

УДК 539.3

**О. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, Ю. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, В. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК****ДИСКРЕТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА**

В работе представлены результаты проведенного исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, содержащих поверхности после проведенной технологической обработки - дискретного упрочнения, на примере толстостенного цилиндра нагруженного высоким внутренним давлением. Проведенное исследование было проведено с помощью метода конечных элементов. Проведен анализ полученных численных показателей компонент напряженно-деформированного состояния и коэффициента запаса для элементов конструкции.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, дискретное упрочнение, толстостенный цилиндр, коэффициент запаса, полные перемещения, полные деформации, пластические деформации, давление, прочность, конечно-элементная модель

**Введение.** В настоящее время существует достаточное количество различных технологий для повышения прочностных и триботехнических свойств контактирующих деталей и механизмов. Дискретное упрочнение является одним из наиболее эффективных методов увеличения прочностных и триботехнических свойств контактирующих тел [1–5]. При этом технология дискретного упрочнения позволяет повысить трибологические и прочностные характеристики обработанных деталей.

Однако отсутствие подробных исследований и анализов контактного взаимодействия обработанных деталей проводимых в данном направлении позволяет ей оставаться актуальной. Одним из примеров может быть работа посвященная дискретному упрочнению трущихся контактных пар [6].

Эксплуатационные характеристики элементов и механизмов большей степени зависят от взаимодействия контактных пар, который в действительности является по своей структуре дискретным, т.е. контакт происходит на отдельных взятых островках.

Технологию дискретного упрочнения поверхности можно применить и не только для контактирующих тел, данную технологию упрочнения можно применить и для тел и конструкций, работающих при высоких давлениях.

В процессе эксплуатации различных механизмов и деталей встречаются элементы, которые представляют собой цилиндрические тела, работающие под действием высокого внутреннего давления. При этом исследование дискретно упрочненных тел является достаточно сложной задачей и требует создания комплексной методологии исследований.

**Цель работы** – создание модели дискретно упрочненной зоны на примере выделенного сектора толстостенной трубы, нагруженной высоким внутренним давлением, с дискретно упрочненным сферическим элементом, образованным вследствие проведения технологической обработки.

**Постановка задачи.** На рис. 1 представлена рассматриваемая геометрическая модель сектора толстостенного цилиндра, с выделенным сферическим элементом, который образован после проведения технологической обработки.

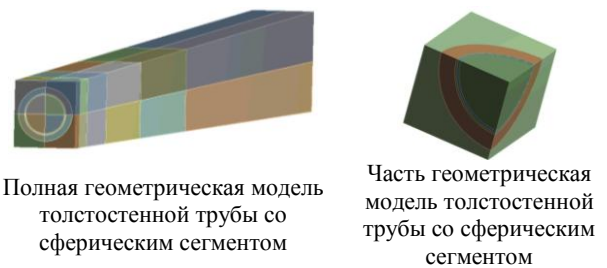


Рис. 1 – Геометрическая модель исследуемого объекта

В процессе моделирования соответствующим плоскостям модели были определены соответствующие свойства циклической и осевой симметрии. На рис. 2 представлены области с соответствующими симметриями.

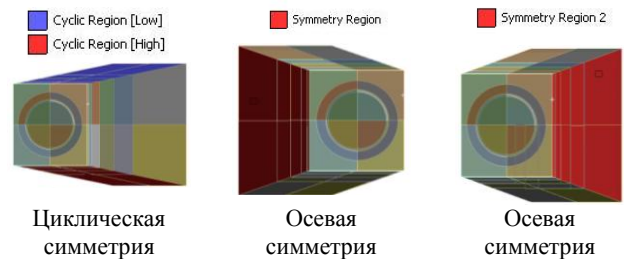


Рис. 2 – Симметрии, накладываемые на модель

Построенная конечно-элементная модель насчитывала 65 тыс. элементов различных типов. Конечно-элементная модель сектора толстостенной трубы со сферическим сегментом представлена на рис. 3.

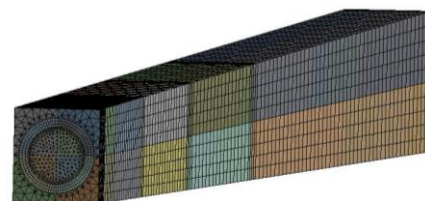
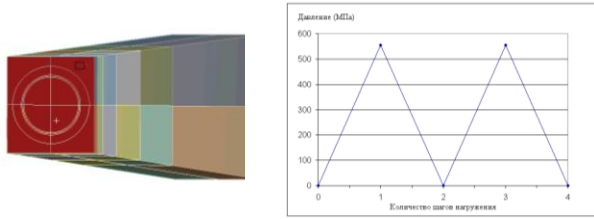


Рис. 3 – Конечно-элементная модель ствола со сферическим сегментом

В качестве нагрузки являлось давление, прикладываемое к внутренней поверхности сектора трубы, равное 554,66 МПа. При этом, прикладываемое давление вызывает необратимые пластические

деформации. В процессе моделирования нагрузка прикладывалась два раза, с промежуточным полным разгрузением. На рис. 4 представлена область нагружения и график изменения давления по шагам.



