

Механика материалов: прочность, ресурс, безопасность

Materials mechanics: strength, durability, safety

К 50-летию Института физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН

To the 50th Anniversary of the V. P. Larionov Institute of Physical- Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-6-36-39>

НАДЕЖНОСТЬ И РЕСУРС ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

© Валерий Валерьевич Лепов

*Статья поступила 10 марта 2020 г. Поступила после доработки 10 марта 2020 г.
Принята к публикации 22 марта 2020 г.*

THE RELIABILITY AND LIFETIME OF ENGINEERING SYSTEMS IN EXTREME OPERATION CONDITIONS

© Valeriy V. Lepov

Received March 10, 2020. Revised March 10, 2020. Accepted March 22, 2020.

ИФТПС СО РАН организован на базе группы хладостойкости Якутского филиала Сибирского отделения Постановлением Академии наук СССР от 14 мая 1970 г. в соответствии с решением Госкомитета Совмина СССР по науке и технике по представлению Сибирского отделения АН СССР (постановление Президиума Сибирского отделения АН СССР от 18.11.1969 г.).

В разные периоды Институт возглавляли известные деятели науки — профессор, доктор технических наук Н. С. Иванов, академик РАН Н. В. Черский, член-корреспондент РАН Ю. С. Уржумцев, академик РАН В. П. Ларионов, профессор, доктор технических наук О. И. Слепцов, член-корреспондент РАН М. П. Лебедев, доктор технических наук Е. Г. Старостин.

Постановлением Президиума РАН от 9 июня 2009 г. Институту физико-технических проблем Севера СО РАН присвоено имя академика В. П. Ларионова.

ИФТПС СО РАН в 2019 г. вступил в новую фазу своего развития — вошел в Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». Основная деятельность Института по-прежнему направлена на выполнение фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области физикохимии, технологии и механики материалов, физико-техниче-

ских проблем энергетики и тепломассопереноса, а также гидрометеорологии.

В настоящее время особое внимание уделено созданию технологий получения и исследованию поведения перспективных материалов для Севера, повышению прочности, хладостойкости и безопасности конструкций, эксплуатирующихся в условиях Арктики и Субарктики, теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов тепломассопереноса при взаимодействии природных систем и технических объектов в экстремальных климатических условиях, надежности энергетических систем, включая интеллектуальные сети, разработке геоинформационных технологий для решения задач природно-техногенной безопасности Республики Саха (Якутия).

В структуру Института входят девять научных отделов и Центр коллективного пользования «Станция низкотемпературных натурных испытаний». В *отделе сварки и металлургии* разрабатывают теоретические основы и проводят научную апробацию технологий создания новых поколений хладостойких и высокопрочных материалов и неразъемных соединений для работы в условиях Севера. В *отделе физикохимии материалов и технологий* создают конструктивно-технологические основы и совершенствуют методы и средства технической диагностики, обеспечивающие надежность, эксплуатационную

прочность и ресурс сварных соединений линейных сооружений при низких климатических температурах. В *отделе моделирования процессов разрушения* проводят теоретическое, экспериментальное и численное моделирование процессов накопления повреждений и разрушения материалов, элементов конструкций и узлов машин, эксплуатируемых в экстремальных условиях Арктики и Субарктики, разрабатывают основы теории низкотемпературного вязкохрупкого перехода, технологии получения материалов, находящихся в субмикроструктурном состоянии. *Отдел материаловедения* проводит фундаментальные и прикладные исследования в области разработки свойств конструкционных и функциональных материалов, включая порошковые и композиционные, а также использования высокоэффективных технологий повышения их эксплуатационных свойств. В *отделе механики и безопасности конструкций* разрабатывают методы оценки хладостойкости, надежности и безопасности больших механических систем путем исследования физической природы и закономерностей процессов деформирования и разрушения с учетом деградации основных свойств и структурно-фазовых состояний металла при длительной эксплуатации в условиях Севера.

Отдел проблем энергетики занимается разработкой методических подходов и инструментов для исследования взаимосвязей в процессах развития энергетики, экономики и социальной сферы Республики Саха (Якутия), проводит комплексные исследования взаимодействия объектов топливно-энергетического комплекса с окружающей средой в экстремальных природно-климатических условиях Севера. В *отделе электроэнергетики* проводят комплексные исследования повышения эксплуатационной надежности, живучести и безопасности систем электро- и теплоснабжения Севера, разрабатывают принципы и средства обеспечения эксплуатационной надежности, управляемости и живучести основной электрической сети северного направления.

Отдел тепломассообменных процессов выполняет теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса с фазовыми переходами поровой воды, формирования напряженно-деформированного состояния материалов при взаимодействии природных систем и технических объектов.

