Редакционный комментарий[1]:

ПРОФЕССОР ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ МОРОЗОВ (к восьмидесятилетию со дня рождения)

Механика разрушения в России берет свое начало от работ А.Ф. Иоффе по влиянию трещин на прочность твердых тел. Он установил, что после растворения в горячей воде слоя с поверхностными трещинами кристаллов каменной соли их прочность резко возрастала и приближалась к теоретической прочности. Явление увеличения прочности хрупких тел при удалении поверхностных трещин, за счет растворения в воде или кислотах дефектного поверхностного слоя, получило название "эффект Иоффе"[2]. Исследования русского физика были проведены в тот же период времени (1924 г.), что и фундаментальные работы английского ученого А. Гриффитса (A.A. Griffith)[3]. Как известно, одним из важных результатов А. Гриффитса стал сформулированный им критерий разрушения тела с трещиной, согласно которому рост трещины должен быть энергетически выгодным (с точки зрения расходования энергии) процессом.

Условие развития прямолинейной трещины в пластине ("the condition that crack may extend") А. Гриффитс сформулировал в виде следующего уравнения энергетического баланса:

$$\frac{\partial}{\partial l}(W - \Gamma) = 0, \tag{1}$$

где W — потенциальная энергия деформации пластины, Γ — поверхностная энергия тела, l — полудлина трещины. В этом случае условие разрушения можно записать в форме неравенства

$$\left|\frac{\partial W}{\partial l}\right| \geqslant \frac{\partial \Gamma}{\partial l}. \tag{2}$$

Условие (2) и представляет суть подхода А. Гриффитса: трещина в твердом теле будет развиваться во время его нагружения, если скорость освобождения потенциальной энергии деформации будет не меньше скорости возрастания поверхностной энергии тела в результате образования новых свободных участков его поверхности.

Поверхностная энергия для пластины единичной толщины имеет вид

$$\Gamma = 4l\gamma, \tag{3}$$

[1] Представлен доктором физико-математических наук, профессором Ю.Н. Радаевым (radayev@ssu.samara.ru). Редакция журнала благодарит В.М. Пестрикова (vpest@mail.ru) за предоставленные материалы.

[2] Иоффе, А.Ф. Деформация и прочность кристаллов / А.Ф. Иоффе, М.В. Кирпичева, М.А. Левицкая // ЖРФХО. – 1924. – Т. 56. – В. 5–6. – С. 489–503.

[3] Griffith, A.A. The phenomena of rupture and flow in solids / A.A Griffith // Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. A. – 1920. – V. 221. – №2. – P. 163–198; Griffith, A.A. The theory of rupture / A.A. Griffith // Proc. First Int. Congr. Appl. Mech. Delft. – 1924. – P. 55-63. Первая из указанных работ воспроизводится также в известной энциклопедии: Fracture: A Topical Encyclopedia of Current Knowledge. Ed. by G.P. Cherepanov. – Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1998. – P. 452-475.

где γ — поверхностная энергия разрушения (в расчете не единицу площади). Заметим, что в работе А. Гриффитса величина γ называется "поверхностное натяжение материала" (the surface tension of the material) и выражена в англ. единицах измерения фунт/дюйм.

Другим заметным научным результатом русских ученых в области механики разрушения твердых тел с дефектами, в контексте мировой науки, стала работа И.В. Обреимова о расщеплении слюды, изданная в 1930 г. на английском языке в журнале "Proceedings of the Royal Society of London". Эта работа была представлена в журнал П.Л. Капицей. Важность работы И.В. Обреимова заключается в том, что он построил теорию роста трещины, базирующуюся на методах сопротивления материалов, в частности теории изгиба балки[4]. Заметим, что решение задачи И.В. Обреимова с использованием понятия коэффициента интенсивности напряжений было получено Е.М. Морозовым и В.М. Пестриковым (см. [14]) в виде

$$l = \left(\frac{3E\Delta}{K_c}\right)^{1/2} \left(\frac{J}{2b}\right)^{1/4}, \tag{4}$$

где l — длина отщепляемой полоски (трещины), b — ширина полоски, отщепляемой от поверхности тела клином толщиной Δ, E — модуль Юнга, J — момент инерции сечения полоски относительно ее нейтрального слоя, K_c — критическое значение коэффициента интенсивности напряжений.

