

УДК 551.326.83

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕСЕННЕГО ЛЬДА**Фомичева Няиля Николаевна**¹, кандидат технических наук, доцент*e-mail:* ginelli1949@mail.ru**Спиренкова Ольга Владимировна**¹, кандидат технических наук, доцент*e-mail:* olga_spirenkova@mail.ru**Тушина Александра Сергеевна**¹, кандидат географических наук, доцент*e-mail:* tytylechka@mail.ru¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Исследования и уточнения прочностных характеристик льда в предледоходный период являются актуальными задачами, т.к. весенний лед во время ледохода оказывает опасные воздействия на гидротехнические сооружения. В статье приводятся результаты натурных полевых исследований прочности льда. Выполнен анализ влияния различных факторов на интенсивность снижения прочности в различных слоях ледяного поля.

Ключевые слова: прочность льда в предледоходный период, натурные исследования, толщина льда.

INVESTIGATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF SPRING ICE**Fomicheva Nailya Nikolaevna**¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*e-mail:* ginelli1949@mail.ru**Spirenkova Olga Vladimirovna**¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*e-mail:* olga_spirenkova@mail.ru**Tushina Alexandra Sergeevna**¹, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor*e-mail:* tytylechka@mail.ru¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. Research and refinement of the strength characteristics of ice in the pre-ice period are urgent tasks, because spring ice during an ice drift has dangerous effects on hydraulic structures. The article presents the results of field studies of ice strength. The analysis of the influence of various factors on the intensity of strength reduction in various layers of the ice field is carried out.

Keywords: ice strength in the pre-ice period, field studies, ice thickness.

Мероприятия, обеспечивающие безопасную и надежную работу водного транспорта и гидротехнических сооружений, опираются на знание ледового режима водных объектов.

При разработке таких мероприятий необходимо учитывать количественные и качественные характеристики воздействия льда на сооружения. Основными являются физико-механические и прочностные свойства ледового покрова. В весенний период элементы гидроузлов и другие гидротехнические сооружения испытывают воздействие движущихся ледяных полей. Возникает необходимость обеспечения беспрепятственного пропуска льда через сооружения. В этот период ледяное поле под действием метеорологических условий теряет свою прочность и толщину.

Решение задач по пропуску льда остается актуальным на сегодняшний день. Целью представленной работы является исследование изменения характеристик весеннего льда. В связи с поставленной целью необходимо провести комплекс натурных полевых исследований по определению: характера изменения толщины льда в условиях отепляющего эффекта солнечной радиации; интенсивности понижения прочностных характеристик льда.

Ниже приводятся результаты исследований прочности ледяного покрова в предледоходный период на реке Иртыш в районе Шульбинского гидроузла.

Большое влияние на характер пропуска льда оказывает физико-механические свойства ледовых образований, при этом необходимо знать расчетные значения пределов прочности ледяного покрова в естественных условиях почти всегда встречается лед смешанного строения (водный, шуговой, снеговой).

На предел прочности льда оказывают влияние скорость деформирования, толщина льда и температура [1 – 3]. По исследованию К.Н. Коржавина, выполненные на образцах малого размера и не подвергшихся влиянию процессов весеннего таяния получена зависимость для определения прочности льда при сжатии:

$$R_{сж} = 10 + 3,5t, \quad (1)$$

где t – температура воздуха, °С

Значительное влияние на предел прочности оказывает размер образца. И.П. Бутягин рекомендует для пресноводного льда расчетный предел прочности при изгибе определять по формуле:

$$R_u = R_o \frac{56 + \sqrt{\omega_o}}{56 + 2,6h}, \quad (2)$$

где ω_o – площадь сечения образца;

R_o – предел прочности;

h – толщина ледяного покрова.

Также решающим фактором, обеспечивающим снижение прочности льда в весенний период, является солнечная радиация. В.А. Кореньков предлагает использовать зависимость для определения прочности льда на изгиб [4]:

$$R_u = R_o - \sum_{i=0}^{i=n} i \cdot \Delta\tau_i, \quad (3)$$

где i – снижение прочности льда за интервал времени $\Delta\tau$.

Отличительной особенностью весеннего льда является непрерывное изменение его физико-механических характеристик. Этот процесс наблюдается как в течение одного сезона, так и от года к году, от района к району. Вскрытие сибирских рек происходит чаще всего от механического воздействия паводка. Также накладывается и отепляющий эффект при переходе среднесуточных температур через 0°С.

Комплекс задач натурных исследований включал себя:

- изучение структуры ледяного покрова

- определение предела прочности льда на изгиб при нагружении образцов снизу и сверху.

Изучение структуры ледяного покрова проводилось путем обследования кернов, выбуренных кольцевым буром или вырезанных из толщины льда бензопилой. Толщина льда определялась мерной рейкой путем погружения ее в лунки или измерениями поднятых на поверхность льда больших образцов.

Исследование предела прочности льда выполнялось на прямоугольных консольных образцах, изготовленных непосредственно в ледяном покрове без извлечения их из воды. Образцы нагружались при помощи домкрата и системы рычагов, а усилия определялись динамометром.

Исследования ледяного покрова р. Иртыш показали, что в его структуре имеет место сочетание снежного льда толщиной $0,09 \pm 0,25$ м и водного, кристаллического толщиной $0,25 \pm 0,5$ м. При потеплении структура льда изменялась и с уменьшением толщины в водном льду появились полости, заполненные воздухом и водой. На нижней поверхности каверны увеличивались в размерах и к концу исследований высота выступов шероховатости составляла до 0,15 м.

Влияние солнечной радиации и температуры наружного воздуха сказалось на изменении толщины. График понижения толщины ледяного покрова в центральной и прибрежной зонах показан на Рисунке 1.

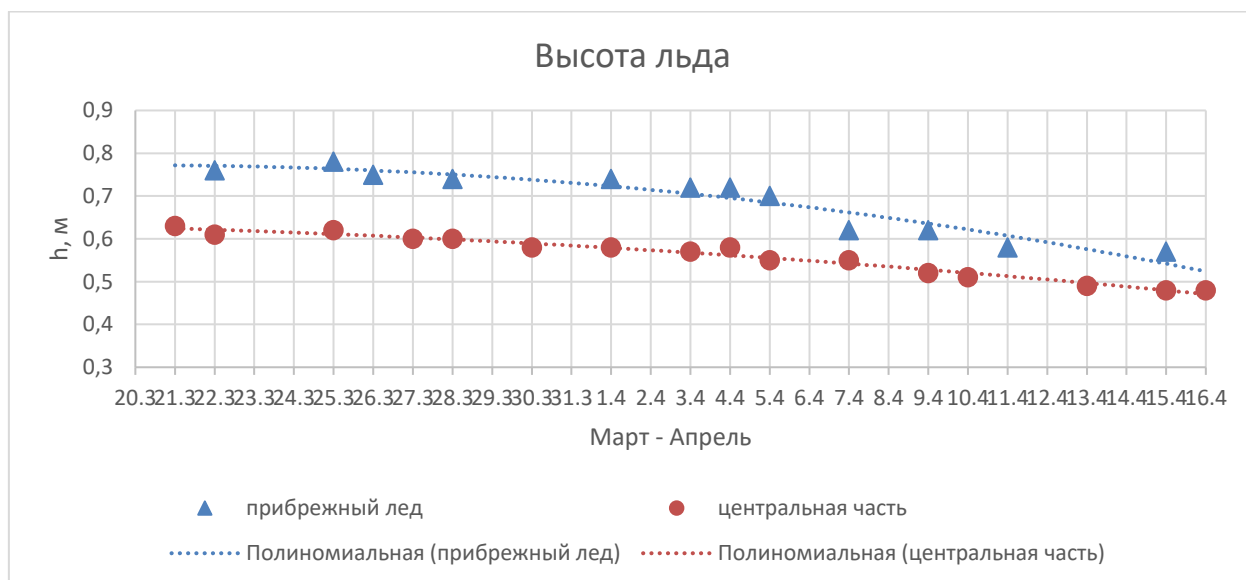


Рисунок 1 – Уменьшение толщины ледяного покрова р. Иртыш

Исследования прочности льда на изгиб проводилось на тех участках, где изучалась структура льда. Размер образцов составлял $h \times h \times 3h$, где h – толщина льда. Разрушающее напряжение определялось как для консольной балки прямоугольного сечения, жестко закрепленной в основании и разрушенной вертикальным усилием на свободном конце.

Формулы для расчета напряжений имеют вид:

Для случая, когда на поверхности образцов была вода:

$$R_n = \frac{6}{Bh^2} \left[P(l-c) \pm \frac{Bl^2}{2} (\rho_e - \rho_l) gh \right], \quad (4)$$

где знак “+” – для нагрузки, приложенной снизу;

знак “-” – для нагрузки, приложенной сверху;

Для случая, когда на поверхности льда нет воды:

$$R_n = \frac{6}{Bh^2} \left\{ P(l-c) \pm \frac{Bl^2}{2} g [h\rho_l - \rho_w (h-h_1)] \right\}, \quad (5)$$

где P – величина разрушающей нагрузки;

l – длина образца;

B – ширина образца у основания;

h – толщина льда в заземленной части;

h_1 – возвышение образца над уровнем воды;

c – расстояние от свободного торца консоли до точки приложения нагрузки;

ρ_l, ρ_w – соответственно плотность льда и воды.

Время нагружения образцов составляло от 20 до 120 с.

Исследования предела прочности льда на изгиб проводились в весеннее время с 21 марта по 15 апреля. Было изготовлено и испытано 83 образца. Переход среднесуточных температур воздуха от отрицательных значений к положительным наблюдался 22 марта и 8 апреля. Результаты испытаний образцов на предел прочности при изгибе приведены на Рисунке 2.

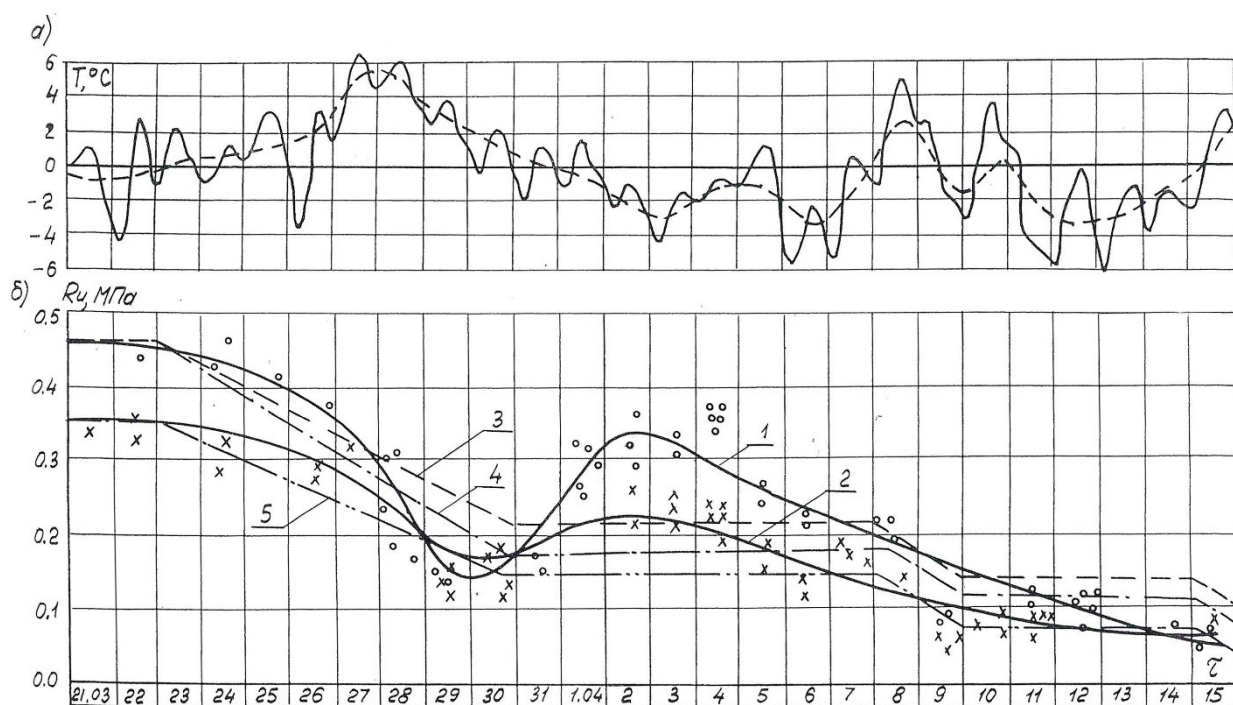


Рисунок 2 – Предел прочности льда на р. Иртыш весной 1984 г.

а) температура воздуха; б) предел прочности льда на изгиб: 1 – нагрузка сверху, 2 – нагрузка снизу, 3 – по зависимости И.П. Бутягина, 4 – по формуле (7), 5 – по формуле (8)

Как видно из графиков, прочность ледяного покрова при повышении температуры воздуха от 0 до 6°C понижалась с 0,45 до 0,13 МПа в верхних слоях, и с 0,35 до 0,16 МПа – в нижних.

Известна упрощенная зависимость И.П. Бутягина [2] по определению предела прочности льда:

$$R_u = R_o - in, \quad (6)$$

где R_o – значение предела прочности льда к моменту перехода среднесуточных температур воздуха к положительным значениям;

n – количество суток с положительными температурами воздуха;

i – суточная интенсивность снижения предела прочности льда.

Уточняя коэффициенты, зависимость (6) принимает вид:

при нагружении сверху:

$$R_{ис} = R_{ос} - 0,35n, \quad (7)$$

при нагружении снизу:

$$R_{ин} = R_{он} - 0,25n, \quad (8)$$

где $R_{ос}$ и $R_{он}$ – предел прочности верхних и нижних слоев льда при переходе среднесуточных температур воздуха от отрицательных значений к положительным;

Численные значения: $R_{ос} = 0,45$ МПа, $R_{он} = 0,35$ МПа.

Выводы:

1. Под влиянием солнечной радиации и отепляющего воздействия положительных температур воздуха понижение предела прочности верхних слоев льда идет более интенсивно, чем нижних.

2. Весной в период резких похолоданий понижение прочности льда прекращается, а иногда – прочность увеличивается.

3. Предел прочности льда на изгиб при переходе среднесуточных температур воздуха от отрицательных значений к положительным при нагружении сверху для р. Иртыш в районе строительства Шульбинского гидроузла составляет 0,45 и 0,35 МПа при нагружении снизу.

Список литературы:

1. Бекавых, Л.А. Основы гидрофизики: учебное пособие / Л.А. Бекавых, С.В. Макарычев, И.В. Шорина. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – С. 46 – 50.

2. Якунин, А.Е. Расчеты несущей способности ледяного покрова / А.Е. Якунин, И.П. Бутягин. – в кн.: Методы улучшения судоходных условий на реках Сибири: Труды НИИЖТа, вып. 88. – Новосибирск: НИИЖТ, 1974, с. 66 – 81.

3. Коржавин, К.Н. Обеспечение надежности сооружений при ледовых динамических нагрузках / К.Н. Коржавин, Ю.В. Долгополов, В.А. Кореньков. – Москва: Информэнерго, 1978. – 64 с.

4. Кореньков В.А. Результаты натуральных наблюдений за пропуском льда через сооружения Красноярской ГЭС. – Москва: Гидротехническое строительство, № 7, 1970.

