УДК 556.53

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРОВ С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

А. А. ВОЛЧЕК, Н. В. УСС
Брестский государственный технический университет,
Республика Беларусь, natallyanovosad@mail.ru

Актуальность. При реконструкции систем водоснабжения необходимо учитывать климатические изменения, которые вызывают изменения уровня воды и термический режим рек. В частности, необходимо принимать в расчёт особенности ледовой структуры и динамику ледового режима водотоков.

Современные климатические изменения существенно трансформируют ледовый режим рек Беларуси, что подтверждается многолетними гидрологическими наблюдениями по всей территории страны: сдвигаются сроки замерзания и вскрытия водотоков, сокращается продолжительность ледостава, меняется толщина и структура ледяного покрова, а также отмечается рост аномальных зимних явлений (резкие перепады температур, ранние или поздние ледоставы и образование наледей). Эти изменения приводят к учащению оттепелей зимой, формированию неустойчивого ледяного покрова и повышению риска образования шуги, заторов и зажоров, что создаёт дополнительные угрозы для непрерывной работы водозаборных сооружений.

Для Беларуси, где значительная часть водозаборов зависит от поверхностных источников, учёт обновлённых параметров ледового режима критически важен для обеспечения бесперебойного водоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, промышленных предприятий и сельскохозяйственных организаций в зимний период, когда ледовые явления существенно влияют на их работу.

Существующие проектные нормативы и схемы размещения водозаборов, разработанные без учёта современных климатических тенденций, могут не обеспечивать требуемый уровень устойчивости к изменяющимся ледовым нагрузкам, что повысит вероятность технологических сбоев.

Цель работы. Показать необходимость учета влияния ледовых режимов рек на этапах проектировании и реконструкции водозаборных сооружений при изменяющихся климатических условиях.

Основные результаты. Ледовый режим реки – это совокупность закономерно повторяющихся процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований на реке. Он включает все сезонные фазы и явления, связанные с замерзанием и вскрытием водотока. Характер ледового режима водных объектов определяется взаимодействием нескольких ключевых фак-

торов: климатических условий в пределах речного бассейна, водности реки, морфологических особенностей её русла, а также гидравлических свойств движущегося водного потока.

По данным Белгидромета, глобальное потепление на территории Беларуси началось зимой 1989 года. С этого периода отмечается устойчивый рост температуры воздуха, который продолжается до настоящего времени [1]. Каждые 10 лет температура воздуха в стране увеличивается примерно на 0,4 С. Повышение температуры наблюдается практически в каждом месяце, но наиболее заметно оно в зимний период. За период с 1989 по 2019 г. среднегодовая температура воздуха в Беларуси превысила климатическую норму на 1,3 °С [2]. В ходе климатических изменений отмечается тенденция к смягчению зимних условий на территории всей страны. Наблюдается повышение зимних температур, сокращение продолжительности зимнего периода, более позднее образование и раннее таяние снежного покрова и льда, учащение оттепелей и уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами.

Изменения ледового режима рек Беларуси подтверждаются и современными исследованиями. За период потепления, на примере реки Западная Двина, время проявления первых ледовых явлений сдвинулось с первой-второй декады ноября (историческая норма) на первую-третью декаду декабря, то есть на 2–4 недели позже. Также фиксируется и тенденция смещения сроков окончания ледовых явлений на реке: средняя дата окончания ледовых явлений сместилась с первой декады апреля на период со второй по третью декаду марта. Разница во времени проявления последних ледовых явлений между верхним течением (пост Сураж) и нижним (пост Верхнедвинск) выросла с 6–9 суток в 1960–1989 г. до 12–21 суток в период потепления (1990–2022 гг.). Одновременно продолжительность ледового периода сократилась: со 147 до 128 суток на посту Сураж и со 137 до 103 суток – на посту Верхнедвинск [3]. Аналогичные изменения в разной степени фиксируются и на других реках страны.

При проектировании водозаборных сооружений в Республике Беларусь (согласно СП 4.01.03-2022 «Водозаборные сооружения») учитываются различные характеристики ледового режима, которые влияют на безопасность, эффективность и долговечность сооружений. Эти параметры определяют конструктивные решения, расположение водозаборов и системы их эксплуатации. Основными характеристиками ледового режима, учитываемыми при проектировании, являются:

1 Толщина ледостава. Определяет нагрузки на конструкции водозабора и необходимость их усиления. В зависимости от толщины ледяного покрова (например, до 0,8 м, от 0,8 до 1,2 м или более) выбирают материалы, глубину заложения сооружений и системы защиты от механических повреждений.

