

УДК 629.5.072.1

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОТА С БИТЫМ ЛЬДОМ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕСОСПЛАВНЫХ РАБОТ В ПРОДЛЕННЫЙ ПЕРИОД НАВИГАЦИИ

**Злобин А.А.**

*ФГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»,  
Красноярск, e-mail: aazlobin@yandex.ru*

В работе приведены результаты наблюдений взаимодействия плота с битым льдом во время буксировки плота в ледовом канале. Во время движения плота в сплоченных битых льдах ледового канала наибольшие усилия расходятся на буксировку пюжа битого льда в носовой части плота и преодоление сил трения льда о боковые поверхности плота. Ширина зоны возмущения в носовой части плота составляет в среднем длину пюжа  $\pm 5\%$ . Изменение осадки от 0,5 до 0,7 м не оказывает существенного влияния на ледопроездимость плота и на его скоростные характеристики. При движении плота в ледовом канале шириной меньшей ширины плота в контакт со льдом вступают боковые продольные плоскости плота, которые последовательно выламывают лед. При таком движении плота часть льда подсовывается под кромку канала, часть нагромождается на носовую часть плота и кромку канала. В канале при этом остается до 30% битого льда. Форма носовой части плота является малоэффективной для расширения ледового канала. Продолжительные динамические нагрузки ледяного покрова могут оказывать разрушительное воздействие на древесину.

**Ключевые слова:** продленная навигация, лесосплав, ледовый канал, битый лед, сопротивление, буферный эффект

## RAFT INTERACTION WITH BROKEN ICE DURING EXTENDED PERIOD RAFTING IN NAVIGATION

**Zlobin A.A.**

*Siberian State Technological University, Krasnoyarsk, e-mail: aazlobin@yandex.ru*

The results of observations of the interaction of the raft with broken ice while towing a raft in the ice channel. During the movement of the raft in cohesive broken ice ice channel greatest effort spent on towing wad of broken ice in the bow of the raft and overcoming the friction forces on the lateral surfaces of the ice raft. Width of the perturbation in the bow of the raft is an average length of beam  $\pm 5\%$ . Changing rainfall from 0,5 to 0,7 m has no significant effect on the ice-covered raft and its performance characteristics. When driving in the ice raft channel width less than the width of the raft in contact with the ice come lateral longitudinal plane of the raft that consistently break out the ice. With this movement of the ice raft is pushed under the edge of the canal, some piled on the bow of the raft and the edges of the channel. In the channel remains at 30% of broken ice. Form the bow of the raft is ineffective for the expansion of the ice channel. Prolonged dynamic load ice can have a devastating impact on the wood.

**Keywords:** extended navigation, rafting, ice canal, broken ice, resistance, buffer effect

История развития лесного комплекса неразрывно связана не только с совершенствованием орудий труда и механизмов для заготовки древесины, но и с совершенствованием технологий транспортировки круглой древесины. На первоначальных стадиях развития лесозаготовительной промышленности лесосплав был почти единственным средством транспортировки лесоматериалов. Развитию водного транспорта леса способствовали большие расстояния перевозки древесины, дешевизна этого способа транспортировки и наличие развитой речной сети. Экономичность данного способа доставки леса объясняется рядом преимуществ относительно железнодорожного и автомобильного транспорта, такими как использование энергии потока и естественных водных путей, кроме того, водный транспорт требует меньших первоначальных капиталовложений, удельных расходов металла и топлива на сопоставимый объем перевозок. Более 60% всего за-

готовляемого леса вывозится к водным путям для дальнейшей доставки его в районы потребления лесоматериалов, поэтому большинство перерабатывающих предприятий спроектированы на прием древесины с воды [11, 13, 3, 17, 20].

На сегодняшний день для многих лесных регионов транспорт леса по воде остается единственным видом транспорта. Из 130 млн. м<sup>3</sup> заготавливаемой ежегодно в последние годы древесины до 30% объема доставляется водным путем [11, 10]. Наиболее распространенным видом водного транспорта леса является плотовой лесосплав, на его долю приходится порядка 64–66% круглой древесины от общего объема круглого леса, доставляемого по водным магистралям [18, 16].

Наиболее существенным недостатком водного транспорта леса является сезонность работ. Зимой внутренние водные пути замерзают, в результате чего лесосплавные работы приостанавливаются. Продолжительность

периода, когда лесосплавные магистрали свободны ото льда, колеблется для большей части территории России от 170 до 260 дней. Перерыв навигации в связи с замерзанием рек длится от 3 до 6 месяцев [3, 2, 15].