Область нагружения      Нагрузка по шагам нагружения  
 Рис. 4 – Нагрузка (область нагружения и график с изменением величины давления по шагам)

В ходе проведенного исследования были рассмотрены несколько расчетных схем: 1-я расчетная схема – учитывались свойства материала для дискретной упрочненной области и переходных слоев (для дискретной области); 2-я расчетная схема - без учета свойств материала для дискретной области и переходных слоев, для дискретной упрочненной области и переходных слоев назначались свойства основного материала; 3-я и 4-я расчетные схемы были аналогичны 1-й и 2-й по физико-механическим характеристикам материалов. Однако, отличия заключались в следующем: 1-я и 2-я расчетная схема учитывали упруго-пластические характеристики материалов, а 3-я и 4-я - только упругие характеристики.

**Результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния сегмента толстостенной трубы.** По результатам проведенных исследований были получены компоненты напряженно-деформированного состояния элементов исследуемой конструкции, также был определен коэффициент запаса для сферического сегмента и всего сегмента толстостенной трубы для всех шагов нагружения.

На рис. 5–10 представлены изменения от шага нагружения максимальные числовые показатели для эквивалентных напряжений, полных перемещений, полных деформаций, пластических деформаций (для 1-й и 2-й расчетных схем), коэффициента запаса для полной модели и отдельно для сферического сегмента, для всех расчетных схем, соответственно.

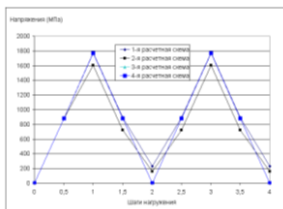


Рис. 5 – Максимальные эквивалентные напряжения по von Mises (МПа)

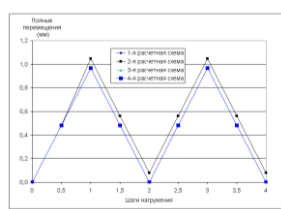


Рис. 6 – Максимальные полные перемещения (мм)

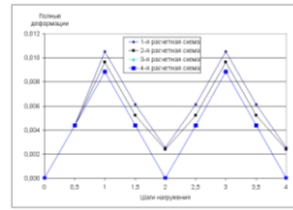


Рис. 7 – Максимальные полные деформации

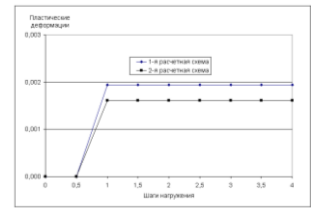


Рис. 8 – Максимальные пластические деформации

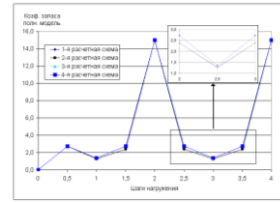


Рис. 9 – Коэффициент запаса для полной модели

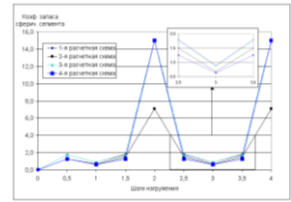
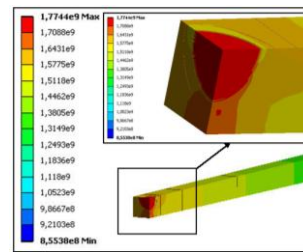
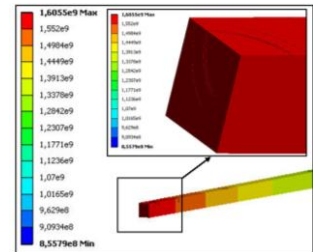


Рис. 10 – Коэффициент запаса для сферического сегмента

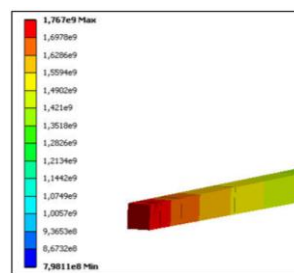
Ниже на рис. 11–15 приведены поля распределения эквивалентных напряжений, поля полных и пластических (для 1-й и 2-й расчетных схем) деформаций, коэффициент запаса для полной геометрии и сферического сегмента, для всех расчетных схем, соответственно. Представленные изображения выведены для 1/4 части модели, для 3-го шага нагружения, который соответствует максимальному значению давления (см. рис. 4).



