Методе одређивања брзине струјања воде у каналима у циљу заштите косина и дна канала од рушења

ИВАН В. ШКИЉАИЦА, Универзитет у Новом Саду,

Факултет техничких наука, Нови Сад,

ВЛАДИМИР С. ШКИЉАИЦА, Универзитет у Новом Саду,

Факултет техничких наука, Нови Сад,

МИРЈАНА И. ЖИВКОВИЋ, Јавно водопривредно предузеће Воде Војводине, Нови Сад

Стручни рад

UDC: 656.6

626.1

DOI: 10.5937/tehnika2105636S

У раду су анализирани услови пловидбе бродова за превоз терета депласманског типа наших бродарских компанија по каналима хидросистема Дунав-Тиса-Дунав у циљу утврђивања брзине пловидбе при којој настају брзине струјања воде супротног смера такве да обале (косине) и дно пловног канала буду заштићени од рушења. Методе примењене у раду настале су као резултат посебних истраживања која су спроведена на каналима Москва и Волго-Донском каналу од стране две научне институције руске федерације: Главног истраживачког института водног транспорта (ГИИВТ-а) и Научног истраживачког института водног транспорта (НИИВТ-а). Резултати ових истраживања објављени су у литератури на руском језику. Циљ аутора био је да се, на основу ових објављених метода, испита и утврди утицај кретања бродова наших бродарских компанија на обале и дно канала као нови корак у припремама за тражење оптималног режима кретања бродова по пловним каналима. Прорачунима су подвргнути самоходни (моторни) бродови за превоз терета различитих типова у каналима променљиве површине попречног пресека и при различитим брзинама пловидбе. Анализом добијених резултата који се односе на могућност разарања косина (обала) и дна канала може јасно да се уочи да номинална (прописана) брзина пловидбе бродова у каналима, која износи 8,0 km/h, не треба да буде уједно и максимално дозвољена-она може да буде и већа али и мања. Из тог разлога, могућу брзину пловидбе бродова у каналима требало би дефинисати и утврдити у функцији главних димензија брода (нарочито његовог газа) и облика и површине попречног пресека пловног канала.

Кључне речи: брзина пловидбе, попречни профил пловног канала, брзина струјања воде супротног смера, моторни брод депласманског типа

1. УВОД - ОПИС ПРОБЛЕМА

При кретању брода у пловном каналу све појаве настале током пловидбе у речним токовима (нпр. област критичних брзина, додатни уроњај, промена система таласа, смањење нивоа воде, повећање укупног отпора брода) у условима плитке воде појачавају се. Такође, током кретања брода у пловном каналу, уочава се још једна карактеристична особеност - појава струјања масе воде која настаје не само испод дна брода већ и поред њего-

вих бокова. Страна истраживања објављена у литератури [3], [4], [5], [6] показују да струјања (кретања масе воде) чији смер је супротан смеру кретања брода, при докритичним брзинама (када је $v_{pl} < v_{kr}$, при чему су: v_{pl} -брзина пловидбе брода; v_{kr} -критична брзина пловидбе) поседују у датом моменту времена, практично, константну брзину у попречном пресеку канала. Величина релативне брзине ових струјања (θ , која се приказује као однос брзине насталог струјања супротног смера- Δv и тренутне брзине пловидбе- v) одређује се на основу степена притиснутости воде у каналу од стране брода (m) и релативног смањења нивоа воде у сужењем пресеку канала (h). Истим истраживањима, утврђено је да брзина струјања воде супротног смера (v_s) зависи, такође, од облика и површине попречног пресека канала, као и од величине, облика и

Адреса аутора: Иван Шкиљаица, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6

e-mail: ivan.skiljaica@uns.ac.rs

Рад примљен: 02.06.2021.

Рад прихваћен: 11.10.2021.