Такой перерыв в лесосплаве на длительный срок заставляет создавать обширные склады для хранения лесоматериалов, как предназначенных к сплаву, так и выгружаемых в конечных пунктах приплыва. В создавшихся условиях лесозаготовители вынуждены везти свою продукцию наземным транспортом, несмотря на огромные расстояния. Таким образом, транспортные расходы в себестоимости продукции могут доходить до 50% в результате чего лесозаготовители часто не окупают свои затраты, а у переработчиков возникают проблемы с реализацией продукции.

При современном уровне развития средств и методов борьбы со льдами срок навигации на внутренних водных путях можно продлить, осуществляя буксировку древесины в период ледового режима [11, 8]. Потребность в круглогодичной навигации возникла еще в первой половине 19 века, за более чем полуторавековую историю был сделан ряд революционных прорывов не только в области ледоколостроения, но и в области изучения свойств льда и его ослабления при помощи различных реагентов. Россия с более чем вековой историей работы в ледовых условиях имеет огромный опыт в изучении особенностей ледового плавания [19, 2, 7]. В 80-е годы перед Министерством речного флота РСФСР была поставлена задача расширения области применения имеющихся ледокольных средств для обеспечения кругло-

годовой навигации на внутренних водных путях страны. Технические средства борьбы со льдом должны не только разрушать лед и создавать судоходный канал, но и осуществлять раннее вскрытие отдельных участков рек и водохранилищ, что приведет к продлению навигации, а также к предотвращению заторных явлений [7].

В связи с этим возникает необходимость аналитического и экспериментального исследования закономерностей движения плота в ледовом канале.

**Цель исследования** – изучить взаимодействие плота со льдом.

Наблюдения за процессом движения плота имеют важное значение при изучении ледового сопротивления. Исследования движения плота в ледовом канале шириной большей ширины плота проводились в гидротехнике кафедры использования водных ресурсов СибГТУ города Красноярск с использованием полиэтилена высокого давления, в качестве материала, имитирующего битый лед [6]. Аналогичные исследования проводились в полевых условиях с натурным льдом (56°01'43"N 92°56'47"E) [4].

Как правило, максимальная ширина ледокола составляет не более 10 м, ледовый канал проложенный таким ледоколом будет составлять в среднем 11 м. Если же прокладку канала в ледовом поле осуществлять при помощи состава из буксировщика и ледокольно-ледоочистительной приставки, то ширина канала может доходить до 20 метров. При этом ширина стандартного плота для рек Ангара и Енисей составляет 22 и 44 м соответственно. При таких условиях буксировка возможна при условии доламывания кромок канала плотом (рис. 1).

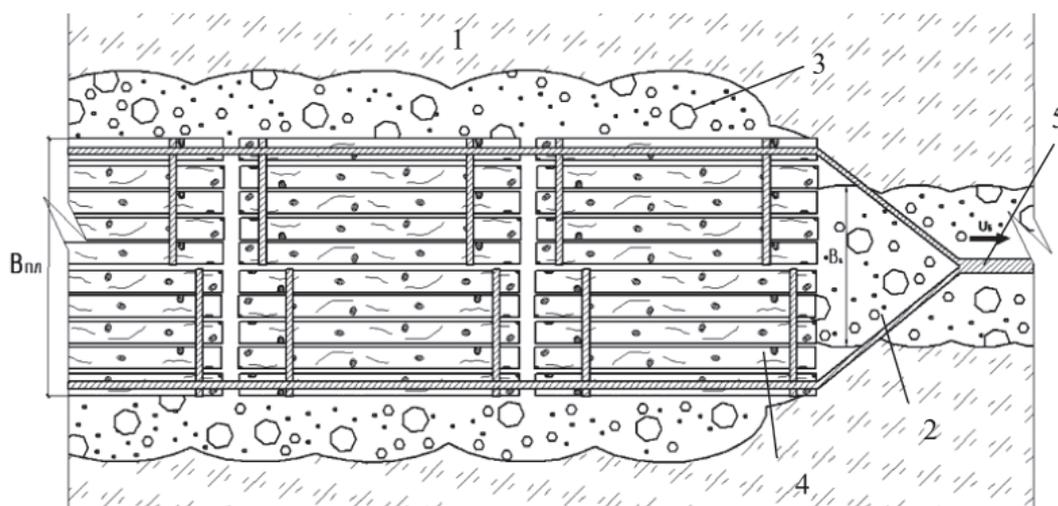


Рис. 1. Доламывание кромок ледового канала  $B_k < B_{пл}$  плотом при его буксировке:  
1 – сплошной не разрушенный лёд; 2 – ледовый канал; 3 – битый лёд;  
4 – сегмент плота; 5 – буксировочный трос

Последующая буксировка плота будет осуществляться в условиях движения в ледовом канале шириной большей ширины плота. В силу ограниченности условий проведения опытов была взята модель сегмента плота масштабом 1:15 с линейными размерами  $L \times B \times T$  ( $2,4 \times 0,6 \times 0,1$  м), где  $L$  – длина сегмента плота;  $B$  – ширина сегмента плота;  $T$  – осадка сегмента плота. Гидродинамиче-

ские условия смоделированы с учетом критерия подобия Фруда [9].