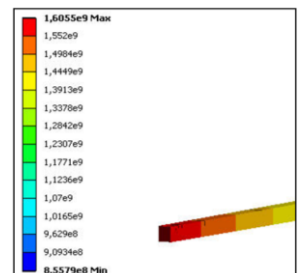
1-я расчетная схема



2-я расчетная схема

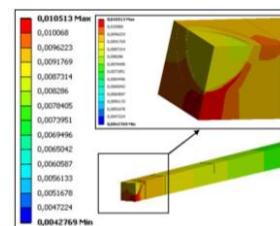


3-я расчетная схема

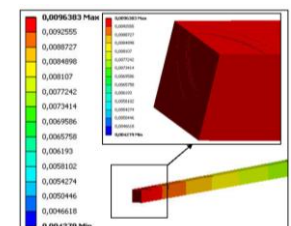


4-я расчетная схема

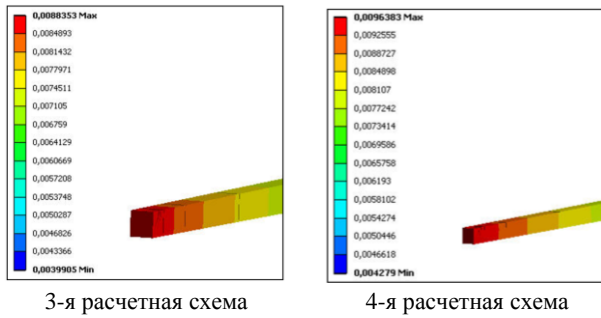
Рис. 11 – Эквивалентные напряжения по von Mises (Па)



1-я расчетная схема



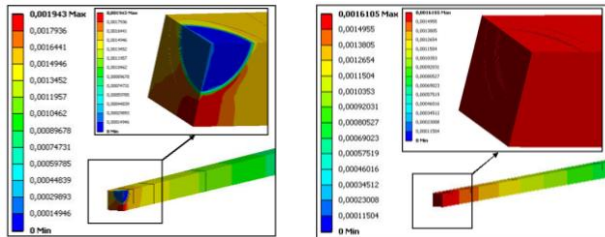
2-я расчетная схема



3-я расчетная схема

4-я расчетная схема

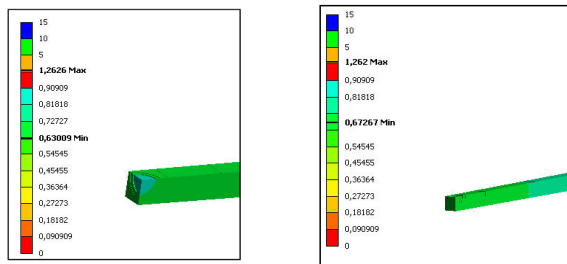
Рис. 12 – Полные деформации



1-я расчетная схема

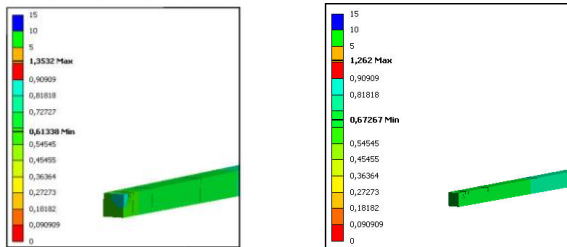
2-я расчетная схема

Рис. 13 – Пластические деформации



1-я расчетная схема

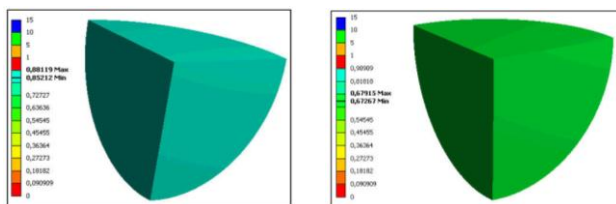
2-я расчетная схема



3-я расчетная схема

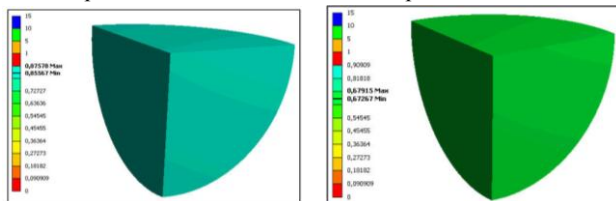
4-я расчетная схема

Рис. 14 – Коэффициент запаса для полной модели



1-я расчетная схема

2-я расчетная схема



3-я расчетная схема

4-я расчетная схема

Рис. 15 – Коэффициент запаса для сферического сегмента

Из анализа проведенных исследований можно заключить следующие выводы:

1) разработана методология исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций после проведения технологической обработки поверхности - дискретного упрочнения;

2) из рассмотрения полученных числовых показателей, описывающих напряженно-деформированное состояние видно, то что полученные величины имеют небольшой разброс, однако числовые показатели, соответствующие коэффициенту запаса для сферического сегмента (области, образованной после проведения технологической обработки) то они существенно различны, таким образом, при учете физико-механических свойств материала после проведения дискретного упрочнения повышается коэффициент запаса на 20%.

