

Материалы к биографиям ученых и инженеров
Materials for the Biographies of Scientists and Engineers

DOI: 10.31857/S020596060016358-5

**ВКЛАД АКАДЕМИКА Ю. А. ШИМАНСКОГО В РАЗВИТИЕ
АРКТИЧЕСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ**

САЗОНОВ Кирилл Евгеньевич — Крыловский государственный научный центр; Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; Россия, 190121, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3; Email: kirsaz@rambler.ru

© К. Е. Сазонов

Академик Юлиан Александрович Шиманский (1883–1962) — выдающийся отечественный ученый-судостроитель, известный своими трудами в области строительной механики, теории и проектирования корабля. Специалистам в области морской ледотехники хорошо известна его монография «Условные измерители ледовых качеств судна», которая вышла отдельным томом «Трудов Арктического научно-исследовательского института» (АНИИ) в 1938 г. Эта работа сыграла значительную роль в развитии морской ледотехники и в проектировании ледоколов и судов ледового плавания не только в нашей стране, но и за рубежом. Анализом этой работы обычно и ограничивается рассмотрение вклада Шиманского в арктическое судостроение. Новые материалы, содержащиеся в архивных документах и в практически неизвестных исследованиях двух публикациях, позволяют существенно расширить представление о его роли в становлении исследований ледовых качеств судов в один из поворотных моментов формирования морской ледотехники — при создании первого в мире ледового опытового бассейна. Сразу после завершения Великой Отечественной войны в 1945 г. АНИИ в Ленинграде приступил к реализации планов создания экспериментальной базы для изучения процессов движения ледоколов и судов во льдах — ледового бассейна. Шиманский принял самое деятельное участие в этой работе практически с самого ее начала. Архивные документы показывают его роль в создании первого ледового бассейна, а обнаруженные статьи позволяют проследить процесс создания им теории моделирования движения судна во льдах, которая до сих пор используется во всех ледовых бассейнах мира.

Ключевые слова: Ю. А. Шиманский, ледовый бассейн, моделирование, ледокол, движение во льдах, критерии подобию.

Статья поступила в редакцию 11 марта 2020 г.

THE CONTRIBUTION OF ACADEMICIAN YU. A. SHIMANSKY TO THE DEVELOPMENT OF ARCTIC SHIPBUILDING

SAZONOV Kirill Evgenievich — Krylov State Research Center; Moskovskoe shosse, 44, St. Petersburg, 196158, Russia; St. Petersburg Marine Technical University; Lotsmanskaya ul., 3, St. Petersburg, 190121, Russia; Email: kirsaz@rambler.ru

© K. E. Sazonov

Abstract: Academician Yulian Alexandrovich Shimansky (1883–1962), an outstanding Russian scientist and shipbuilder, is known for his works in the field of structural mechanics, ship theory and ship design. His monograph “Conventional indicators of a vessel’s ice performance”, published as a separate volume of “Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta [Proceedings of the Arctic Institute]” (ANII) in 1938, is well known to the specialists in sea ice technology. This work has played an important role in the development of sea ice technology and in designing icebreakers and ice-going vessels both in Russia / USSR and worldwide. The reviews of Shimansky’s contributions to Arctic shipbuilding are usually limited to the analysis of this work. The new materials from the archival documents and two publications that are practically unknown to the researchers allow to considerably broaden the knowledge about his role in the emergence of the studies on the vessels’ ice performance at one of the turning points in the development of sea ice technology: the creation of the first ever ice model basin. Immediately after the end of the Great Patriotic War in 1945, the ANII in Leningrad set out to implement the plans for the creation of the experimental base for studying the processes of icebreakers and ice-going vessels’ motion in ice, i. e. the ice model basin. Shimansky became actively engaged in this work from the very beginning. The archival documents demonstrate his role in the creation of the first ice model basin and the articles rediscovered by us allow to reconstruct the process of creating the theory of a vessel’s motion in ice by Shimansky that is still employed in all ice model basins across the world.

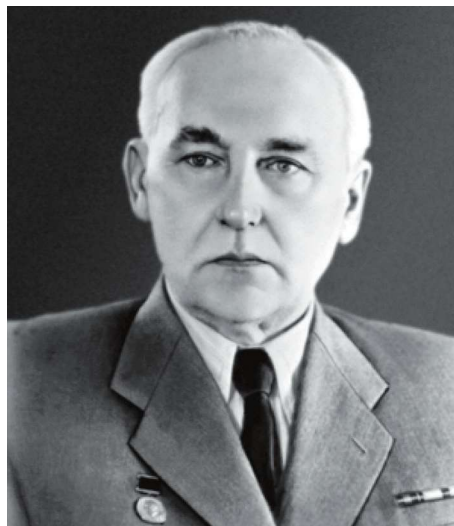
Keywords: Yu. A. Shimansky, ice model basin, modeling, icebreaker, motion in ice, similarity criteria.

For citation: Sazonov, K. E. (2021) Vklad akademika Iu. A. Shimanskogo v razvitie arkticheskogo sudostroeniia [The Contribution of Academician Yu. A. Shimansky to the Development of Arctic Shipbuilding], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 42, no. 3, pp. 501–521, DOI: 10.31857/S020596060016358-5

Академик Юлиан Александрович Шиманский (1883–1962) — выдающийся отечественный ученый-судостроитель, известный своими трудами в области строительной механики, теории и проектирования корабля. Его жизни и творчеству посвящено большое количество работ ¹. Большинство

¹ См., например: Ханович И. Г. Юлиан Александрович Шиманский (1883–1962). М.: Наука, 1978; Жизнь, отданная судостроению: воспоминания об академике Ю. А. Шиманском / Ред. В. Ф. Безукладов и др. Л.: Судостроение, 1973.

исследователей Шиманский воспринимается как один из создателей строительной механики корабля наряду с академиком А. Н. Крыловым, профессором И. Г. Бубновым и членом-корреспондентом АН СССР П. Ф. Папковичем. Также отмечается его вклад в теорию корабля и проектирование судов. Практически все авторы, пишущие о нем, упоминают его работу «Условные измерители ледовых качеств судна», которая вышла в виде отдельного тома «Трудов Арктического НИИ» в 1938 г.² Анализом этой работы, оказавшей большое влияние на развитие морской ледотехники в нашей стране и за рубежом, обычно и ограничивается рассмотрение вклада Шиманского в арктическое судостроение. Новые материалы, содержащиеся в архивных документах и в практически неизвестных исследователям двух публикациях³, позволяют существенно расширить представления о его роли в становлении исследований ледовых качеств судов в один из поворотных периодов формирования морской ледотехники — при создании первого в мире ледового опытового бассейна⁴.



Ю. А. Шиманский

По-видимому, Шиманский стал интересоваться вопросами арктического судостроения после организации 17 декабря 1932 г. Главного управления Северного морского пути (Главсевморпуть) во главе с О. Ю. Шмидтом⁵. В это время в стране были начаты проектные проработки перспективных судов для плавания во льдах и ледоколов. Для анализа разрабатываемых проектов и принятия стратегических решений по вопросам развития ледокольного флота при Главсевморпути была создана экспертная комиссия, которую иногда называли бюро экспертов по проектированию и постройке судов ледового плавания и ледоколов. Членами этой комиссии стали Крылов, Шиманский,

² Шиманский Ю. А. Условные измерители ледовых качеств судна // Труды Арктического научно-исследовательского института. Л.: Изд-во Главсевморпути, 1938. Т. 130. С. 1–60.

³ Шиманский Ю. А. Методика моделирования движения ледокола в сплошном ледяном поле // Проблемы Арктики. 1951. № 1. С. 98–115; Шиманский Ю. А. Теория моделирования движения судна в сплошном ледяном поле // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1960. Т. 237. С. 9–29.

