

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-298-303

УДК 626.86

Методика гидравлического расчета обвалования рек и определения параметров оградительных дамб

Докт. техн. наук, проф. Э. И. Михневич¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Защита территорий от затопления паводковыми водами и создание польдерных систем осуществляются с помощью дамб обвалования. Одно из основных требований к компоновке польдерных систем в поймах рек – размещение оградительных дамб за пределами пояса меандрирования русла во избежание их размыва при развитии речных излучин. Ширина пояса меандрирования может быть установлена на основе анализа топографических съемок руслоформирования за многолетний период, а при отсутствии таких данных рассчитана по формуле Б. Ф. Снищенко. При обваловании речного русла пойменная емкость уменьшается, соответственно уровень воды в междамбовом пространстве и скорость прохождения паводкового потока значительно возрастают. Поэтому дамбы следует располагать на таком удалении от русла, чтобы не вызвать существенного повышения уровня воды и увеличения скоростей течения в междамбовом пространстве. Для обоснования проектных параметров систем обвалования, создания благоприятного гидравлического режима на этих системах и обеспечения устойчивости оградительных дамб разработана методика гидравлического расчета обвалования рек. Основными ее фрагментами являются расчеты пропускной способности обвалованного русла и подъема уровня воды в междамбовом пространстве, а также расстояния между дамбами и отметки их гребня. Особенность предлагаемых расчетных формул – учет взаимодействия руслового и пойменного потоков, в процессе массообмена между которыми происходят замедление потока в русле и ускорение потока на пойме. Это явление учитывается введением коэффициентов кинематического эффекта соответственно к составляющим расхода воды в русле и на пойме. Приведенные зависимости для определения отметки гребня оградительных дамб (соответственно их высоты) учитывают подъем уровня воды в междамбовом пространстве для двух типов польдерных систем: незатапливаемых (зимних) дамб при уровне максимального весеннего половодья и затапливаемых (летних) при уровне летне-осенних паводков. Предложенные расчетные формулы могут быть рекомендованы к применению в проектных организациях.

Ключевые слова: обвалование рек, польдерная система, оградительная дамба, взаимодействие потоков, уровень воды, гидравлический расчет

Для цитирования: Михневич, Э. И. Методика гидравлического расчета обвалования рек и определения параметров оградительных дамб / Э. И. Михневич // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 4. С. 298–303. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-298-303

Methodology for Hydraulic Calculation of River Regulation and Determination of Dike Parameters

E. I. Mikhnevich¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Territory protection against flood water inundation and creation of polder systems are carried out with the help of protection dikes. One of the main requirements to the composition of polder systems in flood plains is a location of border dikes beyond meander belt in order to avoid their erosion when meander development occurs. Meander belt width can be

Адрес для переписки
Михневич Эдуард Иванович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 267-71-74
fes@bntu.by

Address for correspondence
Mikhnevich Eduard I.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 267-71-74
fes@bntu.by

determined on the basis of the analysis of multi-year land surveying pertaining top river-bed building and in the case when such data is not available this parameter is calculated in accordance with the Snishchenko formula. While banking-up a river bed a flooded area is decreasing and, consequently, water level in inter-dike space and rate of flood water are significantly increasing. For this reason it is necessary to locate dikes at a such distance from a river bed which will not cause rather high increase in water level and flow velocity in the inter-dike space. Methodology for hydraulic calculation of river regulation has been developed in order to substantiate design parameters for levee systems, creation of favourable hydraulic regime in these systems and provision of sustainability for dikes. Its main elements are calculations of pass-through capacity of the leveed channel and rise of water level in inter-dike space, and distance between dikes and their crest level. Peculiar feature of the proposed calculated formulae is an interaction consideration of channel and inundated flows. Their mass-exchanging process results in slowing-down of the channel flow and acceleration of the inundated flow. This occurrence is taken into account and coefficients of kinematic efficiency are introduced to the elements of water flow rate in the river channel and flood plain, respectively. The adduced dependencies for determination of a dike crest level (consequently their height) take into consideration a rise of water level in inter-dike space for two types of polder systems: non-inundable (winter) dikes with maximum spring flood rate and inundable (summer) dikes with summer-autumn flood rates. The proposed calculated formulae can be recommended for application at design organizations.

