

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.23.05

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-79-89

## ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОЖА ГЕЛИКОИДНОЙ ФОРМЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА

Нозирзода Шодмон Салохидин,  
Ефременков Андрей Борисович

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

\* для корреспонденции: shoni\_1997@mail.ru



### Информация о статье

Поступила:

20 февраля 2024 г.

Одобрена после  
рецензирования:

15 мая 2024 г.

Принята к публикации:

29 мая 2024 г.

Опубликована:

13 июня 2024 г.

### Ключевые слова:

геоход, ножевой  
исполнительный орган,  
изготовление, аддитивные  
технологии, топологическая  
оптимизация, массовые  
характеристики

### Аннотация.

Для реализации различных конструктивных решений, которые были предложены авторами по формированию геликоидной формы ножа геохода, потребуются обоснованные технологические решения по изготовлению и быстрому прототипированию ножей в условиях единичного производства. Процесс аддитивного производства позволяет создавать сложные геометрические формы и структуры, которые трудно или невозможно достичь с использованием традиционных методов производства. Преимущества использования аддитивного производства для изготовления ножа геликоидной формы включают возможность быстрой и точной реализации сложных дизайнов, индивидуальный подход к проектированию и производству, а также уменьшение времени и затрат на изготовление прототипов и мелкосерийных партий. Важно учитывать особенности материала и технические характеристики конечного изделия для обеспечения его эффективной работы в условиях эксплуатации геохода. В связи с этим технологии аддитивного производства в таких условиях для изготовления ножей геликоидной формы исполнительного органа геохода являются альтернативным вариантом и не требуют больших затрат на изготовление технологической оснастки и других технических средств, которые потребуются в процессе изготовления по традиционному методу. С целью уменьшения массовых характеристик проведена топологическая оптимизация геликоидных форм ножей с сохранением наилучших показателей жесткости конструкции и выполнением условий прочности. Топологическая оптимизация производилась в специализированном программном обеспечении (ПО) SolidWorks. В результате исследования получены оптимальные геликоидальные формы ножей исполнительного органа геохода с точки зрения экономии материала с сохранением условий жесткости и прочности конструкции. Также в ходе данной работы была получена зависимость коэффициента прочности ножа прямой геликоидной формы от процента уменьшения массы. Предполагается, что в дальнейшем для изготовления данных форм будет использована технология селективного лазерного спекания.

**Для цитирования:** Нозирзода Ш.С., Ефременков А.Б. Обоснование возможности применения технологии аддитивного производства для изготовления ножа геликоидной формы исполнительного органа геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 79-89. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-79-89, EDN: MELRYS

**Актуальность работы.**

Для разрушения мягких пород в конструкции нового проходческого агрегата – геохода [1-4] авторами предлагается применять исполнительные органы с геликоидными

формами ножей [5-11]. Для получения ножа с геликоидной формой предлагается применять различные технологические решения, которые в первую очередь зависят от типа производства изделия. При единичном производстве

Таблица 1. Обзор способов аддитивных технологий для изготовления ножа исполнительного органа геохода

Table 1. Overview of the methods of additive technologies for the manufacture of the body of the executive body of the geokhod

Технологии аддитивного производства	Особенности применения	Возможности применения при изготовлении ножа исполнительного органа геохода
Селективное лазерное спекание (SLS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- большой широкий выбор материалов;</li> <li>- минимальные затраты на постобработки;</li> <li>- низкая производительность из-за длительного работа лазера;</li> <li>- массовое и мелкосерийное изготовление продуктов с индивидуальными характеристиками;</li> <li>- надежность и прочность готовой продукции.</li> </ul>	не рекомендуется
Непрямое лазерное спекание металлов (IMLS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- широкий спектр металлов;</li> <li>- благодаря использованию металлического порошка и лазера высокой мощности создаются объекты с высокой прочностью и долговечностью;</li> <li>- не требуются опорные структуры для создания сложных геометрических форм, и это позволяет создавать объекты с внутренними полостями и сложными структурами;</li> <li>- обеспечивает высокую точность и детализацию при создании металлических объектов;</li> <li>- технология позволяет быстро создавать металлические объекты, так как лазер спекает металлический порошок по слоям;</li> <li>- технология позволяет использовать металлический порошок в больших количествах, что делает его экономически выгодным методом производства;</li> <li>- технология позволяет использовать различные металлические сплавы с разными свойствами, такими как прочность, термостойкость и теплопроводность, и это позволяет создавать объекты с оптимальными характеристиками для конкретных приложений.</li> </ul>	рекомендуется
Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступен большой выбор металлов в т.ч. числе суперсплавы;</li> <li>- возможность реализации сложных геометрических форм;</li> <li>- сокращение сроков выполнения заказа благодаря отсутствию инструментов;</li> <li>- обеспечивается высокая точность, нужно применять для деталей, которым требуются высокая прочность и стойкость с динамических и статических нагрузок.</li> </ul>	рекомендуется
Селективное лазерное плавление (SLM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечивает высокую плотность и прочность создаваемых объектов благодаря полному плавлению металла;</li> <li>- технология позволяет использовать различные металлические материалы, включая нержавеющую сталь, алюминий, титан и другие сплавы;</li> <li>- может потребоваться использование опорных структур для поддержки объекта во время процесса плавления и охлаждения;</li> <li>- обеспечивается высокая точность, нужно применять для деталей, которым требуются высокая прочность и стойкость</li> </ul>	рекомендуется

альтернативным вариантом технологии изготовления ножей с геликоидными формами является применение аддитивных способов.