⁴ См.: Сазонов К. Е. Развитие морской ледотехники в России: история и современность // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 92–103.

⁵ Белов М. И. Научное и хозяйственное освоение Советского Севера. 1933–1945 гг. Л.: Гидрометеиздат, 1969 (История открытия и освоения Северного морского пути / Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт Главного управления гидрометеослужбы при Совете Министров СССР. Т. 4).

Папкович и многие другие видные судостроители. Так, в 1934 г. Крылов и Шиманский участвуют в совещании по перспективам строительства в СССР ледокольного флота. На этом совещании решался вопрос о строительстве новых ледоколов. Предлагалось два возможных решения: строительство мощных дизель-электрических ледоколов мощностью 10 и 16 тыс. л. с. и постройка ледоколов типа «Красин». Крылов выступил против строительства дизель-электрических ледоколов, мотивируя свое решение неподготовленностью отечественной промышленности к выпуску мощных дизель-генераторов и главных электродвигателей. Интересные подробности этого совещания приводит в своих воспоминаниях Шиманский ⁶.

В литературе указывается, что начиная с 1938 г. Шиманский принимает активное участие в работах по кораблестроительной тематике Всесоюзного арктического института (ВАИ, позднее Арктический НИИ (АНИИ) и Арктический и антарктический НИИ (ААНИИ) ⁷. Архивные материалы позволяют установить причину, благодаря которой началось его сотрудничество с этим учреждением. С 1 марта 1935 г. в ВАИ было создано кораблестроительное исследовательское бюро, основными задачами которого было изучение вопросов, связанных с арктическим судостроением, и обеспечение проектирования ледоколов и судов ледового плавания. К ним относились вопросы обеспечения прочности корпуса судна при плавании во льдах и необходимой для этого мощности энергетических установок, а также определения упора гребных винтов ⁸. В самом начале существования бюро в его составе практически отсутствовали специалисты-кораблестроители, поэтому бюро активно сотрудничало с различными судостроительными организациями, в первую очередь с Научно-исследовательским институтом судостроения. В 1936 г. на имя директора ВАИ Р. Л. Сомойловича поступило письмо от заместителя начальника управления морского и речного транспорта Ф. И. Дриго и руководителя группы морского судостроения И. К. Сморгонского. В этом письме, в частности, говорилось следующее:

Мы рекомендуем Вам привлечь постоянным консультантом проф. Шиманского Ю. А. т. к., по-видимому, мы должны будем его снять из числа постоянных членов экспертного совета, оставляя приглашение его в заседания экспертного совета для отдельных консультаций. Сохранить же проф. Шиманского для постоянной работы в нашей системе необходимо ⁹.

Речь в этом письме идет об исключении Шиманского из числа постоянных членов экспертного совета Главсевморпути, при этом руководящие работники считали необходимым сохранить его для «постоянной работы в нашей системе». Очевидно, что их рекомендации были приняты, и Шиманский стал активно участвовать в работе кораблестроительного отдела ВАИ.

⁶ Памяти Алексея Николаевича Крылова / Ред. Ю. А. Шиманский. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 233–242.

⁷ Белкин В. П., Безукладов В. Ф. Жизнь и деятельность Юлиана Александровича Шиманского // Жизнь, отданная судостроению... С. 9–22.

⁸ Центральный государственный архив научно-технической документации Санкт-Петербурга (ЦГАНТД СПб). Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 141. Л. 1

⁹ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 166. Л. 9 об.

Первым и наиболее известным результатом этой работы явилось написание монографии «Условные измерители ледовых качеств судна». Она хорошо известна и часто комментировалась различными исследователями¹⁰. Поэтому при ее анализе внимание будет сосредоточено на тех моментах, которые ранее не получили должного освещения.

Во введении Шиманский сразу перечисляет те факторы, которые, по его мнению, определяют ледовые качества судна. Это водоизмещение, форма обводов корпуса, мощность энергетической установки и прочность корпуса. Рассматривая эти факторы, он указывает на то, что их влияние на способность судна передвигаться во льдах не одинаковое, однако все они крайне важны. Несоответствие каждого из этих факторов в отдельности некоторым требуемым значениям может существенно ухудшить ледовые качества судна. Поэтому все эти факторы должны рассматриваться совместно для достижения между ними некоторого оптимального соотношения, которое обеспечивает судну наилучшие показатели ледовых качеств. К сожалению, до сих пор это требование не всегда учитывается проектантами современных ледоколов и судов ледового плавания.

Также во введении Шиманский дает негативную оценку результатам натурных исследований судов, плавающих во льдах. По его мнению, «на основе полученного в результате этих работ материала нельзя еще сделать каких-либо обобщающих заключений, могущих найти последующее использование»¹¹. Далее в параграфе работы, посвященном описанию условных измерителей прочности корпуса, он объясняет основные причины негативного отношения к данным натурального эксперимента. Во-первых, это неоднозначность восстановления действующей нагрузки по результатам измерения деформации корпуса, во-вторых, трудности в определении распределения внешних усилий между обшивкой корпуса и набором. Необходимо заметить, что такое отношение к результатам натурального эксперимента противоречило практике исследования прочности ледоколов того времени¹².

Целью своей работы Шиманский видит разработку системы условных измерителей ледовых качеств судов, которая позволяла бы сравнивать между собой различные проекты и, в частности, определять степень их отличия друг от друга. При этом он сознательно отказывается от определения абсолютных значений усилий, действующих на корпус судна со стороны льда, мотивируя это положение тем, что физико-механические характеристики льда имеют очень большой разброс и существенную зависимость от гидрометеорологических условий. Кроме того, он указывает, что способность судна эффективно передвигаться во льдах во многом зависит от искусства судоводителя, т. е. от фактора, который не поддается формализации. Вводимые же им условные измерители не зависят от этих факторов.

В своей работе Шиманский предлагает использовать три группы условных измерителей, позволяющих дать сравнительную оценку формы корпуса

¹⁰ См., например: *Ханович. Юлиан Александрович Шиманский...* С. 130–135.

¹¹ *Шиманский. Условные измерители...* С. 10.

¹² *Сазонов К. Е. Начальный этап становления ледовой прочности судов // Морской вестник. 2012. № 2 (42). С. 91–94.*

судна, его мощности и прочности. Первая включает в себя коэффициенты ледокольности (отношение суммарной вертикальной силы к суммарной продольной силе) и ледорезности (отношение суммарной поперечной силы к суммарной продольной силе), а также плечи поперечных и вертикальных сил. Вывод формул для этих коэффициентов базируется на введении в рассмотрение углов, характеризующих форму корпуса. Для этого используются углы, легко определяемые по теоретическому чертежу корпуса (угол между касательной к ватерлинии и плоскостью батокса, угол между касательной к шпангоуту и плоскостью ватерлинии и угол между касательной к батоксу и плоскостью ватерлинии), а также углы между нормалью к корпусу и осями координат, связанными с центром тяжести судна. С помощью этих углов выписываются проекции ледового давления на корпус. Величины продольных, поперечных и вертикальных сил определяются путем интегрирования по длине носового заострения судна от форштевня до места расположения максимальной ширины корпуса. Выполняя такое интегрирование, Шиманский впервые использовал «интегральный» подход к определению ледовых сил, действующих на корпус, в основе которого лежит гипотеза о непрерывности контакта корпуса со льдом в пределах носовой оконечности. Впоследствии такой подход к определению ледовых сил использовался во многих методах расчета ледового сопротивления судна и его маневренных характеристик во льдах¹³. При выводе формул для коэффициентов ледокольности и ледорезности не были учтены силы трения льда об обшивку корпуса, что является существенным недостатком полученных выражений. Шиманский считал, что эти силы незначительны, однако дальнейшее развитие морской ледотехники показало необходимость их учета.