Keywords: river regulation, polder system, dike, flow inter-action, water level, hydraulic calculation

For citation: Mikhnevich E. I. (2017) Methodology for Hydraulic Calculation of River Regulation and Determination of Dike Parameters. *Science and Technique*. 16 (4), 298–303. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-298-303 (in Russian)

Введение

Обвалование рек широко применяют для создания польдерных систем, защиты населенных пунктов и территорий от затопления паводковыми водами, а также для улучшения гидрологического режима пойменных потоков. Расстояние от водоприемника до основания дамбы назначают с учетом требований землепользователей и обеспечения нормального функционирования природных экосистем. Во всех случаях это расстояние должно превышать ширину прибрежной водоохранной полосы и пояса меандрирования и не должно существенно нарушать режим потока воды в реке при прохождении паводков. Трассируют дамбы по возможности в общем направлении движения паводковых вод.

Обвалование бывает односторонним, когда дамбы (валы) возводятся вдоль одного берега, и двусторонним. Ширину русла между дамбами (при двустороннем обваловании) или между дамбой и берегом (при одностороннем обваловании) принимают по возможности постоянной, резких сужений и расширений избегают; прямолинейные участки дамб сопрягают между собой плавными кривыми [1].

Дамбы (валы) возводят из местного грунта с соблюдением рекомендаций и требований, предъявляемых к земляным плотинам. Отличие в работе дамб от земляных плотин состоит в том, что дамбы (откос и его основание) подвергаются воздействию продольного течения.

При обваловании речного русла значительно изменяется характер речного потока: при сжатии потока дамбами возрастают уровни и скорости перемещения паводковой волны вследствие уменьшения пойменной емкости; увеличивается расход потока как на участке обвалования, так и ниже по течению; повышается скорость потока, а следовательно, усиливается и его размывающая способность.

Для обеспечения устойчивости оградительных дамб и создания благоприятного гидрологического и гидравлического режимов на польдерных системах очень важными являются разработка и практическое использование надежной методики гидравлического расчета обвалования речных пойм, определения параметров оградительных дамб и оценки их устойчивости.

Гидравлический расчет обвалования рек

Обвалованное русло реки, с точки зрения гидравлического расчета, в принципе представляет собой сложно-составное сечение, в котором возникает необходимость разделения потока на отдельные фрагменты (русловой и пойменный) и учета взаимодействия этих фрагментов, отражающего особенности изменения их гидравлико-кинематических параметров по ширине русла. Существующие методы расчета пропускной способности русел с поймами предполагают параллельность динамических осей потоков в русле и пойме. При этом предполагается, что продольный уклон реки I

остается таким же, каким он был до обвалования.

Взаимодействие руслового и пойменного потоков учитывается введением поправочных коэффициентов K_p и K_n к составляющим расхода воды соответственно в русле Q_p и на пойме Q_n . Тогда общий расход реки

$$Q = K_p Q_p + K_n Q_n. \quad (1)$$

Для расчета коэффициентов K_p и K_n предложен ряд формул [2, 3], которые учитывают уменьшение расхода в русле под влиянием потока поймы и ускорение потока в пойме. Среди таких формул наиболее известны зависимости И. Ф. Карасева [2] и В. Н. Карнаухова [3]. Приближенные значения коэффициентов K_p и K_n могут быть приняты по табл. 1 [1].

Таблица 1
Значения коэффициентов K_p и K_n
Values of coefficients K_p and K_n

$(B_0 - B_p)/B_p$	K_p	K_n
1	1,00	1,00
1–5	0,95	1,03
5–10	0,90	1,07
Более 10	0,85	1,10

B_0 – расстояние между дамбами; B_p – средняя ширина русла по верху.

Одно из основных требований к компоновке польдерных систем в поймах рек – размещение оградительных дамб за пределами пояса меандрирования русла. В противном случае при развитии речных излучин произойдет размыв дамб и затопление территорий в паводковые периоды. Ширина пояса меандрирования B_n может быть установлена на основе анализа топографических съемок руслоформирования за многолетний период. При отсутствии таких данных ширину пояса меандрирования можно приближенно определить по формуле Б. Ф. Снищенко [4]

$$B_n = \left(\frac{K_{из} - 0,96}{0,04} B_p \right)^{0,714}, \quad (2)$$

где $K_{из}$ – коэффициент извилистости русла; B_p – ширина русла по верху, м.