Аддитивные способы получения деталей – это процесс создания трехмерных объектов путем наложения материала слой за слоем на основе цифровой модели. Данный способ позволяет изготавливать детали, такие как нож геликоидной формы со сложной геометрией, который трудно получить с использованием традиционных методов обработки материалов. В Таблице 1 приведены основные аддитивные способы для металлических изделий и их особенности применения.

Приведенный обзор основных технологий аддитивного производства для металлических изделий показывает, что методы DMLS и SLM представляют собой альтернативные технологии аддитивного производства ножей исполнительного органа геолода. Данные методы обеспечивают высокую точность, детализацию и возможность создания ножей сложных геометрических форм.

**Цель работы:** исследование возможности применения технологии аддитивного производства при изготовлении геликоидной формы ножа исполнительного органа геолода и проведение топологической оптимизации данных форм.

**Методы исследования.** Топологическую оптимизацию формы можно применить для упрощения геометрии ножа с целью улучшения характеристик, таких как прочность, жесткость, вес и т.д. В данной работе рассматривается оптимизация с целью уменьшения массы и сохранения прочностных свойств и жесткости ножа исполнительного органа. Для реализации и изготовления оптимизированных форм предполагается применить метод аддитивной технологии – селективное лазерное сплавление (SLM).

Как было уже ранее определено [12], для изготовления ножа исполнительного органа можно использовать такие материалы, как дисперсионно-твердеющие стали, никелевый и кобальтовый сплав. В качестве альтернативных вариантов, как отмечается в работах [13-18],

можно применить инструментальную сталь AISI H13. Данный материал является высокоуглеродистым, это хромомолибденовая инструментальная сталь, которая обладает высокой твердостью, прочностью и устойчивостью к тепловому воздействию. Она часто используется для изготовления деталей, работающих при высоких температурах и требующих высокой износостойкости. AISI H13 также обладает хорошей способностью сохранять остроту режущего края и устойчивостью к трещинам при работе с твердыми материалами.

Кинематические граничные условия и схема нагружения для разной формы ножа принимаем такими же, как и в работе [20]. Кроме того, необходимо учесть следующие требования для оптимизированных форм ножей:

- оптимизированные формы ножей должны быть представлены с учетом специфики работы проходческого агрегата и его рабочих условий, чтобы обеспечить наилучшее качество резания и обработки горной породы;

- ножи не должны подвергаться разрушению от заданных внешних нагрузок;

- ножи не должны иметь остаточных деформаций (в 1,25 раза меньше расчетных);

- необходимо сохранить целостность конструкции тела ножа исполнительного органа без формирования сквозных отверстий;

- необходимо сохранить достаточный слой материала передней и задней поверхности для дальнейшей механической обработки режущей кромки ножа;

- необходимо сохранить геометрии плоскостей для правильного базирования ножа при механической обработке.

Процесс топологической оптимизации производился в специализированной ПО SolidWorks. Топологическая оптимизация в SolidWorks – это метод оптимизации деталей, который позволяет автоматически удалять избыточный материал и улучшать конструкцию для достижения оптимальной прочности и жесткости при минимальном весе. В программе

Таблица 2. Механические свойства стали AISI H13 [19]

Table 2. Mechanical properties of AISI H13 steel [19]

Свойства	Единицы измерения	Значение
Предел прочности при растяжении, предельный (при 20° C / 68° F, зависит от термообработки)	МПа	1200–1590
Прочность на растяжение, предел текучести (при 20° C / 68° F, зависит от термообработки)	МПа	1000–1380
Уменьшение площади (при 20° C / 68° F)	%	50
Модуль упругости (при 20° C / 68° F)	ГПа	215
Коэффициент Пуассона		0,27-0,30

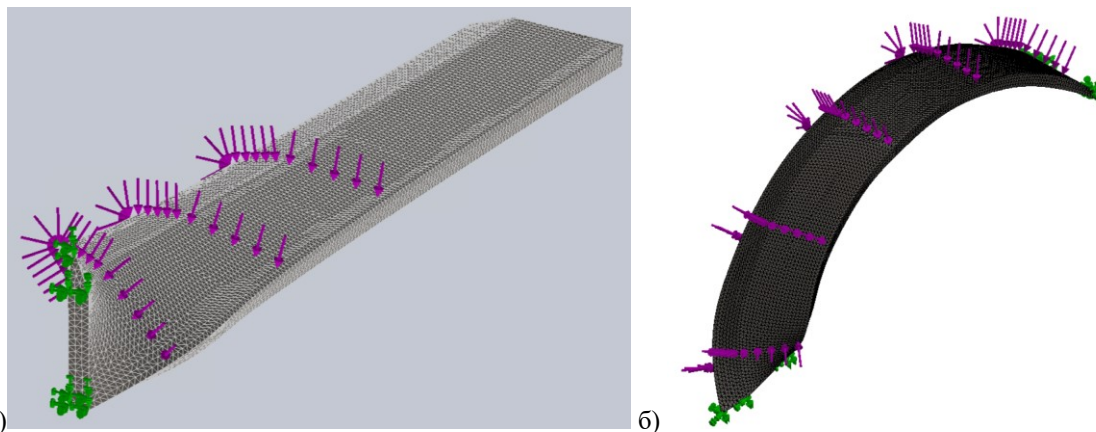


Рис. 1. Полученные сетки для решения топологической оптимизации формы ножа (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)  
 Fig. 1. The obtained grids for solving the problem of topological optimization of the shape of the bladed (a – straight helicoidal shape, b – convex helicoidal shape)