После упомянутых научных результатов в течение долгих 20 лет особого научного интереса к проблемам механики разрушения твердых тел с трещинами в нашей стране не проявлялось. Однако необходимость создания ракетного щита нашей страны в конце 50-х годов XX века потребовала новых подходов к прочностным расчетам корпусов ракет. Именно в это время (в 1949 г.) закончил самолетостроительный факультет Московского авиационного института Евгений Михайлович Морозов. По распределению его направили в научно-исследовательский институт НИИ-88 в Подлипках (ныне г. Королев) под Москвой, который впоследствии стал КБ С.П. Королева. Тогда в НИИ-88 шли интенсивные разработки отечественной баллистической ракеты Р5, которая являлась дальнейшим развитием немецких незавершенных исследований с ракетами земля—воздух "Вассерфаль" (ласточка) и "Шметтерлинк" (воробей).

Ракеты Р5 (индекс 8К51) разрабатывались специально для системы ПВО Москвы. Решение о создании этой системы было принято правительством в августе 1950 г. Тогда же руководитель СССР И.В. Сталин поставил задачу сделать оборону Москвы такой, чтобы через нее не мог проникнуть ни один самолет. Создание непроницаемой московской системы ПВО, наряду с атомным оружием и средствами его доставки — баллистическими ракетами, стало одной из важнейших государственных оборонных задач того времени. Эта ракета относилась к жидкостным одноступенчатым баллистическим ракетам средней дальности (БРСД) наземного базирования (по классификации НАТО — SS-3 Shyster).

Молодому выпускнику МАИ поручили прочностные расчеты элементов конструкции ракеты Р5: цилиндр корпуса, крылья, баки, фланцы, опоры стартовых ускорителей и рулевые машинки. Исходных данных для проведения расчетов оказалось мало. Это были в основном экспериментальные данные по нагрузкам, по-

[4] Obreimoff, J.W. The Splitting Strength of Mica / J.W. Obreimoff // Proceedings of the Royal Society of London. Ser. A. – 1930. – V. CXXVII. – No. 804. – P. 290–297. (Имеется перевод на русский язык в кн.: Обреимов, И.В. Избранные труды / И.В. Обреимов. – М.: Наука, 1997. – 316 с.)

лученные баллистиками, а также справочные материалы по свойствам материалов. Все это подтолкнуло молодого конструктора начать самостоятельные исследования с целью получения недостающих данных для прочностных расчетов. Для нахождения научных подходов в определении расчетных нагрузок ему часто приходилось проводить время в Ленинской библиотеке, искать сведения о распределении скорости ветра с высотой и другие необходимые данные. После некоторого периода самообразования ему доверили конструировать крылья, рулевые машинки, механическую проводку к элементам управления (интерцепторы, рули) и модели для продувок. При конструировании крыльев для повышения их жесткости он исследовал возможность полного заполнения внутренности крыла легкими полимерами, новыми для того времени материалами.

Работая целеустремленно и творчески над механическими расчетами элементов ракеты Р5, он не ограничивался в своих исследованиях в то время известными теориями расчетов, а искал новые нетривиальные подходы. Тогда он впервые познакомился с теорией механики разрушения твердого тела с трещинами, предложенной А.А. Гриффитсом. Однако в тот момент ему не удалось разработать подходы для учета дефектов типа трещин в элементах конструкций при практических методах расчетов бездефектных тел. Это ему удалось сделать несколько позже, что и принесло ему признание в науке о трещиностойкости конструкций.

Во время работы в НИИ Евгений Михайлович решает связать свою жизнь с наукой и поступает в 1951 г. в аспирантуру Московского инженерно-физического института (МИФИ), где его научным руководителем становится известный ученый в области материаловедения и конструкционной прочности, профессор Яков Борисович Фридман. Его перу принадлежит известная монография "Механические свойства металлов" в 2-х частях, которая выдержала три издания, а за второе издание, появившееся в 1952 г., Я.Б. Фридман получил Государственную премию СССР[5].

С момента поступления в аспирантуру Е.М. Морозов начинает целенаправленно заниматься механикой разрушения, которая тогда еще даже не имела такого названия. Оно появилось в отечественной литературе позднее, после работ американского ученого Дж.Р. Ирвина (G.R. Irwin). Механикой разрушения с позиций распространения трещин в то время занимались лишь немногие ученые и поэтому Е.М. Морозова по праву можно считать одним из пионеров в развитии механики разрушения в СССР.

В 1954 г. Е.М. Морозов успешно защищает в МИФИ кандидатскую диссертацию на тему "Изучение и пути повышения статической прочности составных элементов конструкций" и ему присуждается ученая степень кандидата технических наук. Молодого ученого, только что окончившего аспирантуру, принимают на работу ассистентом кафедры сопротивления материалов Московского авиационного института.