Исходя из требований охраны природы, дамбы должны размещаться за пределами прибрежной водоохранной полосы, размеры которой регламентируются нормативно-правовыми документами в зависимости от величины реки

и рельефа местности на основании утвержденных проектов водоохранных зон и прибрежных полос. При отсутствии таких проектов минимальная ширина водоохранной прибрежной полосы устанавливается: для водоемов и малых рек 50 м, для больших и средних рек 100 м [5].

Наряду с указанными выше требованиями к компоновке систем обвалования необходимо учитывать также тот фактор, что дамбы следует располагать на значительном удалении от русла, чтобы не вызвать существенного стеснения паводкового потока, повышения уровня воды Δh_0 и соответственно увеличения скоростей течения в междамбовом пространстве. Большой подъем уровня Δh_0 потребует высоких дамб и креплений их от размыва.

Подъем уровня (дополнительный подпор) Δh_0 , возникающий при обваловании русла (рис. 1), является важной характеристикой, необходимой для назначения отметки гребня оградительной дамбы и ее высоты.

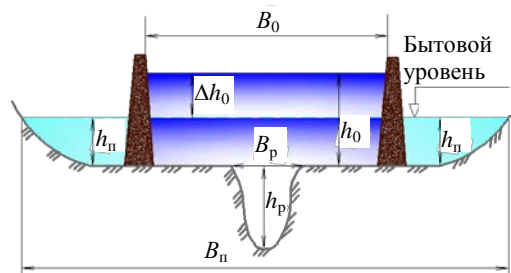


Рис. 1. Схема к расчету обвалования реки
Fig. 1. Scheme for calculation of river regulation

Нами предпринята попытка разработать методику определения значения подпора Δh_0 с учетом взаимодействия руслового и пойменного потоков, которое учитывается введением коэффициентов кинематического эффекта соответственно K_p и K_n к составляющим расхода воды в русле Q_p и на пойме Q_n . Общий расход реки Q определялся по формуле (1).

По данным [6], нестационарностью течения паводковых вод на равнинных реках можно пренебречь, так как дополнительный уклон, возникающий вследствие нестационарного прохождения паводка, оказывается очень малым, не превышающим 5 % от уклона, соответствующего равномерному режиму. Поэтому расход воды Q в реке обвалования (рис. 1) может быть выражен формулой Шези. Тогда,

принимая гидравлический радиус русла R_p равным средней глубине потока в русле $h_p = \omega_p/B_p$ ($R_p = h_p$) и гидравлический радиус пойменного потока R_n равным его глубине h_n (т. е. $R_n = h_n$), средние скорости соответственно в русле и на пойме будут вычисляться следующим образом:

$$v_p = K_p C_p \sqrt{h_p I}; \quad (3)$$

$$v_n = K_n C_n \sqrt{h_n I}, \quad (4)$$

где $v_p, v_n, h_p, h_n, B_p, B_n$ – средняя скорость, глубина и ширина потока соответственно в русле и на пойме; C_p, C_n – скоростной коэффициент потока в русле и на пойме; I – гидравлический уклон.

В процессе массообмена между русловым и пойменным потоками происходят замедление потока в русле и ускорение потока на пойме. Следовательно, значения коэффициентов будут: $K_p \leq 1$ и $K_n \geq 1$. Для прямолинейных русел с двусторонней симметричной поймой значения коэффициентов кинематического эффекта могут быть определены по формулам [3]:

$$K_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2C_p^2 h_n}{g B_p} K_{v_p}^2 A}}; \quad (5)$$

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2C_n^2 h_p}{g B_n} K_{v_n}^2 A}}; \quad (6)$$

$$K_{v_p} = \frac{v_p - v_n}{v_p}; \quad K_{v_n} = \frac{v_p - v_n}{v_n}, \quad (7)$$

где A – эмпирический коэффициент, учитывающий поперечный турбулентный массообмен между русловым и пойменным потоками в зоне их активного взаимодействия (среднее значение A по опытным данным [3] равно 0,053); h_n – глубина пойменного потока над бровкой русла.