Вторая группа коэффициентов — условные измерители для оценки ледокольной мощности судна. Шиманский вводит два различных коэффициента, которые соответствуют различным режимам движения судна во льдах: непрерывному и набегам. При рассмотрении непрерывного движения он принимает, что суммарное продольное усилие, действующее со стороны льда на корпус, равно полному упорному давлению гребных винтов. Это позволяет ему определить через упорное давление величину вертикального и продольного усилий. Далее автор отмечает, что упорное давление винтов обычно неизвестно, поэтому предлагает перейти к мощности энергетической установки, предполагая пропорциональность между упорным давлением винтов и мощностью. Здесь Шиманский допускает ошибку, которая обусловлена недостаточной разработанностью в то время теории движителей. На самом деле связь между тягой движителей и мощностью более слабая, чем это принято в работе¹⁴. В качестве коэффициента статической мощности автор предлагает использовать некоторую толщину льда. В полученные формулы введен поправочный коэффициент, выбранный таким образом, чтобы эта

¹³ Сазонов К. Е. История развития методов расчета ледового сопротивления судна // Морской вестник. 2009. № 3. С. 83–89.

¹⁴ См., например: Басин А. М., Миниович И. Я. Теория и расчет гребных винтов. Л.: Судпромгиз, 1963. В этой работе показано, что на швартовном режиме тяга движительного комплекса ледокола пропорционально мощности в степени 2/3.

условная толщина льда была равна 1 м для ледокола «Красин» при использовании полной мощности энергетической установки. Таким образом, рассматриваемый коэффициент позволяет оценивать ледовые качества по отношению к ледоколу «Красин».

Другие коэффициенты этой группы — коэффициенты динамической ледокольной мощности: коэффициенты удара и влезания на лед. Выражения, необходимые для расчета этих коэффициентов, Шиманский получает энергетическим методом. Рассматривая движение ледокола при ударе и влезании на лед, автор получает выражения для вертикальных и продольных сил. В них также вводится нормировочный коэффициент, который подбирается таким образом, чтобы для ледокола «Красин» коэффициенты были бы равны единице.

Третья группа измерителей предназначена для оценивания прочности корпуса судна во льдах. Шиманский предлагает использовать четыре коэффициента: коэффициенты прочности корпуса при сжатии, при выжимании, при ударной нагрузке и коэффициент прочности бортовой обшивки корпуса. При их определении автор принимал для расчетных напряжений величины, составляющие 50 % от предела текучести. Сама величина ледовой нагрузки определяется по предложенной им формуле. Проекция этой нагрузки в вертикальном и горизонтальном направлениях позволяют с помощью ранее полученных формул определить условную толщину льда, при которой она реализуется. Эта толщина и принимается в качестве условного измерителя.

Появление второго коэффициента связано с тем, что некоторые суда при воздействии на них ледовых сжатий «выжимались» льдом. В качестве измерителя используется значение высоты, на которую выжимается судно, отнесенное к осадке судна.

Третий коэффициент связан с возможностью удара корпуса судна о лед. В качестве измерителя используется отношение скорости при ударе к максимальной скорости судна. Для вывода расчетной формулы используются энергетические выражения.

Приступая к рассмотрению коэффициента прочности бортовой обшивки корпуса Шиманский указывает, что

прочность обшивки борта и прочность набора борта должны находиться между собой в каком-то определенном соответствии, поскольку обшивка и набор борта во время хода судна во льду подвергаются воздействию одних и тех же внешних усилий. Однако характер и должная степень этого соответствия, зависящие от сложных условий совместной работы обшивки и набора, не могут быть достаточно достоверно установлены ¹⁵.

Далее он отмечает, что условия сложной совместной работы не могут быть установлены даже при проведении измерений на натурном судне. Автор видит решение проблемы в

¹⁵ Шиманский. Условные измерители... С. 34.

накоплении и систематизации наблюдений за состоянием обшивки и набора борта разных судов, имея в виду, что на основе полученных данных можно будет сделать заключения о степени соответствия у этих судов прочности обшивки и прочности набора их борта и установить ту степень соответствия, которая является наиболее полно отвечающей условиям взаимной работы обшивки и набора борта ¹⁶.

Для реализации намеченной цели может служить предлагаемый им измеритель, представляющий собой отношение предельной нагрузки обшивки борта к предельной нагрузке набора борта.

Важной частью работы является приведенное в ней исследование сопротивления ледяного покрова усилиям, приложенным по его кромке. Шиманский приводит полученное им приближенное решение задачи об изгибе полубесконечной балки-полоски, лежащей на упругом основании ¹⁷. Решение этой задачи позволило построить графики, связывающие величины вертикальных и горизонтальных усилий с толщиной льда.

Результаты, полученные в работе, были сразу же применены для анализа существующих и проектируемых ледоколов. В работе содержатся таблицы, в которых указаны значения введенных коэффициентов для различных судов.

Для своего времени работа Шиманского «Условные измерители ледовых качеств судна» стала важнейшим вкладом в развитие морской ледотехники. Впервые появилась возможность аргументированно сравнивать различные варианты технических решений при проектировании ледоколов и судов ледового плавания. У судостроителей появился инструмент, позволяющий им целенаправленно подходить к трансформации формы корпуса и других характеристик судов, выбранных в качестве прототипа при проектировании. Понятие условных ледовых измерителей получило дальнейшее развитие в трудах ряда советских ученых ¹⁸. С появлением ледовых бассейнов роль работы Шиманского в проектировании ледоколов стала постепенно снижаться, однако некоторые ее положения продолжают использоваться специалистами в проводимых ими исследованиях.

Введение в практику проектирования ледоколов и судов ледового плавания условных измерителей ледовых качеств судов не позволяло проводить определение абсолютных значений ледового сопротивления судна, конкретных величин толщины преодолеваемого им льда. Необходимость в определении этих данных была очень велика, особенно в тех случаях, когда

¹⁶ Там же.

¹⁷ В ходе подготовки работы Шиманского к печати была опубликована работа А. И. Маслова, в которой было получено строгое решение этой задачи: *Маслов А. И.* Опыт расчета внешних усилий, действующих на корпус судна в ледовых условиях // Труды Всесоюзного научного инженерно-технического общества судостроения ВНИИТОСС. Л.: Судпромгиз, 1937. Т. 2. Вып. 3. С. 129–132.

¹⁸ *Виноградов И. В.* Суда ледового плавания. М.: Оборонгиз, Главная редакция литературы по судостроению, 1946. С. 75–78; *Капителян В. И.* Методы оценки ледовой ходкости судна в сплошных льдах // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 309. С. 5–17.

проектируемый ледокол значительно отличался от выбранного прототипа. Поэтому в конце 30-х гг. прошлого века предпринимались попытки их определения. К тому времени основным способом определения сопротивления воды движению судна стал модельный эксперимент в опытовых бассейнах, основы которого были заложены еще В. Фрудом¹⁹. Естественным обобщением этого опыта стало проведение экспериментов с моделями ледоколов. Такие эксперименты проводились в Ленинграде В. И. Негановым²⁰, а также другими специалистами в Московском гидрометеорологическом институте и в Одесском институте инженеров водного транспорта²¹. В качестве модели льда при этих испытаниях использовался либо пресноводный лед уменьшенной толщины, либо парафин. Результаты экспериментов показали, что и та, и другая модели льда плохо моделируют реальный ледяной покров. Стало понятно, что для проведения модельных испытаний в ледовых условиях необходимо разработать специальный моделированный лед, который в первую очередь должен был обладать пониженной прочностью по сравнению с натурным льдом. Разработкой такого льда занялся сотрудник Арктического института В. В. Лавров, сами работы значились в числе тем исследований в «Перспективном плане развития ледоисследовательской лаборатории и ее тематических работ в ближайшие годы», который был составлен 8 июня 1945 г. руководителем лаборатории И. С. Песчанским²². Для создания моделированного льда был использован уже хорошо установленный факт снижения прочности льда при повышении его солености. В. В. Лавров предложил намораживать моделированный лед из раствора поваренной соли. Им же были разработаны первоначальная технология и ее последующие модификации приготовления такого льда²³. Предварительные опыты по созданию моделированного льда и подтверждение возможности испытаний в них моделей ледоколов были проведены в гидрототке Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева (ВНИИГ) в Ленинграде в конце 1940-х — начале 1950-х гг. Эти работы позволили приступить к разработке проекта создания ледового опытового бассейна.