Несмотря на то, что Евгений Михайлович работал в МАИ, он по-прежнему принимал участие в научных семинарах кафедры Я.Б. Фридмана в МИФИ. Благодаря таким выдающимся ученым, как Я.Б. Фридман и Б.А. Дроздовский, в России сформировалось новое научное направление, связанное с механикой разрушения твердых тел с трещинами (вопреки почти всеобщему непониманию этой проблемы даже многими известными учеными того времени). Я.Б. Фридман называл Бориса Александровича Дроздовского (который тогда был научным сотрудником ВИАМ)

[5]Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман. – 2-е изд. – М.: Оборонгиз, 1952. – 556 с. Первое издание относится к 1946 г.

"философом прочности". В 1960 г. была издана первая в России книга по трещиностойкости материалов, авторами ее были Б.А. Дроздовский и Я.Б. Фридман[6].

В 1958 г. Евгений Михайлович возвращается в МИФИ на должность доцента кафедры, руководимой Я.Б. Фридманом. В журнале "Научные доклады высшей школы. Машиностроение и приборостроение" №2 за 1958 г. выходит его статья (совместно с Я.Б. Фридманом) под названием "Расчет сопротивления хрупкому разрушению всесторонне растянутого диска". Эта статья появилась на следующий год после известной работы Дж. Ирвина о связи начала роста трещины с критическим значением коэффициента интенсивности напряжений[7]. Статья американского ученого стала своеобразным толчком к началу широких исследований в области механики разрушения в различных странах мира[8]. Быстрыми темпами развивалась механика разрушения в СССР. Об этом можно судить об огромном количестве публикаций, обзор которых выполнен в статье: Партон, В.З. Механика разрушения / В.З. Партон, Г.П. Черепанов // Механика в СССР за 50 лет. Т. 3. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1972. – С. 365-467.

В этот период времени Евгений Михайлович пытается привести многие свои мысли и соображения по механике трещин в законченную форму и разработать общие подходы к разрушению твердого тела с трещиной. Эти исследования получают дополнительный стимул в многочисленных и плодотворных беседах с известным специалистом по вариационным принципам в физике и механике Львом Соломоновичем Полаком[9], а также в постоянном общении с проф. Я.Б. Фридманом (часто оно происходило в его домашнем кабинете). Л.С. Полак тогда работал заведующим лабораторией в Институте нефтехимического синтеза АН СССР. Он был учеником академика А.Н. Крылова, который настолько высоко его ценил, что когда он был у него научным сотрудником, то предложил ему работать в своем служебном кабинете и пользоваться своей личной библиотекой.

Наблюдения Евгения Михайловича за формами трещин и изломов при разрушении образцов и элементов конструкций навели его на мысль о том, что линия, вдоль которой распространяется трещина (ее траектория), подчиняется определенному закону в виде вариационного условия оптимальности. При этом траектория трещины, видимая на поверхности тела, совпадает с обобщенной геодезической линией, а поверхность излома, находящегося внутри тела, — с обобщенной минимальной поверхностью тела. Следует отметить, что согласно принципу наименьшей кривизны Герца при отсутствии внешних сил траектория движущейся по идеально гладкой поверхности точки совпадает с геодезической линией. Это свойство в механике разрушения видоизменяется в предположении о том, что траектория распространения трещины определяется наименьшими затратами энергии на разрушение. Однако траектория распространения трещины не может определяться только формой поверхности тела. В общем случае она зависит также от напряженного состояния. Если положить, что элемент длины трещины определяется произведением линейного элемента ds на поверхности на некоторую функцию Φ, зависящую от напряженного (или деформированного) состояния в окрестности

[6] Дроздовский, Б.А. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей / Б.А. Дроздовский, Я.Б. Фридман. – М.: Металлургиздат, 1960. – 260 с.

[7] Речь идет о статье: Irwin, G.R. Analysis of Stress and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate / G.R. Irwin // Trans. ASME. J. Appl. Mech. – 1957. – V. 24. – P. 361-364. Она воспроизводится в энциклопедии: Fracture: A Topical Encyclopedia of Current Knowledge / Ed. by G.P. Cherepanov. – Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1998. – P. 30-40.

[8] Однако в СССР эта статья еще почти десять лет не была известна.

[9] См. его известную книгу: Полак, Л.С. Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике / Л.С. Полак. – М.: Физматгиз, 1960. – 600 с.