Учитывая, что расход воды после обвалования в пойменной части реки практически не изменяется, подъем уровня в междамбовом пространстве Δh_0 можно определить из уравнения

$$K_n B_n h_n C_n \sqrt{h_n I} = K_0 B_0 h_0 C_0 \sqrt{h_0 I}, \quad (8)$$

где K_n, B_n, h_n, C_n – коэффициент кинематического эффекта, ширина, глубина, скоростной коэффициент пойменного потока в естественном состоянии (до обвалования русла); K_0, B_0, h_0, C_0 – то же после обвалования.

Уравнение (8) можно представить в виде

$$\frac{B_0}{B_n} = \frac{K_n h_n C_n \sqrt{h_n I}}{K_0 h_0 C_0 \sqrt{h_0 I}} \quad (9)$$

или

$$\frac{B_0^2}{B_n^2} = \frac{K_n^2 C_n^2 h_n^3}{K_0^2 C_0^2 h_0^3}, \quad (10)$$

откуда

$$h_0 = h_n \left(\frac{K_n C_n B_n}{K_0 C_0 B_0} \right)^{2/3}. \quad (11)$$

Величина подъема уровня

$$\Delta h_0 = h_0 - h_n = h_n \left[\left(\frac{K_n C_n B_n}{K_0 C_0 B_0} \right)^{2/3} - 1 \right]. \quad (12)$$

В том случае, когда максимальное значение подпора Δh_0 ограничено какими-либо условиями (например, обеспечением свободного прохода паводкового потока под мостами, снижением высоты дамб), при его заданном значении можно определить соответствующее ему расстояние между дамбами B_0 по следующей зависимости:

$$B_0 = \frac{K_n C_n B_n}{K_0 C_0 (\Delta h_0/h_n + 1)^{1.5}}. \quad (13)$$

Определение параметров оградительных дамб

Важнейшим параметром дамбы обвалования, получаемым на основании гидравлического расчета, является ее высота, т. е. отметка гребня дамбы H_r . Отметку гребня незатапливаемых (зимних) дамб, относящихся к IV классу сооружений, определяют для двух случаев: основного расчетного при уровне воды 5%-й

обеспеченности ($p = 5\%$) и поверочного при уровне 1%-й обеспеченности ($p = 1\%$) максимального весеннего половодья, а затопливаемых (летних) – для уровня летне-осеннего паводка [1]. Для основного расчетного случая ($p = 5\%$) отметку гребня незатопливаемых дамб (рис. 2а) рекомендуется определять по формуле

$$H_{\Gamma} = H_{5\%} + \Delta h_{05\%} + \Delta h_{5\%} + h_{н5\%} + a, \quad (14)$$

в которой предлагается учитывать подпор Δh_0 , возникающий при обваловании русла реки, определяемый по формуле (12), а для поверочного расчетного случая ($p = 1\%$) отметку гребня незатопливаемых дамб

$$H_{\Gamma} = H_{1\%} + \Delta h_{01\%} + \Delta h_{1\%} + h_{н1\%}, \quad (15)$$

где $H_{5\%}$, $H_{1\%}$ – отметка уровня воды максимального паводка соответствующей обеспеченности, м; $\Delta h_{5\%}$, $\Delta h_{1\%}$ – высота ветрового нагона воды, м; $\Delta h_{05\%}$, $\Delta h_{01\%}$ – подъем уровня в междамбовом пространстве при весеннем половодье 5%-й и 1%-й обеспеченности, м (определяется по (12)); $h_{н5\%}$, $h_{н1\%}$ – высота наката волны, м; a – величина запаса, равная 0,5 м.

Отметку гребня затопливаемых (летних) дамб находят по зависимости (рис. 2б)

