

## Расчет напряжений в поллой сфере с внутренними поверхностными дефектами

© 2020

*Седова Ольга Сергеевна*, кандидат физико-математических наук,  
старший преподаватель кафедры вычислительных методов механики деформируемого тела  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург (Россия)

E-mail: o.s.sedova@spbu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9097-8501>

**Аннотация:** В различных отраслях промышленности широко используются сосуды давления, в частности, распространены цилиндрические и сферические тонкостенные сосуды. Агрессивное воздействие окружающей среды при эксплуатации, а также рабочие нагрузки приводят к постепенному накоплению дефектов в конструкциях. Поскольку локальные дефекты действуют как концентраторы напряжений, для обеспечения прочности и надежности работы конструкции необходимо учитывать концентрацию напряжений вблизи дефектов. В работе рассматривается тонкостенная сфера под давлением, на внутренней поверхности которой имеются повреждения. Дефекты моделируются в виде сферических выемок, погруженных на глубину, равную половине своего радиуса. Количество дефектов варьируется. Дефекты расположены равномерно вдоль одной из окружностей большого круга сферы. Для оценки напряженного состояния построены 3D-модели сферического сосуда с дефектами. Рассматривается разное количество дефектов и различные размеры дефектов, каждому значению параметров соответствует своя модель геометрии. С использованием пакета конечно-элементного анализа ANSYS Workbench для каждой построенной модели производится приложение нагрузок (на внутренней поверхности сосуда действует давление), разбиение модели на конечные элементы и строится поле распределения максимальных нормальных напряжений в теле. Расчеты производятся в рамках линейной теории упругости. Проведен численный эксперимент по изучению влияния количества поверхностных дефектов на напряженное состояние в их окрестности. Исследована зависимость рассчитанных напряжений в теле от глубины дефектов. Показано, что при увеличении количества дефектов, а также при увеличении их глубины максимальное нормальное напряжение возрастает.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов; сосуды давления; напряженное состояние; сферическая оболочка; поверхностный дефект.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 18-71-00071.

Статья подготовлена по материалам докладов участников IX Международной школы «Физическое материаловедение» (ШФМ-2019) с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 9–13 сентября 2019 года.

**Для цитирования:** Седова О.С. Расчет напряжений в поллой сфере с внутренними поверхностными дефектами // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. № 2. С. 68–73. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-2-68-73.

### ВВЕДЕНИЕ

Часто встречающимися концентраторами напряжений в элементах приборов и конструкций являются различные поверхностные дефекты. Причинами их появления могут быть агрессивное воздействие окружающей среды при эксплуатации, а также рабочие нагрузки, часть дефектов возникает уже при производстве элементов конструкций.

Локальные повреждения на поверхности и внутри тел действуют как концентраторы напряжений, они ускоряют разрушение конструктивных элементов, приводя к преждевременному выходу из строя и/или необходимости ремонтных работ. Для обеспечения прочности и надежности работы конструкции необходимо учитывать концентрацию напряжений вблизи дефектов. В связи с этим проводится много теоретических, экспериментальных и численных исследований, рассматривающих влияние различных дефектов на напряжения, возникающие в конструкциях при различных нагрузках и граничных условиях. Значительная часть работ в этой области посвящена пластинам и стержням с одиночными дефектами в виде трещин или с периодическими

дефектами [1–3]. Отметим, что если повреждений несколько, но они расположены достаточно далеко друг от друга, то их количество может не влиять существенно на распределение напряжений по сравнению со случаем единичного дефекта. В таких ситуациях допустимо рассматривать каждый дефект отдельно, считая его единственным для своей окрестности.

Для микро- и наноразмерных изделий напряженное состояние в теле влияет на изменение формы поверхности, что приводит к появлению шероховатостей, тогда рельеф образующейся поверхности может рассматриваться как совокупность поверхностных дефектов [4–6]. В случае наноразмерных дефектов необходимо учитывать влияние поверхностных напряжений на физические свойства материала [7–9].

