

УДК. 629.12.011

В.Ф. Кулепов, Ю.А. Двойченко

ЛЕДОКОЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЛАВАЮЩИХ ЛЕДЕРЕЗНЫХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель: Плавающие ледорезные машины (ПЛРМ) имеют широкий спектр использования, в который входит возможность разрушения льда не только резанием, но и ломка его корпусом с прокладкой канала в ледяном поле относительно тонкого льда. Это требует достоверной оценки ледокольной способности каждой из типоразмерного ряда машин, необходимых при их проектировании, как плавающих инженерных сооружений (судов).

Методология: Используются данные и результаты экспериментального исследования опытов по разрушению ледяного покрова и полуэмпирический способ определения разрушающих нагрузок подобный применяемому в теории проектирования судов.

Результаты: Получена зависимость для проектирования ПЛРМ по определению толщины разрушаемого льда машинами разной массы и размеров.

Значение исследования: Полученные результаты необходимы для придания надлежащих ледокольных качеств ПЛРМ при выработке тактики и стратегии технологических операций, проводимых с ледяного покрова с их помощью.

Новизна/ценность: Применены новые способы, расширяющие методологию проектирования и применения эмпирических и теоретических методов оценки ледоразрушающей способности. Полученные результаты дают возможность разработки проектов и обуславливают уверенную эксплуатацию плавающих ледорезных машин на ледяном покрове.

Ключевые слова: проектирование плавающих машин, прокладка канала во льду, разрушение льда для плавания, ледопроездимость, амфибийные машины, ледорезные машины.

В условиях нашей страны большую роль играют технологические операции, производимые с ледяного покрова (гидротехническое строительство, прокладка подводных трубопроводов, кабельных линий и пр.). Эти операции обеспечиваются плавающими ледорезными машинами (ПЛРМ), характеристики типоразмерного ряда которых дан в [1]. Возможные области применения таких машин, оснащенных рабочими органами различного типа показаны на рис. 1.