$$H'_{\Gamma} = H_p + \Delta h'_0 + \Delta h + h_{н} + a_1, \quad (16)$$

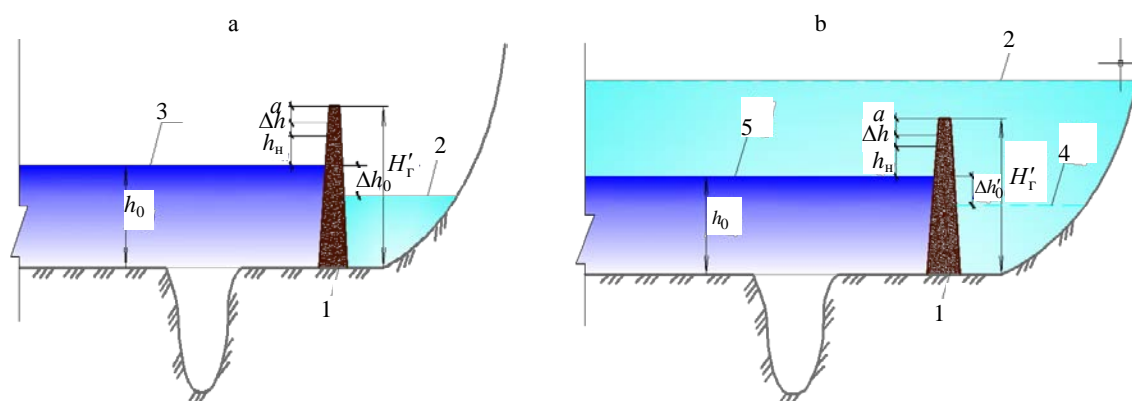


Рис. 2. Схемы к расчету отметки гребня (высоты) дамбы: а – незатопливаемой (зимней); б – затопливаемой (летней); 1 – дамба; 2, 4 – уровень воды максимального (весеннего) и летне-осеннего паводков; 3, 5 – уровень воды при обваловании незатопливаемыми (зимними) и затопливаемыми (летними) дамбами

Fig. 2. Scheme for calculation of dike crest level (height): a – non-inundable (winter); b – inundable (summer); 1 – dike; 2, 4 – water level of maximum (spring) and summer-autumn floods; 3, 5 – water level while using non-inundable (winter) and inundable (summer) dikes for banking-up

где H_p – отметка уровня воды летне-осеннего паводка, м; Δh , $h_{н}$ – высота ветрового нагона воды и наката волны на дамбу, м; a_1 – величина запаса, равная 0,3 м; $\Delta h'_0$ – подъем уровня воды в междамбовом пространстве при летне-осеннем паводке, м.

Отметку уровня воды летне-осенних паводков при использовании земель под сенокосы принимают 10%-й обеспеченности, а при использовании под пастбища – 5%-й. Высоту ветрового нагона воды Δh (м) [7] находили по преобразованной нами зависимости

$$\Delta h = \sqrt{H_b^2 + 2K_v v_{10}^2 L_b \cos \alpha / g} - H_b, \quad (17)$$

где L_b – длина разгона ветровой волны, м; H_b – средняя глубина водоема по направлению разгона, м; g – ускорение силы тяжести, m/c^2 ; α – угол между господствующим направлением ветра и направлением максимальной длины разгона волны; v_{10} – максимальная расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем водоема, м/с; K_v – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости v_{10} : при $v_{10} = 20$ м/с $K_v = 2,1 \cdot 10^{-6}$; при $v_{10} = 30$ м/с $K_v = 3 \cdot 10^{-6}$.

Для пойм малых рек величина ветрового нагона Δh незначительна и в расчетах может не учитываться. Высоту наката $h_{н}$ определяют по ТКП [7].

Важнейшим условием предупреждения аварийных ситуаций на польдерных системах является обеспечение устойчивости откосов оградительных дамб и магистральных каналов. Устойчивость откосов дамб и каналов обеспечивается соблюдением трех основных условий:

- при откачке воды на польдерах, сбросе воды из прудов скорость снижения уровня $v_{\text{сн}}$ не должна превышать допустимую $v_{\text{сн, доп}}$, определяемую по методике [8];

- скорость продольного потока вдоль откосов дамб и в каналах не должна превышать допускаемую на размыв, значения которой определяются по формуле для оценки устойчивости откосов к размыву [9];

- откосы должны быть устойчивы к воздействию волн [9, 10].