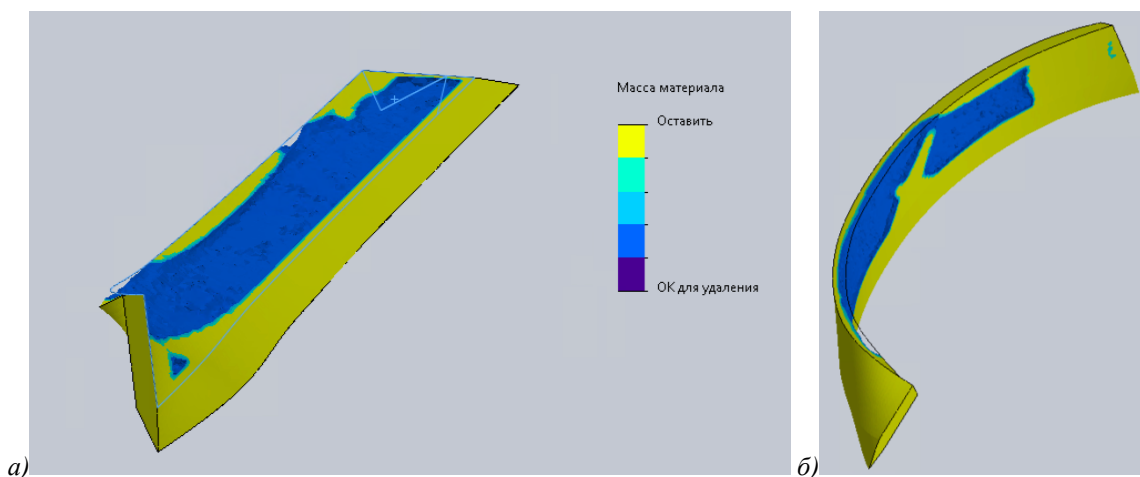


Рис. 2. Процесс топологической оптимизации формы ножей (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)  
 Fig. 2. The process of topological optimization of the shape of blades (a – straight helicoid shape, b – convex helicoid shape)

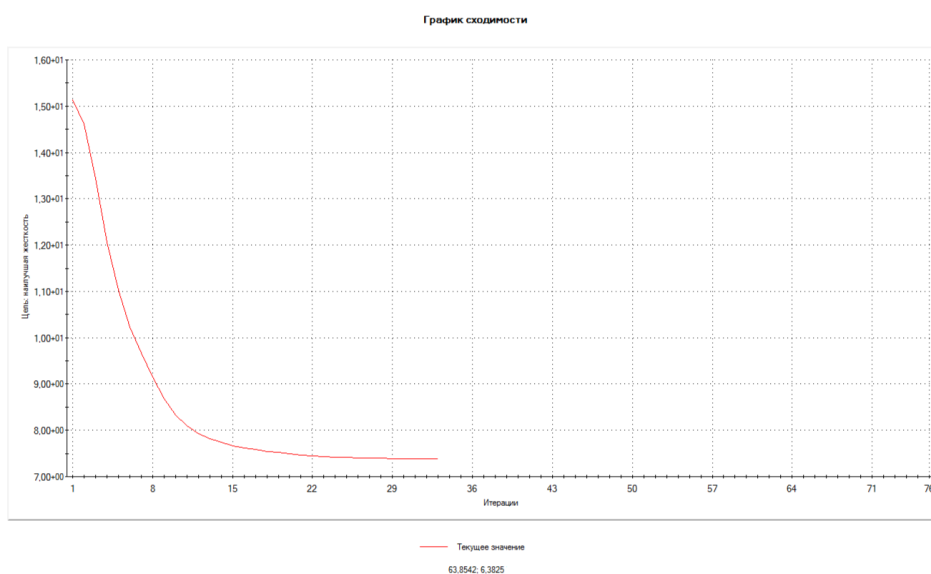


Рис. 3 График сходимости значения жесткости конструкции для прямой геликоидной формы ножа  
 Fig. 3. Convergence graph the value of structural rigidity for the straight helical shape of the bladed