Наблюдения показали, что во время движения плота в сплоченных битых льдах ледового канала наибольшие усилия расходуются на буксировку пьжа битого льда в носовой части плота и преодоление сил трения льда о боковые поверхности плота, которые составляют значительную площадь трения битого льда о плот (рис. 2).

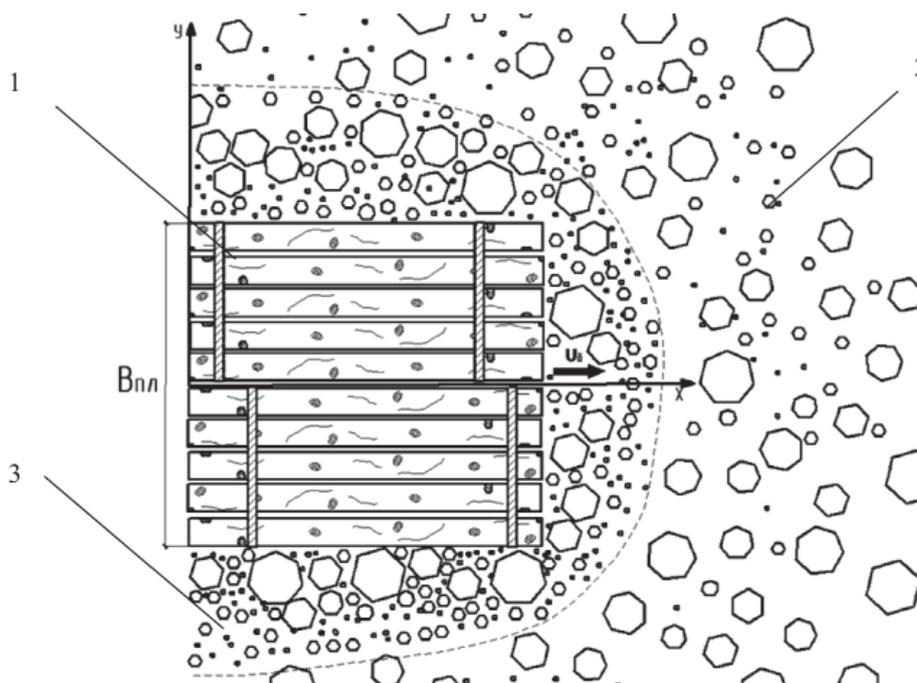


Рис. 2. Движение плота в мелкобитых льдах:  
1 – сортиментный плот; 2 – мелкобитый лед; 3 – зона возмущения

Ширина зоны возмущения в носовой части плота составляет в среднем длину пучка  $\pm 5\%$ . Движение в широком канале ( $B_k/B_{пл} \approx 2$ ) по характеру не отличается от движения в поле битого льда. При уменьшении ширины канала его края препятствуют перемещению льда, но в то же время масса льдин, приводимых в движение, уменьшается, что влияет на сопротивление. При критической ширине канала ( $1,5B_{пл}$ ) возможен эффект сжатия («буферный эффект»). Дальнейшее увеличение ширины канала приводит к снижению чистого ледового сопротивления [7]. Исследования влияния изменения осадки на скорость плота в битых льдах, показали, что изменение осадки от 0,5 до 0,7 м не оказывает практически ни какого влияния на ледопроечность плота и на его скоростные характеристики.

В условиях движения плота в ледовом канале  $B_{пл} > B_k$  плот, вступая в контакт со льдом, сминая кромку ледяного поля и изгибает его (рис. 3) [5]. Нормальное давление

плота на лед возрастает по мере продвижения его вперед. Это происходит до тех пор, пока изгибные напряжения в ледяном поле не достигнут предела прочности и не возникнет первая радиальная трещина. При её появлении происходит перераспределение напряжений в ледяной пластине, после чего образуются еще одна или несколько радиальных трещин. Изгиб происходит до тех пор, пока не наступит пролом льда по ближайшей к плоту концентрической трещине [14, 12, 1].