површине пресека брода на главном ребру. Истраживања објављена у наведеној литератури за канале реалног трапезног профила заснивају се на следећим основним претпоставкама: (1) сматра се да је вода идеална (без промене дубине по дужини канала) и да у каналу нема њеног кретања; (2) брод се креће праволинијски, по оси симетрије канала константном брзином (v) бродови су без претега и нагнутости на један од бокова-ситуација када је брод на равној кобилици; (3) газ брода у односу на слободну површину воде се не мења; (4) испитивани су самоходни-моторни бродови за превоз терета различитих типова. Аутори усвајају и претпостављају да су у раду изложени резултати истраживања остварени уз испуњење услова (1) до (3).

Објављени резултати показују да, приликом кретања бродова у пловним каналима докритичним брзинама ($v_{pl} < v_{kr}$) због појаве интензивног струјања воде чији смер је супротан у односу на смер кретања бродова брзина опструјавања око трупа брода значајно расте. Испитивање брзине кретања воде супротног смера има посебан значај будући да од ње зависе и вредности локалних брзина тока супротног смера које се манифестују на косинама (v_{s1}) и дну канала (v_{s2}). Према томе, утврђивање брзине кретања воде супротног смера (v_s) у односу на смер кретања бродова огледа се у одређивању такве допуштене (могуће) брзине кретања брода која не доводи до одроњавања и

рушења материјала од којег су изграђене косине и дно канала.

2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ БРОДОВА-МОТОРНИХ ТЕРЕТЊАКА

Предмет истраживања у овом раду биће истраживање кретања бродова-моторних теретњака у пловним каналима из система Дунав-Тиса-Дунав (ДТД) а који припадају категорији депласманских бродова за превоз терета опремљених сопственим погоном [1]. Постојећи моторни теретњаци наших бродарских компанија међусобно се разликују и по конструктивним и по експлоатационим карактеристикама. Бродови, чији ће утицај бити истраживан на појаву кретања масе воде супротног смера у каналима из система ДТД, разврстани су на основу идентичних конструктивних карактеристика у пет група, и то: МТ700, МТ850, МТ1000, МТ1500 и МТ2600. Најважније техничке и експлоатационе карактеристике усвојених типова бродова приказане су у табели број 1.

Из табеле 1 види се да бродови који припадају типу МТ1500 и МТ2600 имају конструктивни газ који је већи у односу на дозвољени газ за канале из овог система ($T=2,15$ m), због чега ће у поступку прорачуна брзине струјања воде супротног смера у каналима бити употребљен онај газ који је дозвољен за пловидбу у каналима из система ДТД.

Табела 1. Конструктивне и експлоатационе карактеристике бродова

Основне Карактеристике	Тип брода				
	МТ700	МТ850	МТ1000	МТ1500	МТ2600
L_{KVL} (m)	60,05	69,63	75,60	80,00	96,00
B_{KVL} (m)	8,61	8,48	10,80	11,40	13,80
T_{max} (m)	2,05	2,15	2,20	2,50	3,15
T_0 (m)	0,44	0,59	0,80	0,55	0,71
$V(T_{max})$ (m ³)	903	1054	1450	1930	3580
Q_r (t)	720	890	1000	1576	2770
δ	0,852	0,830	0,870	0,846	0,857
β	0,98	0,995	0,995	0,995	0,990
α	0,925	0,945	0,95	0,95	0,970

Објашњење ознака: L_{KVL} -дужина брода на конструктивној водној линији; B_{KVL} -ширина брода на конструктивној водној линији; T_{max} -највећи газ брода; T_0 -најмањи газ брода; $V(T_{max})$ -истиснина брода у функцији највећег газа; Q_r -регистрована (највећа) носивост брода; δ -коефицијент пуноће бродског трупа при T_{max} ; β -коефицијент пуноће главног ребра при T_{max} ; α -коефицијент пуноће водне линије при T_{max} .

Осим тога, бродови типа МТ2600, будући да имају димензије трупа (дужина и ширина) које су значајно веће од дужине и ширине комора бродских преводница на каналима (85x12 m) система ДТД, и не могу да уплове нити у један од канала

овог система, имају само теоретски значај у поступку истраживања појаве струјања воде супротног смера.

На слици 1. приказани су генерални планови одабраних типова бродова.