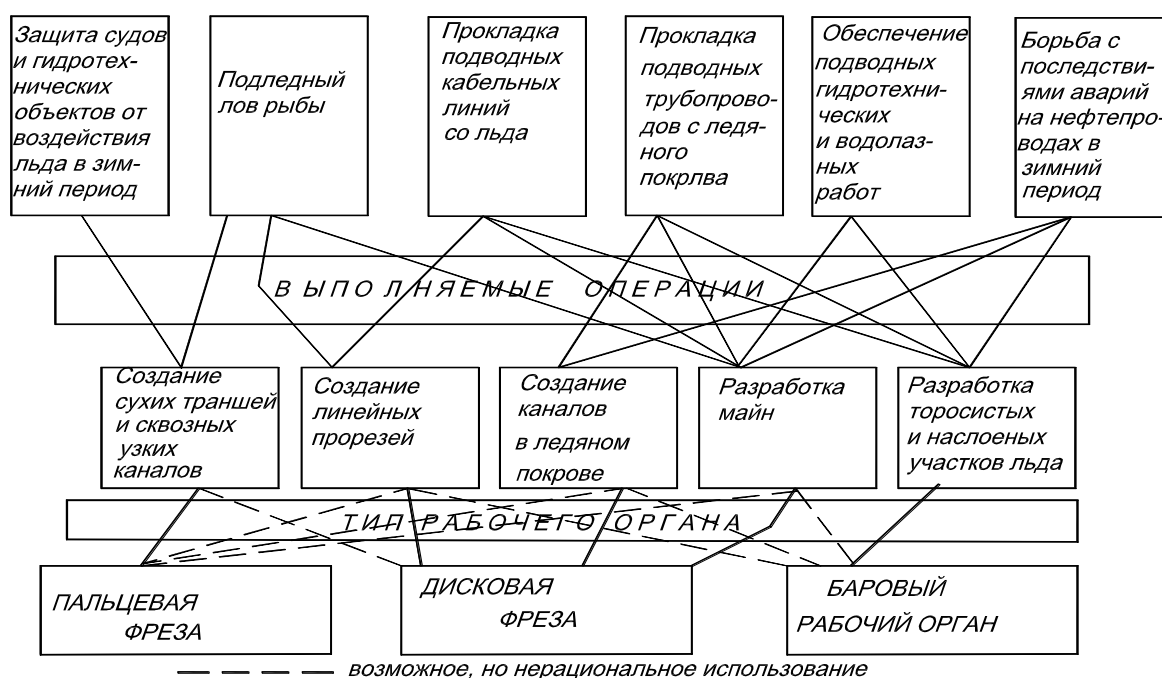


Рис. 1. Области применения ПЛРМ с различными рабочими органами

Кроме того, что эти машины могут делать сквозные прорезы в ледяном покрове толщиной от 0.18 до 2.6 м, у них имеется еще одно важное качество – возможность разрушения льда собственным корпусом, обусловленная плавучестью, остойчивостью, формой корпуса ПЛРМ и наличием буксирной лебедки на палубе машины.

Необходимость прокладки канала в тонком льду впервые возникла при ликвидации аварии на подводном переходе нефтепровода через реку Белую в январе 1995 г. [2]. Толщина льда в районах сбора ликвидации разлившейся нефти составляла от 3 до 30 см. Наибольшую сложность вызывал загрязненный тонкий лед, поскольку не выдерживал веса человека. Его разрушали пешнями и баграми, используя лодку «Казанка». Толстый лед резали вручную, бензопилами, и это приводило к возгоранию на людях одежды, пропитанной нефтью.

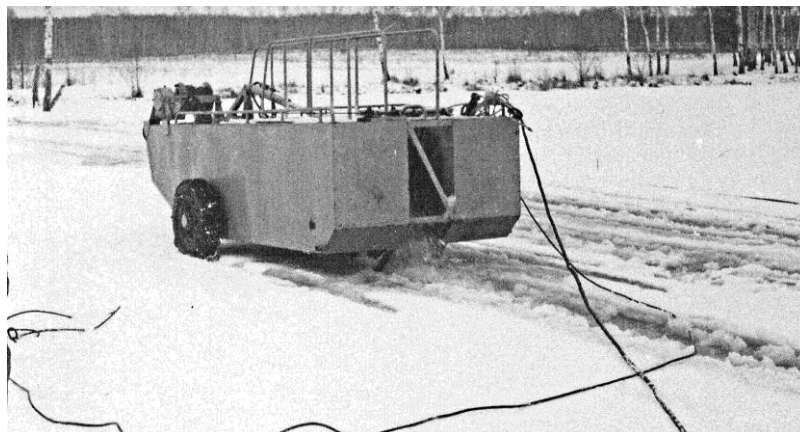


Рис. 2. Прорезание льда ледорезной машиной ЛФМП-1

Таблица 1

Характеристики ЛРМ ЛФМП-1

Массогабаритные	Ширина прорези0.1 м
Длина.....3.65 м	Скорость прорезания (0.8 м).....620 м/ч
Ширина.....2.28 м	Скорость без прорезания3 км/ч
Высота в трансп. положении.....-1.89м	потребляемая мощность (3ф-380в).....30 кВт
Масса в снаряж. состоянии.....2542 кг	Тяговая лебедка
Дорожный просвет.....0.3 м	Тяговое усилие.....47-30 кН
Минимальная толщина льда.....0.2 м	Скорость намотки троса.....5.5-8.6 м/мин
Производственно-технологические	Длина троса.....100 м
Толщина прорезаемого льда.....0.8 м	

Появление плавающих ледорезных машин и их типоразмерного ряда было обусловлено именно этой аварией. Благодаря детальному изучению всех особенностей работы на ледяном покрове, расчетным путем и методом модельного эксперимента была найдена форма и размерения корпуса машины, которые обеспечивали остойчивость на плаву, выход из воды на лед (рис. 3) и исключали опрокидывание при внезапном проломе льда и сваливании машины в воду с кромки ледяного покрова [4]. На основе системного подхода были выработаны требования к элементам многофункциональности, реализованные в конструктивных особенностях, благодаря которым машина может не только прокладывать прорезь во льду, но и образовывать во льду каналы и майны. Общий вид машины показан на рис. 2.

Она может расчищать майны от вырезанных ледяных блоков и карт как выемкой на ледяной покров, так и задвижкой притопленных ледяных карт под кромку майны. Эти качества были обоснованы расчетами и экспериментами, а также были подтверждены испытани-

ями спроектированной и построенной по заказу ОАО «Транснефть» машины ЛФМП-1 [1]. Так как на палубе ПЛРМ могут находиться от двух до десяти человек (в зависимости от типоразмера), они могут осуществлять сбор загрязненного льда и укладку его на следующее за машиной на буксире плавсредство.



Рис. 3. Выход ЛФМП-1 на лед из майны с помощью собственной лебедки

Исследования и рекомендации функциональных возможностей представленного типа машин описаны в ряде работ, где даются соответствующие зависимости [1,3,4]. В отличие от других, оценка ледокольных качеств ряда ЛФМП [1] была выполнена приближенно, без использования научных достижений в этой области. Это заставляет подробно рассмотреть аспекты взаимодействия корпуса ледорезной машины с ледяным покровом.

Вертикальное усилие на лед создается при выходе корпуса на кромку льда за счет силы тяги лебедки, установленной на палубе плавающего корпуса.

Прокладка канала в тонком льду производится следующим образом (рис. 4).

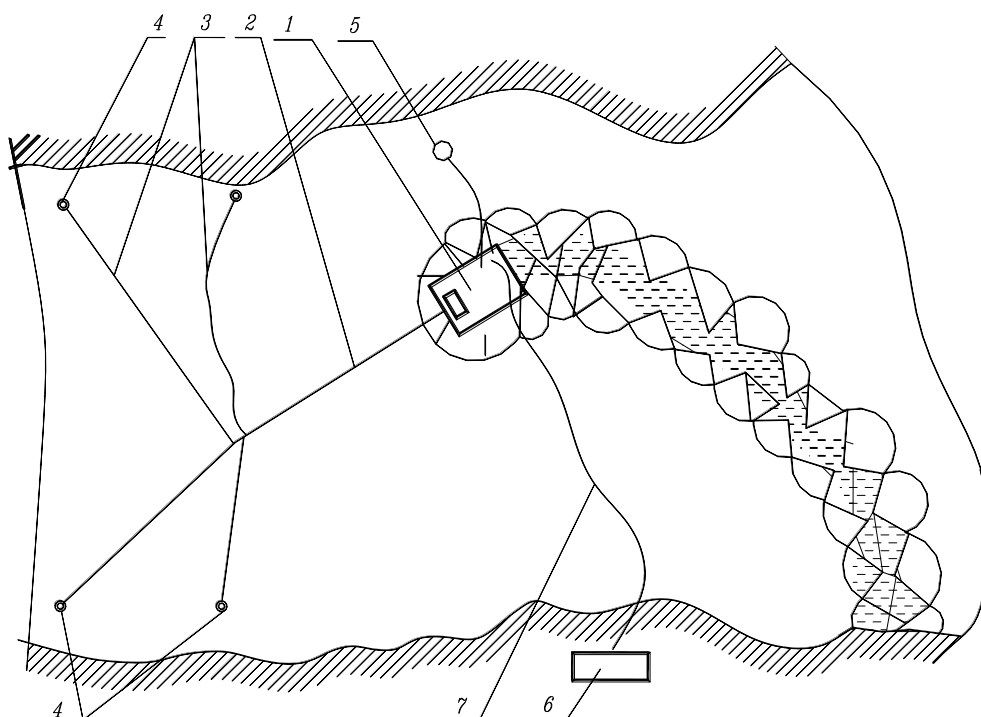


Рис. 4. Образование канала во льду буксировкой ПЛРМ:

1 – ПЛРМ; 2 - буксирный трос; 3 - оттяжки; 4 - ледовые якоря; 5 - оператор; 6 - электростанция; 7 - электрический кабель

Перед прокладкой канала разматывается буксирный трос лебедки и закрепляется в конечной точке будущего канала с помощью ледовых якорей. На местах изменения курса к тросу крепятся скользящие тросовые оттяжки. Оператор включает лебедку и контролирует перемещение плавающей машины при разрушении льда.

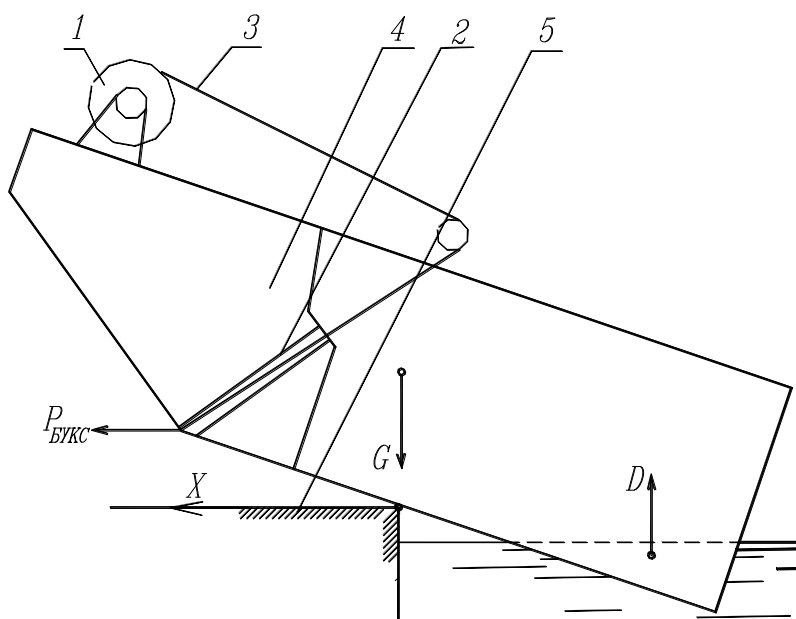


Рис. 5. Плавающая ледорезная машина на кромке льда:

1 - буксирная лебедка; 2 - буксирный клюз; 3 - буксирный трос; 5 - кромка льда

Разрушающая лед нагрузка при кратковременном действии зависит от толщины льда и площади ее приложения. Достаточно хорошо обоснованная эмпирическая формула имеет вид [5]

$$P_p = k_p \cdot \beta \cdot h_{\text{л}}^2, \quad (1)$$

где k_p – эмпирический коэффициент, имеющий размерность напряжения; $\beta = (1 + \alpha \sqrt{S})$ – коэффициент, учитывающий площадь приложения нагрузки; $\alpha = \sqrt[4]{12\rho_{\text{в}} \cdot g / Eh_{\text{л}}^3}$ – параметр изгиба льда; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды; E – модуль упругости льда; $h_{\text{л}}$ – толщина льда; S – площадь приложения нагрузки.

Для дальнейших выкладок принимаем $E = 5 \cdot 10^9$ Па, $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³. Как показали эксперименты [5], для случая приложения нагрузки (рис. 5).

$$k_p = 1.1 \pm 0.2 \text{ МПа}. \quad (2)$$

В опытах было выяснено, что эффективная длина приложения нагрузки из-за прогиба льда составляет $L \approx 0.2/\alpha$. Ширина нагрузки B равна ширине корпуса машины. В этом случае $S = L \cdot B = 0.2 \cdot B/\alpha$ и формула (1) преобразуется к виду

$$P_p = k_p \cdot (1 + \sqrt{0.2\alpha \cdot B}) \cdot h_{\text{л}}^2. \quad (3)$$

Для получения гарантированного разрушения льда следует принять значение верхнего предела изменения $k_p = 1.3$ МПа, так как не разрушив льда, машина выходит на его поверхность и разрушающая нагрузка значительно возрастает.