Помимо создания моделированного льда и строительства ледового бассейна оставались еще две проблемы, без решения которых работа бассейна была бы невозможной. Необходимо было разработать теорию моделирования движения судов во льдах, а на ее основе предложить метод пересчета получаемых в эксперименте результатов на натурные объекты. В решении этих важнейших проблем Шиманский принял самое деятельное участие.

¹⁹ Сазонов К. Е. Роль В. Фруда в создании теории корабля // Судостроение. 2010. № 5. С. 61–66.

²⁰ Каשתелян В. И., Позняк И. И., Рывлин А. Я. Сопротивление льда движению судна. Л.: Судостроение, 1968. С. 36. Василий Иванович Неганов (1899–1978) впоследствии стал главным конструктором первого в мире атомного ледокола «Ленин».

²¹ Назаров В. С. Результаты сравнительных испытаний модели ледокола нового типа // Морской флот. 1946. № 5–6. С. 12–15.

²² ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 545. Л. 40.

²³ Лавров В. В. Деформация и прочность льда. Л.: Гидрометеиздат, 1969. С. 187–198.

Сразу после окончания войны Арктический институт серьезно занялся вопросами изучения особенностей движения судов во льдах. К этой работе были подключены специалисты Ленинградского кораблестроительного института во главе с профессором Л. М. Ногидом, известным ученым в области проектирования судов, который также активно занимался ледовой тематикой. В качестве консультантов по этим работам выступали академик АН СССР В. Л. Поздюнин и член-корреспондент АН СССР П. Ф. Папкович. Шиманский в этих работах не участвовал. В 1945 г. его кандидатура рассматривалась в качестве эксперта по кораблестроению для получения заключений по проектам научно-исследовательских судов для полярных регионов ²⁴.

Тем не менее Шиманский продолжал поддерживать связь с АНИИ, имеются архивные документы, показывающие, что он участвовал в обсуждении работ кораблеисследовательского отдела АНИИ. Так, в июле 1948 г. он совместно с Ногидом дает заключение по материалам кораблеисследовательских экспедиций 1947 г. и частичной обработке этих материалов ²⁵. В этом заключении большое внимание было уделено методике проведения натуральных измерений ледовых качеств судов.

По всей видимости Шиманский в 1948—1949 гг. был привлечен к работам АНИИ по созданию ледового бассейна. Среди архивных материалов за 1948 г. содержится документ, озаглавленный «Предварительный перечень работ по разработке технического задания на проектирование опытового ледового бассейна», первый пункт которого сформулирован следующим образом:

Разработка методологии исследования движения моделей в опытовом ледовом бассейне (включая теорию подобия) и пересчета результатов испытания моделей на натуре ²⁶.

Под этим документом предусмотрены подписи и. о. начальника кораблеисследовательского отделения В. М. Бессудного и Шиманского. На документе подпись Шиманского отсутствует, но видно, что содержание документа было с ним как минимум согласовано.

Ногид указывает, что под руководством Шиманского в 1950 г. были проведены испытания моделей трех ледоколов в гидрлотке ВНИИГа ²⁷. Начиная с 1951 г. Шиманский постоянно указывается в качестве научного руководителя большого количества научно-исследовательских тем, выполняемых кораблеисследовательским отделом АНИИ. Одной из первых таких тем стала работа «Разработка методики проведения модельных испытаний ледоколов в моделированных льдах и усовершенствование технологии получения моделированного льда», ответственным исполнителем которой был И. И. Позняк. В план-программе по этой теме в разделе «Состояние вопроса» было указано:

²⁴ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 562. Л. 15, 17.

²⁵ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 624. Л. 1—15, 29—32.

²⁶ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 685. Л. 3.

²⁷ Ногид Л. М. О моделировании движения ледокола в ледяном поле // Проблемы Арктики. 1951. № 1. С. 116—127.

В 1949 г. Ю. А. Шиманским была создана теория моделирования движения ледокола в сплошных льдах, которая позволила приступить к модельным испытаниям в условиях опытового ледового бассейна. В 1949 г. к. т. н. В. В. Лавровым был создан моделированный лед натурального состава, разработана технология получения и изучены его физико-механические качества ²⁸.

Из этого документа следует, что к 1949 г. было найдено решение многих проблем, препятствующих созданию ледового бассейна ²⁹. Первоначальные опыты с моделями ледоколов и судов проводились в гидролотке ВНИИГа. В это же время начали проводиться исследования, направленные на изучение влияния формы корпуса и его главных размерений на величину ледового сопротивления. Одним из первых исследований стало изучение возможности использования носовой надделки «ледолом» для создания за ледоколом чистого от битого льда канала. В отличие от обычной ледокольной носовой оконечности эта надделка разрушала ледяной покров снизу вверх. Научным руководителем этой работы был также Шиманский ³⁰. Был выполнен ряд модельных испытаний с различными моделями, а также натурные исследования на переоборудованном буксире «Иван Вазов». Результаты этих исследований, оказавшихся не совсем удачными, были позже опубликованы ³¹. Кроме того, Шиманский руководил работами по изучению ледовой прочности корпусов ледоколов и судов, а также по разработке специальных приборов и приспособлений для создаваемого ледового бассейна. Научное руководство исследованиями кораблеисследовательского отдела Шиманский осуществлял до конца своей жизни.

По мнению автора настоящей статьи, наибольший вклад в дальнейшее развитие морской ледотехники внесли работы Шиманского, посвященные теории моделирования и методике ледового эксперимента в ледовых бассейнах. Они изложены в двух указанных выше статьях. К сожалению, эти работы оказались совершенно неизвестным широкому кругу исследователей, занимающихся вопросами ледового судостроения. Автор этих строк случайно обнаружил сборник трудов АНИИ лишь в середине 1990-х гг., а до этого момента не встречал ни одной ссылки на статьи сборника, хотя в нем опубликован целый ряд важных исследований. Работа же, опубликованная в журнале «Проблемы Арктики», была обнаружена недавно, ее распространению препятствовал гриф секретности.

В первой своей статье Шиманский ставит задачу разработки экспериментальной методики определения сопротивления льда движению ледокола, аналогично тому, как это осуществляется на чистой воде при испытаниях моделей в гидродинамических бассейнах. Он указывает, что

²⁸ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 851. Л. 16, 17.

²⁹ Необходимо отметить, что примерно в то же время теория моделирования движения ледокола во льдах была разработана Ногидом: *Ногид*. О моделировании движения ледокола... С. 116–127; *Ногид Л. М.* Моделирование движения судна в сплошном ледяном поле и битых льдах // Труды Ленинградского кораблестроительного института. Л.: Судпромгиз, 1959. Вып. 28. С. 45–62.

³⁰ ЦГАНТД СПб. Ф. Р-369. Оп. 11. Д. 851. Л. 19–21.

³¹ *Каштейн, Позняк, Рывлин.* Сопротивление льда... С. 224–225.