Слика 1 - Генерални планови одабраних моторних теретњака

3. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПЛОВНИХ КАНАЛА ИЗ СИСТЕМА ДТД

Пловни канали хидросистема ДТД пројектовани су у три разреда према величини меродавног пловила, и то за носивости 1000, 500 и 200 тона носивости [2]. На каналској мрежи, као вештачким пловним путевима, хидролошке и морфолошке карактеристике су одређене на основу пројектованих конструктивних решења и режима експлоатације. Водостаји на каналима режимски се држе у потребним границама које обезбеђују номиналне карактеристике. Брзина тока у каналима је безначајна са гледишта пловидбе.

Димензије пловидбених профила канала су познате и на основу њих су утврђени пловидбени капацитети, тј. пропусна способност канала изражена у броју бродова или у тонама превезеног терета. У основи сви попречни профили су слични, без

обзира да ли им је облик полигоналан или параболичан. Нагиб косине у висини водног огледала је, приближно, 1:3. Сваком од канала дефинисани су: позиција деонице, ширине (у нивоу водног огледала, пловна ширина и ширина у дну канала), површина попречног пресека, минимални полупречник кривине, пловна дубина и дозвољена носивост бродова. Оријентациони облици усвојених попречних профила пловних канала (са уцртаним пресеком одабраних типова бродова на главном ребру) приказани су на слици 2.

У циљу добијања ширине и целовитости резултата за потребе прорачуна величине брзине воде која се креће смером који је супротан кретању брода (v_s), а поготово због прецизног дефинисања брзине струјања на косинама (v_{s1}) и дну канала (v_{s2}), усвојени су пловни канали чије површине попречног пресека износе 75, 90, 100, 130, 140, 150, 200, 300 и 400 m².

Слика 2 - Попречни пресеци неких од одабраних канала површине попречних пресека Ω_K

4. МЕТОДЕ ЗА ПРОРАЧУН БРЗИНЕ СУПРОТНОГ ТОКА

Струјање масе воде супротног смера у односу на смер кретања брода настаје као последица смањења нивоа воде у пресеку канала (ΔH) и степена притиснутости воде од стране брода (m), који се рачуна помоћу израза:

$$m = \frac{F_{\otimes}}{\Omega_K} = \frac{B_{kvl} \cdot T_{max} \cdot \beta}{H_K \cdot \bar{B}_K}, [3], [4], [5], [6],$$

где су: $F_{\otimes}$ - површина брода на главном ребру; Ω_K - површина попречног пресека канала када се у њему не налази брод; B_{kvl} - ширина брода на главном ребру на конструктивној водној линији; T_{max} - највећи (дозвољени) газ брода; β - коефицијент пуноће главног ребра брода; H_K - дубина воде у каналу; $\bar{B}_K$ - средња ширина у профилу канала. Карактер промене брзине струјања воде супротног смера у каналу карактерише, такође, и Фрудов број према дубини канала,

$$Fr_H = \frac{v}{\sqrt{g \cdot H_K}}, [3], [4], [5], [6],$$

при чему је v - брзина кретања брода (m/s). Једна од важних величина којима се дефинише брзина кретања воде супротног смера је и коефицијент облика пресека канала (b), који се рачуна према изразу:

$$b = \frac{B_{nvo} - B_d}{B_{nvo} + B_d}, [3], [4], [5], [6],$$

где су: B_{nvo} - ширина канала на нивоу водног огледала и B_d - ширина канала у дну.

Како је истакнуто, на основу резултата објављених страних испитивања [3], [4], [5], [6] следи да струјања (кретања масе воде) супротног смера (при докритичним брзинама) поседују у датом моменту времена, практично, константну брзину у попречном пресеку канала. При том, величина релативне брзине ових струјања (θ) одређује се помоћу степена притиснутости воде од стране брода (m) и релативног смањења нивоа у

$$h = \frac{\Delta H}{H_K},$$

суженом пресеку канала, а такође и облика пресека пловног канала. Изрази за прорачун релативне брзине струјања воде (θ) и релативног смањења нивоа воде у суженом пресеку канала (h) имају облике [4], [5]:

$$\theta = \frac{1}{(1-bh) \cdot (1-h) - m} - 1 \quad (1)$$

$$h = \left(\theta + \frac{\theta^2}{2} \right) \cdot Fr_H^2 \quad (2)$$

Брзина струјања воде супротног смера (v_s) изазвана кретањем брода може да се одреди према изразу В.К.Шанчурове [3], [5]:

$$v_s = 100 \cdot v \cdot m^2 \cdot Fr_H^3 \quad (3)$$

Брзина струјања воде супротног смера (v_s) изазвана кретањем брода састоји се из две компоненте, и то: $vs1$ -брзина струјања воде преко косина канала и $vs2$ -брзина струјања воде преко дна канала. Решавање задатка одређивања компоненти брзине тока воде супротног смера ($vs1$ и $vs2$) у каналима трапезног попречног пресека према методи В. Г. Павленка [4] дели се у две етапе. У првој етапи утврђују се средње смањење нивоа воде у каналу узроковано проласком брода (h) и средња вредност релативне брзине тока воде супротног смера¹ (θ) - што је описано у методи В. К. Шанчурове, а у другој етапи - рачунају се вредности локалних брзина тока супротног смера на косинама ($vs1$) и дну канала ($vs2$) узимајући у обзир неравномерности због смањеног попречног пресека канала. Примена ове методе заснива се на одређивању релативне ширине брода (Ω_1), при чему је

$\Omega_1 = \frac{B}{\bar{B}_K}$ и релативног газа брода (t_1), помоћу израза: $t_1 = \frac{T}{H_K}$. Брзина тока воде супротног смера

на косинама (v_{s1}) и на дну (v_{s2}) канала може да се одреди рачунским поступком, према изразу 4 [5]:

$$\left. \begin{aligned} v_{s1} &= v_s \cdot \sqrt[4]{\Omega'}; \\ v_{s2} &= v_s \cdot \left[\sqrt[4]{\Omega'} + 1,63 \cdot (1 - \Omega')^4 \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

који имају оправдање за $\Omega' \leq 0,7$ [5] и $t' = \frac{t_1}{1-h_1} \leq 0,8$ [5].

У наведеним изразима примењује се величина $\Omega' = \frac{B}{B'_K}$, при чему је (B'_K) средња ширина канала израчуната узимајући у обзир снижење нивоа воде у каналу, по изразу: $B'_K = \bar{B}_K \cdot (1 - b \cdot h)$. Ако се зна $\Omega_1 = \frac{B}{\bar{B}_K}$ вредност Ω' може да се израчуна помоћу израза:

¹ Релативна брзина тока воде супротног смера исто је што и брзина воде супротног смера у зависности од аутора који описују појаву (В. К. Шанчурова и В. Г. Павленко).

$\Omega' = \frac{\Omega_1}{1-b \cdot h}$. Добијене вредности локалних брзина (v_{s1}) и (v_{s2}) упоређују се са брзинама које доводе до одроњавања материјала од којег су изграђене косине и дно канала на основу чега се установљава допуштена (могућа) брзина кретања брода.

5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Према изложеној методологији следи прорачун параметара неопходних за утврђивање величине брзине струјања водене масе чији смер је супротан смеру кретања бродова, и то:

- површина уроњеног дела брода на главном ребру (F_{π}), рачуна се према изразу $F_{\pi} = B_{kl} \cdot T_{\max} \cdot \beta$, на основу којег следе, при највећем (или допуштеном) газу, за одабране типове бродова: $F_{MT700}=17,2774 \text{ m}^2$, $F_{MT850}=18,1408 \text{ m}^2$, $F_{MT1000}=18,7385 \text{ m}^2$; $F_{MT1500}=20,7354 \text{ m}^2$; $F_{MT2600}=25,4272 \text{ m}^2$;

- степен притиснутости воде од стране брода (m), прама изразу: $m = \frac{F_{\pi}}{\Omega_K}$, рачуна се за сваки

од одабраних пресека пловног канала и усвојених типова бродова, што је изложено у табели 2.