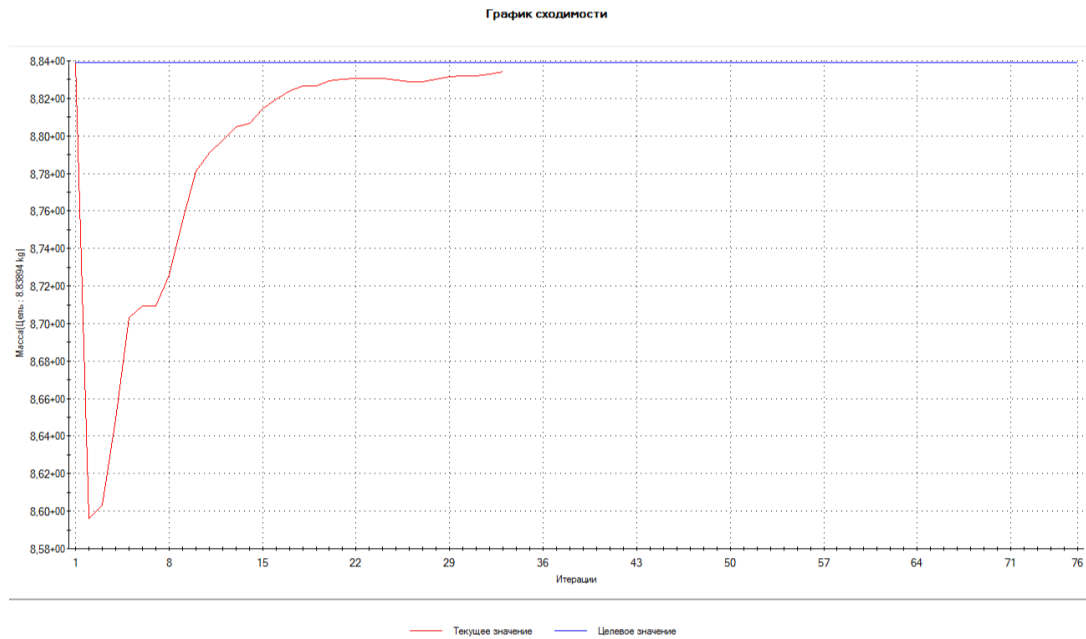


Рис. 4. График сходимости значения массы ножа для прямой геликоидной формы  
 Fig. 4. Graph of convergence of the bladed mass value for a straight helicoidal shape

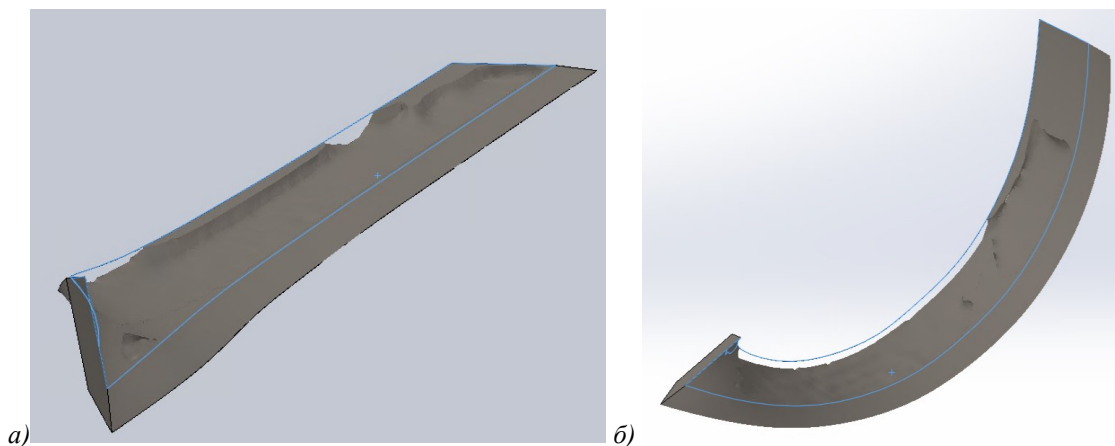


Рис. 5. Полученные формы ножей в результате топологической оптимизации  
 (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)  
 Fig. 5. The resulting blades shapes as result of topological optimization  
 (a – straight helicoid shape, b – convex helicoid shape)

SolidWorks доступен инструмент Topology Study, который позволяет проводить топологическую оптимизацию деталей. Таким образом, использование топологической оптимизации в программе SolidWorks позволяет создавать более эффективные и оптимизированные детали, что может привести к снижению затрат на материалы и улучшению характеристик конструкции.

**Результаты.** Для оптимизации формы ножей был задан критерий достижения максимальной жесткости при целевых параметрах массы. Исходя из заданных условий эксплуатации и сформулированных требований возникающих нагрузок, в результате исследования были

получены сетки для решения топологической оптимизации формы ножей (Рис. 1).

После получения сетки для решения задач по топологической оптимизации была получена эпора распределения масс материала для удаления и сокращения массы с целью сохранения достаточной жесткости конструкции (Рис. 2).

После проведения ряда итерации были получены новые геометрические формы, которые удовлетворяют условиям жесткости конструкции, а также построены графики сходимости (Рис. 4) для значения массы ножей и графики сходимости по наилучшему значению жесткости конструкции (Рис. 3).

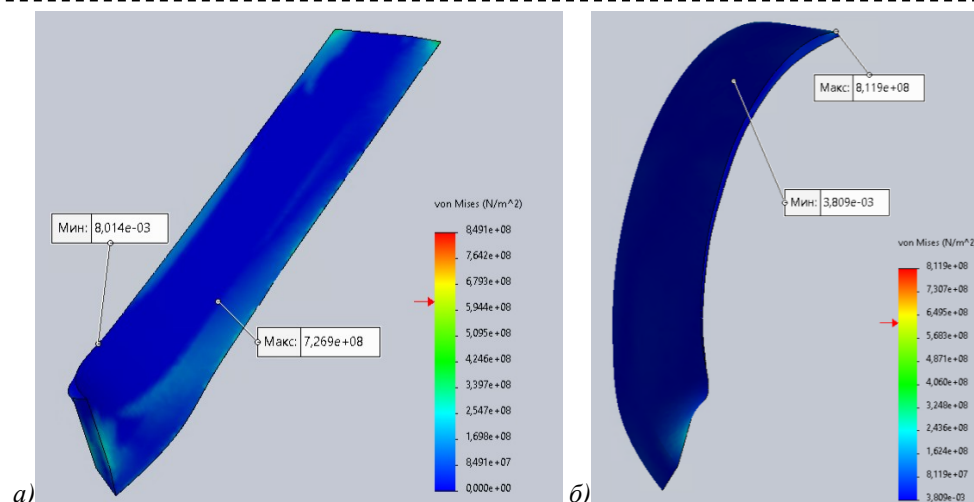


Рис. 6. Эпюры распределения эквивалентных напряжений оптимизированных форм ножей (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)