для изучения движения ледокола в сплошном ледяном поле такая экспериментальная методика, насколько нам известно, до сих пор еще не была использована, несмотря на то, что чисто аналитическое определение сопротивления движению ледокола значительно более затруднительно, чем определение сопротивления обычного корабля на чистой воде ³².

В самом начале статьи Шиманский подчеркивает, что данная работа должна рассматриваться как первое приближение к решению проблемы моделирования и в последующем в полученные результаты необходимо будет внести соответствующие коррективы на основании данных модельных и натурных экспериментов.

В начале статьи автор формулирует условия строгого моделирования процесса разрушения льда ледоколом. В качестве исходных данных он принимает равенство ускорения силы тяжести и плотности для модели и натурального ледокола. Кроме этого, принимается, что отношение линейных размеров натурального ледокола и модели одинаково и равно масштабному коэффициенту λ . Использование этих исходных данных позволяет Шиманскому получить соотношения (критерии моделирования) для других величин, которые определяют явление моделирования. Так, силы, обусловленные силой тяжести, относятся как λ^3 , кинетическая и потенциальная энергии как λ^4 и т. д. Требование удовлетворения закону куба масштаба для инерционных сил приводит к определению масштаба времени и скорости движения $\sqrt{\lambda}$. Важным результатом условий строгого подобия является требование уменьшения прочности льда и его модуля упругости в λ раз. Причем этот результат получен исходя из предположения о выполнимости закона Гука для льда вплоть до момента разрушения. Именно выполнимость последних требований в начале разработки теории моделирования вызывала наибольшие сомнения. Во время написания статьи не были известны многие физические закономерности, характеризующие моделируемый ледяной покров. Было неясно, возможно ли добиться снижения прочностных свойств льда до требуемого критериями моделирования уровня, существует ли зависимость прочностных свойств моделируемого льда от его толщины и еще целый ряд вопросов.

Для более детального рассмотрения условий моделирования движения ледокола в сплошных льдах Шиманский предложил рассматривать отдельно статическую и динамическую ломку льда ледоколом. Ранее в работе «Условные измерители...» при рассмотрении измерителей для мощности ледокола он уже вводил подобные понятия. Однако сейчас он к статической и динамической ломке отнес другие режимы движения ледокола. Ранее под статическим режимом он понимал движение ледокола во льдах с постоянной скоростью, а под динамическим режимом — работу ледокола набегами. Здесь же под статическим режимом ломки понимается процесс страгивания ледокола с места, когда сила сопротивления практически полностью обусловлена процессами разрушения льда. К динамическому режиму относится режим движения ледокола с постоянной скоростью. В своей статье Шиманский

³² Шиманский. Методика моделирования движения ледокола... С. 98.

последовательно рассматривает методики моделирования указанных режимов. Для динамического режима он указывает наличие минимальной скорости движения, при которой этот режим еще может существовать. В статье приводится формула для определения минимальной скорости. Понятие минимальной устойчивой скорости вошло в теорию ледокольного корабля. Сейчас одну из основных характеристик ледовой ходкости — предельную ледопроездимость ледокола — определяют при движении с минимальной устойчивой скоростью.

При рассмотрении статической ломки льда, так же как и в книге «Условные измерители...», было использовано полученное автором приближенное решение задачи об изгибе полубесконечной балки-полоски. Шиманский отмечает, что

хотя такая упрощенная схема деформации льда сильно отличается от действительных условий ломки льда корпусом ледокола, тем не менее она может быть использована для настоящего исследования, имеющего целью изучить влияние главнейших факторов с последующим введением в полученные общие выражения поправочных коэффициентов в виде «условных измерителей»³³.

Здесь важным является формулировка полуэмпирического подхода к определению ледового сопротивления. В течение примерно четверти века этот подход оставался основным в развитии морской ледотехники³⁴. В соответствии с сформулированным подходом Шиманский получает математическое выражение, которое связывает ледовое сопротивление ломки льда с параметрами ледяного покрова (прочность, модуль упругости, толщина) и корпуса ледокола (ширина и коэффициент, характеризующий форму корпуса). В это выражение входит принимаемый в качестве условного измерителя численный коэффициент, который должен определяться по результатам натурных и модельных экспериментов.

При рассмотрении динамической ломки льда Шиманский вводит в рассмотрение помимо сопротивления, связанного с разрушением льда, еще сопротивление раздвигания льда и сопротивление воды. При этом он отмечает, что сопротивление воды намного меньше сопротивления раздвигания и в дальнейшем его не учитывает. Предполагая, что сопротивление раздвигания пропорционально ширине ледокола в первой степени и обратно пропорционально коэффициенту ледорезности, а также толщине льда и скорости движения ледокола в некоторых неизвестных степенях, он получает общее выражение для сопротивления, связанного с раздвиганием. На основании условий строгого моделирования автор работы получает связь между двумя неизвестными показателями степени и получает их численные значения на основании оценки их величины. Таким образом, была получена одна из первых математических моделей одной из составляющих ледового сопротивления, которая не зависит от разрушения льда.

³³ Шиманский. Методика моделирования движения ледокола... С. 102.

³⁴ Довольно полный обзор полуэмпирических методов определения ледового сопротивления содержится в работе: Ионов Б. П., Грамузов Е. М. Ледовая ходкость судов. СПб.: Судостроение, 2013. С. 141—149.

Составляющую сопротивления ледокола, связанную с разрушением льда, Шиманский определяет путем сопоставления потенциальной энергии изгиба льда с потенциальной энергией его разрушения. Как и в случае статической ломки, в полученные аналитические выражения вводятся коэффициенты пропорциональности, которые должны определяться экспериментально.

Большая часть рассматриваемой статьи посвящена разработке методики приближенного моделирования процессов статической и динамической ломки льда. По мнению автора, разработка таких методик была необходима из-за невозможности (как считалось во время написания статьи) удовлетворения строгим критериям подобия по прочностным свойствам льда. Кроме того, Шиманский считал, что в момент разрушения ледяной покров не удовлетворяет закону Гука³⁵. Само по себе использование при моделировании приближенных методик не вызывало у специалистов возражений, так как традиционные к тому времени испытания моделей судов на чистой воде выполнялись по приближенной методике из-за невозможности удовлетворения в модельном эксперименте одновременно критериям подобия Фруда и Рейнольдса. В статье подробно описаны предложенные автором приближенные методики. Сравнивая их с подходом, основанным на строгом моделировании, Шиманский отмечал, что приближенное моделирование имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам он относил возможность не подчинять прочностные свойства льда строгим критериям моделирования, так как приближенное моделирование может быть выполнено при любых прочностных характеристиках льда соответствующим выбором толщины моделированного льда и масштаба модели³⁶. Основным недостатком приближенного моделирования является отсутствие геометрического подобия для толщины льда.

Заканчивая рассмотрение первой статьи Шиманского, можно сделать вывод, что она, несмотря на наличие грифа секретности, оказала определенное влияние на развитие теории моделирования движения судов во льдах. Когда эта статья была опубликована, вопросами моделирования движения ледокола во льдах занимался очень узкий круг специалистов, которые работали в основном в ААНИИ и Кораблестроительном институте. Они с этой работой были знакомы, о чем свидетельствует статья Ногида³⁷ и технические

³⁵ Это мнение Шиманского является совершенно верным, однако к исследованию указанного эффекта специалисты в области морской ледотехники приступили только совсем недавно. См.: Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е. О разрушении консольных балок моделированного льда // Труды Центрального научно-исследовательского института им. акад. А. Н. Крылова. СПб.: ЦНИИ им. А. Н. Крылова, 2011. Вып. 63 (347). С. 18–26; Bock und Polach, R. U. F., von, Ettema, R., Gralher, S., Kellner, L., Stender, M. The Non-Linear Behavior of Aqueous Model Ice in Downward Flexure // Cold Regions Science and Technology. 2019. Vol. 165. P. 13.