- коэффициент облика канала (b) рачуна се помоћу изрази: $b = \frac{B_{nvo} - B_d}{B_{nvo} + B_d}$; који за одабране пло-

вне канале износи:

$$\begin{array}{lll} b_{75}=0,4285; & b_{90}=0,5238; & b_{100}=0,5384; \\ b_{130}=0,5789; & b_{140}=0,3976; & b_{150}=0,5714; \\ b_{200}=0,4545; & b_{300}=0,6661; & b_{400}=0,3827 \end{array}$$

(индекс уз ознаку коэффициента облика канала означава површину попречног пресека одабраног канала, при чему су познате ширина канала на нивоу водног огледала и ширина канала у његовом дну за сваки од одабраних канала);

Табела 2. Степен притиснутости воде од стране брода (m) у каналима система ДТД

Тип брода	Површина попречног пресека пловног канала, Ω_K (m ²)								
	75	90	100	130	140	150	200	300	400
MT700	0,2303	0,1919	0,1727	0,1329	0,1234	0,1151	0,0863	0,0576	0,0432
MT850	0,2418	0,2015	0,1814	0,1395	0,1295	0,1209	0,0907	0,0604	0,0453
MT1000	0,3065	0,2567	0,2298	0,1441	0,1338	0,1249	0,1149	0,0766	0,0574
MT1500	0,3251	0,2709	0,2438	0,1595	0,1481	0,1382	0,1219	0,0813	0,0609
MT2600	0,3390	0,3263	0,2542	0,1956	0,1816	0,1695	0,1271	0,0847	0,0635

- вредности Фрудовог броја срачунате су према дубини канала $H_K=2,5 \text{ m}$; за усвојене брзине пловидбе бродова, и то: $v=2,0 \text{ km/h}$ (0,555 m/s), $v=4,0 \text{ km/h}$ (1,111 m/s), $v=6,0 \text{ km/h}$ (1,666 m/s), $v=8,0 \text{ km/h}$ (2,222 m/s), $v=10,0 \text{ km/h}$ (2,777 m/s), $v=12,0 \text{ km/h}$ (3,333 m/s), вредности Фрудовог броја износе: $Fr_{H(2,0)}=0,1121$; $Fr_{H(4,0)}=0,2243$; $Fr_{H(6,0)}=0,3365$; $Fr_{H(8,0)}=0,4487$; $Fr_{H(10,0)}=0,5609$; $Fr_{H(12,0)}=0,6731$ (индекс уз ознаку Фрудовог броја означава претпостављену брзину пловидбе изражену у km/h).

Аутори су се определили да дијаграмима на сликама 3, 4 и 5 прикажу промену брзине струјања v_s , v_{s1} и v_{s2} у функцији брзине пловидбе одабраних типова бродова за канале чија површина попречног пресека износи 75,0, 200,0 и 400,0 m² (као најмања, средња и највећа површина попречног пресека) На слици 3 приказан је дијаграм промене брзине струјања воде супротног смера (v_s) одабраних типова бродова у пловним каналима у функцији највеће површине уроњеног дела брода на главном ребру (F_{π} - при највећем или могућем газу) и

површине попречног пресека канала (Ω_K), $v_s = f(F_{\pi}, \Omega_K)$ при кретању номиналном брзином у каналима из система ДТД, која износи $v_{pl} = 8,0 \text{ km/h}$. Утицај промене брзине пловидбе бродова (v_{pl}) у каналима одабраних површина попречног пресека, $v_s = f(v_{pl}, \Omega_K)$, приказује се на примеру брода типа MT850, слика 4. На слици 5 приказују се дијаграми промене брзине струјања на косинама (v_{s1}) и дну канала (v_{s2}) два типа бродова, MT850 и MT1500. Утицај промене газа брода у одабраним каналима на брзину струјања супротног смера, $v_s = f(T, \Omega_K)$ приказује се на примеру иста два типа бродова, MT850 и MT1500, слика 6.

