

УДК 627.8:624.145.4

**Фомичева Няиля Николаевна**<sup>1</sup>, доцент, к.т.н., доцент кафедры Водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений

e-mail: ginelli@ngs.ru

**Кофеева Вера Николаевна**<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры Строительного производства, конструкций и охраны водных ресурсов

e-mail: v.n.kofeeva@nsawt.ru

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия.

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАТОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПУТЕМ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

*Аннотация.* Актуальной на сегодняшний день остается задача обеспечения беспрепятственного прохождения льда во время весеннего ледохода через гидротехническое сооружения. Выделены и рассмотрены основные схемы прохождения льдины через сосредоточенный перепад. Получены решения по расчёту разлома. Вводя некоторые допущения, разработан приближённый метод расчёта разлома льдин в любом сечении. Для создания сосредоточенного перепада предлагается устройство сооружения перед основным гидроузлом; конструкция подтверждена авторским свидетельством.

*Ключевые слова:* беззаторный пропуск льда; сосредоточенный перепад; низконапорные гидроузлы; разлом ледяных полей.

Возведение гидротехнических сооружений на реках меняет их естественный гидрологический режим. На реках в условиях сурового климата могут возникать факторы, способствующие формированию заторов в весенний период. Заторы относятся к опасным явлениям, вызывающие затопление территории [1,2]. Поэтому проектирование гидроузлов должно выполняться с учётом пропуска льда.

Анализ и обобщение опыта пропуска льда на строящихся и построенных гидроузлах, теоретические разработки и развитие исследований по изучению прочностных свойств льда в весенний период, учёт гидродинамических процессов дают возможность грамотно и обоснованно компоновать ледосбросные сооружения [3,4,5].

Однако, предварительные расчёты показали, что ширина пролётных сооружений многих гидроузлов составляет от 5 до 12 метров. В таких случаях необходимо в эксплуатационный период предусматривать мероприятия по временному задержанию ледохода, уменьшению прочности и толщины ледяного покрова перед вскрытием, что ведёт к увеличению затрат при эксплуатации сооружений.

В связи с поставленной задачей следует рассмотреть новое конструктивное решение гидроузла, обеспечивающего успешный пропуск льда. Аналогом может служить схема пропуска льда в строительный период через не полностью разобранный перемычку, где формируется сосредоточенный перепад уровней.

Как показали исследования, мелкие льдины беспрепятственно проходят в нижний бьеф, заторных явлений перед сооружением и выше сосредоточенного перепада не наблюдалось. Таким конструктивным решением может служить создание вспомогательного порога, на котором формируется сосредоточенный перепад, способствующий разлому ледяных полей и пропуску отдельных льдин в нижний бьеф.

Успешный пропуск льда зависит от многих факторов, один из главных – размер льдины вдоль потока. Чем он меньше, тем при более узких пролётах возможен пропуск льда. Натурные наблюдения на р. Онеге и р. Иртыше показали, что длина льдин вдоль потока составляет от 30 до 50 метров. Пропуск их возможен при ширине пролётных отверстий от 20 до 24 м [6]. Поэтому целесообразно создать выше основного сооружения сосредоточенный перепад. Льдина, двигаясь через этот перепад испытывает напряжения. Если эти напряжения оказываются больше предела прочности, то льдина ломается.

Целью работы является получение теоретических решений для определения сил, действующих на перемещающуюся в потоке льдину и изгибающих моментов, возникающих в любом произвольно выбранном сечении. А также предложения конструкции низконапорного гидроузла, обеспечивающего беспрепятственный пропуск льда в эксплуатационный период. Рассматривается движение твердого тела, погруженного в жидкость.

Использование расчётно-теоретического метода ранее представлено в работах [7,8]. Также определённый интерес представляют методы, в которых учитываются динамика движения льдины и потока [9]. В изложенных методах учитываются силы, действующие на льдину со стороны потока, сила Архимеда, вес льдины и инерционные силы.

Проектируя действующие силы на оси M и N (рис.1), получим

$$\left. \begin{aligned} F_{\tau}^{(ун)} &= -\sum_{i=1}^n F_{ui} \sin \alpha + F_g \sin \alpha + F_T \cos(\alpha - \varphi) + F_H \sin(\alpha - \varphi); \\ F_H^{(ун)} &= \sum_{i=1}^n F_{ai} \cos \alpha - F_g \cos \alpha + F_T \sin(\alpha - \varphi) - F_H \sin(\alpha - \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