³⁶ К сожалению, в реальных условиях работы ледового бассейна изменять масштаб модели не представляется возможным.

³⁷ Ногид. О моделировании движения ледокола... С. 116–127.

отчеты сотрудников ААНИИ³⁸. В первую очередь эта работа стимулировала продолжение исследований по созданию и изучению физической модели моделированного льда, которая бы удовлетворяла строгим критериям моделирования. Во-вторых, в работе были предложены методики, которые позволяли на начальных этапах работы с моделированным льдом проводить эксперименты и обрабатывать их результаты.

Следующая статья Шиманского, посвященная вопросам моделирования движения судов во льдах, вышла через девять лет уже после официального ввода в эксплуатацию первого в мире ледового бассейна³⁹. В ней отражен опыт работы, полученный в этом бассейне как при испытаниях моделей, так и при исследовании моделированного льда. Еще в 1958 г. в техническом отчете по тематической работе «Проведение модельных испытаний ледоколов и судов ледового плавания», которая выполнялась под руководством Шиманского, было отмечено, что

практика изготовления в ледовом бассейне моделированного льда показала, что отношение между временным сопротивлением льда и его модулем упругости остается постоянным при изменении толщины и прочности льда. В этом случае отпадает практическая возможность использования предусмотренного в работе 1950 г.⁴⁰ «приближенного моделирования», при котором толщину моделированного льда можно изменять за счет соответствующего изменения между величинами его временного сопротивления и модуля упругости. В связи с этим в настоящей работе метод «приближенного моделирования» не излагается⁴¹.

Поэтому и в статье Шиманского, которая в некоторых своих частях дословно повторяет предыдущую статью, о приближенном моделировании уже не упоминается.

Статья начинается с обсуждения общего характера движения судна в сплошном ледяном поле и формулировки основных, по мнению автора, показателей ледовых качеств судна. Шиманский выделил четыре таких показателя:

1. Статическую ледокольную мощность, под которой автор понимал предельную толщину льда, которая может быть разрушена корпусом судна при его срагивании с места.
2. Динамическая ледокольная мощность, характерная для непрерывного движения судна во льдах. Ее можно представить в виде зависимости между

³⁸ Позняк И. И., Каштелян В. И., Рывлин А. Я. Проведение модельных испытаний ледоколов и судов ледового плавания (тема 3326). Ч. 1. 1958 // Фонды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института; Позняк И. И., Каштелян В. И., Рывлин А. Я., Мультановский В. Б. Проведение модельных испытаний ледоколов и судов ледового плавания (тема 3326). Ч. 2. 1958 // Фонды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института.

³⁹ Шиманский. Теория моделирования... С. 9–29.

⁴⁰ В оригинале допущена опечатка. Возникновение этой опечатки, по-видимому, связано с тем, что в журнале, имеющем на титульном листе 1951 г. издания, в верхних колонках ошибочно указан 1950 г.

⁴¹ Позняк, Каштелян, Рывлин. Проведение модельных испытаний... С. 1–2

толщиной льда и скоростью движения судна при некотором постоянном значении мощности энергетической установки, подводимой к движителям.

3. Минимальная устойчивая скорость движения судна во льдах заданной толщины.

4. Динамическая ледокольная мощность при работе судна набегам, которая представляет собой зависимость толщины разрушаемого льда от скорости судна при набеге.

Далее в статье приводятся соответствующие математические выражения, основывающиеся на теории подобия, которые дают возможность определить указанные показатели. Необходимо отметить, что в настоящее время при проведении модельных испытаний в ледовых бассейнах обычно используются несколько видоизмененным вторым показателем из приведенного списка. Он применяется в виде так называемой кривой ледопроходимости, которая выражает зависимость скорости движения судна от толщины льда при постоянном уровне мощности.

Но прежде чем приступить к выводу формул для показателей ледовых качеств судов, Шиманский во втором параграфе статьи описывает общий порядок использования модельных испытаний судна для определения этих показателей. В этом параграфе им впервые сформулировано одно из основных положений методики проведения модельных испытаний в ледовых бассейнах. Он пишет:

...практически не представляется возможным получить в ледовом бассейне моделированный лед, механические качества и толщина которого отвечали бы достаточно точно условиям его подобия с натурным льдом. Поэтому необходимо иметь аналитические зависимости между соответствующими величинами, участвующими в явлении продвижения судна в сплошном ледяном поле, для того, чтобы с помощью этих зависимостей можно было бы учесть неизбежные отклонения этих величин от их значений, определяемых точным законом подобия ⁴².

Это указание определило направление исследовательских работ, которые выполняются во всех ледовых бассейнах мира. Эти исследования направлены на создание методов корректировки данных натуральных и модельных экспериментов с целью приведения их к значениям, сформулированным заданием на проведение эксперимента и спецификацией натурального судна. Эти способы коррекции постоянно уточняются и обсуждаются специалистами в различных международных комитетах и на конференциях ⁴³.

Другим применением полученных аналитических выражений Шиманский полагал возможность их использования для приближенной оценки ледовых качеств ледоколов и судов без проведения испытаний в ледовом бассейне.

⁴² Шиманский. Теория моделирования... С. 10.

⁴³ Сазонов К. Е. Обоснование методов коррекции результатов модельных экспериментов по определению ледового сопротивления судна // Труды Крыловского государственного научного центра. 2016. Вып. 92 (376). С. 93–108; Сазонов К. Е. К вопросу о корректировке данных ходовых натуральных испытаний судов в ледовых условиях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3 (109). С. 94–99.

Другими словами, средство для введения корректив в результаты модельных испытаний рассматривалось им как расчетный метод прогнозирования ледового сопротивления. Предложенные аналитические зависимости могли быть практически использованы только после подбора соответствующих эмпирических коэффициентов. Их можно было определить путем испытания в ледовом бассейне масштабных серий. Под руководством Шиманского такая работа была выполнена В. И. Каштеляном. В том же сборнике «Трудов ААНИИ» содержится статья Каштеляна, подробно описывающая выполненную работу ⁴⁴.

Последующие параграфы рассматриваемой статьи посвящены последовательному выводу математических выражений для каждого из выделенных автором показателей. Вывод выражения для статической мощности полностью соответствует аналогичному выводу из первой статьи.

Вывод соотношений для показателя динамической ледокольной мощности при непрерывном движении судна несколько изменен по сравнению с аналогичным выводом в первой статье. По всей видимости, основываясь на наблюдениях за характером движения модели в ледяном поле, Шиманский пришел к выводу о том, что при рассмотрении ледового сопротивления необходимо учитывать процессы изменения посадки судна, притапливания и поворачивания разломанного льда, а также силы трения. Он отнес силы, возникающие при этих процессах, к силам, которые не зависят от скорости движения судна ⁴⁵. Для указанных процессов автором получены приближенные аналитические выражения, в которые входят подлежащие экспериментальному определению коэффициенты. Обобщая полученные аналитические выражения, Шиманский получает дополнительное слагаемое в общее уравнение ледового сопротивления, представленное в первой статье. При этом он отмечает, что

полученные выше аналитические выражения для составляющих упорного давления винтов, затрачиваемого на преодоление сопротивления весового характера и трения, не зависящего от скорости судна, имеют различную структуру, однако легко видеть, что каждое из них подчиняется условиям строгого моделирования. Поэтому при производстве модельных испытаний судов в ледовом бассейне рассматриваемая часть упорного давления винтов [...] может пересчитываться на натуру совместно с упорным давлением, затрачиваемым на ломку льда ⁴⁶.