В *отделе геоинформатики* развивают научно-методические основы оценки и прогнозирования состояния природной среды и технических систем для снижения риска и последствий чрезвычайных ситуаций на основе комплексного использования геоинформационных технологий.

Центр коллективного пользования «Станция низкотемпературных натурных испытаний» пре-

доставляет возможность использования оборудования и приборов для проведения научно-исследовательских работ на высоком техническом уровне, проводит централизованное обслуживание и техническую поддержку приборов и оборудования, а также создает и оснащает комплексные полигоны для проведения натурных испытаний узлов, деталей техники, элементов конструкций, различных материалов и новых технологий в условиях естественных температур Крайнего Севера, разрабатывает и апробирует методы испытаний элементов конструкций и материалов при естественных низких температурах.

ИФТПС СО РАН имеет тесные связи с научными и производственными организациями, расположенными в дальневосточном регионе и по всей России, в первую очередь с Институтом систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Институтом физики прочности и материаловедения СО РАН, Институтом теплофизики СО РАН, Специальным научно-технологическим бюро «Наука» Института вычислительных технологий СО РАН, Институтом теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, Научно-инженерным центром «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Физико-техническим институтом им. А. Ф. Иоффе РАН, Институтом энергетических исследований РАН, Региональным научно-техническим советом «Сварка, родственные процессы и технологии», АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва — ведущим предприятием России по созданию космических аппаратов, СВФУ им. М. К. Аммосова и др. Поддерживаются международные связи с Институтом технической теплофизики НАН Украины, Энергетическим институтом Монгольского государственного университета Науки и Технологии, Китайско-Российским центром Зоны высоких и новых технологий (г. Яньтай), Строительно-проектной компанией «Beijing Hao Hangro Architecnical Design» корпорации «Global space construction» (г. Пекин), Администрацией г. Цзя Китайской Народной Республики, Харбинским технологическим институтом, Минским государственным технологическим университетом (Республика Беларусь) и др.

За время своего существования Институт прошел славный путь в науке, а внедрение научных достижений в производство в условиях экстремальных климатических температур дало мощный толчок развитию промышленности и инфраструктуры всего северного региона. В частности, значительные научные достижения в физическом материаловедении и прочности материалов с учетом термокинетических и термодинамических процессов вязкохрупкого пере-

хода конструкционных материалов при флуктуации температуры среды, фундаментальные результаты в области физического материаловедения, металлургии и кинетики сварочных процессов послужили основой для широкого класса технологических решений, направленных на обеспечение безопасности и ресурса машин и конструкций, предназначенных для эксплуатации в экстремальных климатических условиях. Все это позволило вести строительство первого в мире газопровода в условиях многолетней мерзлоты.

Из достижений института в период СССР следует отметить следующие: в 1969 г. открыто «Свойство природных газов находиться в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи» (чл.-корр. СО АН СССР Н. В. Черский, академики АН СССР А. А. Трофимук, СО АН СССР В. Г. Васильев, академики Ф. А. Требин, Ю. Ф. Макогон); в 1971 г. за «Атлас Антарктики» Государственную премию СССР получил д-р геогр. наук П. А. Шумский; в 1987 г. открыто «Свойство сейсмотектонических процессов преобразовывать органическое вещество осадочных горных пород» (академики А. А. Трофимук, Н. В. Черский, доктора техн. наук В. П. Царев, Т. И. Сороко); в 1984 г. за работу «Исследование природы холодных трещин и разработку технологий сварки низколегированных сталей при низких температурах» Премию Ленинского комсомола получил проф., д-р техн. наук О. И. Слепцов; в 1986 г. за работу «Разработка и внедрение прогрессивных сварочных процессов и высокоэффективных конструкционных сварочных материалов, позволяющих изготавливать в тяжелом сварочном машиностроении крупногабаритные сварные конструкции» Премию Совета Министров СССР по науке и технике получил академик В. П. Ларионов).

В российский период государственные награды вручались сотрудникам института совместно с учеными из других организаций. В 2004 г. за работу «Разработка сталей нового поколения с использованием природно-легированных руд Халиловского месторождения для ответственных металлоконструкций» Премия Правительства РФ присуждена академику РАН В. П. Ларионову (посмертно), в 2008 г. за работу «Разработка научных основ создания, внедрения и повышения ресурса высокопрочных коррозионно-стойких хладостойких и криогенных сталей для конструкций ответственного назначения» Премия Правительства РФ вручена профессору О. И. Слепцову.