ВЫВОД

Для создания благоприятного гидравлического и гидрологического режимов на польдерных системах и соответственно обеспечения устойчивости оградительных дамб разработана методика гидравлического расчета обвалования речных пойм, в которой учитывается взаимодействие руслового и пойменного потоков. Эта методика позволяет определять подъем уровня (подпор) водного потока в обвалованных руслах рек и более обоснованно назначать расстояние между дамбами и их высоту. Расчетные формулы могут быть рекомендованы к практическому применению в проектных организациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Польдерные мелиоративные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-179–2009 (02250). Минск: РУП «Стройтехнорм», 2009. 136 с.
2. Карасев, И. Ф. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии / И. Ф. Карасев, В. В. Коваленко. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 208 с.
3. Карнауков, В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на открытой сети мелиоративных систем / В. Н. Карнауков. Минск: Беларус. навука, 2013. 347 с.
4. Снисченко, Б. Ф. Типы руслового процесса и их возникновение / Б. Ф. Снисченко // Русловые процессы рек и динамика водоемов: тр. Гос. гидрологич. ин-та. Л.: Гидрометеиздат, 1980. Вып. 263. С. 4–40.
5. Водный кодекс Республики Беларусь: 30 апр. 2014 г. № 149-З: принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г.: одобрен Советом Республики 11 апр. 2014 г. Минск: Национальный центр правовой информации Республики Беларусь, 2014. 78 с.

6. Мелиорация и освоение поймы Припяти / Е. А. Волков [и др.]; под ред. С. Г. Скоропанова и Г. Д. Горбутовича. Минск: Ураджай, 1982. 247 с.
7. Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов): ТКП 45-3.04-170–2009 (02250). Минск: Минстройархитектуры, 2011. 74 с.
8. Михневич, Э. И. Твердый сток с польдерных систем и меры снижения его влияния на водоприемники / Э. И. Михневич, А. П. Русецкий // Вестник БНТУ. 2006. № 1. С. 15–21.
9. Михневич, Э. И. Обеспечение устойчивости откосов дамб для защиты от наводнений на реке Горыни / Э. И. Михневич, П. М. Богославчик, Е. А. Володько // Наука и техника. 2013. № 5. С. 39–44.
10. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. Минск: Право и экономика, 2015. 306 с.

Поступила 18.01.2017

Подписана в печать 20.03.2017

Опубликована онлайн 28.07.2017

REFERENCES

1. ТКП 45-3.04-179–2009 (02250). Polder Meliorative Systems. Design norms Minsk, Stroytekhnorm Publ., 2009. 136 (in Russian).
2. Karasev I. F., Kovalenko V. V. (1992) *Stochastic Methods for River Hydraulics and Hydrometry*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ. 208 (in Russian).
3. Karnaukhov V. N. (2013) *Erosion-Accumulative Processes in the Open Network of Meliorative Systems*. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ. 347 (in Russian).
4. Snishchenko B. F. (1980) Types of River Bed Evolutions and Their Origination. *Ruslovyje Protsessy Rek i Dinamika Vodoemov: tr. Gosud. Hidrologich. In-ta* [River Bed Evolutions and Water Reservoir Dynamics: Proceedings of State Hydrological Institute]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., (263), 4–40.
5. *Water Code of the Republic of Belarus*: 30 April 2014 No 149-3. Minsk, National Center for Legal Information of the Republic of Belarus. 78 (in Russian).
6. Volkov E. A., Moskovchenko V. F., Kozlov M. F. (et al.) Skoropanov S. G., Gorbutovich G. D. (eds.) (1982) *Melioration and Reclamation of the Pripyat High-Water Bed*. Minsk, Uradzhay Publ. 247 (in Russian).
7. ТКП 45-3.04-170–2009 (02250). Hydraulic Engineering Structures. Rules for Determination of Loads and Effects (Wave, Glacial and Ship). Minsk: Publishing House “Minstroyarkhitektury”, 2011. 74 (in Russian).
8. Mikhnevich E. I., Rusetsky A. P. (2006) Solid Discharge from Polder Systems and Measures on Reduction of its Influence on Water Intakes. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], (1), 15–21 (in Russian).
9. Michnevich E., Bogoslavchik P., Volodko E. (2013) Provision of Dike Slope Stability for Territory Protection against Goryn River Floods. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], (5), 39–44 (in Russian).
10. Levkevich V. E. (2015) *Dynamic Stability for Water Reservoir Banks in Belarus*. Minsk, Pravo i Ekonomika Publ. 306 (in Russian).

Received: 18.01.2017

Accepted: 20.03.2017

Published online: 28.07.2017