Разработанную методику предлагается применить в дальнейших задачах исследования элементов конструкций и конструкций, которые содержат элементы, поверхности которых подверглись технологической обработки - дискретному упрочнению.

**Список литературы:** 1. Гончаров В. Г. Дискретная обработка – эффективный способ упрочнения деталей машин / Б. В. Савченко, В.Г. Гончаров, А.Н. Леоненко // Механiка та машинобудування. – 2010. – №1. – С. 44-49. 2. Гончаров В.Г. Исследование изменения характеристик трения по глубине дискретного слоя / В. Г. Гончаров, А. К. Олейник, Г. Г. Гринченко // Збiрник наукових праць Запорiзького національного технiч. ун-ту. – Запорiжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 100–101. 3. Ткачук М. А. Розробка наукових основ створення сприятливих поверхневих дискретно - континуальних полiв напружень у високонавантажених елементах машин/ М.А. Ткачук, В. М. Шеремет, Г. В. Ткачук, А. В. Грабовський// Механiка та машинобудування. – 2009. – №1. –С. 147-156. 4. Шеремет В. М. Дослiдження напружено - деформованого стану деталей машин з дискретним змiцненням / В. М. Шеремет, М.А. Ткачук, Т. О. Васильєва// Вiсник НТУ«ХП». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2010. – №19. – С. 150-155. 5. Шеремет В.Н. Повышение ресурса тяжело нагруженных элементов ДВС путем дискретного упрочнения деталей. Моделирование напряженно - деформированного состояния/ В.Н. Шеремет, Н.А. Ткачук, В. Г. Гончаров// Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 118-123. 6. Шеремет В. Н., Веретельник О.В., Литвин Б.Я., Шейко А.И., Кравченко С.А., Особенности распределения контактных давлений в сопряжении деталей с дискретным упрочнением // Вiсник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Серiя: Машинознавство та САПР. – Харкiв : НТУ «ХП», 2013. – № 1 (975). – С. 175-179

**Bibliography (transliterated):** 1. Goncharov V. G. Diskretnaya obrabotka – effektivnyy sposob uпрочneniya detaley mashin / B. V. Savchenko, V.G. Goncharov, A.N. Leonenko // Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2010. – No1. – P. 44-49. 2. Goncharov V.G. Issledovanie izmeneniya harakteristik treniya po glubine diskretnogo sloya / V. G. Goncharov, A. K. Oleynik, G. G. Grinchenko // ZbIrnik naukovih osnov stvorenniya spriyatlivih poverhnevih diskretno - kontinualnih poliV napruzhen u visokonavantazhenih elementah mashin / M.A. Tkachuk, V. M. Sheremet, G. V. Tkachuk, A. V. Grabovskiy // Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2009. – No1. – P. 147-156. 4. Sheremet V. M. DoslIdzhennya napruzhenno - deformovanogo stanu detaley mashin z diskretnim zmItsnenniam / V. M. Sheremet, M.A. Tkachuk, T. O. Vasileva // VIsnik NTU«KhP». vyp.: Mashinoznastvo ta SAPR. – 2010. – No19. – P. 150–155. 5. Sheremet V.N. Povyishenie resursa tyazhelonagruzhenyih elementov DVS putem diskretnogo uпрочneniya detaley. Modelirovaniye napryazhenno- deformirovannogo sostoyaniya / V.N. Sheremet, N.A. Tkachuk, V. G. Goncharov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2010. – No2. – P. 118–123. 6. Sheremet V. N., Veretelnik O.V., Litvin B.Ya., Sheyko A.I., Kravchenko S.A. Osobennosti

raspredeleniya kontaknyih davleniy v sopryazhenii detaley s Seriya: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2013. –  
diskretnym uprochneniem // Visnik NTU «KhPI». Zb. nauk. prats. No 1 (975). – P. 175-179.

*Поступила (received) 05.07.2015*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Веретельник Олег Викторович** младший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», г. Харьков, (057) 70-76-901;

**Veretelnik Oleg Viktorovich** Junior Researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of "Theory and computer-aided design of mechanisms and machines ", Kharkiv, (057) 70-76-901.

**Веретельник Юрий Викторович** научный сотрудник, индустриальная группа АО «УПЭК», г. Харьков.

**Veretelnik Yuriy Viktorovich** Researcher, Industrial Group "UPEC", Kharkiv.

**Веретельник Виктор Владимирович** кандидат физико-математических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «Прикладная математика», г. Харьков, (057) 70-76-032.

**Veretelnik Viktor Vladimirovich** candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher, Department of "Applied Mathematics", Kharkiv, (057) 70-76-032.