Затем в контакт со льдом вступают боковые продольные плоскости плота, которые последовательно выламывают лед (в основном по линиям трещин). В местах контакта плота со льдом происходит местное смятие кромки ледяного покрова. Выломанные льдины поворачиваются и притапливаются плотом, часть льда подсовывается под кромку канала, часть нагромождается на носовую часть плота и кромку канала. В канале при этом остается до 30% битого льда.

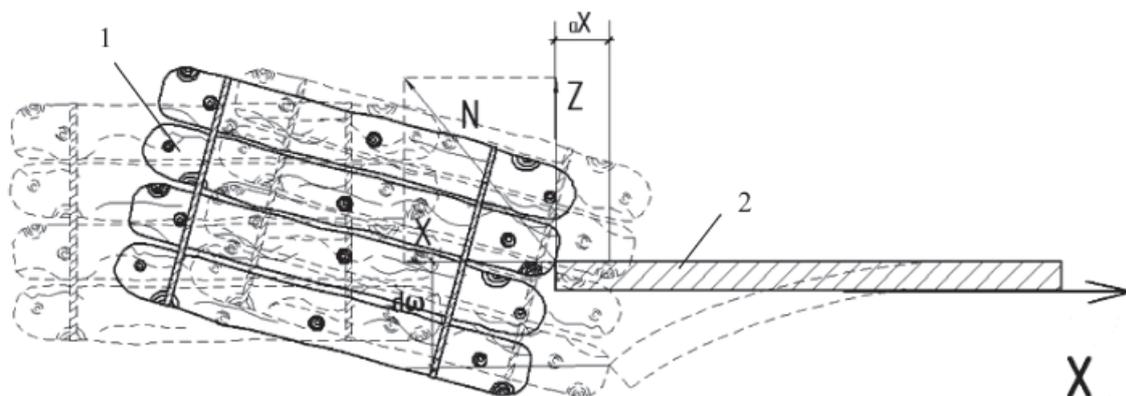


Рис. 3. Схема взаимодействия плота с кромкой ледового канала:  
1 – сегмент плота; 2 – кромка канала

### Выводы

Полученные результаты могут быть использованы для более полного понимания и объяснения изменения усилия буксировки плота в ледовом канале. Исследования показали, что форма носовой части плота имеет ряд недостатков при буксировке плота в ледовом канале:

- битый лед, сосредоточенный в носовой части плота, создает дополнительное усилие буксировки плота;
- форма носовой части плота малоэффективна для расширения ледового канала;
- продолжительные динамические нагрузки ледяного покрова могут оказывать разрушительное воздействие на древесину.

### Список литературы

1. Бутягин И.П. Прочность льда и ледяного покрова. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1966. – 155 с.
2. Готтлиб Я.Л. Ледотермика Ангары / Я.Л. Готтлиб и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 154 с.
3. Донской И.А. Водный транспорт леса. – М.: Гослесбуиздат, 1955. – 331 с.
4. Злобин А.А., Максимова Е.М. Проведение эксперимента в полевых условиях по определению сопротивления битого льда движению плота // Новые идеи нового века: материалы Международной научной конференции. – Хабаровск, 2013. – Т. 2. – С. 288–293.
5. Злобин А.А., Максимова Е.М. Исследование ледового сопротивления движению плота в ледовом бассейне ААНИИ / А.А. Злобин, Е.М. Максимова // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2013. – Т. 1 – С. 119–122.
6. Злобин А.А., Максимова Е.М. Проведение экспериментов по определению сопротивления битого льда движению плота в условиях продленной навигации на внутренних водных путях // Экология, рациональное природопользование и охрана окружающей среды: сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической. – Лесосибирск: СибГТУ, 2012. – С. 260–262.
7. Зуев В.А. Средства продления навигации на внутренних водных путях: монография. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.

8. Коновалов И.М. Основы ледотехники речного транспорта / И.М. Коновалов, К.С. Емельянов, П.Н. Орлов. – Л.: Речиздат, 1952. – 264 с.

9. Корпачев В.П., Злобин А.А. Обоснование условий моделирования движения плота в ледовом канале // Хвойные бореальные леса – Красноярск: СибГТУ, 2012. – Т. XXX № 3–4. – С. 366–369.

10. Корпачев В.П., Миронов Г.С. Экология лесопользования. – Красноярск: СибГТУ, 2007. – 212 с.

11. Корпачев В.П. Теоретические основы водного транспорта леса: монография. – М.: Академия Естественная, 2009. – 237 с.

12. Лавров В.В. Деформация и прочность льда. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 206 с.

13. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 492 с.

