 = L_p/h_L$ – морфометрическая характеристика водоема; $X_2 = h_{1\%}/\Delta H_{6л}$ – характеристика гидрологического режима; $X_3 = H_6/d_{50}$ – геоморфологическая и грунтовая характеристика берегового склона; $X_3=i_6/\eta$ – геоморфологическая характеристика берега пологой формы, верхового откоса дамбы или плотины. Были получены прогнозные модели вида:

- для исходного профиля берега пологой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p / h_L) + A_2 (h_{1\%} / \Delta H_{6л}) + A_3 (i_6 / \eta), \quad (1)$$

- для профиля обрывистой формы

$$S_t = A_0 + A_1 (L_p / h_L) + A_2 (h_{1\%} / \Delta H_{6л}) + A_3 (H_6 / d_{50}), \quad (2)$$

где A_0, A_1, A_2, A_3 – эмпирические коэффициенты, полученные на основе обработки натуральных данных [2–3]. Практический интерес представляет переработка склона на конечной срок – стадию динамического равновесия. В прогнозных расчетах конечный срок для водохранилищ каскада на р. Припять принимался с поправкой: $t_k = 25$ лет. Величина объема переработки берегов на стадии равновесия составит для несвязных грунтов от 5,9 до 15 м³/м пог. Линейное отступление берега от 7,0 м до 20 м.

Суммарная протяженность берегов водохранилищ, подверженных переработке, составит по прогнозам около 40 км.

Изучение совместного воздействия волнения, а также колебания уровней на устойчивость плит креплений, проведенное в волновом лотке гидротехнической лаборатории Белорусского национального технического университета (БНТУ) на размываемой модели откоса, имеющего заложение 1:3, позволило оценить характер воздействия волнового потока, а также вымыв грунта откоса, установить зависимость объемных деформаций откоса Q_t от ширины раскрытия швов $b_{шва}$, высоты волны h и уровней воды в лотке.

На этой же лабораторной установке исследовались деформации береговых незакрепленных склонов при совместном воздействии волн различной высоты в условиях изменения колебания уровней при трансформированном режиме эксплуатации водохранилища. Модель изготавливалась из среднезернистого несвязанного песка с коэффициентом неоднородности $\eta = 1,2 \div 2,4$. Линейная переработка берегового склона $s = f(t)$ при различных высотах волн показана на рис. 3. Установлено, что изменение уровня режима (сработка или наполнение) при постоянных высотах волн приводит к изменению интенсивности и масштабов линейной переработки тела модели.

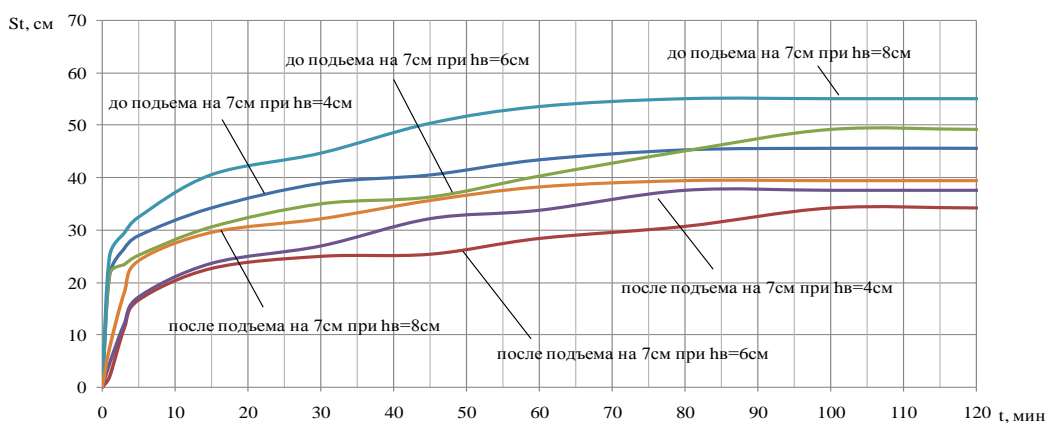


Рисунок 3 – График зависимости $S = f(t)$: до и после поднятия уровня воды на 7 см при высотах волн 4, 6, 8 см

Ранее в гидротехнической лаборатории БНТУ в большом русловом лотке на жесткой модели каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы (масштаб: горизонтальный – 1:1000, вертикальный – 1:100) (рис. 4) проводилось моделирование стоковых течений и оценка их влияния на устойчивость берегов водохранилищ. Полученные в результате моделирования данные, были перенесены на каскад водохранилищ на р. Припять, что позволило оценить влияние на развитие русловых и береговых деформаций стоковых течений и ветрового волнения.



Рисунок 4 – Лабораторная установка для изучения режима течений в водохранилищах

Учитывая, что пойма р. Припять ранее при Советском Союзе была одамбирована в соответствии с «ТЭО инженерных мероприятий по защите от затопления и мелиорации поймы р. Припять» (Приложение № 6 «Противопаводковые и мелиоративные мероприятия» // Минводхоз БССР, Белгипроводхоз, Минск, 1978), ширина защищаемой долины реки Припять и боковых притоков составила от 1,0 км в верховьях р. Припять в районе г. Пинска до 3,5 км в районе г. Мозыря и ниже до границы с Украиной. Граница защиты поймы и контур обвалования при проектировании был проведен по границе (левобережной и правобережной) пояса меандрирования.

При рассмотрении возможности восстановления водного пути по проекту Е-40 на участке р. Припять между г. Пинском – г. Мозырем, как отмечалось выше, предполагается строительство 6 водоподпорных гидроузлов, в состав которых будут входить подпорные и водосбросные сооружения – плотины и

водосбросы, а также судопропускные сооружения – судоходные шлюзы с заданными параметрами.

В соответствии с данными обследования створов расположения гидроузлов установлено, что все 6 гидроузлов будут иметь напоры в створах плотин от 2,5 до 6,5 м. Наибольшие величины напоров приурочены низовым участкам строительства, а именно – району Мозырской возвышенности, наименьшие – верховьям трассы.

Было принято, что при напорах от 2,5 до 3,5 м следует применять плотины переливного типа, опыт строительства которых широко известен в Западной Европе (Чехия, Германия, Франция, Нидерланды и др.), а также в России и Беларуси (к примеру на ДБК) (рис. 5).

Плотины переливного типа – это гравитационные, водосбросные сооружения, предназначенные для пропуска паводков и бытовых расходов, выполняются из каменной наброски или в железобетонном исполнении с покрытием водосбросной поверхности бетонной стяжкой. Ограничением применения сооружений данного типа является обязательное наличие хорошего несущего основания и грунтов с малым коэффициентом фильтрации.



Испания, г. Толедо, р. Тохо,
переливная плотина



Чехия, р. Влтава, г. Прага,
переливная плотина и шлюз

Рисунок 5 – Переливные плотины в странах Европы (фото Левкевича В. Е.)

Второй тип плотин, который может использоваться на трассе Е-40 при напорах от 4,0 до 6,5 м, – это подпорные сооружения «классической» компоновки, грунтовые откосного типа, с креплением верхового и низового откосов и проездом по гребню (т.е. с выполнением функции мостового перехода). Водосбросное сооружение – подпорное сооружение из железобетона, оснащенное затворами и подъемным оборудованием для манипулирования затворами при пропуске расходов заданной обеспеченности.

Следует отметить: и в первом варианте, и во втором обязательным требованием для пропуска судов и осуществления регулярного судоходства является строительство судоходных шлюзов на каждом гидроузле со всем необходимым оборудованием.

Кроме того, для дополнительного экономического эффекта возникающего при строительстве подпорных сооружений можно рекомендовать на гидроузлах возведение малых и микро ГЭС. Пример такого использования судоходных трасс имеется в Беларуси в Столинском районе, где пущена в эксплуатацию малая ГЭС на переливной плотине.

Наряду с проведением активной защиты береговых склонов и русла, следует создать сеть стационарных наблюдений за береговыми и русловыми деформациями основной трассы пути Е-40 с последующей реализацией проекта мониторинга береговых процессов. Существенную помощь в решении данной задачи должна сыграть информация, получаемая как наземным способом, так и с помощью белорусского космического аппарата (БелКА) и беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для мониторинга и зондирования состояния территории Земли.

Заключение. Проведенные исследования показали, что прогнозная величина объема переработки берегов на стадии равновесия составит от 5,9 до 15 м³/м пог. Линейное отступление берега от 7,0 м до 20 м. Суммарная протяженность берегов водохранилищ, подверженных переработке по прогнозам, составит около 40 км.

При реализации проекта необходимо:

- на стадии проектно-исследовательских работ провести детальные натурные и лабораторные исследования, а также математическое моделирование руслового процесса и процесса берегоформирования на берегах создаваемых водохранилищ;

- на основе прогнозной оценки русловых деформаций и деформаций берегов водохранилищ (с определением их масштабов, интенсивности и времени развития) разработать научно-обоснованные практические рекомендации по берегоукреплению и управлению русловым процессом в новых гидрологических условиях;

- предусмотреть возможность строительства гидроузлов как с переливными, так и классическими плотинами, но с обязательным наличием судоходных шлюзов. При напорах до 2,5 м предлагается использовать плотины переливного типа, а при напорах до 6,5 м – грунтовые плотины с укрепленными откосами и бетонным водосбросом;

- создать сеть стационарных наблюдений за береговыми и русловыми деформациями основной трассы пути Е-40 с последующей разработкой и реализацией проекта мониторинга береговых процессов. Существенную помощь в решении данной задачи должна сыграть информация, получаемая как наземным традиционным способом, так и с помощью белорусского космического аппарата (БелКА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);

- для эффективного использования стока р. Припять на проектируемых гидроузлах следует предусмотреть строительство мини ГЭС.

Список цитированных источников

1. Михневич, Э. И. Методика расчета устойчивости креплений откосов земляных плотин в условиях волнового воздействия // Наука и техника, т. 17, № 2, 2018. – С.100–105.
2. Левкевич, В. Е. Динамика берегов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
3. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
4. Левкевич, В. Е. Гидро-морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси: / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 149 с.
5. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В.Е.Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.
6. Михневич Э. И. Методика расчета устойчивости русел судоходных водотоков // Минск : БНТУ, 2020. – С. 210–223.
7. Бузук, А. В. Результаты лабораторных исследований деформаций откосов с берегоукрепительными сооружениями водохранилищ и их влияние на безопасность объекта в чрезвычайных ситуациях / А .В. Бузук // Вестн. Командн.-инженер. ин-та. МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 79–86.
8. Золоторев, Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Г. С. Золоторев. – АН СССР, 1955. – Т. 12. – С. 188–235.
9. Михневич, Э. И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.
10. Шайтан, В. С. Исследование ветровых волн на водохранилище / В. С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
11. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : «Наукова думка», 1973. – 416 с.
12. Максимчук, В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
13. Бузук, А. В. Критерий устойчивости откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ с деформированным железобетонным креплением / А. В. Бузук // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 24–30.
14. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–224.
15. Шайтан, В. С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. – ВНИИ / ВОДГЕО. М. : Стройиздат, 1974. – 352 с.
16. Канарский, В. С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В. С. Канарский // М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.