

УДК 629.5.072.1

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ЛЕДОВОГО КАНАЛА НА ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА В УСЛОВИЯХ ПРОДЛЕННОЙ НАВИГАЦИИ

Злобин А. А.

ФГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», Красноярск, Россия (660049, Красноярск, пр. Мира, 82), e-mail: aazlobin@yandex.ru

Получена зависимость для определения скорости потока, учитывающая влияние ледового канала и стеснения потока буксируемым плотом в условиях продленной навигации. На скорость потока в период продленной навигации будут оказывать существенное влияние такие показатели, как ширина канала в ледовом поле, шероховатость льда, шероховатость русла, осадка буксируемого плота и глубина потока. В данной работе экспериментально подтверждена выведенная формула и исследованы закономерности потока вследствие изменения ширины ледового канала. В качестве материала заменяющего лед в лабораторной установке использовался полиэтилен высокого давления. Скорости потока замерялись при помощи гидрометрической микровертушки ГМЦМ–1. Результаты опытных и расчетных скоростей расходились на 3–4 %, что не является существенным. При увеличении ширины канала на 50 % скорость потока увеличилась на 15 %, за счет увеличения скорости под плотом почти в 2,5 раза и снижения скорости у стенок плота на 45 %.

Ключевые слова: продленная навигация, лесосплав, скорость потока, полиэтилен высокого давления (ПВД).

INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE ICE CHANNEL OF RATE OF FLOW IN THE EXTENDED NAVIGATION

Zlobin A. A.

Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, Russia (660049, Krasnoyarsk, prospect Mira, 49), e-mail: aazlobin@yandex.ru

The dependence for determining the flow rate, taking into account the effect of the ice channel and stream embarrasment towed a raft in the extended navigation. At the flow rate during the extended navigation will have a significant impact indicators such as the width of the channel in the ice box, ice roughness, the roughness of the riverbed, sediment towed the raft and the depth of flow. In this paper we experimentally confirmed the derived formula, and investigated the flow patterns due to changes in the width of the ice channel. The material replaces ice in the laboratory facility used high-density polyethylene. Flow rates were measured by gauging mikrovertushki ГМЦМ–1. The results of experimental and calculated flow rate of 3-4%, which is not essential. By increasing the channel width by 50 % the flow rate increased by 15 %, by increasing the rate by a raft of almost 2.5 times and reduce speed to the walls of the raft by 45 %.

Key words: prolonged navigation, rafting, flow velocity, high-density polyethylene (HDP).

Введение

Современный уровень развития ледокольной техники позволяет организовать транспортировку лесоматериалов по рекам и водохранилищам в продленный период навигации. Продление навигации может быть обеспечено прокладкой каналов во льду в ранне-весенний и осенний периоды навигации [4; 3].

В связи с этим возникает необходимость аналитического и экспериментального исследования закономерностей движения водного потока, стесненного ледяным покровом при наличии в нем канала, а также стесненного буксируемым плотом.

Цель исследования

Получить зависимость для определения скорости потока, учитывающую влияние ледового канала и стеснения потока буксируемым плотом в условиях продленной навигации. Опытным путем проверить данную формулу и исследовать влияние ширины канала на скорость потока при прочих равных условиях.

Материалы и методы исследования

При образовании ледяного покрова возникает дополнительное сопротивление движению потока вследствие появления дополнительной шероховатости поверхности льда. В общем случае движение потока может быть напорным и безнапорным. Если ледяной покров прочно смерзается с берегами и дном, то возможно напорное движение. Если же во льду прокладывается канал, то речь может идти только лишь о безнапорном движении. Для определения скорости потока в широком русле постоянного сечения под ледяным покровом при наличии в нем канала воспользуемся формулой [4; 5]:

$$v_{л} = \frac{1}{n_{пр}} H^{1/6} \sqrt{\frac{ImB}{2(1+m) - m'}}, \quad (1)$$

где H – глубина потока, м;

m – относительная глубина потока ($m = H/B$);

B – ширина русла, м;

m' – относительная ширина прорези канала ($m' = b/B$);

b – ширина прорези канала, м;

I – гидравлический уклон;

$n_{пр}$ – приведенный коэффициент шероховатости для потока под ледяным покровом.

У. С. Рось [2] на основе сопоставления результатов расчета с данными натуральных наблюдений рекомендует применять формулу Н. Н. Павловского для определения $n_{пр}$

$$n_{пр} = \frac{n_{л}\chi_{л} + n_{р}\chi_{р}}{\chi_{л} + \chi_{р}}, \quad (2)$$

где $n_{л}$, $n_{р}$ – коэффициент шероховатости ледяного покрова и русла, соответственно;

$\chi_{л}$, $\chi_{р}$ – смоченный периметр ледяного покрова и русла, соответственно.