Метод конечных элементов широко используется для численной оценки напряженно-деформированного состояния в окрестности дефектов и в конструкциях в целом [10; 11]. Однако некоторые задачи решены аналитическими методами [12]. Задача о тонкой пластине, подверженной двухосному растяжению, с равномерно распределенными сферическими повреждениями на поверхности рассмотрена в [10]; анализ результатов работы

показал, что при увеличении плотности дефектов и их глубины напряжения в пластине растут. В публикации [3] численно исследованы коэффициенты концентрации напряжений для пластин и стержней с периодическими  $V$ - и  $U$ -образными поверхностными выемками при растяжении, изгибе и кручении. Устойчивость сжатой пластины с равномерно распределенными круговыми коррозионными дефектами численно и экспериментально изучена в работе [13].

Сферические и цилиндрические тонкостенные сосуды под давлением широко используются в различных отраслях промышленности. Среди поверхностных дефектов сосудов давления часто встречаются выемки, каверны, разрезы, трещины, дефекты рабочих сварных швов, дефекты стыков. В случае металлических конструкций одной из причин появления дефектов может быть коррозия [14].

В работе [2] рассматривается стальная труба под внутренним давлением, имеющая наружный дефект в виде несквозной полуэллиптической трещины осевой ориентации; проведен сравнительный анализ результатов расчетов, выполненных в пакете ANSYS, и значений коэффициента интенсивности напряжений вдоль фронта дефекта, полученных с помощью различных моделей расчета коэффициентов интенсивности для исследуемой задачи.

Задача о напряженно-деформированном состоянии патрубка, ослабленного вмятиной на внешней поверхности, рассмотрена в [15]; распределение напряжений в поврежденном участке трубопровода определено методом конечных элементов; оценено максимальное значение мембранных напряжений (nominal stress) и максимальное значение эквивалентных напряжений по фон Мизесу (Equivalent stress) в районе дефекта и за пределами области дефекта.

В работе [16] проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния участка трубопровода с учетом остаточных напряжений и деформаций, позволяющее оценить техническое состояние конструкции. В [17] исследован толстостенный сферический сосуд под внутренним давлением, ослабленный одним круговым питтингом на внешней поверхности, и оценены коэффициенты концентрации напряжений при различных глубинах питтинга. Работа [18] посвящена оценке напряженного состояния вблизи поверхностных дефектов – круговых выемок на внешней поверхности тонкостенной сферической оболочки. В [19] рассмотрены напряжения в окрестности поверхностных дефектов оболочек вращения (нагруженных внутренним давлением) с круговыми выемками и нагруженных стержней с  $V$ - и  $U$ -образными выемками.

Трубопровод с единичным коррозионным дефектом рассмотрен в [20], трубопровод подвержен внутреннему давлению и продольному сжатию; проведены численные расчеты для различных значений параметров (размеры дефекта и величина сжимающего напряжения); полученные результаты сопоставлены с экспериментальными данными.

Таким образом, одной из недостаточно исследованных областей остается напряженно-деформированное состояние оболочек с несколькими поверхностными дефектами, расположенными достаточно близко друг к другу, чтобы их влиянием нельзя было пренебречь.

Данная работа посвящена численному исследованию напряженного состояния линейно-упругой тонкостенной сферы под давлением, на внутренней поверхности которой имеются повреждения. Дефекты моделируются в виде сферических выемок. Дефекты расположены равномерно вдоль одной из окружностей большого круга сферы. Пакет конечно-элементного анализа ANSYS используется для проведения численного эксперимента.

Цель работы – оценка напряженного состояния вблизи дефектов.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим линейно-упругий тонкостенный сферический сосуд с внутренним радиусом  $r$  и внешним радиусом  $R$ , ко внутренней поверхности которого приложено давление  $p$ . На внутренней поверхности сосуда имеются дефекты – сферические выемки радиуса  $\delta$ , которые погружены в поверхность сосуда на глубину  $h$ , где  $h \leq \delta$ . Количество выемок на поверхности равно  $n$ . Дефекты располагаются вдоль одной из окружностей большого круга сферы, при этом они равномерно распределены по этой окружности. Рассмотренные значения  $n$  находятся в диапазоне от 4 до 348.