14. Ногид Л.М., Фишер А.С. Исследования по вопросам сопротивления льда движению ледокола. – Л.: Главсевморпуть, 1948. – 56 с.

15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Ангаро-Енисейский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – Т. 16, вып. 1. – 350 с.

16. Солодухин М.М., Овчинников М.М. Водный транспорт хлыстов. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 144 с.

17. Справочник по водному транспорту леса / В.А. Щербаков [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 384 с.

18. Транспорт леса в плотах и судах: сб. науч. тр. / ЦНИИлесосплава. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 85 с.

19. Шацберггер Э.М. Тактика плавания во льдах. Ледовые пути Арктики. – СПб.: ООО «Артиком», 2011. – 400 с.

20. Wiley J. Logging-principles and practices. – London.: Chapman and Hall, 1934. – 284 p.

### References

1. Butyagin I.P. strength of ice and ice. Novosibirsk: Publishing House «Nauka», 1966. 155 p.
2. Gottlieb J.L. Ledotermika Angara / J.L. Gottlieb [et al.] Gidrometeoizdat, 1964. 154.
3. Donscoy I.A. Watercraft forest. M.: Goslesbumizdat 1955. 331.
4. Zlobin A.A., Maksimova E.M. International scientific conference «New ideas of the new century» Experiments in the field to determine the resistance to the movement of broken ice raft Khabarovsk, 2013, Vol. 2, pp. 288–293.

5. Zlobin A.A., Maximova. Investigation of ice resistance movement in the ice pool raft AARI / A.A. Zlobin, E.M. Maksimov // All-Russian Scientific and Practical Conference «Young scientists in solving actual problems of science». Krasnoyarsk, Univ SibGTU, 2013. Volume 1 pp. 119–122.
6. Zlobin A.A., Maximova. Conduct experiments to determine the resistance movement of broken ice raft under prolonged navigation on inland waterways / A.A. Zlobin, E.M. Maksimov // Collection of articles on materials II All-Russian scientific-practical «Ecology, managing and protecting environment» Lesosibirsk: SibSTU 2012. pp. 260–262.
7. Zuev V.A. Means extension of navigation on inland waterways: monograph / V.A. Zuev. Leningrad, Shipbuilding., 1986. 208 p.
8. Konovalov I.M. Basics ice technology river transport / I.M. Konovalov, K.S. Emelyanov, P.N. Orlov. L.: Rechizdat, 1952. 264.
9. Korpachev V.P., Zlobin. Justification conditions simulating the movement of the raft in the ice channel / V.P. Korpachev, A.A. Zlobin // Conifer boreal forests Krasnoyarsk SibSTU, 2012. Volume XXX no. 3-4. pp. 366–369.
10. Korpachev V.P., Mironov. Forest Ecology / V.P. Korpachev, G.S. Mironov. Krasnoyarsk: SibGTU, 2007. 212.
11. Korpachev V.P. Theoretical Foundations of water transport timber: monograph / V.P. Korpachev. Moscow: Academy of Natural Sciences, 2009. 237 p.
12. Lavrov V.V. Deformation and strength of ice / V.V. Lavrov. Gidrometeoizdat, 1969. 206 p.
13. Mitrofanov A.A. Rafting. New technologies, scientific and technical support: monograph / A. Mitrofanov. Arkhangelsk Univ Arhang. Reg. tehn. University Press, 2007. 492.
14. Nogid L.M. Fisher. Studies on the resistance movement of ice icebreaker / L.M. Nogid, A. Fisher. L.: Glavsevmorput 1948. 56 p.
15. Surface water resources of the USSR. The main hydrological characteristics (for 1963 1970. And the entire observation period). Angara-Yenisei region. Gidrometeoizdat, 1975. T. 16, no. 1. 350.
16. Solodukhin M.M., Ovchinnikov. Water transport whips / M.M. Solodukhin, M.M. Ovchinnikov. M.: Forest. prom-st, 1986. 144.
17. Handbook of Water Transport forest / V.A. Shcherbakov [et al.] M.: Forest. prom-st, 1986. 384.
18. Transport timber in rafts and ships [text]: Sat scientific. tr. / TsNIIlesosplava. M.: Forest. prom-st, 1981. 85 p.
19. Shatsberger E.M. Tactics navigation in ice. Arctic ice path / E.M. Shatsberger. St. Petersburg. OOO «Artik», 2011. 400.
20. Wiley J. Logging-principles and practices / J. Wiley. London: Chapman and Hall, 1934. 284 p.

**Рецензенты:**

Полетайкин В.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии и машин природообустройства, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск;

Лозовой В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесозаготовок, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 26.02.2014.