Для рек в бытовом состоянии Н. Н. Белоконь [1] рекомендует принимать значения коэффициента шероховатости ледяного покрова, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициента шероховатости ледяного покрова

Период ледостава	Расчетное значение
Первые 10 дней ледостава	0,150–0,050

10–20–й день после ледостава	0,100–0,040
20–60–й день после ледостава	0,050–0,030
60–80–й день после ледостава	0,040–0,015
80–110–й день после ледостава	0,025–0,010

Значение скорости потока в стесненном плотом сечении можно определить по формуле [1]:

$$v_c = v \sqrt{2 - K^2 \left(\frac{n-1}{n} \right)^2}, \quad (3)$$

где $K^2 = 1 - \frac{1}{\sqrt{n-4,2}}$

v – средняя скорость потока не стесненного плотом, м/с;

$n = \omega / \varpi$ – профильный коэффициент;

ω – площадь поперечного сечения потока, м²;

ϖ – площадь погруженной части корпуса судна по мидельшпангоуту, м².

Значение скорости потока в стесненном сечении с учетом влияния ледяного покрова при наличии в нем канала получим, подставив в уравнение (3) v_l

$$v_l^c = \frac{1}{n_{\text{пр}}} H^{1/6} \sqrt{\frac{\text{Im}B}{2(1+m) - m'}} \sqrt{2 - K^2 \left(\frac{n-1}{n} \right)^2}. \quad (4)$$

Для экспериментальной проверки выведенной формулы (4) необходимо сравнить теоретические показатели v_l^c с экспериментальными. Опыты проводились в лаборатории кафедры использования водных ресурсов СибГТУ. Канал смоделирован из досок, установленных в лотке на распорки, между доской и стенкой лотка приклеен поролон, для того чтобы сгладить неровности лотка и деревянного канала. Часто за неимением условий для намораживания натурального льда, используются материалы со схожим коэффициентом трения и плотностью, так в данном исследовании в качестве материала, заменяющего лед, использовался полиэтилен высокого давления. Для того что бы коэффициент трения и коэффициент шероховатости канала был максимально приближен к натурному, к внутренней и нижней части деревянного канала были прибиты пластинки из полиэтилена высокого давления. Замеры скорости потока проводились гидрометрической микровертушкой ГМЦМ–1. Общая схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

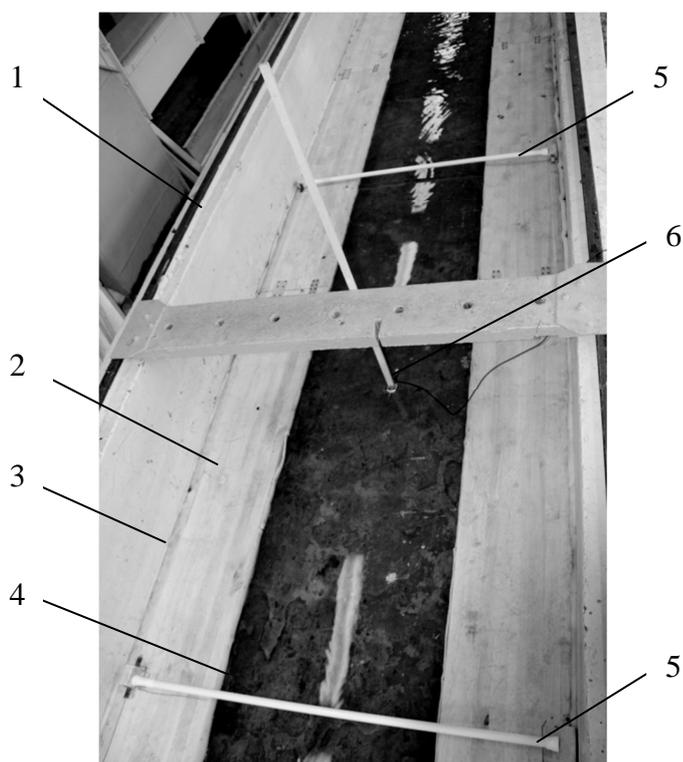


Рисунок 1. Опытная установка для определения скорости в ледовом канале:
 1 – лоток; 2 – модель канала; 3 – поролон; 4 – полиэтилен высокого давления; 5 – распорки; 6 – гидрометрическая микровертушка ГМЦМ–1

Определим по формуле (4) $v_{л}^c$ для следующих лабораторных условий:

- B , ширина лотка, 1,4 м;
- H , глубина потока, 0,3 м;
- $b_1; b_2; b_3$, ширина канала, соответственно 0,8 м; 1 м; 1,2 м;
- I , гидравлический уклон, 0,001;
- $n_{л}$, коэффициент шероховатости лотка, 0,03;
- $n_{ПВД}$, коэффициент шероховатости полиэтилена высокого давления, 0,04;
- $B_{пл}$, ширина плота, 0,6 м;
- $T_{пл}$, осадка плота, 0,12 м.