Fig. 6. Diagram of the distribution of equivalent stresses of the optimized shape of the straight helicoid bladed (a – straight helicoid shape, b – convex helicoid shape)

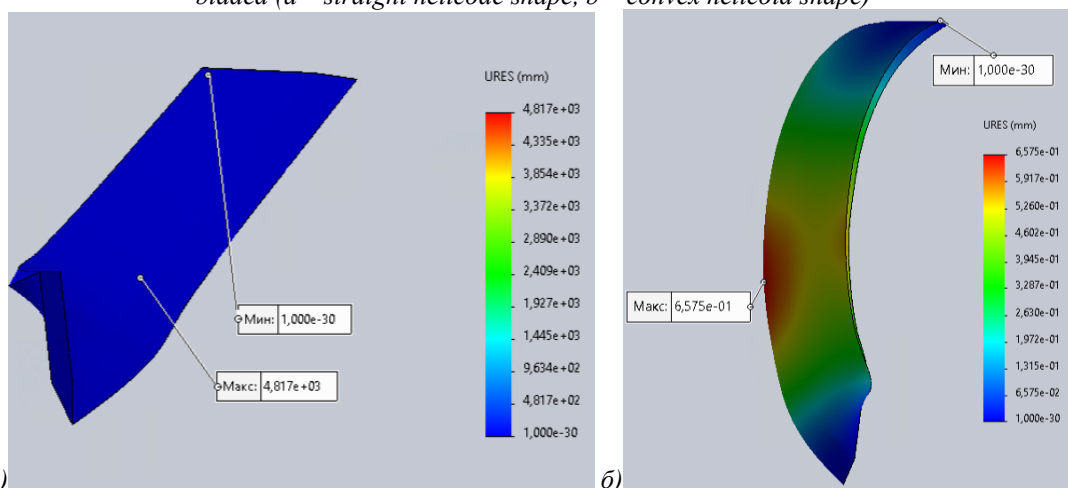


Рис. 7. Эпюры распределения радиальных перемещений оптимизированных форм ножей (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)

Fig. 7. Plot of the distribution of radial displacements of the optimized shape of the straight helicoid bladed (a – straight helicoid shape, b – convex helicoid shape)

В результате топологической оптимизации построены эпюры распределения масс с сохранением достаточной жесткости конструкции и получены новые формы ножей, которые приведены на Рис. 5.

Для проверки выполнения условия прочности полученных новых форм ножей по результатам топологической оптимизации получены эпюры распределения эквивалентных напряжений оптимизированных форм ножей, которые приведены на Рис. 6.

Из эпюры распределения эквивалентных напряжений оптимизированных форм ножей можно отметить, что при уменьшении массы на 50% для прямой геликоидной формы, на 45% для выпуклой геликоидной формы условия прочности при применении стали AISI H13 выполняются. На Рис. 7 приведены эпюры распределения радиальных перемещений

оптимизированных геликоидных форм ножей (прямой и выпуклой).

На Рис. 8 приведены эпюры результирующей деформации оптимизированных геликоидных ножей.

Результаты топологической оптимизации формы ножей и полученные их значения приведены в Таблице 3.

С целью выявления зависимости процента уменьшения массы и возникающих максимальных напряжений были рассмотрены различные проценты уменьшения масс с сохранением достаточной жесткости конструкции. По полученным максимальным значениям напряжения был рассчитан коэффициент прочности при разных значениях процента уменьшения массы, и на Рис. 8 приведена зависимость коэффициента прочности



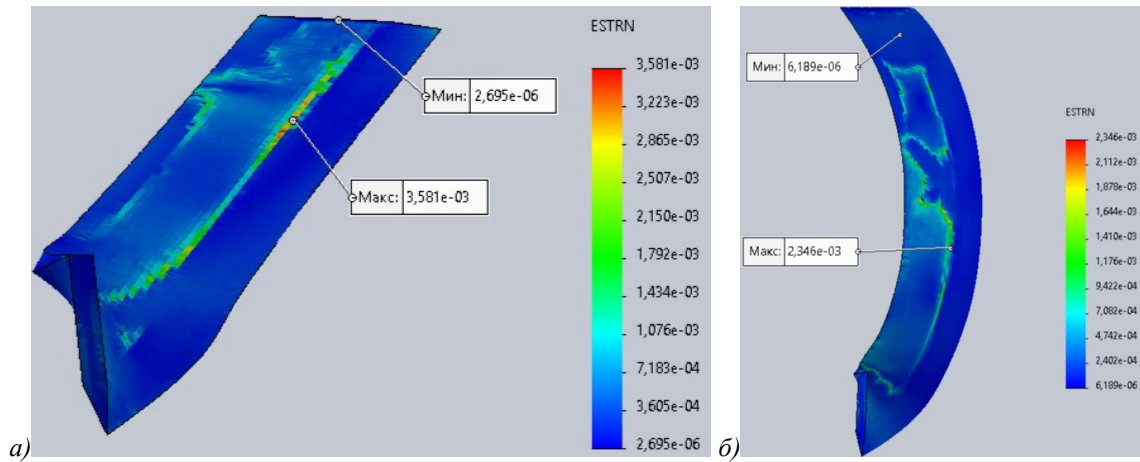


Рис. 8. Эпюры результирующей деформации оптимизированных форм ножей (а – прямой геликоидной формы, б – выпуклой геликоидной формы)