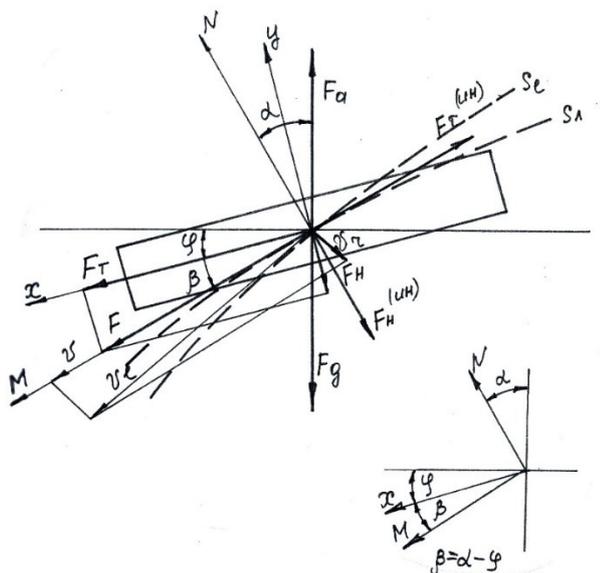


Рисунок 1 – Расчётная схема. Нагрузки, действующие на льдину

Значение архимедовой силы  $F_a$  определится по зависимости:

$$\sum_{i=1}^n F_{ai} = \rho_b \cdot g \cdot B \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

где  $\rho_b$  – плотность воды;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\sum_{i=1}^n S_i$  – площадь части льдины, погруженной в воду, определяется как сумма площадей  $S_1 + S_2 + \dots + S_n$  в зависимости от положения льдины на перепаде.

В процессе движения льда через сосредоточенный перепад можно выделить пять основных схем (рис.2). На схеме 1 передний торец льдины прошёл сосредоточенный перепад и находится на расстоянии  $l$ , от оси  $\xi$ . Верхняя кромка переднего торца возвышается над свободной поверхностью воды в нижнем бьефе на величину  $C$ . Верхняя поверхность льдины не касается воды.

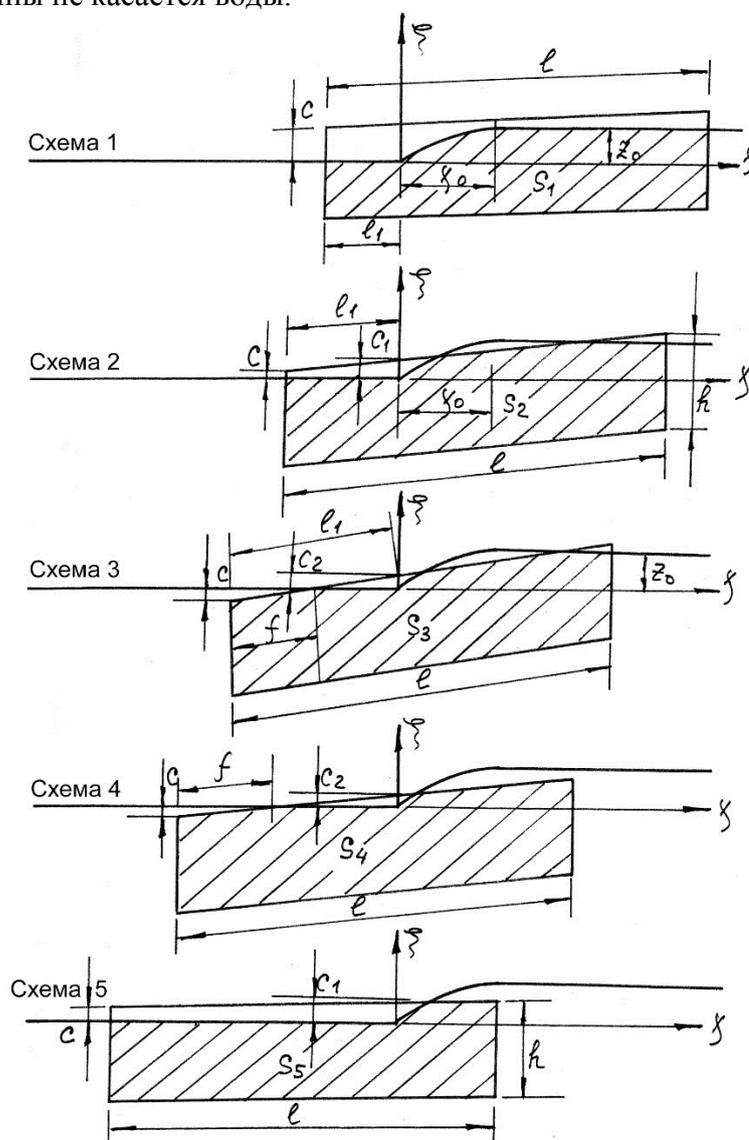


Рисунок 2– Схемы движения льдины через сосредоточенный перепад

На схеме 2 – верхняя поверхность льдины в районе сосредоточенного перепада пересекается со свободной поверхностью воды в двух местах. На схеме 3 – расстояние от переднего торца льдины до точки пересечения верхней её поверхности со свободной поверхностью воды в нижнем бьефе равно  $f$ .