данного линейного элемента, то уравнение траектории трещины $v = v(u)$ (u, v — гауссовы параметры поверхности) можно получить из условия, что функционал вида

$$J[v] = \int_{u_1}^{u_2} \Phi(u, v) \sqrt{E + 2Fv' + G(v')^2}\, du, \tag{5}$$

где E, F, G — коэффициенты первой квадратичной формы поверхности, принимает минимальное значение, т.е. при фиксированных концевых точках

$$\delta J = 0. \tag{6}$$

Для хрупкого разрушения (по аналогии с первой и второй гипотезами прочности) полагаем, что функция $\Phi(u, v)$ пропорциональна наибольшему нормальному напряжению или наибольшей линейной деформации для тела без трещины, находящегося под действием той же системы внешних нагрузок. Поэтому траектория трещины представляет собой геодезическую линию в неэвклидовом пространстве, метрика которого зависит от напряженно-деформированного состояния.

Уравнение Эйлера—Лагранжа для вариационной задачи (6) имеет вид:

$$-\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial v} + \frac{d}{du}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial v'} = 0, \tag{7}$$

где

$$\mathcal{L}(u, v, v') = \Phi(u, v) \sqrt{E + 2Fv' + G(v')^2}.$$

В частном случае однородного напряженного состояния $\Phi(u, v) = \text{const}$, и путь трещины совпадает с обычной геодезической линией. Такого типа разрушения наблюдаются на практике в виде винтовых линий на поверхности цилиндра при кручении, трещины по дугам больших кругов в сферических равномерно нагруженных хрупких оболочках. Полученные результаты были опубликованы в совместной статье с Я.Б. Фридманом "Траектории трещин хрупкого разрушения как геодезические линии на поверхности тела" в журнале Доклады АН СССР (1961. Т. 139. №1). Важным практическим аспектом исследований явилось то, что по уравнениям предполагаемых траекторий трещин можно определить наиболее выгодные соотношения размеров тела путем требования максимума образующейся свободной поверхности или длины трещины (наибольший путь разрушения), что должно соответствовать большей разрушающей нагрузке. Эта статья стала важным шагом в формулировке критериальных соотношений на основе вариационных уравнений механики разрушения.

Разрушение твердых тел с трещинами, как известно, очень сложное явление. В общем случае поведение стационарных трещин как равновесных, так и неравновесных можно описать с помощью вариационного условия: $\delta E = 0$, а нестационарных — с помощью вариационного уравнения:

$$\int_{t_0}^{t_1} \delta E\, dt = 0, \tag{8}$$

где $E = \int_{l_0}^{l(t)} L\, ds$ — функционал, отражающий разность энергий поглощения $\int_{l_0}^{l(t)} \gamma\, ds$ (расходуемой на процесс разрушения) и снабжения $\int_{l_0}^{l(t)} \varphi\, ds$ (выделяющейся вслед-

ствие роста трещины), $L = \gamma - \phi$. Этот функционал можно рассматривать как свободную энергию либо как величину, пропорциональную приращению внутренней энтропии. Интенсивность затрат энергии на разрушение ("энергопоглощение") γ представляет энергию, необходимую для образования единицы площади нового участка поверхности трещины. Значение γ зависит от локальных сопротивлений разделению частиц, пластичности, вязкости материала и от их изменения с ростом трещины. Интенсивность выделения энергии ("энергоснабжение") φ в связи с единичным приростом площади свободной поверхности трещины расходуется в первую очередь на образование трещины и только после образования нового элемента трещины избыток энергии снабжения может рассеиваться в форме тепла или трансформироваться в кинетическую энергии.

Этот важный результат (8), полученный Е.М. Морозовым в 1962 г., стал отправным для последующего исследования сложных случаев разрушения твердых тел с трещинами. В результате удалось обобщить энергетический подход А. Гриффитса (1), используя уравнение энергетического баланса в вариационной форме:

$$\delta K + \delta W + \delta\Gamma = \delta A + \delta Q + \delta Q^*, \tag{9}$$

где K — кинетическая энергия тела; W — упругая объемная энергия, зависящая от удельной энтропии и компонент тензора деформаций; Γ — работа разрушения; A — работа внешних сил; Q — приток тепловой энергии; Q^* — внешний приток энергии за счет особых микроскопических эффектов, химических, радиоактивных и др. Вариации энергий соответствуют вариации площади свободной поверхности трещины.