2 Наличие и характер внутриводного ледообразования. Учитывается формирование шуги и её влияние на работу водозабора. Шуга может засорять водоприёмные отверстия, поэтому предусматриваются системы её отделения и предотвращения закупорки входных частей сооружений.

3 Возможность шугозажоров и ледяных заторов. В предледоставные периоды и весной может возникать риск образования заторов из шуги или льда, что угрожает целостности сооружений. При проектировании учитывают вероятность таких явлений и предусматривают меры для их минимизации, например, специальные конструкции для пропуска шуги или системы регулирования потока.

4 Полыньи и их распределение. Полыньи (участки открытой воды среди ледяного покрова) влияют на температурный режим и могут создавать дополнительные гидродинамические нагрузки. Их наличие учитывается при выборе места расположения водозабора и расчёте нагрузок.

5 Сроки формирования и таяния ледяного покрова. Продолжительность ледостава и даты его начала/окончания определяют периоды, когда водозабор будет работать в условиях обледенения. Это влияет на выбор систем подогрева или других мер для предотвращения замерзания водоприёмных отверстий.

6 Нестационарность течений, вызванных ветром и волнением. В период ледостава направления и величины скоростей течений могут меняться, что создаёт дополнительные нагрузки на сооружения. Учитываются возможные вихревые зоны и их влияние на работу водозабора.

7 Стратификация воды по температуре и мутности. Различия в температуре и концентрации взвеси по глубине влияют на формирование льда и его структуру, что учитывается при расчёте нагрузок и выборе материалов.

8 Возможность образования вихревых водоворотов у водоприёмников. Вихревые потоки могут захватывать поверхностные слои воды и шугу, что требует специальных конструктивных решений для предотвращения закупорки систем.

Также при расчёте параметров водозабора, например отметки дна водоприёмного ковша, учитывается расчётная толщина ледяного покрова в русле реки. Это позволяет обеспечить достаточный запас глубины для бесперебойной работы сооружения в зимний период [4].

В условиях изменяющегося климата наблюдается устойчивая тенденция к сокращению продолжительности ледового режима: сроки появления льда становятся более поздними, а сроки вскрытия водоёмов – более ранними. В связи с этим при разработке и актуализации строительных норм и стандартов необходимо учитывать динамику климатических изменений, включая пересмотр расчётных ледовых нагрузок и проработку сценариев экстремальных ледовых явлений (зажоров, заторов, аномальных оттепелей).

Выводы. Учет влияния ледовых явлений при проектировании и реконструкции водозаборов с учетом современных климатических изменений позволит минимизировать риски аварий, сократить затраты на экстренные ремонты и гарантировать стабильное водоснабжение населения и предприятий Республики Беларусь даже в условиях нестабильного ледового режима. Систематическая фиксация актуализированных данных о сроках замерзания и вскрытия водотоков, продолжительности ледостава, толщине и структуре ледяного покрова становится неотъемлемым элементом стратегии устойчивого водоснабжения.

Комплексный мониторинг и внедрение обновлённых параметров ледового режима в планирование работы водозаборов – необходимое условие для долгосрочной надёжности систем водоснабжения Беларуси и снижения потенциальных экономических потерь в ключевых секторах экономики.

Список литературы

1 Белгидромет рассказал, когда началось глобальное потепление в Беларуси // Дзен. – URL: https://dzen.ru/a/aJW5pb7Ikyo3vuw0 (дата обращения: 18.02.2026).

2 Что происходит с изменением климата в Беларуси? // United Nations Development Programme. – URL: https://www.undp.org/ru/belarus/chto-proiskhodit-s-izmeneni em-klimata-v-belarusi (дата обращения: 19.02.2026).

3 **Тимошенко, В. А.** Изменение ледового режима рек Белорусского Поозерья за период потепления климата на примере реки Западная Двина / В. А. Тимошенко; науч. рук. Д. Л. Иванов // XVIII Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 25 октября 2024 г. : в 2 т. / ВГУ им. П. М. Машерова. – Витебск, 2024. – Т. 1. – С. 135–138.

4 Строительные правила Республики Беларусь. Водозаборные сооружения : СП 4.01.03-2022. – Минск, 2023.

УДК 621.891:628.517.2:534.8.081.7

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ВАГОННЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

С. Н. БУХАРОВ, Е. Ф. КУДИНА, А. С. ТУЛЕЙКО
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, sbuharov@mpri.org.by

Проблема снижения уровней шумового воздействия на окружающую среду является в настоящее время одной из основных проблем безопасной жизнедеятельности человека и безаварийного функционирования сложных технических объектов. Подвижные части механизмов и машин, в том числе многочисленные узлы трения являются источником вибрации и шума, по-