

Патриарх отечественной механики разрушения (к 80-летию Евгения Михайловича Морозова)

В.М.Пестриков¹



Морозов Евгений Михайлович. 2007 г.

Механика разрушения в России берет свое начало с работ А.Ф. Иоффе по влиянию трещин на прочность твердых тел. Он установил, что после растворения 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 (Griffith A.A.)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 процессом с преобразованием энергии.

Условие развития трещины А. Гриффитс сформулировал в виде уравнения энергетического баланса:

¹ Пестриков В.М.(vpest@mail.ru), д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Информатика» Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики (191015 Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская дом 7).

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

³ Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids // Phil. Trans. Roy. Soc. A. 1921. 221. №2. P. 163-198, Griffith A.A. The theory of rupture / Proc. First Int. Congr. Appl. Mech. Delft. 1924. P. 55-63.

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

где W – потенциальная энергия деформации пластины, Γ – поверхностная энергия трещины, l – полудлина трещины.

В этом случае условие разрушения можно записать в виде

$$\left| \frac{\partial W}{\partial l} \right| \geq \frac{\partial \Gamma}{\partial l}. \quad (2)$$

Условие (2) и представляет суть подхода А. Гриффитса, трещина в твердом теле, будет развиваться во время его деформации, если скорость освобождения потенциальной энергии деформации будет больше прироста поверхностной энергии тела в результате образования новых поверхностей. Поверхностная энергия трещины для пластины единичной толщины имеет вид

$$\Gamma = 4l\gamma, \quad (3)$$

где γ – удельная поверхностная энергия разрушения. Заметим, что в работе А. Гриффитса, величина γ , имеет название “поверхностное натяжение материала” (по англ. “the surface tension of the material”) и выражена в 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, вышедшая в 1930 году в английском 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 балки⁴.

Заметим, что решение задачи И.В. Обреимова с использованием понятия коэффициента интенсивности напряжений было получено в начале 21 века Е.М. Морозовым и В.М. Пестриковым (см. [14]) в виде

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

где l - длина отщепляемой полоски (трещины), b - ширина полоски отщепляемой от поверхности тела клином толщиной Δ , E – модуль Юнга, I -

⁴ Obreimoff J.W. The Splitting Strength of Mica // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Vol. CXXXVII. No. 804. P. 290-297. Есть русский перевод в кн.: Обреимов И.В. Избранные труды. – М.: Наука. 1997. 316 С.

момент инерции сечения полоски относительно её 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 не проявлялось в нашей стране. Создание ракетного щита нашей страны в конце 50-х годов 20 века потребовало новых подходов к прочностным расчетам корпусов ракет. Как раз, в это время, в 1949 году, 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 в последствии 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).



Ракета Р5 готовится к пуску

Ракеты Р5 (индекс 8К51) разрабатывались специально для системы ПВО Москвы. Решение о создании этой системы было принято правительством в августе 1950 г. Руководитель СССР генералиссимус 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. 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, полученные баллистиками, а также справочные материалы по свойствам материалов. Все это подтолкнуло молодого конструктора начать самостоятельные исследования в получении недостающих данных для прочностных расчетов. Для нахождения научных подходов в определении расчетных нагрузок ему часто приходилось сидеть 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 на то время, 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 при наличии трещин созданной 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 посчастливилось сделать несколько позже, что и принесло ему авторитет в науке о трещиностойкости конструкций.

Имея задатки научного исследователя, Евгений Михайлович решает связать свою жизнь с наукой и поступает в 1951 году в аспирантуру 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 вышедшее в 1952 году – Фридман Я.Б. получил Государственную премию СССР⁵.

С момента пребывания в аспирантуре, Е.М.Морозов начинает целенаправленно заниматься механикой разрушения, которая тогда еще 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 трещины в то время занимались единицы, и поэтому Е.М.Морозова по праву можно считать одним из

⁵ Фридман Я.Б. Механические свойства металлов, 2 изд., М. Оборонгиз. 1952. 556 с

отечественных пионеров в развитии механики разрушения в России и на постсоветском пространстве СНГ.

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



Морозов Е.М. - ассистент кафедры сопротивления материалов МАИ,
май 1957г.

Невзирая на то, что Евгений Михайлович работал в МАИ, он по-прежнему принимал участие в научных семинарах кафедры Я.Б.Фридмана в МИФИ. На семинарах, благодаря Я.Б. Фридману и Б.А. Дроздовскому, в России сформировалось новое научное направление по механике разрушения твердых тел с трещинами, несмотря на всеобщее непонимание этой проблемы, даже известными учеными. Фридман Я.Б. называл Дроздовского Бориса Александровича «философом прочности», который тогда был научным сотрудником ВИАМ. В 1960 году вышла 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

⁶ Дроздовский Б. А., Фридман Я. Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей, М., Металлургиздат.1960. С.260.

доклады высшей школы. «Машиностроение и приборостроение» №2 за 1958 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.Р.Ирвина о связи начала роста трещины с критическим значением коэффициента интенсивности напряжений. Статья американского ученого стала своеобразным толчком к широкому началу исследований в области механики разрушений в различных странах мира. Однако в СССР эта статья еще почти десять лет не была известна.

В этот период времени Евгений Михайлович пытается привести многие свои мысли и соображения по механике трещин в законченный вид и разработать общие подходы к разрушению твердого тела с трещиной. Эти исследования получают стимул в многочисленных и плодотворных беседах с известным специалистом по вариационным принципам в физике и механике Львом Соломоновичем Полаком⁷, а также в постоянном общении с проф. Я.Б. Фридманом в его домашнем кабинете. Полак Л.С. тогда работал зав. лабораторией в Институте нефтехимического синтеза АН СССР. Он был учеником академика Крылова А.Н., 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 на мысль, что линия, вдоль которой распространяется трещина (её 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. Согласно принципу Герца при отсутствии внешних сил траектория движущейся по поверхности точки совпадает с геодезической линией. Эти свойства находятся в согласии с предположением, что путь трещины определяется наименьшими затратами энергии на разрушение.

Однако траектория 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 поверхности на некоторую функцию Φ , зависящую от напряженного (или деформированного) состояния в окрестности данного линейного элемента, то уравнение траектории трещины можно получить из условия, что функционал вида

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

⁷ Полак Л.С. Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике. М.: ГИФМЛ, 1960, 600 с.

принимает минимальное значение, т. е.

$$\delta J = 0. \quad (6)$$

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

Тогда уравнение Эйлера-Лагранжа для вариационной задачи (5) и (6) примет вид:

$$\frac{\partial M}{\partial u} - \frac{d}{dv} \frac{\partial M}{\partial v'} = 0, \quad (7)$$

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

В частном случае однородного напряженного состояния $\Phi(u, v) = \text{const}$ и путь трещины совпадает с обыкновенной 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 в журнале Доклады АН СССР. Т. 139. №1. 1961 под названием «Траектории трещин хрупкого разрушения как геодезические линии на поверхности тела».

Важным практическим аспектом исследований, явилось то, что по уравнениям предполагаемых трещин, можно определить наиболее выгодные соотношения размеров тела путем требования максимума 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 уравнения:

$$\int_{t_0}^{t_1} \delta E dt = 0, \quad (8)$$

где $E = \int_{l_0}^{l(t)} L ds$ - функционал отражающий разность энергий, поглощения -

$$\int_0^{l(t)} \gamma ds \text{ (расходуемой на процесс разрушения) и снабжения - } \int_0^{l(t)} \varphi ds$$

(выделяющейся из-за роста трещины), $L = \gamma - \varphi$. 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 появляющейся новой поверхности трещины. Значение γ зависит от локальных сопротивлений разделению частиц, пластичности, вязкости материала и от их изменения с ростом трещины. Интенсивность выделения энергии «энергоснабжение» в связи с единичным приростом площади трещины φ расходуется в первую очередь на образование трещины и только после образования элемента трещины, избыток энергии снабжения может диссипировать или трансформироваться в кинетическую энергию.