Если ввести допущение, при котором $K = 0$, $Q = 0$ и $Q^* = 0$, то можно записать уравнение (9) в удобном для решения практических задач виде:

$$\delta\Gamma + \delta W = \delta A. \tag{10}$$

Запишем соотношение (10) для случая вариации положения вершины трещины в плоской задаче вдоль ее фиксированной траектории. В этом случае оператор варьирования есть $\delta = \dfrac{\partial}{\partial l}\delta l$, а вариационное уравнение (10) позволяет найти критическое (предельное) состояние равновесия.

Рассмотрим случай, когда энергетический критерий разрушения в форме (10) относится к телу с трещиной, которое нагружено только по поверхности трещины, а компоненты его напряженного состояния получены в виде разности напряжений тела с трещиной и сплошного тела. Рассмотрим случай, когда внешние нагрузки постоянны и пластическая зона у края трещины достаточно мала. В такой постановке появляется возможность использования теоремы Клапейрона $2\delta W = \delta A$. Тогда условие (10) примет вид

$$\delta\Gamma - \frac{1}{2}\delta A = 0 \tag{11}$$

и, следовательно,

$$\delta \int\limits_{S^+} (\gamma_0 - \frac{1}{2} p_i^+ u_i^+) ds + \delta \int\limits_{S^-} (\gamma_0 - \frac{1}{2} p_i^- u_i^-) ds = 0, \tag{12}$$

где S — поверхность трещины, а индексами "+" и "−" обозначены величины, относящиеся к противоположным берегам трещины.

Для симметричной задачи это уравнение перепишем в виде

$$\delta \int_0^l (2\gamma - p_i u_i)\, ds = 0. \tag{13}$$

Отсюда следует уравнение для вычисления критической нагрузки

$$G_{IC} - p_i u_i|_{\text{tip}} - \int_0^l p_i \frac{\partial u_i}{\partial l} dx = 0. \tag{14}$$

Здесь p_i — вектор напряжения на площадках, положение которых совпадает с поверхностью трещины, эти напряжения вычисляются для нагруженного тела без трещины и берутся с обратным знаком; u_i — вектор перемещения точек поверхности трещины в теле, на которое не действуют заданные внешние нагрузки, но которое, однако, нагружено на поверхности трещины напряжениями p_i.

Второе слагаемое в уравнении (14) отражает факт неупругого расхождения точек поверхностей трещины в ее вершине. Если им пренебречь, то получаем критерий разрушения Гриффитса, в соответствии с которым прочность тела без трещины стремится в бесконечность. Если принять во внимание ненулевое раскрытие в вершине трещины, то получаем конечную прочность тела без трещины.

Условие (14) представляет собой двухпараметрический критерий предельного состояния

$$\left(\frac{\sigma_C}{\sigma_B}\right)^q + \left(\frac{I_C}{I_{C\max}}\right)^2 = 1, \tag{15}$$

где σ_C и I_C есть разрушающее напряжение и предел трещиностойкости соответственно, а σ_B и $I_{C\max}$ — предел прочности и наибольшее значение I_C среди всех экспериментально полученных значений. Заметим, что основы двухпараметрического подхода были предложены Е.М. Морозовым и Я.Б. Фридманом в 1966 г. (журнал "Заводская лаборатория", №8), а окончательно оформились как метод расчета на прочность деталей с трещинами с помощью диаграммы трещиностойкости в 1971 г. (журнал "Проблемы прочности", №1, №9), т.е. значительно раньше известного зарубежного двухпараметрического критерия R6[10].

Двухкритериальное условие докритического и критического состояния можно записать в более привычном виде, а именно

$$K(p, l) \leqslant I_C. \tag{16}$$

Правая часть этого неравенства не является постоянной, как обычно, а представляет собой функцию разрушающего параметра нагрузки $I_C = I_C(p_c)$. Эта функция — предел трещиностойкости — находится из эксперимента и является "потолком" для обычного коэффициента интенсивности напряжений $K(p, l)$. Расчет по уравнению (16) описывает хрупкое, квазихрупкое и вязкое разрушение.

Если принять отклоненное состояние не виртуальным, а действительным, при котором размеры трещины согласованы с действующей нагрузкой, то оператор вариации будет иметь форму

$$\delta = \left(\frac{\partial}{\partial l} + \frac{\partial}{\partial p}\frac{dp}{dl}\right)\delta l.$$

[10] Dowling, A.R., Townley C.H.A. — Int. J. Press, Vessels and Piping. – 1975. – No. 3. – P. 77.