Задача состоит в оценке напряженного состояния тела вблизи дефектов для разного количества дефектов  $n$ , разных радиусов выемок  $\delta$  и разной глубины  $h$ .

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования в CAD-системе были построены трехмерные конечно-элементные модели тонкостенной полой сферы с радиусами  $r=340$  мм и  $R=350$  мм. На внутренней поверхности вырезаны сферические выемки. Были рассмотрены следующие радиусы выемок:  $\delta=4$ ,  $\delta=6$  и  $\delta=8$  мм; глубины:  $h=2$ ,  $h=3$  и  $h=4$  мм; количество дефектов:  $n$  – в диапазоне от 4 до 348. Для каждого фиксированного радиуса выемки сначала строилась модель с минимальным количеством дефектов ( $n=4$ ), после чего их количество постепенно увеличивалось до такого  $n=N$  (зависящего от радиуса выемки  $\delta$ :  $N=N(\delta)$ ), при котором наблюдалось пересечение соседних выемок. Для каждого  $n$ ,  $\delta$  и  $h$  была построена соответствующая геометрическая модель.

Поскольку выемки располагались равномерно вдоль окружности большого круга, в силу симметрии вместо всей сферы была рассмотрена одна восьмая часть, заключенная между тремя взаимно перпендикулярными плоскостями, проходящими через центр оболочки.

Построенная геометрия модели была импортирована в пакет конечно-элементного анализа ANSYS Workbench для приложения нагрузок, разбиения на конечные элементы и последующих расчетов.

Нагружение осуществлено давлением  $p$ , которое приложено к внутренней поверхности оболочки:  $p=1$  МПа. В качестве граничных условий заданы условия симметрии, наложенные на все боковые грани рассматриваемого элемента.

Модуль Юнга использованного материала (structural steel)  $E=2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ .

При построении сетки в качестве конечных элементов выбран трехмерный десятилучный элемент SOLID187.

В основной части тела использована достаточно крупная сетка, в то время как вблизи дефектов размеры элементов уменьшены. Для этого при построении конечных элементов на поверхности дефектов и в их окрестности заданы параметры измельчения сетки (refinement, sizing), ограничивающие размеры элементов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В таблицах 1–3 представлены значения максимального нормального напряжения  $\sigma$  в сфере с поверхностными дефектами при различных радиусах выемок  $\delta$  и для некоторых рассмотренных значений количества дефектов  $n$ . Видно, что для всех рассмотренных  $\delta$  при увеличении количества выемок на поверхности напряжения возрастают, причем с увеличением количества дефектов рост напряжений становится более стремительным. Данная закономерность согласуется с полученным в работе [18] результатом для сферического сосуда с дефектами, расположенными по всей внешней поверхности.

Отметим, что в данной работе (в отличие от случая, рассмотренного в [18]) рассматриваются такие  $n$ , при которых соседние выемки пересекаются. Из таблиц 1–3 видно, что при таком большом количестве дефектов закономерность роста напряжений с ростом  $n$  нарушается.

Анализ данных, приведенных в таблицах 1–3, показывает, что при фиксированном отношении  $\delta/h$  и увеличении радиуса выемок  $\delta$  (и, соответственно, увеличении глубины дефектов  $h$ ) максимальное нормальное напряжение  $\sigma$  в сферическом сосуде увеличивается.

Из таблицы 2 видно, что при фиксированном радиусе выемки  $\delta$  увеличение глубины дефектов  $h$  приводит к росту напряжений. В то же время при большей глубине выемок наблюдается более резкий рост напряжений при сгущении дефектов (до тех пор, пока не наблюдается их взаимопересечение), после достижения пика напряжения падают более резко при большем  $h$ .