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

$$\delta K + \delta W + \delta \Gamma = \delta A + \delta Q + \delta Q^*, \quad (9)$$

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 возникают на вариации площади трещины.

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

$$\delta \Gamma + \delta W = \delta A, \quad (10)$$

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

Воспользуемся принципом суперпозиции, т. е. положим, что 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

$$\delta\Gamma - \frac{1}{2}\delta A = 0, \quad (11)$$

и, следовательно

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

где S – поверхность трещины, а индексами “+” и “-“ обозначены величины, относящиеся к противоположным берегам трещины.

Для симметричной задачи это уравнение перепишем в виде

$$\delta \int_l (2\gamma - p_i u_i) ds = 0 \quad (13)$$

Отсюда следует уравнение для вычисления критической нагрузки

$$G_{IC} - p_i u_i|_{tip} - \int_l p_i \frac{\partial u_i}{\partial l} dx = 0 \quad (14)$$

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 её вершине. Если им пренебречь, то получаем критерий разрушения Гриффитса, в согласии 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.

Тем самым оказалось, что условие (14) представляет собой двухпараметрический критерий разрушения

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

где σ_C и I_C разрушающее напряжение, и предел трещиностойкости, а σ_B и I_{Cmax} 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 году (журнал Заводская лаборатория, № 8), а окончательно оформились как метод расчета на прочность деталей с трещинами с помощью диаграммы трещиностойкости в 1971 году (журнал Проблемы прочности, № 1 и № 9), т.е. значительно раньше известного зарубежного двухпараметрического критерия R6⁸.

Двухкритериальное условие (15) можно записать в более привычном виде, а именно

$$K(p, l) \leq I_C \quad (16)$$

Правая сторона этого уравнения не постоянная как обычно, а функция разрушающего параметра нагрузки $I_C = I_C(p)$. 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 теперь принять отклоненное состояние не виртуальным, а действительным, при котором размеры трещины согласованы с действующей нагрузкой, то оператор вариации будет

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

С учетом этого запишем уравнение (13) в виде

$$\left(\frac{\partial}{\partial l} \delta l + \frac{\partial p}{\partial l} \frac{\partial}{\partial p} \right) \int_0^l (G_c - \sigma_y \nu) dx = 0,$$

⁸ Dowling A. R., Townley C. H. A. - Int. J. Press, Vessels and Piping, 1975, 3, p. 77.

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

$$\frac{dp}{dl} = \frac{G_c \left[1 - \left(\frac{\sigma_y(l)}{\sigma_b} \right)^2 \right] - \frac{K^2}{E}}{\frac{2}{E} \int K \frac{\partial K}{\partial p} dl + \frac{2G_c}{\sigma_b^2} \int \sigma_y(l) \frac{\partial \sigma_y(l)}{\partial p} dl} \quad (17)$$

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

Введенный Е.М. Морозовым предел трещиностойкости, вошедший 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 небольшой круг специалистов. Эти результаты позволили решить многие практические 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 рассчитать форму поверхности излома и вид поверхностных трещин для хрупкого разрушения, что может оказаться полезным при выборе методов проектирования и усиления детали.

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 конструктивных 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 XX века Е.М.Морозов познакомился с В. З. Партонем (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 монографии «Механика упруго-пластического 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 классикой механики разрушения и до сих пор не потеряла своего значения. Книга Е.М.Морозова и В. З. Партоня была переиздана в переработанном и дополненном виде еще раз в 1985 году, а также вышла за рубежом на английском языке в издательствах «Мир» и “Hemisphere”.



Монографии издательства «Наука» (Москва): Г.П.Черепанов «Механика хрупкого разрушения» (1974г.), Л.М.Качанов «Основы механики разрушения» (1974г.) и В. З. Партон и Е.М.Морозов «Механика упруго-пластического разрушения» (2-е издание 1985г.).