С учетом этого запишем уравнение (13) в виде

$$\left(\frac{\partial}{\partial l}+\frac{dp}{dl}\frac{\partial}{\partial p}\right)\int_0^l \left(G_c-\sigma_y\upsilon\right)dx=0.$$

Отсюда приходим к уравнению для определения медленного докритического роста трещины, при котором трещина растет с ростом параметра нагрузки, т.е. $p=p(l)$

$$\frac{dp}{dl}=\frac{G_c\left[1-\left(\dfrac{\sigma_y(l)}{\sigma_B}\right)^2\right]-\dfrac{K^2}{E}}{\dfrac{2}{E}\displaystyle\int_0^l K\frac{\partial K}{\partial p}dl+\frac{2G_c}{\sigma_B^2}\int_0^l \sigma_y(l)\frac{\partial\sigma_y(l)}{\partial p}dl}.$$

Таким образом, можно сказать, что на основе этих работ впервые были получены конечная прочность тела без трещины, критерий разрушения в виде вариационного уравнения, двухпараметрический критерий разрушения (предел трещиностойкости и ее диаграмма) и уравнение докритического роста трещины.

Введенный Е.М. Морозовым предел трещиностойкости, включенный в ГОСТ 25.506-85 и в методические рекомендации МР 9-01, по механическому смыслу представляет собой предел прочности образца с трещиной и может служить как для оценки свойств трещиностойкости материала, так и для расчета на прочность деталей с трещинами.

Обращает на себя внимание тот факт, что фундаментальные научные результаты были получены Е.М. Морозовым в те годы, когда механикой разрушения занимался очень узкий круг специалистов. Эти результаты позволили решить многие практически важные проблемы разрушения твердых тел с трещинами. Следует заметить, что предложенная теория разрушения твердого тела с трещиной позволила сформулировать, пожалуй, единственный критерий разрушения, который достаточно полно учитывает изменение энергий не только в зависимости от длины трещины в период ее распространения, но и от времени.

Предложенная Е.М. Морозовым модель разрушения твердого тела с трещиной в вариационной постановке позволяет во многих случаях определить форму поверхности излома и вид поверхностных трещин в условиях хрупкого разрушения, что может оказаться полезным при выборе методов проектирования и усиления деталей.

В середине 60-х годов Е.М. Морозов совместно со своим учителем, профессором Я.Б. Фридманом на базе кафедры сопротивления материалов организовали кафедру физики прочности, которая стала выпускать специалистов по определению и трактовке механических свойств материалов, а также их использованию при расчете несущей способности конструкционных элементов. При этом в учебный план впервые в нашей стране был введен курс "Механика разрушения", который читается Е.М. Морозовым с самого начала вплоть до настоящего времени.

В первой половине 60-х годов Е.М. Морозов познакомился с В.З. Партоном (тогда еще аспирантом), которого он привлек к проведению аналитических вычислений при решении конкретных задач о трещинах с помощью вариационных уравнений. Результатом их тесного научного сотрудничества стал выход в 1974 г. монографии "Механика упругопластического разрушения". Эта книга, наряду с изданными в тот же год монографиями Г.П. Черепанова "Механика хрупкого разрушения" и Л.М. Качанова "Основы механики разрушения", стала классической

монографией по механике разрушения и до сих пор не потеряла своего научного значения. Книга Е.М. Морозова и В.З. Партона была переиздана в переработанном и дополненном виде в 1985 г., а также издавалась за рубежом на английском языке в издательствах "Мир" и "Hemisphere".

В 1971 г. Е.М. Морозов на основе проведенных исследований защитил докторскую диссертацию на тему "Методы расчета хрупкой прочности твердых тел с трещинами". Среди важных научных результатов, полученных Е.М. Морозовым к тому времени, отметим уже обсуждавшийся критерий разрушения твердого тела с трещиной в вариационной форме. Предложенный подход позволил определить наступление критического состояния тела с трещиной, рассчитать докритический рост трещины в упругой, упругопластической и вязкоупругой среде и создать метод расчета на прочность с определением допустимых размеров трещины.

Евгений Михайлович Морозов не остановился на достигнутых результатах и продолжал проводить научные исследования. Позднее он ввел в расчет конструкций механическую характеристику — предел трещиностойкости — аналог известного предела прочности и способ построения диаграммы трещиностойкости, отражающей двухпараметрический критерий разрушения. С его именем связано применение метода сечений (1969 г.) для приближенного и быстрого определения коэффициента интенсивности напряжений. Эти работы нашли применение в области атомной энергетики, за что Е.М. Морозов в составе авторского коллектива в 1983 г. стал лауреатом премии Совета министров СССР "за разработку и внедрение научных основ расчета и повышения прочности энергооборудования по критериям трещиностойкости".