На рис. 1 приведены зависимости максимального нормального напряжения при различном количестве дефектов для различных радиусов выемок. Отношение  $\delta/h$  остается постоянным и равно 2. Анализ зависимостей на рис. 1 показывает, что чем больше радиус выемки, тем больше возникающие в окрестности напряжения.

Данная закономерность согласуется с полученными в работе [17] результатами для одиночного питтинга на поверхности толстостенной сферы.

Отметим, что чем более тесно расположены дефекты (т. е. чем больше  $n$ ), тем стремительнее рост напряжений в оболочке. Однако эта закономерность нарушается при таком большом количестве, при котором соседние выемки пересекаются.

**Таблица 1.** Максимальное нормальное напряжение в случае выемок радиуса  $\delta=4$  мм при различном количестве выемок  $n$ , МПа  
**Table 1.** Maximum normal stress in the case of notches with the radius of  $\delta=4$  mm at different number of notches  $n$ , MPa

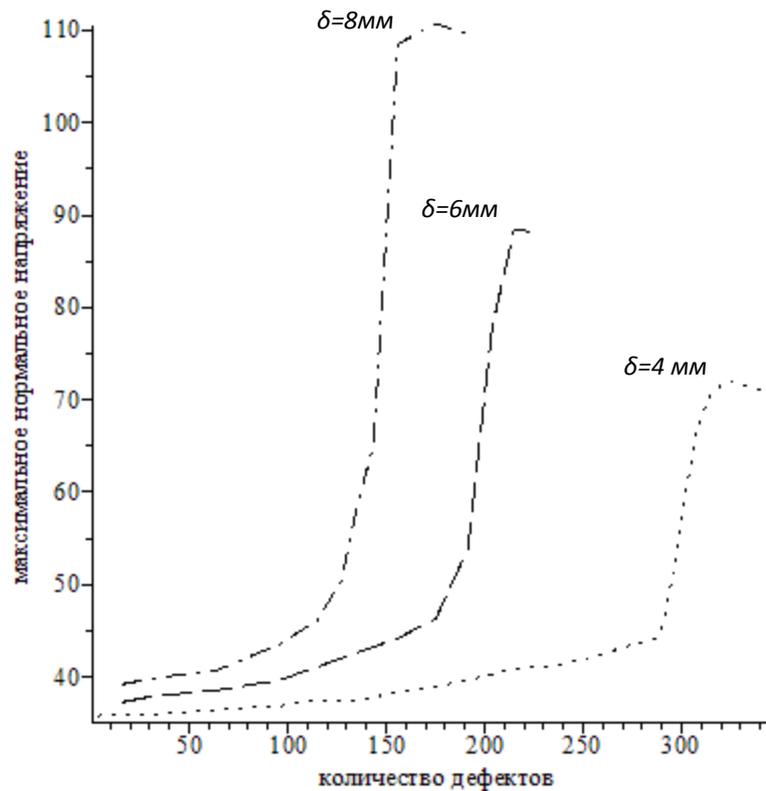
$n$	4	32	64	76	136	176	192	236	276	292	296	316	324	348
$h=2$	35,7	35,9	40,6	36,4	37,4	38,9	39,5	41	43,4	46	60,3	70,6	71,9	70,7

**Таблица 2.** Максимальное нормальное напряжение для выемок радиуса  $\delta=6$  мм при различной глубине выемок  $h$  и различном количестве выемок  $n$ , МПа  
**Table 2.** Maximum normal stress for notches with the radius of  $\delta=6$  mm at various depth of notches  $h$  and different number of notches  $n$ , MPa

$n$	8	32	64	96	128	156	176	192	204	216	224
$h=3$	37,2	37,8	38,4	39,6	41,8	44,1	46,2	53,8	77,8	88,4	88,1
$h=4$	38,8	39,5	40,6	42,4	44,7	52,6	71,5	145,3	132,2	128,7	121,4