Из этого замечания следует, что учет не рассматриваемых ранее процессов, сопровождающих движение судна в сплошном ледяном покрове, не вносит

⁴⁴ Каштелян В. И. Использование модельных испытаний для определения сопротивления судна при движении в сплошных льдах // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1960. Т. 237. С. 30–45.

⁴⁵ Последующие исследования показали, что силы, зависящие от поворота и притапливания льда, зависят от скорости движения судна: Ионов, Грамузов. Ледовая ходкость судов... С. 206–210.

⁴⁶ Шиманский. Теория моделирования... С. 22.

существенных изменений в методику проведения модельных испытаний в ледовом бассейне.

Далее в статье Шиманский описывает определение составляющей ледового сопротивления, зависящей от раздвигания льда. Это описание почти полностью совпадает с аналогичным описанием, приведенным в первой работе. Также таково же, как и первой работе, приведенное в статье выражение для определения минимальной скорости движения судна в сплошных льдах.

В конце статьи приводится ранее не публиковавшаяся формула для определения толщины льда, которую ледокол может преодолеть, двигаясь в режиме набега. Этот результат остался неизвестным и не использовался специалистами. Только относительно недавно специалисты по морской ледотехнике начали вновь изучать этот режим движения ледоколов ⁴⁷.

Деятельность Шиманского не ограничивалась только вопросами, связанными с работой ледового бассейна. Из архивных материалов известно, что он был руководителем и консультантом исследований по ледовой прочности судов. Прямых указаний на это нет, но можно не сомневаться, что наиболее важные работы ⁴⁸, включая первую монографию по ледовой прочности корпусов судов ⁴⁹, были инициированы им и при их подготовке он выступал в роли консультанта. Эти работы также задали направление дальнейшего развития ледовой прочности судов как самостоятельного научного направления.

Подводя итог деятельности академика Юлиана Александровича Шиманского в области арктического судостроения, можно сказать, что наиболее существенным его вкладом в развитие этого направления является создание теории моделирования движения судов во льдах. Эта теория до сих пор в основных своих чертах используется в работах всех ледовых бассейнов мира. Не менее важным вкладом является создание и обоснование полупирического подхода к описанию ледового сопротивления судна. В первую очередь этот подход получил свое развитие в работах сотрудников ледового бассейна ААНИИ. Это разработка Каштеляном метода расчета ледового сопротивления ледокола при движении в сплошных ровных льдах ⁵⁰ и работа Д. Д. Максудова по сопротивлению транспортных судов ⁵¹. Необходимо так-

⁴⁷ Грамузов Е. М., Калинина Н. В. Движение ледокола набегами в толстом сплошном ледяном поле // Физические технологии в машиностроении. Нижний Новгород: НГТУ, 1998. С. 145–152; Сазонов К. Е. Оценка предельной толщины льда, преодолеваемой ледоколом при работе набегами // Судостроение. 2017. № 4. С. 9–11.

⁴⁸ Хейсин Д. Е. Прочность ледяного покрова под действием нагрузки, приложенной к его кромке // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1960. Т. 237. С. 133–152; Каштелян В. И. Приближенное определение усилий, разрушающих ледяной покров // Проблемы Арктики и Антарктики. 1960. Вып. 5. С. 71–76.

⁴⁹ Попов Ю. Н., Фаддеев О. В., Хейсин Д. Е., Яковлев А. А. Прочность судов, плавающих во льдах. Л.: Судостроение, 1967.

⁵⁰ Каштелян, Позняк, Рывлин. Сопротивление льда... С. 82–102.

⁵¹ Максудов Д. Д. Сопротивление льда движению транспортных судов // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 309. С. 27–35.

же упомянуть более позднюю разработку Б. П. Ионова, которая полностью базировалась на методологии Шиманского⁵². Эта методология активно использовалась и зарубежными авторами⁵³.

Интересным образом проявилось влияние идей Шиманского при разработке методов расчета ледового сопротивления судов, движущихся в мелкобитых льдах. Это направление морской ледотехники активно развивалось специалистами Ленинградского кораблестроительного института во главе с Ногидом⁵⁴. Авторы этих работ пытались получить некоторое единое выражение для описания ледового сопротивления. Аналогичным путем пошел и сотрудник ААНИИ А. Я. Рывлин. В сборнике трудов ААНИИ за 1960 г. им опубликована статья, в которой он пытается подобрать единую формулу для сопротивления на основании данных модельных экспериментов⁵⁵. Однако в первой монографии, посвященной сопротивлению льда движению судна, им изложен полуэмпирический метод расчета сопротивления битого льда, который полностью соответствует методологии, предложенной Шиманским⁵⁶.

References

- Basin, A. M., and Miniovich, I. Ia. (1963) *Teoriia i raschet grebnykh vintov [Theory and Calculation of Propellers]*. Leningrad: Sudpromgiz.
- Belkin, V. P., and Bezukladov, V. F. (1973) Zhizn' i deiatel'nost' Iuliana Aleksandrovicha Shimanskogo [The Life and Work of Yulian Alexandrovich Shimansky], in: Bezukladov, V. F. etc. (ed.) *Zhizn', otdannaia sudostroeniiu. Vospominaniia ob akademike Iuliane Aleksandroviche Shimanskom [A Life Devoted to Shipbuilding. Reminiscences about Academician Yulian Alexandrovich Shimansky]*. Leningrad: Sudostroenie, pp. 9–22.
- Belov, M. I. (1969) *Nauchnoe i khoziaistvennoe osvoenie Sovetskogo Severa. 1933–1945 gg. [Scientific and Economic Exploration of the Soviet North. 1933–1945]*. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Bezukladov, V. F. etc. (ed.) (1973) *Zhizn', otdannaia sudostroeniiu: vospominaniia ob akademike Iu. A. Shimanskom [A Life Devoted to Shipbuilding. Reminiscences about Academician Yulian Alexandrovich Shimansky]*. Leningrad: Sudostroenie.
- Bock und Polach, R. U. F., von, Ettema, R., Gralher, S., Kellner, L., and Stender, M. (2019) The Non-Linear Behavior of Aqueous Model Ice in Downward Flexure, *Cold Regions Science and Technology*, vol. 165.

⁵² Ионов Б. П. Ледовое сопротивление и его составляющие. Л.: Гидрометеоздат, 1988.

⁵³ Jones, S. J. A Review of Ship Performance in Level Ice // Proceedings of the 8th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Hague, Netherlands, March 19–23, 1989. Vol. 4. P. 325–342.

⁵⁴ Ногид Л. М. Сопротивление движению ледокола в битых льдах по данным модельных испытаний 1949–1951 гг. // Труды Ленинградского кораблестроительного института. Л.: Судпромгиз, 1959. Вып. 27. С. 83–89; Бронников А. В. Исследование сопротивления транспортного судна при движении в битых льдах // Труды Ленинградского кораблестроительного института. Л.: Судпромгиз, 1959. Вып. 27. С. 45–50.

⁵⁵ Рывлин А. Я. Сопротивление битого льда движению ледокола // Труды Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1960. Т. 237. С. 82–98.

⁵⁶ Каштелян, Позняк, Рывлин. Сопротивление льда... С. 114–135.