Наряду с занятиями наукой, Е.М. Морозов является страстным сторонником и пропагандистом внедрения методов механики разрушения в конструкторские разработки. Внедрение методик расчета с позиций механики разрушения особенно важно для крупногабаритных тел из металлических материалов средней прочности и для конструкций из высокопрочных материалов. Поэтому изучение закономерностей механики разрушения имеет большое значение для многих отраслей современной техники. Решение таких проблем в большинстве случаев производится с привлечением численных методов и ЭВМ. Среди численных методов решения линейных и нелинейных задач о трещинах наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ). Сравнение МКЭ с традиционными конечно-разностными методами показывает его преимущества, состоящие в легкости расчета напряженного состояния тел из нескольких материалов с нерегулярными границами, возможности сгущения сетки в местах ожидаемой концентрации напряжений, простоте учета различных граничных условий.

Большим вкладом в решение проблем прочности с помощью МКЭ стал выход в 1980 г. в издательстве "Наука" монографии Е.М. Морозова (совместно с Г.П. Никишковым) "Метод конечных элементов в механике разрушения", которая до сих пор не потеряла своего научного значения и была переиздана через 23 года, в 2007 г.

Е.М. Морозов всегда находится на передовом крае научного поиска. С появлением персональных компьютеров он продолжает развитие и использование численных методов в задачах механики разрушения на основе новых вычислительных систем. Для специалистов в области вычислительных экспериментов, специализирующихся на прочностных расчетах конструкций, в 2003 г. выходит его книга (в соавторстве с А.Б. Каплуном и М.А. Олферьевой) "ANSYS в руках инженера" (из-

дательство "Едиториал УРСС", Москва). Практическое руководство имело успех и было издано еще раз в 2004 г.

В середине 70-х годов XX в. по инициативе научного сотрудника ВНИИЖД Младена Николаевича Георгиева[11] был создан постоянно действующий семинар "Проблемы разрушения металлов" при Московском доме научно-технической пропаганды, собиравшийся раз в месяц. Этим семинаром совместно руководили Е.М. Морозов и М.Н. Георгиев на протяжении примерно 15 лет. Тогда же у Младена Николаевича и Евгения Михайловича родилась идея создания Комиссии по механике разрушения для разработки методических рекомендаций по экспериментальному определению характеристик трещиностойкости. Первое организационное заседание семинара прошло на квартире у М.Н. Георгиева, а потом комиссия очень плодотворно работала под руководством Н.А. Махутова также примерно 15 лет. Были разработаны ГОСТы и множество методических рекомендаций по отдельным вопросам механики разрушения.

Велика заслуга Евгения Михайловича Морозова в том, что в России на русском языке был издан ряд лучших зарубежных книг по механике разрушения, на которых потом выросло целое поколение отечественных специалистов в этой области. Он участвовал в отборе, редактировании и комментировании переводимых книг. Отметим те книги издательства "Мир", в которых научное редактирование перевода на русский язык было выполнено Е.М. Морозовым:

1) Макклинток, Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклинток, А. Аргон. – М.: Мир, 1970. – 444 с.
2) Вязкость разрушения при плоской деформации. – М.: Мир, 1972. – 245 с.
3) Ударные испытания металлов (предисловие редактора перевода Е.М.Морозова). – М.: Мир, 1973. – 317 с.
4) "Разрушение" (перевод с англ. энциклопедии "Fracture" под ред. Г. Либовица (H. Liebowitz), New York and London, 1971). – Т. 3. (предисловие редактора перевода Е.М. Морозова). – М.: Мир, 1976. – 797 с.
5) Сиратори, М. Вычислительная механика разрушения (предисловие редактора перевода Е.М.Морозова) / М. Сиратори, Т. Миеси, Х. Мацусита. – М.: Мир, 1986. – 336 с.
6) Хеллан, К. Введение в механику разрушения (предисловие редактора перевода Е.М. Морозова) / К. Хеллан. – М.: Мир, 1988. – 364 с.

Е.М. Морозовым было опубликовано более 200 оригинальных научных статей и 18 книг по проблемам механики разрушения.

Помимо механики разрушения Евгений Михайлович живо интересуется и другими вопросами, историей и психологией. Любопытна его книга в соавторстве с В.Н. Ракитянским "Эгоист в обществе других эгоистов" (Баку: Одлар Юрду, 2001. – 154 с.). Эта книга представляет собой оригинальное исследование в области психологии личности[12].