Fig. 8. Is a plot of the resulting deformation of the optimized shape of the straight helicoid bladed (a – straight helicoid shape, b – convex helicoid shape)

Таблица 3. Результаты топологической оптимизации формы ножей  
Table 3. Results of topological optimization of the shape of blades

Характеристики	Единицы измерения	Формы ножей	
		Геликоидная прямая	Выпуклая геликоидная
Исходная масса деталей	кг	17,9129	16,4785
Коэффициент Якобиана		2,12	1,35
Масса детали с новой формы	кг	8,9564	9,0632
Максимальное напряжение полученной формы	МПа	726,9	811,916
Максимальное радиальное перемещение полученной формы	мм	4,817	0,6575
Коэффициент запаса прочности		1,376	1,232

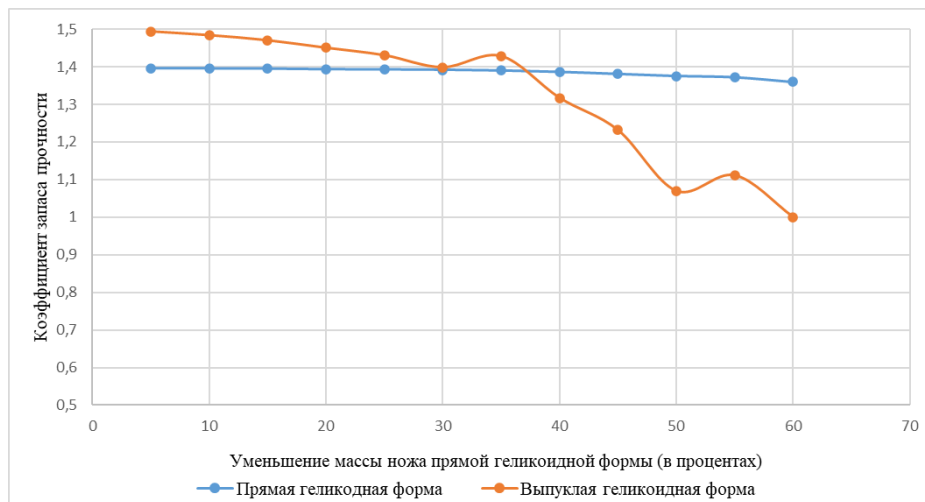


Рис. 8. Зависимости коэффициента прочности ножа от процента уменьшения массы  
Fig. 8. Dependences of the bladed strength coefficient on the percentage of weight reduction

ножа прямой геликоидной формы от процента уменьшения массы.

В результате топологической оптимизации можно отметить, что в эпоху эквивалентных напряжений распределение напряжения является неравномерным, это обуславливается обеспечением необходимых требований жесткости конструкции. Результатом

топологической оптимизации является снижение массы ножей при различных формах. Для прямого ножа удалось снизить массу до 50%, для выпуклой геликоидной формы ножа – до 45% с сохранением условием прочности и жесткости конструкции. Полученные формы в результате топологической оптимизации изготавливаются аддитивным способом – селективное лазерное

плавление. В условиях единичного производства применение данного способа является целесообразным решением, позволяющим использовать различные металлические материалы, обеспечивая высокую точность, прочность и стойкость получаемой детали.

#### Список литературы

1. Кобылянский Д. М. Винтовой перегружатель проходческого комплекса // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей / Под общей редакцией Фрянова В. Н. Новокузнецк : Сибирский государственный индустриальный университет; 2011. С. 79–83. EDN RVEATN.

2. Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Казанцев А. А. [и др.] Опыт участия в проекте по организации высокотехнологичного производства // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8(126). С. 8–15. EDN WWDBRT.

3. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Пашков Д. А. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геолода для разрушения пород малой крепости // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6(118). С. 8–15. EDN XVKMRL.

4. Садовец В. Ю., Пашков Д. А. Обоснование необходимости создания барового исполнительного органа геолода для разрушения пород крепостью до 1 по шкале профессора Протодяконова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 29–30 ноября 2017 года / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017. С. 381–385. EDN YMKXNL.

5. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. The Influence of Parameters on the Generatrix of the Helicoid Form Guide of Geokhod Bar Working Body // E3S Web of Conferences: The Second International Innovative Mining Symposium. Vol. 21. Kemerovo : EDP Sciences, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103008. EDN ZRRZCX.

6. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of conferences. Vol. 15. Kemerovo, Russian Federation : EDP Sciences, 2017. P. 03015. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503015. EDN YNHUSR.

7. Аксенов В. В., Садовец В. Ю. Синтез технических решений исполнительных органов геолодов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6–1(57). С. 64–68. EDN YTNCXD.

8. Аксенов В. В., Садовец В. Ю. Синтез

технических решений ножевого исполнительного модуля геолода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6–2(58). С. 33–37. EDN KXGTZB.

9. Пашков Д. А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геолода для разрушения мягких пород // Развитие – 2021: Научное электронное издание, Кемерово, 11–13 мая 2021 года. Кемерово : Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. С. 42–55. DOI: 10.53650/9785902305620\_42. EDN POJAYX.

10. Козлов И. В., Садовец В. Ю., Садовец Р. В. Разработка методики построения твердотельной модели тела ножевого исполнительного органа геолода // Техника и технология горного дела. 2022. № 2(17). С. 67–86. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86. EDN SXRDEM.

11. Пашков Д. А., Садовец В. Ю. Влияние геликоидности исполнительного органа на силовые параметры взаимодействия его с породой забоя // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 13–14 апреля 2022 года. Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, 2022. С. 58–62. EDN VAOLAB.

12. Нозирзода Ш. С., Ефременков А. Б., Оганесян А. С. Обоснование выбора материала для изготовления ножа исполнительного органа геолода // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15, № 2(56). С. 462–472. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-462-472. EDN KTXZRB.

13. Салихов Р. В., Кудимов О. В., Нагулин К. Ю., Гильмутдинов А. Х. Плазменная обработка металлических порошковых материалов для лазерных аддитивных технологий // Нигматуллинские чтения–2018: Международная научная конференция. Тезисы докладов, Казань, 09–12 октября 2018 года. Том II. Казань : Академия наук Республики Татарстан, 2018. С. 139–141. EDN VRGUDC.

14. Кравец Д. В. SLM-технология: анализ опорных структур изделий в зависимости от материала // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : сборник статей по материалам СП студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 10 июня 2021 года. Том 6 (101). Новосибирск : Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская академическая книга», 2021. С. 145–151. EDN WFWWOT.

15. Вэнь Ч., Децзюнь К. Характеристики поверхности и высокотемпературный износ нитридного слоя, полученного в плазме на стали



H13 // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2019. № 11(773). С. 43–49. EDN UAUOIK.

16. Zheng Q., Mei Sh., Zhi X. [et al.] Investigation of the influence of boriding with rare earth elements on the properties of H13 die steel // *Fundamental'nye Problemy Sovremennogo Materialovedeniya*. 2022. Vol. 19. No. 3. P. 384-393. DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.03.011. – EDN TJBRVU.

17. Kattire P., Bhawar V., Thakare S., Singh R. Experimental characterization of laser cladding of Stellite 21 on H13 tool steel // *Electrotechnica and Electronica*. 2018. Vol. 53, No. 9-10. P. 248–254. EDN JAYHEE.

18. Гуанхуа Ю., Ксиминь Х., Янцинь В. [и др.] Влияние термической обработки на механические

свойства стали H13 // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2010. № 8(662). С. 46–48. EDN MUDXGZ.

19. Xiao H., Chen C., Zhang M. Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel/High-Speed Steel Composites Prepared by Laser Metal Deposition // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2020. Vol. 29, No. 1. P. 66–77. DOI: 10.1007/s11665-019-04476-3. – EDN YTURWF.

20. Нозирзода Ш. С. Обеспечение эксплуатационных свойств тела ножа геликоидной формы исполнительного органа геохода // *Горное оборудование и электромеханика*. 2023. № 3(167). С. 49–58. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-3-49-58. EDN NDWGIW.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Нозирзода Шодмон Салохидин**, аспирант, старший преподаватель кафедры ПТ, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: shoni\_1997@mail.ru

**Ефременков Андрей Борисович**, докт. техн. наук, профессор кафедры ПТ, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: abe73@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Нозирзода Шодмон Салохидин – научный менеджмент, обзор, анализ тематической литературы, написание текста.

Ефременков Андрей Борисович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, выводы, наименование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF USING ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR THE MANUFACTURE OF A HELICOID-SHAPED BLADED OF THE EXECUTIVE BODY OF THE GEOKHOD

Shodmon S. Nozirzoda,  
Andrey B. Efremenkov

Yaroslav the Wise Novgorod State University

\*for correspondence: shoni\_1997@mail.ru



#### Article info

Received:

20 February 2024

#### Abstract.

To implement various design solutions that were proposed by the authors on the formation of a geokhod bladed shape by a helicoid, sound technological solutions for the manufacture and rapid prototyping of blades in a single production environment will be required. The additive manufacturing process allows you to create complex geometric shapes and structures that are difficult or impossible to achieve using traditional production methods. The advantages of using additive manufacturing for the manufacture of a helicoid-shaped bladed include the ability to quickly and accurately implement complex

Accepted for publication:  
15 May 2024

Accepted:  
29 May 2024

Published:  
13 June 2024

**Keywords:** geokhod, bladed executive body, manufacturing, additive technologies, topological optimization, mass characteristics

designs, an individual approach to design and production, as well as reducing the time and cost of manufacturing prototypes and small-scale batches. It is important to take into account the characteristics of the material and the technical characteristics of the final product to ensure its effective operation in the operating conditions of the geokhod. In this regard, additive manufacturing technologies in such conditions for the manufacture of blades of the helicoid shape of the executive body of the geokhod is an alternative option and does not require large costs for the manufacture of technological equipment and other technical means that are required in the manufacturing process according to the traditional method. In order to reduce the mass characteristics, topological optimization of the helicoid shapes of the blades was carried out while maintaining the best structural rigidity and meeting the strength conditions. Topological optimization was performed in specialized Solidworks software. As a result of the study, optimal helicoidal shapes of the blades of the executive body of the geokhod were obtained from the point of view of saving material while maintaining the conditions of rigidity and structural strength. Also, in the course of this work, the dependence of the strength coefficient of a straight helicoid body on the percentage of weight reduction was obtained. It is assumed that in the future, selective laser sintering technology will be used to manufacture these molds.