**Таблица 3.** Максимальное нормальное напряжение для выемок радиуса  $\delta=8$  мм при различном количестве выемок  $n$ , МПа  
**Table 3.** Maximum normal stress for notches with the radius of  $\delta=8$  mm at different number of notches  $n$ , MPa

$n$	16	32	64	96	116	128	136	144	156	164	176	192
$h=4$	39,1	39,7	40,6	43,4	45,9	50,4	58,6	65,0	108,4	110,5	109,6	107,3



*Рис. 1. Максимальное нормальное напряжение при различном количестве дефектов для различных радиусов выемок, МПа*  
*Fig. 1. Maximum normal stress at different number of defects for various notch radiuses, MPa*

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проанализировано напряженное состояние тонкостенной поллой сферы с дефектами на внутренней поверхности.

1. Показано, что при увеличении количества сферических выемок напряжения в теле возрастают, причем с увеличением количества дефектов рост напряжений становится более стремительным. Однако эта закономерность нарушается при таком большом количестве, при котором соседние выемки пересекаются.

2. Установлено, что при увеличении радиуса сферических выемок (если отношение радиуса выемки к ее глубине при этом остается постоянным) максимальное нормальное напряжение увеличивается.

3. Исследовано влияние глубины дефектов на напряженное состояние, обнаружено, что увеличение глубины выемки (при фиксированном радиусе выемки) приводит к росту напряжений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одно из предполагаемых направлений дальнейших исследований, где будут применены полученные результаты, – оценка напряжений в сферических сосудах и сегментах с дефектами, расположенными на всей внутренней поверхности. Запланировано исследование напряженного состояния в оболочке с дефектами на

внешней поверхности в случаях равномерного и случайного расположения дефектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brighenti R., Carpinteri A. Surface cracks in fatigued structural components: A review // *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*. 2013. Vol. 36. № 12. P. 1209–1222.
2. Глушков С.В., Скворцов Ю.В., Перов С.Н. Сравнение результатов решения задачи механики разрушения для трубы с несквозной трещиной // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2014. № 3. С. 36–49.
3. Afshar R., Berto F. Stress concentration factors of periodic notches determined from the strain energy density // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2011. Vol. 56. № 3. P.127–139.
4. Шувалов Г.М., Костырко С.А. Второе приближение метода возмущений в задаче о твердом теле со слабоискривленной границей // *Процессы управления и устойчивость*. 2017. Т. 4. № 1. С. 256–260.
5. Шувалов Г.М., Костырко С.А. Влияние упругих свойств поверхности твердого тела на процесс ее реорганизации под действием напряжений // *Процессы управления и устойчивость*. 2018. Т. 5. № 1. С. 224–228.