Аутори имају обавезу да читаоцу пружи, у циљу јасноће и упоређивања резултата истраживања, неколике додатне информације. Наиме посебним Правилником о начину и условима коришћења водопривредних објеката основне каналске мреже хидросистема Дунав-Тиса-Дунав за пловидбу дефинисано је да брзина пловидбе мора увек

да се подеси тако да се кретањем пловних објеката не угрожава стање, стабилност и сигурност и да се не наноси штета обалама, кориту и објектима на каналу. У том циљу дефинисана је максимална дозвољена брзина пловидбе каналом која износи 8,0 km/h. Друго, за пловидбу по каналима из система Дунав-Тиса-Дунав бродарска предузећа из Србије одабрала су један тип брода посебно пројектован и прилагођен за пловидбу по каналима. То су бродови типа МТ850 [8], грађени у Мађарској, у бродоградилшту Balatonfüredi. Погон ових бродова остварује се помоћу два мотора типа „Фамос“, номиналне снаге 156 kW сваки, при 2000 обртаја у минути. Пропулзију остварују два пропелера типа „Schottel“, преника 1000 mm при 755 обртаја у минути. Брод је пројектован за брзину пловидбе 13,0 km/h у мирној води. Израчунати и приказани резултати који се односе на брод типа МТ850 употребљивани су с резултатима бродова типа МТ1500, пројектованих и грађених за рад и експлоатацију на Дунаву који су, такође, депласманског типа и могу да плове каналима из система Дунав-Тиса-Дунав дозвољеним газом, чије карактеристике су назначене у табели 1. Бродови овог типа погон остварују помоћу два мотора типа „Deutz“, номиналне снаге 240 kW сваки, при 2000 обртаја у минути. Пропулзију остварују два пропелера типа „Јастрам“, пречника 1100 mm при 612 обртаја у минути. Бродови овог типа пројектовани су за брзину пловидбе 14,0 km/h у мирној води.

6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Варирањем променљивих величина, као што су површина попречног пресека пловног канала, брзина пловидбе и конструктивне димензије бродова, при константној дубини канала, добијено је обиље података који се односе на створене брзине кретања масе воде (v_s) и њене компоненте које се

манифестују на косинама (v_{s1}) и дну (v_{s2}) канала. Због огромног броја израчунатих података који се односе на величине v_s , v_{s1} и v_{s2} није могуће да све буду објављене у раду у облику табела будући да овакав начин приказивања захтева врло велики простор. Из тог разлога аутори су се определили да најважније резултате прикажу одговарајућим дијаграмима на којима су приказане све промене величина v_s , v_{s1} и v_{s2} .

Наведено је, да је на слици 3 приказан дијаграм промене брзине струјања воде супротног смера (v_s) одабраних типова бродова у пловним каналима у функцији највеће површине уроњеног дела брода на главном ребру (F_H) која се добија при највећем (T_{max}), односно, највећем могућем газу и површине попречног пресека канала (Ω_K), тј. $v_s = f(F_H, \Omega_K)$ при кретању номиналном брзином у каналима из система ДТД, $v_{pl} = 8,0$ km/h. Распоред кривих на дијаграму јасно дефинише однос између површине попречног пресека канала и површине уроњеног дела попречног пресека брода на главном ребру. Евидентно је да се најповољније брзине струјања супротног смера (v_s) у каналима постижу кретањем бродова најмањих депласмана, МТ700 и МТ850. Идентичан закључак важи и за брзине струјања воде на косинама (v_{s1}) и на дну (v_{s2}) канала. И обрнуто, највеће вредности брзина струјања v_s , v_{s1} и v_{s2} остварују бродови највећих депласмана, МТ1500 и МТ2600 – поготово последњи тип. Очигледно је, да са порастом површине попречног пресека канала брзине струјања воде значајно опадају.

Из тог разлога оправдано се поставља питање коришћења канала малог попречног пресека у сврху пловидбе великих депласманских бродова без даљег ограничавања како димензија бродова, тако брзине пловидбе, тј. при $v_{pl} < 8,0$ km/h.

Слика 3 - Дијаграм промене брзине струјања воде супротног смера (v_s) одабраних типова бродова у функцији величина F_H и Ω_K за брзину пловидбе 8 km/h

Слика 4 - Утицај брзине пловидбе бродова (v_{pl}) на брзину струјања воде (v_s) у каналима одабраних површина попречног пресека за брод MT850

Слика 5 - Дијаграм промене брзина струјања на косинама (v_{s1}) и дну канала (v_{s2}) два типа бродова - MT850 и MT1500 за брзину пловидбе 8 km/h

Слика 6 - Утицај промене газа брода у одабраним каналима на брзину струјања супротног смера, $v_s = f(T, \Omega_K)$ за бродове MT850 и MT1500 за брзину пловидбе 8 km/h

На дијаграму, слика 4, приказан је утицај промене брзине пловидбе бродова (v_{pl}) на брзину струјања у каналима одабраних површина попречног пресека, $v_s = f(v_{pl}, \Omega_K)$ на примеру брода типа МТ850 – посебно пројектованог за пловидбу по каналима система ДТД. Распоред кривих на дијаграму јасно указује на однос између површине попречног пресека канала и брзине пловидбе бродова овог типа. Истовремено, види се да брзине пловидбе бродова типа МТ850 (али и бродова типа МТ700) могу бити и веће од 8,0 km/h у каналима великог попречног пресека.

Дијаграми на слици 5 приказују криве промене брзине струјања на косинама (v_{s1}) и дну (v_{s2}) одабраних канала за два типа бродова, МТ850 и МТ1500 при њиховој константној брзини пловидбе, $v_{pl} = 8,0$ km/h. Недвосмислено је јасно да брзине струјања воде по дну канала (v_{s2}) остварују значајно веће вредности у односу на брзине струјања по косинама (v_{s1}) канала – што је последица степена притиснутости воде у каналу од стране брода (m). Разуме се, све вредности брзина струјања v_{s1} и v_{s2} које постиже у пловидби брод дунавског типа МТ1500 неупоредиво су веће од истих које остварује брод мањег попречног пресека, типа МТ850.

Утицај промене газа бродова, од најмањег конструктивног (T_0) до највећег могућег за пловидбу по каналима из система ДТД (T_{max}), $v_s = f(T, \Omega_K)$, приказан је на дијаграму, слика 6. Разуме се, променом величине газа (T) мења се и површина уроњеног дела брода на главном ребру (F_{π}), па се анализа своди на описану облика $v_s = f(F_{\pi}, \Omega_K)$. Упоредиване су брзине струјања (v_s) два типа бродова, МТ850 и МТ1500. И у овом случају може да се постави питање лимитиране брзине пловидбе у каналима из система ДТД (8,0 km/h) у свим случајевима. Евидентно је, да када се бродови крећу малим газом настају веома мале брзине струјања, како брзине v_s , тако и компоненти v_{s1} и v_{s2} .

Из изложеног јасно се уочава да се брзина кретања масе воде чији смер је супротан у односу на смер кретања бродова (v_s), као и компоненти ове масе које делују на косине (v_{s1}) и дно (v_{s2}) канала највише зависи од чинилаца, као што су:

- главне димензије брода (L_{kvl} , B_{kvl} , T) и облик брода дефинисан офговарајућим коефицијентима пуноће (α , β , δ);
- облик, димензије и површина попречног пресека пловног канала (B_{nvo} , B_d , Ω_K);
- брзина пловидбе бродова (v_{pl});
- дубина канала (H_K).

Прорачун брзине кретања масе воде чији је смер супротан у односу на смер кретања бродова према изложеним методама препоручује се због могућег повећања, односно неопходног смањења брзине пловидбе бродова у зависности од наведених чинилаца.

7. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказане метода за прорачун брзине струјања воде чији смер је супротан смеру кретања брода (v_s - метода В.К.Шанчурове) и метода за прорачун компоненти овако насталог струјања по косинама и дну канала (v_{s1} и v_{s2} - метода В. Г. Павленка). Наведене брзине струјања настају као последица присуства и кретања брода у каналима из система Дунав-Тиса-Дунав.