**For citation:** Nozirezoda S.S., Efremenkov A.B. Justification of the feasibility of using additive manufacturing technology for the manufacture of a helicoid-shaped bladed of the executive body of the geokhod. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 2(162):79-89. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-79-89, EDN: MELRYS

#### REFERENCES

1. Kobylyansky D.M. Screw loader of the tunneling complex. *High-tech technologies for the development and use of mineral resources: collection of scientific articles*. Novokuznetsk. Under the general editorship of V.N. Fryanov. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University; 2011. EDN RVEATN.
2. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Kazantsev A.A. [et al.] Experience of participation in the project on the organization of high-tech production. *Mining equipment and electromechanics*. 2016; 8(126):8–15. EDN WWDBRT.
3. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Substantiation of the need to create an executive body of a geohod for the destruction of rocks of a small fortress. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016; 6(118):8–15. EDN XVKMRL.
4. Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Justification of the need to create a bar executive geohod body for the destruction of rocks with a fortress up to 1 on the scale of Professor Protodiakonov. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport: a collection of materials of the International scientific and practical conference*. Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2017. EDN YMKXNL.
5. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. The Influence of Parameters on the Generatrix of the Helicoid Form Guide of Geokhod Bar Working Body. *E3S Web of Conferences: The Second International Innovative Mining Symposium*, Kemerovo. Kemerovo: EDP Sciences, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103008. EDN ZRRZCX.
6. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces. *E3S Web of conferences, Kemerovo, Russian Federation*. 2017; 15:03015. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503015. EDN YNHUSR.
7. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu. Synthesis of technical solutions for executive bodies of geohods. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006; 6–1(57):64–68. EDN YTNCXD.
8. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu. Synthesis of technical solutions for the knife-shaped geohod module. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006. № 6–2(58):33–37. EDN KXGTZB.
9. Pashkov D.A. Substantiation of the power and energy parameters of the executive organs of the geohod for the destruction of soft rocks. *Razvitie–2021: Scientific electronic edition*, Kemerovo, May 11–13, 2021. Kemerovo: Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021. Pp. 42–55. DOI 10.53650/9785902305620\_42. EDN POJAYX.
10. Kozlov I.V., Sadovets V.Yu., Sadovets R.V. Development of a methodology for constructing a solid-state model of a knife executive body of a geohod. *Technique and technology of mining*. 2022; 2(17):67–86. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86. EDN SXRDEM.
11. Pashkov D.A., Sadovets V.Yu. The influence of the helicoid of the executive body on the power

parameters of its interaction with the rock face. *Prospects for innovative development of coal regions of Russia : Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Prokopyevsk: Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev" in Prokopyevsk, 2022. Pp. 58–62. EDN VAOLAB.

12. Nozirezoda S.S., Efremkov A.B., Oganesyan A.S. Justification of the choice of material for the manufacture of a knife of the executive body of the geohod. *Sustainable development of mountain territories*. 2023; 15, 2(56):462–472. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-462-472. EDN KTXZRB.

13. Salikhov R.V., Kudimov O.V., Nagulin K.Yu., Gilmutdinov A.H. Plasma processing of metal powder materials for laser additive technologies. *Nigmatullin readings - 2018 : International Scientific Conference. Abstracts*. Kazan, October 09-12, 2018. Vol. II. Kazan: Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; 2018. EDN VRGUDC.

14. Kravets D.V. SLM-technology: analysis of the supporting structures of products depending on the material. *Scientific community of students of the XXI century. Technical Sciences : a collection of articles based on the materials of the CII Student International Scientific and Practical conference*. Novosibirsk, June 10, 2021. Vol. 6 (101). Novosibirsk: Siberian Academic Book Limited Liability Company; 2021. EDN WFWWOT.

15. Wen Zh., Dejun K. Surface characteristics and high-temperature wear of the nitride layer obtained in plasma on steel H13. *Metal science and heat treatment of metals*. 2019; 11(773):43–49. EDN UAUOIK.

16. Zheng Q., Mei Sh., Zhi X. [et al.] Investigation of the influence of boriding with rare earth elements on the properties of H13 die steel. *Fundamental'nye Problemy Sovremennogo Materialovedenia*. 2022; 19(3):384–393. DOI: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.03.011. – EDN TJBRVU.

17. Kattire P., Bhawar V., Thakare S., Singh R. Experimental characterization of laser cladding of Stellite 21 on H13 tool steel. *Electrotechnica and Electronica*. 2018; 53(9-10):248–254. EDN JAYHEE.

18. Guanghua Y., Ximin H., Yangqin W. [et al.] The effect of heat treatment on the mechanical properties of H13 steel. *Metalovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2010. № 8(662). Pp. 46–48. EDN MUDXGZ.

19. Xiao H., Chen C., Zhang M. Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel/High-Speed Steel Composites Prepared by Laser Metal Deposition. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2020; 29(1):66–77. DOI 10.1007/s11665-019-04476-3. EDN YTURWF.

20. Nozirezoda S.S. Ensuring the operational properties of the body of the helicoid shape of the executive body of the geohod. *Mining equipment and electromechanics*. 2023; 3(167):49-58. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-3-49-58. EDN NDWGIW.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

**Shodmon S. Nozirezoda**, Postgraduate student, Senior lecturer at the Department of PT, Yaroslav the Wise Novgorod State University, (173003, Russia, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg str., 41), e-mail: shoni\_1997@mail.ru

**Andrey B. Efremkov**, Dr. Sc. in Engineering, Professor of the Department of PT, Yaroslav the Wise Novgorod State University, (41 Bolshaya St. Petersburg str., Veliky Novgorod, 173003, Russia), e-mail: abe73@mail.ru

Contribution of the authors:

Shodmon S. Nozirezoda – scientific management, review, analysis of thematic literature, writing a text.

Andrey B. Efremkov – formulation of a research task, conceptualization of the study, review of relevant literature, conclusions, naming of the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