Согласно схемам в напряженном состоянии могут находиться верхние, нижние слои льда или одновременно оба слоя. В процессе движения льдины, как внутри схемы, так и переходе одной в другую, меняется архимедова сила. Согласно (2) определение этих сил сводится, в основном, к отысканию площади продольного сечения льдины, погруженного в воду.

В системе уравнений (1) неизвестными остаются величины: угол наклона льдины  $\varphi$  и глубина погружения верхней части торца льдины  $C$ , которые определяются подбором.

Полный комплекс выполненных теоретических исследований позволил получить уравнения для расчёта изгибающих моментов относительно произвольно выбранного сечения.

В период эксплуатации гидротехнические сооружения подвергаются воздействию ледяных полей, которые вызывают повреждения отдельных элементов конструкций. В верхнем бьефе низконапорных гидроузлов могут наблюдаться заторные явления, приводящие к значительному повышению уровня. Для обеспечения пропуска льда в эксплуатационный период применяются различные технологические мероприятия. В данной работе предлагается использовать конструктивный метод решения проблемы. Разработаны конструкции в виде вспомогательного порога, обеспечивающая разлом ледяных полей на мелкие льдины и беспрепятственный пропуск его в нижний бьеф; предлагаемые конструкции защищены авторскими свидетельствами [10].

### **Выводы**

1. Выделены основные схемы прохождения льдины через сосредоточенный перепад.
2. Определены архимедовы силы, действующие на льдину, для этих расчётных схем.
3. Разработан приближенный метод расчёта сил, действующих на отдельную льдину во время прохождения сосредоточенного перепада и изгибающего момента, возникающих в любом сечении для всех рассмотренных схем.
4. Разработана конструкция вспомогательного порога, устройство которого перед основным водосливом позволит создать перепад уровней и тем самым будет способствовать разлому ледяных полей и успешному пропуску льда.

### **Список литературы:**

1. Болгов Н. В., Борщ С. В., Хазиахметов Р. М. Опасные гидрологические явления: методы анализа, расчета и прогнозирования, смягчение негативных последствий. // Тезисы докладов. VII Всероссийский гидрологический съезд. СПб. 2013. С.6-12.
2. Gelfan A., Gustafsson D., Motoviliv Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenev A. Climate change impact on the water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues. *Clim Change*. 2017. Vol.141, pp.449-515. Doi 10.1007/s10584-016-1710-5.
3. Панфилов Д. Ф. Разрушение ледяных полей под влиянием местных изменений уровня воды // Гидротехническое строительство. 1965. № 12. С. 21–25.
4. Коржавин К. Н. Пропуск льда при строительстве и эксплуатации гидроузлов. М.: Энергия. 1973. 160 с.
5. Fomicheva N. N. The constructions, which provide passing of ice through low-pressure waterworks in spring period / *Science. Education. Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Totonto). May 27. 2020. Infinity Publishing. pp. 225-231. Doi: 10.34660/INF.2020.23.42.001.*
6. Фомичев Б. С., Фомичева Н. Н., Кротов С. А. Натурные исследования прочности льда Новосибирского водохранилища // *Материалы Международной научно-практической конференции*. Пермь: Пермский государственный университет. 2008. С.113-118.
7. Fomicheva N., Panov D., Kalashnikov A. Studies of the movement of ice through low-pressure waterwork. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032072.

8. Fomicheva N., Heckert E., Modina M., Beryoza I. Calculation of the fracture of the ice fields at a concentrated drop. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Doi: 10.1088/1755-1315/867/1/012005.

9. Циликин В. Ф. Моделирование пропуска льда при проведении лабораторных гидравлических исследований // Исследования и расчёты заторов льда, вопросы ледотермики и гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат. Вып.192. 1972. С.30-36.

10. Авторское свидетельство №1476061 – Сооружение для пропуска льда через гидротехническое сооружение. Фомичева Н. Н. – опубл. В БИ. 1989. №6.

## **PREVENTION OF CONGESTION BY CONSTRUCTIVE SOLUTIONS IN HYDRAULIC STRUCTURES**

Nyailya N. Fomicheva, Kofeeva Vera N

*Abstract.* The task of ensuring the smooth passage of ice during the spring ice drift through hydraulic structures remains relevant today. The main schemes of the passage of an ice floe through a concentrated drop are highlighted and considered. Solutions for the calculation of the fault are obtained. Introducing some assumptions, an approximate method for calculating the fracture of an ice floe in any section has been developed. To create a concentrated drop, a construction device is proposed in front of the main waterworks; the design is confirmed by an author's certificate.

*Keywords:* uncontrolled ice passage; concentrated drop; low-pressure waterworks; ice field faults.