Познавање брзина струјања воде v_s , v_{s1} и v_{s2} од великог је значаја за утврђивање критичних брзина пловидбе бродова по појединим каналима (v_{kr}), будући да је добијене вредности локалних брзина (v_{s1}) и (v_{s2}) потребно упоредити са брзинама које доводе до одроњавања материјала од којег су изграђене косине и дно канала на основу чега се установљава допуштена (могућа) брзина кретања брода – а у циљу постизања брзине пловидбе такве која не угрожава стање, стабилност и сигурност косина и дна канала.

Прегледом добијених и изложених резултата може да се закључи, да бродови који се крећу једним истим каналским правцем (нпр. Бечеј-Богојево или Банатска Паланка-Нови Бечеј) и на њему различитим деоницама које се међусобно разликују по површини попречног пресека изазивају, по интензитету, различите брзине струјања воде (v_s , v_{s1} , v_{s2}) због чега би требало да имају и различите вредности критичне брзине пловидбе.

Истоветно важи и када бродови прелазе из једног каналског правца у други, као на пример када из Бегеја упловљавају у канал Банатска Паланка-Нови Бечеј, и тд.

На крају потребно је да се нагласи, да се критичне и препоручене брзине кретања бродова различитог типа при пловидби по каналима из система Дунав-Тиса-Дунав могу добити применом различитих рачунских метода у комбинацији са експериментима које треба реализовати са реалним бродовима у реалним условима пловидбе.

8. ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад настао је као део пројекта „Развој и примена савремених алата и метода истраживања у области саобраћаја и транспорта“ Департмана за Саобраћај, Факултета техничких наука у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Студија техно-економских карактеристика постојећих моторних теретњака*, Факултет техничких наука, Нови Сад, Институт за хидраулику и саобраћај, Нови Сад, 1991;
- [2] Архива ЈКП „Воде Војводине“, сектор за хидро-системе ДТД;
- [3] Ваганов, Г. И, Воронин, В. Ф, Шанчурова, В. К, Тяга судов, *Транспорт*, Москва, 1986;
- [4] В. Н, Анфимов, Г. И, Ваганов, В. Г, Павленко, Судовые тяговые расчеты, *Транспорт*, Москва, 1978;
- [5] Головников В. И, Суколенов А. Е, Шанчурова, В.К. Основы организации работы флота и портов, *Транспорт*, Москва, 1976;
- [6] В. Н. Анфимов, Г. Н, Сиротина, А. М. Чижов, Устройство и гидромеханика судна, *Судостроение*, Ленинград, 1974;
- [7] И. Шкиљаица, В. Шкиљаица, Прилог одређивању критичне и допуштене брзине кретања бродова у пловним каналима, *Техника*, број 1, Савез инжењера и техничара Србије, Београд 2020;
- [8] И. Шкиљаица, В. Шкиљаица, Утицај површине попречног пресека канала на критичну брзину пловидбе, *Техника*, број 5, Савез инжењера и техничара Србије, Београд 2020;

SUMMARY

METHODS FOR DETERMINING THE SPEED OF WATER FLOW IN CANALS IN ORDER TO PROTECT THE SLOPES AND BOTTOMS OF CANALS FROM COLLAPSE

The paper analyzes the navigating conditions of the displacement type ships for the transport of our shipping companies on the channels of the Danube-Tisa-Danube hydro system in order to determine the navigation speed at which the speeds of water flow of opposite direction occur so that the channel banks and the bottom are protected from collapse. The methods applied in the work were created as a result of special research conducted on the Moscow and Volga-Don channels by two scientific institutions of the Russian Federation: the Main Research Institute of Water Transport (GIIVT) and the Scientific Research Institute of Water Transport (NIIVT). The results of this research have been published in literature in the Russian language. The aim of the authors was, based on these published methods, to examine and determine the impact of the movement of ships of our shipping companies on the shores and bottom of the canal as a new step in preparations for finding the optimal regime of navigation on navigable canals. Self-propelled (motor) ships for the transport of cargo of different types in channels of variable cross-sectional area and at different navigation speeds were subjected to calculations.

Key words: *Speed of navigation, channel cross section area, opposite flow speed, displacement type cargo ship*