В 1971 году 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, как уже указывалось, сформулированный им в вариационной форме критерий разрушения твердого тела с трещиной. 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) 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 году 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 году в издательстве «Наука» монографии Е.М.Морозова (соавтор Никишков Г.П.) «Метод конечных элементов в механике разрушения», которая до сих пор не потеряла своего научного значения и была переиздана через 23 года, в 2007 году.

Е.М. Морозов всегда находится в фортаторе всего нового в науке, с появлением персональных компьютеров он продолжает развитие использования численных методов в задачах механики разрушения на основе новых вычислительных систем. Для специалистов в области вычислительных экспериментов, специализирующихся на прочностных расчетах конструкций, в 2003 году выходит его книга в соавторстве с Каплуном А.Б. и Олферьевой М.А.: «ANSYS в руках инженера» (издательство "Эдиториал УРСС", Москва). Практическое руководство имело успех и было издано еще раз в 2004 году. Широту кругозора и любознательность Е.М. Морозова можно оценить по списку его книг, приведенному в конце этой заметки.



Е.М.Морозов, И.Н. Преображенский (второй справа), В.З. Партон (третий справа) в г. Якутск, июнь 1984 г.

В середине 70-х годов XX века по инициативе научного сотрудника ВНИИЖД Младена Николаевича Георгиева⁹ 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.

⁹ Георгиев М.Н. Вязкость малоуглеродистых сталей. М., Metallurgia. 1973. С.224.



Е.М.Морозов читает лекцию на семинаре ”Проблемы разрушения металлов” при Московском доме научно-технической пропаганды. 29 декабря 1982 г.

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 много Методических рекомендаций по отдельным вопросам механики разрушения.



Е.М.Морозов (справа проф. В.В.Панасюк из Львова) на научной конференции в Ереване, апрель 1985 г.

Велика заслуга Евгения Михайловича Морозова в том, что в России на русском языке был издан ряд лучших переводных зарубежных книг по механике разрушения, на которых потом выросло целое поколение отечественных специалистов в этой области. Он участвовал в отборе, редактировании и написании предисловий к переводимым книгам. Отметим книги издательства «Мир», в которых научное (титупальное) редактирование перевода книг было сделано Е.М.Морозовым:

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

Самим же, ученым, опубликовано более 200 научных статей и издано 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 Ракитянским В.Н. «Эгоист в обществе других эгоистов» (Баку: Одлар Юрду, 2001. 154 с.). Эта книга представляет собой оригинальное исследование в области психологии личности. 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 многих позиций человеческого общества, в итоге которого 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 «Механика сплошной среды» 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 ищущих свою дорогу в науке. Наука России, благодаря Е.М.Морозову, обогатилась новым поколением ученых способным самостоятельно вести научные исследования в различных областях механики разрушения твердых тел с дефектами и самим создавать новые научные школы.



Русские ученые в области механики разрушения, слева направо: проф. Радаев Ю.Н., проф. Астафьев В.И., проф. Морозов Е.М., проф. Пестриков В.М. ИПМ РАН. 25 мая 2007.

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 года исполняется 80 лет Евгению Михайловичу Морозову.

Все друзья и коллеги сердечно поздравляют Евгения Михайловича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, долгих творческих успехов, любви его прелестной супруги и долго еще ходить в туристские походы, оставаясь в жизни оптимистом.

СПИСОК КНИГ ПО ПРОБЛЕМАМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

1. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1974. 416 с. (Совм. с В.З. Партоном).
2. Elastic-plastic fracture mechanics. М.: Mir, 1978. 427 p. (Совм. с В.З. Партоном).

3. Механика упругопластического разрушения. 2-е изд. дополн. и переработанное, имеет гриф учебного пособия Минвуза СССР. М.: Наука, 1985. 503 с. (Совм. с В.З. Партоном).
4. Mechanics of elastic-plastic fracture. N.Y.: Hemisphere publ. 1989. 522 p. (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. Termal 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).
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)/

P.S.

Статья опубликована в журнале «Вестник Самарского государственного университета» 2007, № 9/1(59). С.53-64.