6. Kostyrko S.A., Shuvalov G.M. Surface elasticity effect on diffusional growth of surface defects in strained solids // *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2019. № 31. P. 1795–1803.
7. Вакаева А.Б. Эффект поверхностных напряжений и формы нанометрового рельефа поверхности отверстия в упругом теле // *Процессы управления и устойчивость*. 2016. Т. 3. № 1. С. 154–158.
8. Grekov M.A., Vakaeva A.B. The perturbation method in the problem on a nearly circular inclusion in an elastic body // *Proceedings of the 7th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2017)*. Rhodes, 2017. P. 963–971.
9. Vakaeva A.B., Grekov M.A. Effect of interfacial stresses in an elastic body with a nano-inclusion // *AIP Conference Proceedings*. 2018. Vol. 1959. P. 070036. DOI: 10.1063/1.5034711.
10. Абакаров А.М., Никулина М.М. Расчёт напряжённого состояния растягиваемой пластины с поверхностными сферическими дефектами // *Процессы управления и устойчивость*. 2019. Т. 6. № 1. С. 63–67.
11. Гасратова Н.А., Старева И.А. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при наличии трещины // *Молодой ученый*. 2016. № 9. С. 10–15.
12. Остсемин А.А., Уткин П.Б. Напряженно-деформированное состояние и коэффициент интенсивности напряжений в окрестности трещиноподобных дефектов при двухосном растяжении пластины // *Прикладная механика и техническая физика*. 2014. Т. 55. № 6. С. 162–172.
13. Nakai T., Matsushita H., Yamamoto N., Arai H. Effect of pitting corrosion on local strength of hold frames of bulk carriers (1st report) // *Marine Structures*. 2004. Vol. 17. № 5. P. 403–432.
14. Obeyesekere N.U. Pitting corrosion // *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission*. Elsevier, 2017. P. 215–248.
15. Тарасенко А.А., Чепур П.В., Кузовников Е.В., Тарасенко Д.А. Расчет напряженно-деформированного состояния приемо-раздаточного патрубка с дефектом с целью обоснования возможности его дальнейшей эксплуатации // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9-7. С. 1471–1476.
16. Коробков Г.Е., Янчушка А.П., Закирьянов М.В. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния участка газопровода с отводами холодного гнущего по данным внутритрубной диагностики // *Записки Горного института*. 2018. Т. 234. С. 643–646.
17. Седова О.С., Хакназарова Л.А. Расчет напряжений в толстостенном сферическом элементе с наружной выемкой // *Процессы управления и устойчивость*. 2014. Т. 1. № 1. С. 212–217.
18. Окулова Д.Д., Вакаева А.Б., Седова О.С. Расчёт напряжений в поллой сфере с поверхностными дефектами // *Процессы управления и устойчивость*. 2019. Т. 6. № 1. С. 112–116.
19. Carpinteri A., Ronchei C., Vantadori S. Stress intensity factors and fatigue growth of surface cracks in notched shells and round bars: two decades of research work // *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*. 2013. Vol. 36. № 11. P. 1164–1177.
20. Arumugam T., Karuppanan S., Ovinis M. Finite element analyses of corroded pipeline with single defect subjected to internal pressure and axial compressive stress // *Marine Structures*. 2020. Vol. 72. P. 102746.

## REFERENCES

1. Brighenti R., Carpinteri A. Surface cracks in fatigued structural components: A review. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 2013, vol. 36, no. 12, pp. 1209–1222.
2. Glushkov S.V., Skvortsov Yu.V., Perov S.N. Comparison of the results of solving the problem of fracture mechanics for pipe with non-through crack. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*, 2014, no. 3, pp. 36–49.
3. Afshar R., Berto F. Stress concentration factors of periodic notches determined from the strain energy density. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2011, vol. 56, no. 3, pp. 127–139.
4. Shuvalov G.M., Kostyrko S.A. Second-order perturbation method for elastic solid with slightly curved boundary. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2017, vol. 4, no. 1, pp. 256–260.
5. Shuvalov G.M., Kostyrko S.A. Effect of surface elasticity on reconstruction of stressed solid surface. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2018, vol. 5, no. 1. 224–228.
6. Kostyrko S.A., Shuvalov G.M. Surface elasticity effect on diffusional growth of surface defects in strained solids. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 2019, no. 31, pp. 1795–1803.
7. Vakaeva A.B. Effect of surface stresses and the shape of nanometer surface relief of a hole in an elastic body. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 154–158.
8. Grekov M.A., Vakaeva A.B. The perturbation method in the problem on a nearly circular inclusion in an elastic body. *Proceedings of the 7th International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (Coupled Problems 2017)*. Rhodes, 2017, pp. 963–971.
9. Vakaeva A.B., Grekov M.A. Effect of interfacial stresses in an elastic body with a nano-inclusion. *AIP Conference Proceedings*, 2018, vol. 1959, pp. 070036. DOI: 10.1063/1.5034711.
10. Abakarov A.M., Nikulina M.M. Computation of stress state for stretched plate with spherical surface defects. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 63–67.
11. Gasratova N.A., Starava I.A. Investigation of the stress-strain state of a reinforced concrete beam in the presence of a crack. *Molodoy ucheniy*, 2016, no. 9, pp. 10–15.
12. Ostsemin A.A., Utkin P.B. Stress-strain state and stress intensity factor in the vicinity of crack-like defects under biaxial tension of a plate. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2014, vol. 55, no. 6, pp. 1045–1054.
13. Nakai T., Matsushita H., Yamamoto N., Arai H. Effect of pitting corrosion on local strength of hold frames of bulk carriers (1st report). *Marine Structures*, 2004, vol. 17, no. 5, pp. 403–432.
14. Obeyesekere N.U. Pitting corrosion. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission*. Elsevier, 2017, pp. 215–248.