- Bronnikov, A. V. (1959) Issledovanie soprotivleniia transportnogo sudna pri dvizhenii v bitykh l'dakh [Investigation of the Resistance of a Transport Vessel When Moving in Broken Ice], *Trudy Leningradskogo korablestroitel'nogo instituta*, no. 27, pp. 45–50.
- Gramuzov, E. M., and Kalinina, N. V. (1998) Dvizhenie ledokola nabegami v tolstom sploshnom ledianom pole [Ramming of the Icebreaker in a Thick Continuous Field Ice], in: *Fizicheskie tekhnologii v mashinostroenii*. Nizhnii Novgorod: NGTU, pp. 145–152.
- Ionov, B. P. (1988) *Ledovoe soprotivlenie i ego sostavliaiushchie* [Ice Resistance and Its Components]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Ionov, B. P., and Gramuzov, E. M. (2013) Ledovaia khodkost' sudov [Ice Propulsion Performance of Ships]. Sankt-Peterburg: Sudostroenie, 2013.
- Jones, S. J. (1989) A Review of Ship Performance in Level Ice, in: *Proceedings of the 8th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Hague, Netherlands, March 19–23, 1989, vol. 4, pp. 325–342.
- Kashtelian, V. I. (1960) Ispol'zovanie model'nykh ispytaniy dlia opredeleniia soprotivleniia sudna pri dvizhenii v sploshnykh l'dakh [The Use of Model Tests to Determine the Resistance of a Vessel When Moving in Continuous Ice], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 237, pp. 30–45.
- Kashtelian, V. I. (1960) Priblizhennoe opredelenie usilii, razrushaiushchikh ledianoi pokrov [Approximate Determination of Ice Breaking Forces], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 5, pp. 71–76.
- Kashtelian, V. I. (1973) Metody otsenki ledovoi khodkosti sudna v sploshnykh l'dakh [Methods for Assessing Ice Propulsion in Solid Ice], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 309, pp. 5–17.
- Kashtelian, V. I., Pozniak, I. I., and Ryvlin, A. Ia. (1968) *Soprotivlenie l'da dvizheniiu sudna* [Ice Resistance to Ship's Motion]. Leningrad: Sudostroenie.
- Khanovich, I. G. (1978) *Iulian Aleksandrovich Shimanskii (1883–1962)* [Yulian Alexandrovich Shimansky (1883 – 1962)]. Moskva: Nauka.
- Kheisin, D. E. (1960) Prochnost' ledianogo pokrova pod deistviem nagruzki, prilozhennoi k ego kromke [The Strength of Ice Sheet under the Stress of Force Applied to Its Edge], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 237, pp. 133–152.
- Klement'eva, N. Iu., and Sazonov, K. E. (2011) O razrushenii konsol'nykh balok modelirovannogo l'da [On the Destruction of Cantilever Beams of Simulated Ice], *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. akad. A. N. Krylova*, no. 63 (347), pp. 18–26.
- Lavrov, V. V. (1969) *Deformatsiia i prochnost' l'da* [Ice Deformation and Strength]. Leningrad: Gidrometeoizdat.
- Maksutov, D. D. (1973) Soprotivlenie l'da dvizheniiu transportnykh sudov [Ice Resistance to the Movement of Transport Vessels], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 309, pp. 27–35.
- Maslov, A. I. (1937) Opyt rascheta vneshnikh usilii, deistvuiushchikh na korpus sudna v ledovykh usloviakh [Calculation of External Forces Acting on the Hull in Ice Conditions], *Trudy Vsesoiuznogo nauchnogo inzhenerno-tekhnicheskogo obshchestva sudostroeniia*, vol. 2, no. 3, pp. 129–132.
- Nazarov, V. S. (1946) Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy modeli ledokola novogo tipa [The Results of Comparative Tests of a New Type of Icebreaker Model], *Morskoi flot*, no. 5–6, pp. 12–15.
- Nogid, L. M. (1951) O modelirovanii dvizheniia ledokola v ledianom pole [On Modeling an Icebreakers' Motion in Field Ice], *Problemy Arktiki*, no. 1, pp. 116–127.
- Nogid, L. M. (1959) Modelirovanie dvizheniia sudna v sploshnom ledianom pole i bitykh l'dakh [Simulation of Vessel Movement in Continuous Field Ice and Broken Ice], *Trudy Leningradskogo korablestroitel'nogo instituta*, no. 28, pp. 45–62.
- Nogid, L. M. (1959) Soprotivlenie dvizheniiu ledokola v bitykh l'dakh po dannym model'nykh ispytaniy 1949–1951 gg. [Resistance to Icebreaker Movement in Broken Ice Based on 1949–1951 Model Tests], *Trudy Leningradskogo korablestroitel'nogo instituta*, no. 27, pp. 83–89.
- Popov, Iu. N., Faddeev, O. V., Kheisin, D. E., and Iakovlev, A. A. (1967) *Prochnost' sudov, plavaiushchikh vo l'dakh* [The Strength of Vessels Navigating in Ice]. Leningrad: Sudostroenie.

- Rymlin, A. Ia. (1960) Soprotivlenie bitogo l'da dvizheniiu ledokola [Resistance of Broken Ice to Icebreaker's Movement], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 237, pp. 82–98.
- Sazonov, K. E. (2009) Istoriia razvitiia metodov rascheta ledovogo soprotivleniia sudna [The History of the Development of Methods for Calculating Ice Resistance of a Vessel], *Morskoi vestnik*, no. 3, pp. 83–89.
- Sazonov, K. E. (2010) Rol' V. Fruda v sozdanii teorii korablia [The Role of W. Froude in the Creation of Ship Theory], *Sudostroenie*, no. 5, pp. 61–66.
- Sazonov, K. E. (2012) Nachal'nyi etap stanovleniia ledovoi prochnosti sudov [The Initial Stage of Formation of the Ships' Ice Strength], *Morskoi vestnik*, no. 2 (42), pp. 91–94.
- Sazonov, K. E. (2013) Razvitie morskoi ledotekhniki v Rossii: istoriia i sovremennost' [The Development of Sea Ice Engineering in Russia: History and Modernity], *Arktika: ekologiia i ekonomika*, no. 2 (10), pp. 92–103.
- Sazonov, K. E. (2016) K voprosu o korrektyrovke dannykh khodovykh naturnykh ispytaniy sudov v ledovykh usloviyakh [Revisiting the Adjustment of the Data of Field Trials of Vessels in Ice Conditions], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 3 (109), pp. 94–99.
- Sazonov, K. E. (2016) Obosnovanie metodov korrektsii rezul'tatov model'nykh eksperimentov po opredeleniiu ledovogo soprotivleniia sudna [Substantiation of Methods for Correction of the Results of Model Experiments Conducted to Determine a Vessel's Ice Resistance], *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, no. 92 (376), pp. 93–108.
- Sazonov, K. E. (2017) Otsenka predel'noi tolshchiny l'da, preodolevaemoi ledokolom pri rabote nabegami [Estimation of Maximum Ice Thickness, Penetrated by an Icebreaker's Ramming], *Sudostroenie*, no. 4, pp. 9–11.
- Shimanskii, Iu. A. (1938) Uslovnye izmeriteli ledovykh kachestv sudna [Conventional Indicators of a Vessel's Ice Performance], *Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 130, pp. 1–60.
- Shimanskii, Iu. A. (1951) Metodika modelirovaniia dvizheniia ledokola v sploshnom ledianom pole [Methodology for Modeling Icebreaker Movement in Continuous Field Ice], *Problemy Arktiki*, no. 1, pp. 98–115.
- Shimanskii, Iu. A. (1960) Teoriia modelirovaniia dvizheniia sudna v sploshnom ledianom pole [Theory of Modeling the Motion of a Ship in Continuous Field Ice], *Trudy Arkticheskogo i Antarkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, vol. 237, pp. 9–29.
- Shimanskii, Iu. A. (ed.) (1958) *Pamiat' Alekseia Nikolaevicha Krylova [Aleksey Nikolaevich Krylov. In Memoriam]*. Moskva: Izdatel'stvo AN SSSR.
- Vinogradov, I. V. (1945) *Suda ledovogo plavaniia [Ice Vessels]*. Moskva: Oborongiz, Glavnaia redaktsiia literatury po sudostroeniiu.

Received: March 11, 2020.