Используя формулу (3), получим данные в виде функции $P = f(h_{\text{л}}, B)$ для оценки толщины льда, в котором плавающая машина может прокладывать канал (рис. 6). Как видно из рис. 6, ледокольная способность на тонком льду слабо зависит от ширины корпуса. Имея массу плавающей машины P_p и ширину ее корпуса B (м), по графику можно определить, реально ли производить прокладку ледового канала в ледяном покрове машиной данного типоразмера.

Для оценки возможностей создания ледорезных машин прорезающих ледяной покров на всех внутренних и прибрежных акваториях РФ в работе [1] представлены характеристики параметрического ряда подобных машин, основные массогабаритные характеристики которых приведены в табл. 2.

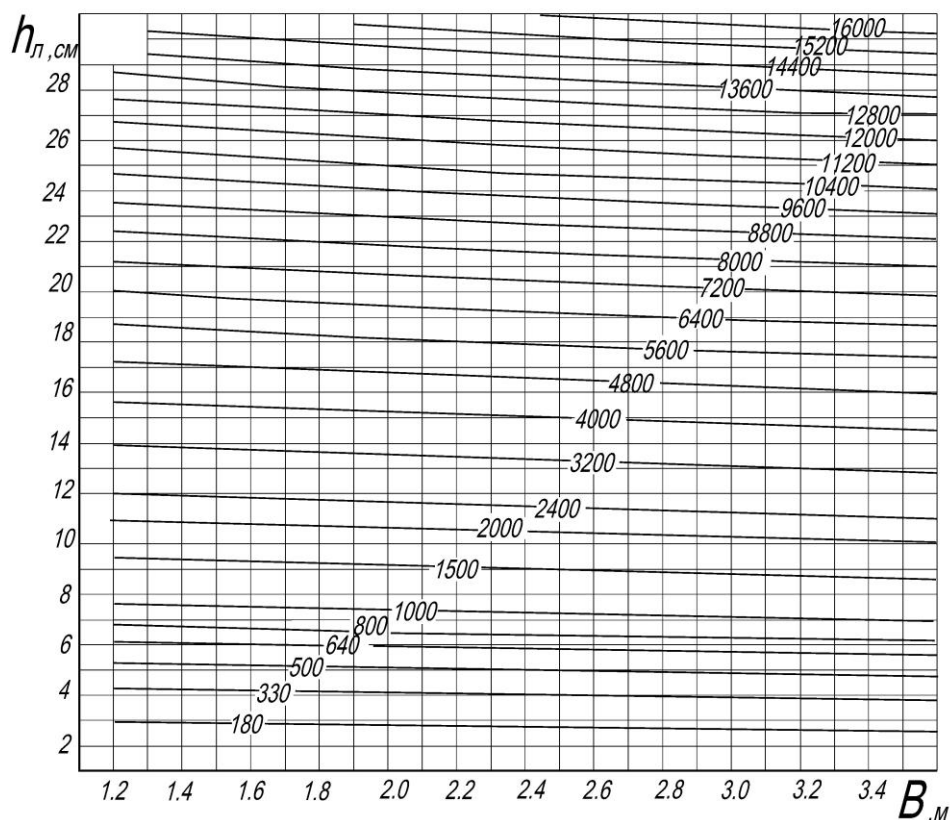


Рис. 6. Масса корпуса ПЛРМ (кг) необходимая для прокладки канала во льду

На основании результатов (рис. 6) в последней строке табл. 2 дана толщина льда, которую элементы ряда машин могут разрушать своим корпусом.

Таблица 2

Массогабаритные характеристики элементов параметрического ряда ледорезных машин типа ЛФМП-1

Наименование показателя	Элементы ряда				
	I – ЛФМП-1-I	II- ЛФМП-1	III ЛФМП-1-III	IV ЛФМП-1-IV	V ЛФМП-1-V
Габарит по ширине, м	1.68	2.3	2.3	2.3	3.25
Габариты корпуса, м	1.38x0.68x2.48	1.78x1.0x3.65	2.3x1.05x4.22	2.3x1.45x6.9	3.25x1.6x8.51
Потребляемая мощность, кВт	9.6	30	46.8	105.3	201.0
Масса машины, кг	813	2420	3804	8561	16388
Буксирное усилие лебедки, кН	5.5	18	26	63.5	122
Минимальная безопасная толщина льда при работе на кромке, м	0,12	0.2	0,39	0,60	0,83
Толщина льда разрушаемая корпусом, м	0,07	0.12	0,15	0,22	0,31