За последние годы многие сотрудники ИФТПС СО РАН получили государственные награды, госпремии РС(Я) в области науки и техники, почетные грамоты Министерства науки и высшего образования РФ, Российской академии

наук, Президента и Главы РС(Я), других министерств и ведомств. В 2019 г. проф., д-р техн. наук Н. А. Петров награжден Премией РАН им. Г. М. Кржижановского.

В последние годы в ИФТПС СО РАН получены фундаментальные результаты в области механики разрушения, технологий упрочнения конструкционных сталей, модификации хладостойких сталей тугоплавкими и редкоземельными добавками, наномодификации композиционных материалов. Показано, что в условиях низких климатических температур на процесс накопления поврежденности в металлах значительное влияние оказывает снижение пластичности материала, измеряемое величиной ударной вязкости. Таким образом, напряженно-деформированное состояние элементов металлоконструкций становится значительно более жестким вследствие низких климатических температур эксплуатации, когда в применяемых сталях с ОЦК-структурой происходит вязкохрупкий переход. Предложен метод оценки ресурса металлоконструкций, основанный на определении ударной вязкости и климатических данных о средней температуре эксплуатации по месяцам.

Разработана модель оценки влияния низких температур и водорода на процесс накопления повреждений, учитывающая активационный характер хрупкого разрушения. Расчет показал сильную зависимость темпа накопления повреждений от уровня напряжений, содержания водорода и температуры. Особенно опасным представляется сочетание низких температур и высокого содержания водорода в металле, что характерно для сварных соединений конструкций, эксплуатируемых в условиях Арктики и Субарктики. Проведен анализ аварийности на энергетических объектах Якутии в период с 2013 по 2017 г. и за 2018 год. Выявлено, что наибольшее количество аварий связано с повреждением или отказом турбин, вспомогательного тепломеханического оборудования и генераторов. Проводятся работы по оценке и снижению риска аварий и катастроф сложных технических систем, эксплуатирующихся в экстремальных условиях Севера.

Проведена оценка климатической стойкости новой композиционной арматуры, изготовленной из базальтовых пород Республики Саха (Якутия) и экспонированной в течение 2,5 лет в экстремально холодном (г. Якутск) и умеренно теплом морском климатах (г. Геленджик). Получены новые данные о закономерностях и механизмах влияния климатических факторов на структурирование эпоксидной матрицы, обоснован рост прочности арматуры на 4 – 12 % после экспонирования на холоде за счет более активного доотверждения и повышения адгезионной прочности интерфейса волокно – матрица. Результаты ис-

пользованы для обоснования перспектив использования материалов на основе базальта в разных климатических условиях.

В рамках научно-исследовательских работ разработана и апробирована методика оценки технического состояния и остаточного ресурса магистрального газопровода неразрушающим методом измерения скорости звука, изучено явление коррозионного растрескивания под напряжением, впервые выявленное на магистральном газопроводе Республики Саха (Якутия) при исследовании причин разрушения объекта после эксплуатации более 50 лет.

В рамках хозяйственных работ проводится постоянный мониторинг планово-высотного положения нефтепровода ВСТО и газопровода «Сила Сибири», разработаны алгоритмы и модели оценки напряжений в деформированной трубе по точечным измерениям положения подземного трубопровода при морозном пучении грунта на пойменном участке трассы. Проведено математическое моделирование размыва берегов и морозного пучения грунта, разработан математический алгоритм для численного восстановления теплового потока на поверхности мерзлого грунта при формировании наледи, разработана и апробирована методика решения граничных обратных задач для обработки данных мониторингового наблюдения труднодоступных участков магистрального трубопровода, эксплуатирующегося в условиях криолитозоны.

ИФТПС СО РАН совместно с другими институтами ФИЦ ЯНЦ СО РАН принимает участие в создании федерального научно-образовательного центра «Север — территория устойчивого развития», а также в работах третьего этапа Программы комплексных научных исследований Республики Саха (Якутия).

В октябре 2019 г. институт провел первую Международную конференцию «Целостность и ресурс в экстремальных условиях» (ILEE-2019), труды которой изданы в специальном выпуске журнала Европейского общества структурной целостности (ESIS) «Procedia Structural Integrity», индексируемого в международных базах данных Scopus и Web of Sciences. В июле 2020 г. в Якутске планируется проведение IX Евразийского Симпозиума по проблемам прочности и ресурса машин и конструкций в условиях холодного климата (EURASTRENCOLD), посвященного 50-летию ИФТПС СО РАН. В рамках Симпозиума пройдет Международная конференция «Сварка в России – 2020».

Результаты некоторых текущих исследований института в области механики материалов и промышленного материаловедения представлены в данном номере журнала «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», с которым ИФТПС СО РАН сотрудничает на протяжении уже нескольких десятилетий.