[11] Георгиев, М.Н. Вязкость малоуглеродистых сталей / М.Н. Георгиев. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

[12] Сделана попытка собрать воедино отдельные представления о сущности человеческого Я. Но это конкретное Я находится среди других Я, каждое из которых также конкретно. Создание цельного образа Я человека неполно без анализа взаимоотношений с другими Я. Процесс познания личности изложен с учетом множества аспектов социальной реальности. В итоге исследования оформилась мысль об эгоизме как о прогрессивном и созидающем качестве личности.

Е.М. Морозов оказал существенное влияние на формирование научного направления отдельных кафедр институтов и университетов в России, связанных с расчетом прочности конструкций, в частности, кафедры механики сплошных сред Самарского государственного университета.

Все, кому приходилось иметь научные контакты и дискуссии с Евгением Михайловичем, отмечают его высокую научную компетентность и эрудированность во многих вопросах науки и техники, деликатность, природную доброту и желание помочь людям, ищущим свою дорогу в науке. Наука, благодаря Е.М. Морозову, обогатилась новым поколением ученых, способных самостоятельно вести научные исследования в различных областях механики разрушения твердых тел с дефектами и создавать новые научные школы.

Вопреки всем временным факторам, Евгений Михайлович остается оптимистом, занимается научными исследованиями, пишет статьи и книги, участвует в научных конференциях, оппонирует кандидатские и докторские диссертации, ведет здоровый, активный образ жизни и даже водит автомобиль.

10 декабря 2007 г. Евгению Михайловичу Морозову исполняется 80 лет. Все друзья и коллеги сердечно поздравляют Евгения Михайловича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья и творческих успехов в научном поиске.

Книги по проблемам механики разрушения, написанные Е.М. Морозовым

1) Механика упругопластического разрушения. – М.: Наука, 1974. – 416 с. (совм. с В.З. Партоном).
2) Elastic-plastic fracture mechanics. – Moscow: Mir, 1978. – 427 p. (совм. с В.З. Партоном).
3) Механика упругопластического разрушения. – 2-е изд., дополн. и переработанное. – М.: Наука, 1985. – 503 с. (совм. с В.З. Партоном)[13].
4) Mechanics of elastic-plastic fracture. – N.Y.: Hemisphere publ., 1989. – 522 pp. (совм. с В.З. Партоном).
5) Разрушение стекла. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с. (совм. с С.С. Солнцевым).
6) Метод конечных элементов в механике разрушения. – М.: Наука, 1980. – 256 с. (совм. с Г.П. Никишковым).
7) Расчет термонапряжений и прочности роторов и корпусов турбин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с. (совм. с Ю.Л. Израилевым и др.).
8) Thermal stresses and strength of turbins: calculation and design. – N.Y.: Hemisphere publ., 1991. – 379 p. (совм. с Ю.Л. Израилевым и др.).
9) Механика контактного разрушения. – М.: Наука, 1989. – 220 с. (совм. с Ю.В. Колесниковым).
10) Механика разрушения и прочность материалов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 436 с. (совм. с С.Е. Ковчиком).
11) Гидравлические испытания действующих нефтепроводов. М.: Недра, 1990. 224 с. (совм. с Р.С. Зайнулиным, А.Г. Гумеровым, В.Х. Галюком).
12) Техническая механика разрушения. – Уфа: Изд-во МНТЦ "БЭСТС", 1997. – 389 с.
13) Контактные задачи механики разрушения. – М.: Машиностроение, 1999. – 544 с. (совм. с М.В. Зерниным).

[13]Книга имеет гриф учебного пособия Минвуза СССР.

14) Механика разрушения твердых тел: курс лекций. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с. (совм. с В.М. Пестриковым).
15) ANSYS в руках инженера. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с. (совм. с А.Б. Каплуном и М.А. Олферьевой).
16) Избранные нелинейные задачи механики разрушения. – М.: Физматлит, 2004. – 408 с. (совм. с В.А. Левиным и Ю.Г. Матвиенко).
17) Критерии безопасного разрушения элементов трубопроводных систем с трещинами. – М.: Наука, 2005. – 316 с. (совм. с Р.С. Зайнуллиным и А.А. Александровым).
18) Механика разрушения на базе компьютерных технологий. Практикум. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2007. – 464 с. (совм. с В.М. Пестриковым).

Поступила в редакцию 26/*XI*/2007;
в окончательном варианте — 26/*XI*/2007.