Кроме этого, когда машина находится на сплошном льду, она может не проламывать своим весом толщину льда (рис. 3), поскольку в формуле (1) для сплошного льда экспериментально получено $k_p = 1.9$ МПа, а с учетом верхней границы доверительного интервала следует принимать $k_p = 2.1$ МПа. Однако при прорезании машина проломит лед, если будет находиться на кромке прорези и далее придется разрушать лед так, как это делает ледокольное судно.

Полученные результаты применимы и для небольших понтонов прямоугольной формы, имеющих скос в носовой оконечности, которые могут использоваться в затонах и других акваториях. В период ледостава или недостаточных холодов выход на ненадежный лед людей для производства работ опасен, использование обычной лодки сильно затруднено. Прокладка канала понтоном, перемещаемым автомобильной лебедкой, позволит применять моторную лодку или другое плавсредство.

Библиографический список

1. Кулепов, В.Ф. Плавающие ледорезные машины для работы на ледяном покрове рек и прибрежных морских акваторий арктического шельфа / В.Ф. Кулепов, Ю.А. Двойченко, А.Л. Малыгин // Вопросы морской ледотехники: тр. ЦНИИ им. акад А.Н. Крылова. 2007. Вып. 34 (318). С. 171–191.
2. Киринос, В.И., Особенности ликвидации аварий на водных переходах в зимних условиях / В.И. Киринос, В.Я. Сабитов, У.Н. Сабиров // Трубопроводный транспорт нефти. 1999. № 4. С. 12-18.
3. Кулепов, В.Ф. Разработка параметрического ряда ледорезных машин с дискофрезерным рабочим органом // Строительные и дорожные машины. 2002. № 11. С. 33–37.
4. Кулепов, В.Ф. Исследование влияния геометрических характеристик несущего корпуса понтона на обеспечение надежности и безопасности ледорезных машин в сложных условиях эксплуатации / В.Ф. Кулепов, Ю.А. Двойченко, А.Л. Малыгин // Труды НГТУ. Н. Новгород. 2004. Т.45. С. 110–114.
5. Зуев, В.А. Экспериментальные исследования разрушения ледяного покрова / В.А. Зуев, Е.М. Грамузов, Ю.А. Двойченко // Вопросы теории, прочности и проектирования судов, плавающих во льдах: межвуз. сб. Горьков. политехн. ин-т. им. А.А. Жданова. Горький, 1984. С. 4–13.

Дата поступления
в редакцию 19.04.2013

V.F. Kulepov, Yu. A. Dvoychenko

ICEBREAKER ABILITY OF FLOATING ICE CUTTINGS MACHINES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

Purpose: Floating ice-cuttings machines (FCIM) have a wide spectrum of the use in which enters possibility destructions of ice not only cutting but also fragile breaking of corps with the creation of channel in the icy field in relation to thin ice. It requires the reliable estimation of icebreaking ability for each types of sizes row of machines, necessary at their planning, as floating engineering's buildings (ships).

Methodology: Information and results of experimental research of experiments on destruction of icy cover and semi-empiric method of determination of the destroying loadings is utilized.

Results: Dependence information is got for planning of FCIM on determination of thickness of the destroyed ice by the machines of different mass and sizes.

Value of research: The got results are needed for giving proper icebreaker qualities FCIM at making of tactic and strategy of technological operations, conducted from an icy cover with their help.

Novelty/value: New methods, extending methodology of planning and application of empiric and theoretical methods of estimation of destructions of ice ability, are applied. The got results enable development of projects and determines sure exploitation of ice-cutting machines on an icy cover.

Key words: Designing floating machines, breaking of channel is in ice, destruction of ice for swimming, ice-braking possibility, amphibian machines, ice cuttings machines.