15. Tarasenko A.A., Chepur P.V., Kuzovnikov E.V., Tarasenko D.A. Calculation of stress-strain receiving pipe dispensers with defects in order to justify its further exploitation. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2014, no. 9-7, pp. 1471–1476.
16. Korobkov G.E., Yanchushka A.P., Zakiryaynov M.V. Numerical modeling of a stress-strain state of a gas pipeline with cold bending offsets according to in-line inspection. *Journal of Mining Institute*, 2018, vol. 234, pp. 643–646.
17. Sedova O.S., Khaknazarova L.A. Stress analysis of a notched thick spherical member. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 212–217.
18. Okulova D.D., Vakaeva A.B., Sedova O.S. Stress calculation in sphere with surface defects. *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 112–116.
19. Carpinteri A., Ronchei C., Vantadori S. Stress intensity factors and fatigue growth of surface cracks in notched shells and round bars: two decades of research work. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 2013, vol. 36, no. 11, pp. 1164–1177.
20. Arumugam T., Karuppanan S., Ovinis M. Finite element analyses of corroded pipeline with single defect subjected to internal pressure and axial compressive stress. *Marine Structures*, 2020, vol. 72, pp. 102746.

## Calculation of stresses in a spherical shell with internal surface defects

© 2020

**Olga S. Sedova**, PhD (Physics and Mathematics),

senior lecturer of Chair of Computational Methods of Mechanics of Solids

*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg (Russia)*E-mail: [o.s.sedova@spbu.ru](mailto:o.s.sedova@spbu.ru)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9097-8501>

**Abstract:** Pressure vessels, in particular cylindrical and spherical thin-walled vessels, are widely used in the industry. The aggressive impact of the environment during operation, as well as workloads, lead to the gradual accumulation of defects in structures. Since local defects act as stress concentrators, to ensure the strength and reliability of a structure, it is necessary to take into account the stress concentration near the defects. The paper considers a thin-walled sphere under pressure with the damages on its inner surface. The author modeled the defects as spherical notches immersed to the depth equal to half of their radius. Defects are evenly spaced along one of the circumferences of a large sphere. To estimate the stress state, the author built 3-D models of a spherical vessel with defects. The study considers the different number of defects and various sizes of defects; each parameter value corresponds to its geometry model. With the ANSYS Workbench package of finite element analysis, for each model, the author carried out the application of loads (pressure acts on the inner surface of a vessel), model decomposition into finite elements, and builds the field of maximum normal stresses distribution in a body. Calculations are made in the framework of the linear theory of elasticity. The author carried out a numerical experiment to study the influence of the number of surface defects on the stress state within their neighborhood. The paper studies the dependence of calculated stresses in the body on the depth of defects. The study showed that with an increase in the number of defects, as well as with an increase in their depth, the maximum normal stress increases.

**Keywords:** finite element method; pressure vessels; stress state; spherical shell; surface defect.

**Acknowledgements:** The work was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 18-71-00071.

The paper was written on the reports of the participants of the IX International School of Physical Materials Science (SPM-2019) with elements of a scientific school for young adults, Togliatti, September 9–13, 2019.

**For citation:** Sedova O.S. Calculation of stresses in a spherical shell with internal surface defects. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 2, pp. 68–73. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-2-68-73.