Расчетные значения $v_{л}^c$ при $b_1; b_2; b_3$ приведены в таблице 2

Таблица 2. Расчет $v_{л}^c$ при $b_1; b_2; b_3$

$b, м$	m	m'	$\chi_p, м$	$\chi_{л}, м$	n_{np}	$\omega, м^2$	$\varpi, м^2$	n	K^2	$v_{л}^c, м/с$
0,8	0,214	0,571	2	0,6	0,032	0,420	0,072	5,833	0,217	0,438
1		0,714		0,4	0,031					0,465
1,2		0,857		0,2	0,030					0,498

Опытные показатели приведены в таблице 3.

Таблица 3. Опытные показатели $v_{л}^c$ при b_1 ; b_2 ; b_3

b , м	v (скорость потока в лотке), м/с	$v_{ст}$ (скорость потока возле стенок плота), м/с	$v_{дн}$ (скорость потока под плотом), м/с	$v_{л}^c = \frac{v_{ст} + v_{дн}}{2}$
0,8	0,549	0,577	0,272	0,425
1		0,474	0,419	0,447
1,2		0,326	0,640	0,483

Результаты сравнения опытных данных $v_{л}^c$ с расчетными представлены на рисунке 2

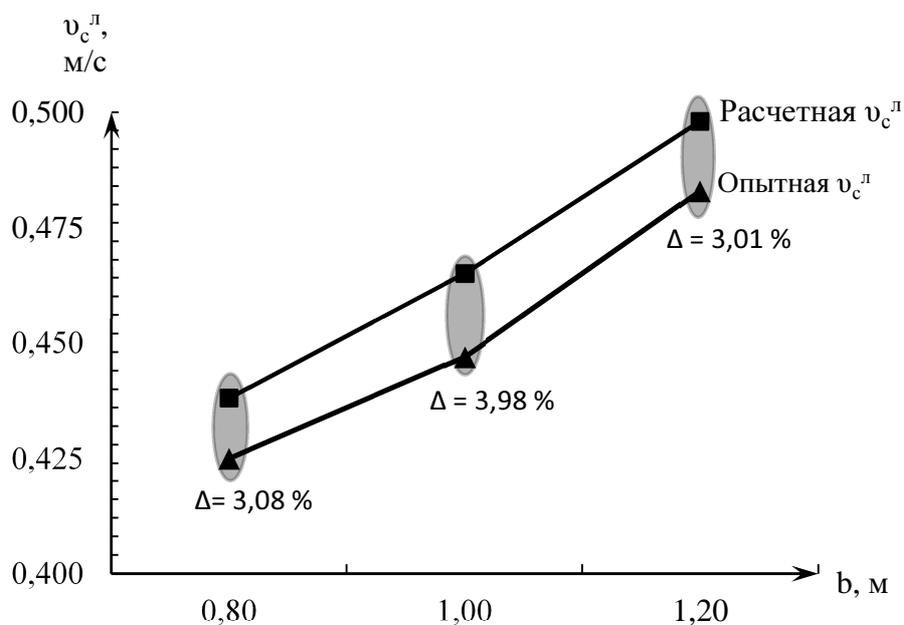


Рисунок. Расчетные и опытные показатели $v_{л}^c$

Выводы

Расхождения опытных и расчетных результатов составили в среднем 3–4 %. Из рисунка 2 видно, что при увеличении канала на 50 % скорость потока увеличилась примерно на 15 %. Так же результаты опытов (таблица 3) показали, что при увеличении канала скорость под плотом увеличилась практически в 2,5 раза, а возле стенок плота скорость потока уменьшилась на 45 %. Полученные расчетные и опытные зависимости могут быть использованы при определении сопротивления воды движению лесотранспортных единиц и судов в условиях продленной навигации.

Список литературы

1. Белоконь П. Н. Инженерная гидравлика потока под ледовым покровом: учеб. для вузов. – М.: Госэнергоиздат, 1940. – 159 с.
2. Звонков В. В. Судовые тяговые расчеты: учеб. для вузов. – М.: Речной транспорт, 1956. – 324 с.

3. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях: монография. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.
4. Корпачев В. П. Теоретические основы водного транспорта леса: монография. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 237 с.
5. Худоногов В. Н., Корпачев В. П. Основы моделирования в лесосплавном деле: учеб.пособие для студентов лесоинженерного факультета. – Красноярск: СТИ, 1974. – 18 с.

Рецензенты:

Козинев Георгий Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного транспорта и строительства ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск.

Лозовой Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесозаготовок ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск.