ISSN 1999-4125 (Print) **ISSN 2949-0642 (Online)**

Научная статья
УДК 622.23.05
DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-68-77

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ГЕЛИКОИДНЫХ ФОРМ НОЖЕВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДА

Нозирзода Шодмон Салохидин[1]*, Пашков Дмитрий Алексеевич[2], Ананьев Кирилл Алексеевич[2], Садовец Владимир Юрьевич[2]

[1] Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
[2] Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: shoni_1997@mail.ru

Аннотация.
Одним из ключевых критериев при разработке конструктивных решений горных машин, в том числе геохода, является технологичность конструкции, определяющая возможность эффективного изготовления изделия в производственных условиях. Геоход имеет специфику, связанную с его ножевым исполнительным органом – основным элементом для разрушения мягких пород. В связи с этим важно учитывать влияние различных конструктивных параметров, включая форму режущей кромки, которая во многом определяет последующие конструктивные решения, в том числе по основным элементам сборки исполнительного органа. В данной работе исследовано влияние конструктивных параметров (в частности, радиуса геохода) и формы режущей кромки ножевого исполнительного органа геохода на технологические параметры при реализации двух технологических процессов: обработки давлением (гибка) и метода аддитивного производства. Для аддитивного производства в качестве основного технологического параметра выбрано основное время изготовления (время печати) и объем вспомогательного материала. Для технологии гибки расчетным критерием является усилие гибки при различных значениях радиуса геохода. В результате получены зависимости влияния радиуса геохода и формы режущей кромки на технологические параметры при использовании методов аддитивного производства и гибки, что позволяет обоснованно выбирать рациональные технологические решения для изготовления ножевых исполнительных органов геохода. Выявлено, что полувыпуклая геликоидная форма занимает промежуточное положение по всем технологическим параметрам (усилие гибки, объем поддержек, время печати) и может рассматриваться как рациональный вариант при необходимости использования обоих методов производства. Геликоидная форма с воронкой обеспечивает наименьший рост усилия гибки, а прямая форма – наименьший рост объема поддержек и времени печати при SLM.

CC BY

Информация о статье
Поступила:
09 июня 2026 г.

Одобрена после рецензирования:
01 сентября 2026 г.

Принята к публикации:
15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:
геоход, ножевой исполнительный орган, нож, геликоидная форма, технологичность конструкции, технологические параметры

Для цитирования: Нозирзода Ш.С., Пашков Д.А., Ананьев К.А., Садовец В.Ю. Оценка технологичности геликоидных форм ножевых исполнительных органов геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 4 (176). С. 68-77. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-68-77, EDN: ULSZPJ

Благодарности
работа выполнена при финансовой поддержке АО «Альфа-Банк» в рамках программы «Альфа-Будущее Гранты преподавателям».

Введение

Одной из основных задач при проектировании горных машин и инструментов является учет технологических особенностей конструкции изделия [1]. Эта задача также актуальна для геохода как нового проходческого агрегата, предназначенного для формирования подземного пространства различного назначения [2–3].

Для оценки технологичности конструкции используются различные методы, позволяющие определить степень приспособленности изделия к оптимальным затратам ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте [4–5]. В литературе представлен широкий спектр подходов к такой оценке. Предложена интегральная методика оценки показателей технологичности на основе структурно-функциональной декомпозиции, что особенно актуально для сложных многокомпонентных систем [6]. Рассмотрены перспективы использования методико-математического аппарата для оценки производственной технологичности конструкции через обобщенный граф сопряжений, что позволяет установить взаимосвязи между конструкторской и технологической подготовкой производства [7].

Значительное внимание уделяется использованию цифровых моделей. Разработана методика оценки технологичности конструкции изделия на основе 3D-модели, что существенно ускоряет процесс по сравнению с традиционными методами [8]. В продолжение этих исследований предложена методика качественной оценки технологичности для типовых конструктивных элементов [9]. Для условий автоматической сборки представлена

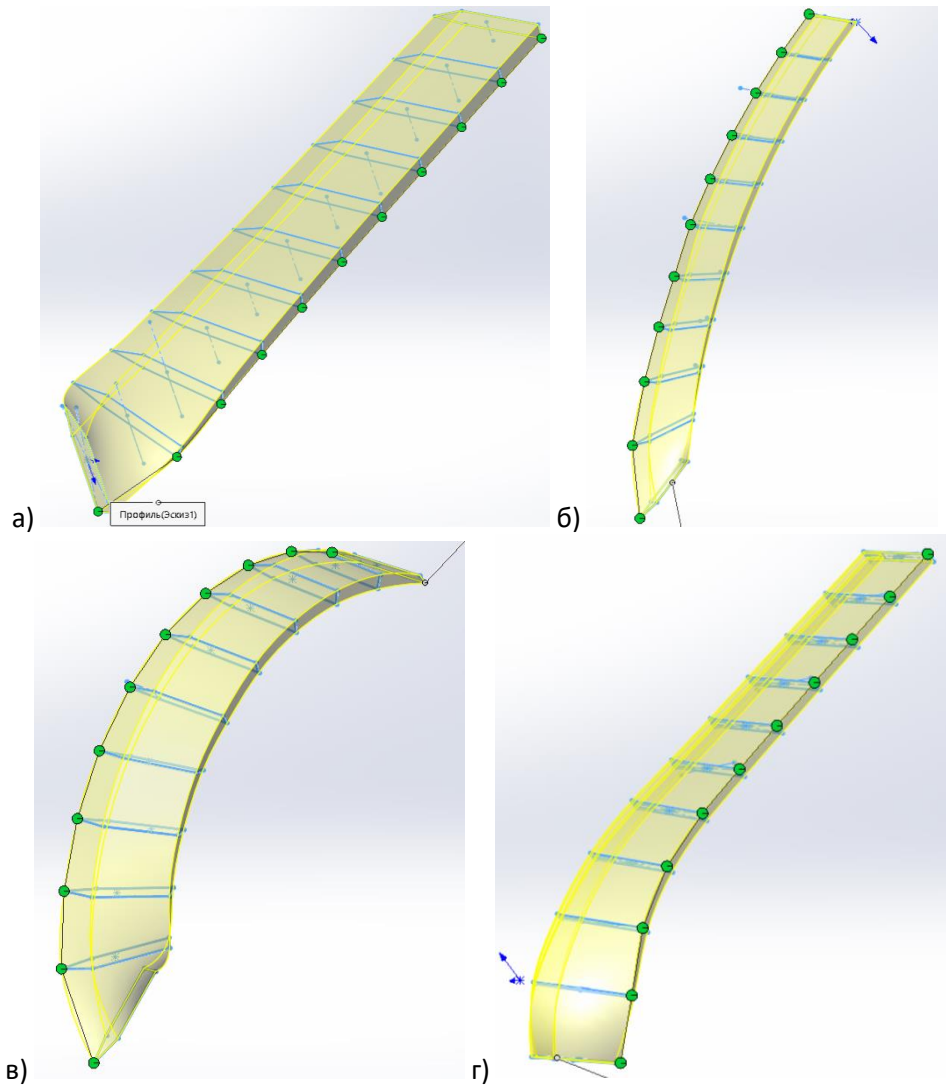

Рис. 1. Основные формы отвала ножевого исполнительного органа геохода (а – прямая геликоидная, б – полувыпуклая геликоидная, в – выпуклая геликоидная, г – геликоидная с воронкой)

Fig. 1. The main forms of the blade of the bladed executive body of the geokhod (a – straight helicoid, b – semi-convex helicoid, c – helicoid with a crown, d – convex helicoid)

количественная методика расчета коэффициента автоматизации сборочного процесса [10]. Также рассмотрена проблема оценки технологичности конструкций заготовок, что важно применительно к изготовлению сложнопрофильных деталей [11].

Однако современные подходы к проектированию изделий для точного определения приспособленности конструкции к оптимальным затратам ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте с учетом заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, а также для правильного управления жизненным циклом изделия требуют применения всей совокупности технологических показателей. Особенно это касается геохода с его геликоидными формами ножевых исполнительных органов, которые отличаются сложной пространственной геометрией и специфическими условиями нагружения [12, 13]. Существующие методики либо ориентированы на общие машиностроительные изделия, либо не полностью учитывают особенности геоходных систем [14], поэтому возникает необходимость в адаптации и комплексном применении известных методов для оценки технологичности именно геликоидных форм ножевых органов геохода.

Цель работы: оценка технологичности геликоидных форм ножевых исполнительных органов геохода и исследование их влияния на эффективность процессов изготовления, сборки и эксплуатации.

Методы исследования

В работах [13–15] определены основные силовые, энергетические и конструктивные параметры геохода с учетом эксплуатационных требований. Предложены основные схемные решения по формообразованию режущей кромки ножевого исполнительного органа геохода [12].

За основу в настоящей работе приняты основные формы ножевого исполнительного органа геохода, которые были разработаны ранее. Все геометрические параметры этих форм также определены в указанные работы. В рамках данного исследования основное внимание уделяется влиянию различных конструктивных параметров (в частности, радиуса геохода – $r_г$) при различных формах режущей кромки ножевого исполнительного органа на технологические параметры [16].

Основные формы ножей исполнительного органа, рассматриваемые в данной работе, представлены на Рис. 1.

В работах [14, 17] предложены аддитивные способы получения деталей для ножевых исполнительных органов. Одним из таких вариантов в данной работе рассматривается получение ножевых исполнительных органов методом селективного лазерного плавления. Особенности этой технологии, подробно рассмотренные в других исследованиях, позволяют изготавливать такие сложные детали, как ножевые исполнительные органы геохода. Причем аддитивные технологии могут использоваться как для создания цельной конструкции исполнительного органа, так и для изготовления сборной конструкции в тех случаях, когда необходимо получить детали со сложными геликоидными формами. Наряду с аддитивным производством в работе рассматривается технология обработки давлением – гибка.

В ряде предшествующих исследований, направленных на обоснование выбора метода изготовления геликоидных ножевых исполнительных органов геохода [13–14], определены размеры исходной заготовки с учетом необходимых припусков на последующую механическую обработку, что позволило обеспечить требуемую геометрическую точность геликоидной поверхности. В работах [14] рассмотрены возможности проектирования специализированного гибочного штампа, включая определение рациональной плоскости разъема, обеспечивающей свободное извлечение готовой детали и минимизацию дефектов формообразования. Для количественной оценки экономичности предложенного технологического процесса выполнен расчет коэффициента использования материала, что позволило сравнить различные варианты раскроя.

В качестве критериев оценки различных форм ножей исполнительного органа геохода при методах обработки давлением рассматривается усилие гибки, которое показывает, насколько сложно формировать геликоидные (или иные сложные) поверхности и какая именно нагрузка требуется при формообразовании данных форм.

Усилие при гибке выбирается и зависит прежде всего от технологической схемы гибки, которая была рассмотрена ранее в других работах для основных форм ножей исполнительного органа геохода [14]. В общем случае величина усилия гибки определяется механическими свойствами материала, геометрическими параметрами заготовки (толщиной, шириной, радиусом гибки) и условиями контакта с инструментом. Методики расчета усилий, необходимых при гибке профильных заготовок, представлены в работе [18], где рассматриваются трубы малого сечения прямоугольного профиля. В исследовании [19] приведены подходы к определению усилий при гибке труб с раскатыванием. Для листовых материалов из высокопрочных сталей вопросы

технологии и инструментария гибки, включая расчет усилий, освещены в работе [20]. Основная формула для расчета усилия гибки имеет следующий вид:

$$P_г = (3 \div 4) \cdot B \cdot S \cdot \delta_в \cdot k_2 \quad (1)$$

где, В – ширина полосы, мм; S – толщина материала, мм; $\delta_в$ – предел прочности, МПа; k_2 – коэффициент, учитывающий упрочнение металла при изгибе.

Также в других работах предложены аддитивные способы получения деталей для ножевых исполнительных органов. Одним из таких вариантов является получение ножевых исполнительных органов методом селективного лазерного плавления (SLM), особенности которого рассмотрены более подробно в других работах. Данная технология позволяет изготавливать такие сложные детали, как ножевые исполнительные органы, причем ее можно использовать как для цельной конструкции исполнительного органа, так и для сборной конструкции ножевого исполнительного органа в тех случаях, где необходимо получить детали со сложными геликоидными формами.

При использовании аддитивных технологий для оценки различных форм ножей исполнительного органа (для цельной конструкции ножевого исполнительного органа) можно выбрать следующие параметры: объем вспомогательного материала (V), а также основное время (t). Эти параметры при технологии селективного лазерного сплавления зависят от степени сложности геликоидной формы ножевого исполнительного органа. Данные параметры показывают, насколько сложно изготавливать деталь и сколько времени и ресурсов тратится на изготовление той или иной формы ножевого исполнительного органа. Чем меньше эти параметры, тем меньше затраты на изготовление.

Для определения технологической себестоимости и параметров печати при технологии селективного лазерного плавления используется специализированная платформа [21]. Для изготовления ножей исполнительного органа применяется высокопрочный сплав AISI H13 [14].

Технологическая себестоимость заготовки (Tc) рассчитывается по формуле:

$$T_с = \frac{m_д}{K_{им}} \cdot (C_{заг} + C_с \cdot (1 - K_{им})), \quad (2)$$

Таблица 1. Основные технологические параметры печати при r = 900 мм
Table 1. Key printing process parameters at r = 900 mm

Параметры	Единица измерения	Форма ножа		
		Прямой геликоидной	Выпуклой геликоидной	Геликоидной с воронкой
Масса детали	кг	17,804	16,498	16,475
Объем материала	см3	2282,534	2115,197	2112,161
Объем вспомогательного материала (поддержек)	см3	330,889	306,632	316,312
Время печати	мин	790,932	732,948	734,956
Масса заготовки	кг	20,385	18,890	18,942
Коэффициент использования материала		0,873	0,873	0,869
Технологическая себестоимость	Данные: $C_{заг} = 2\,307{,}65$ руб/кг, $C_с = 99$ руб/кг.			
	руб.	47 318,728	43 847,6965	44 057,045

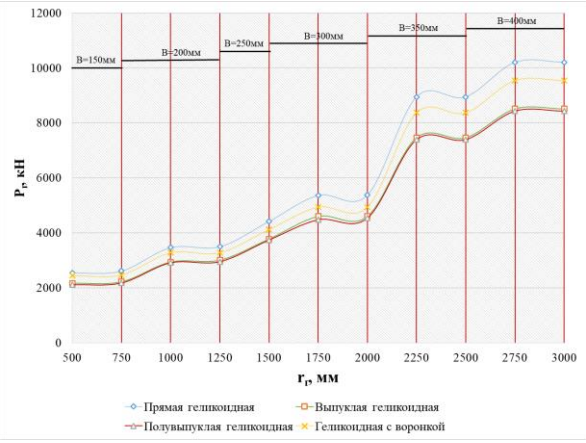

Рис. 2. Зависимость усилия при гибке ($P_г$) от радиуса геохода ($r_г$) для разных геликоидных форм ножей ИО геохода

Fig. 2. Dependence of the $P_г$ on the $r_г$ for the dumps of the executive body of a straight helicoid shape

где $C_{заг}$ – стоимость 1 кг материала заготовки, C_c – стоимость срезания 1 кг стружки при механической обработке в среднем по горному машиностроению.

По формуле (2) рассчитана технологическая себестоимость ножей различных форм, исходя из технологических параметров печати и коэффициента использования материала. По различным источникам и последним данным цена за 1 кг порошкового материала принимается 2307,65 руб.

Таким образом, исследуя возможности применения аддитивных технологий для производства ножей исполнительных органов, можно отметить, что данный способ является альтернативным вариантом в условиях единичного производства, так как при производстве на начальном этапе не требуются большие затраты на изготовление специальной оснастки, формы и т. д. При этом значение технологической себестоимости при аддитивных технологиях получается значительно выше по сравнению с традиционными способами получения заготовки.

Результаты

Для оценки конструкции и формирования конструктивных параметров ИО необходимо определить технологические параметры, такие как сила гибки, которые необходимы для заготовки отвала, и основное время при применении аддитивных технологий. На Рис. 2 приведена зависимость усилия при гибке ($P_г$) от радиуса геохода для разных геликоидных форм ножей ИО геохода.

Усилие при гибке возрастает с увеличением радиуса геохода для всех исследуемых форм отвала. Прямая геликоидная форма требует наименьшего усилия при гибке среди всех конструкций. Полувыпуклая и выпуклая геликоидные формы требуют больших усилий, особенно при увеличении радиуса более 2000 мм. Геликоидная форма с воронкой показывает максимальные значения усилия при гибке, достигая примерно 9500 Н при радиусе 2750 мм.

На Рис. 3 приведена зависимость объема вспомогательного материала (V_n) от радиуса

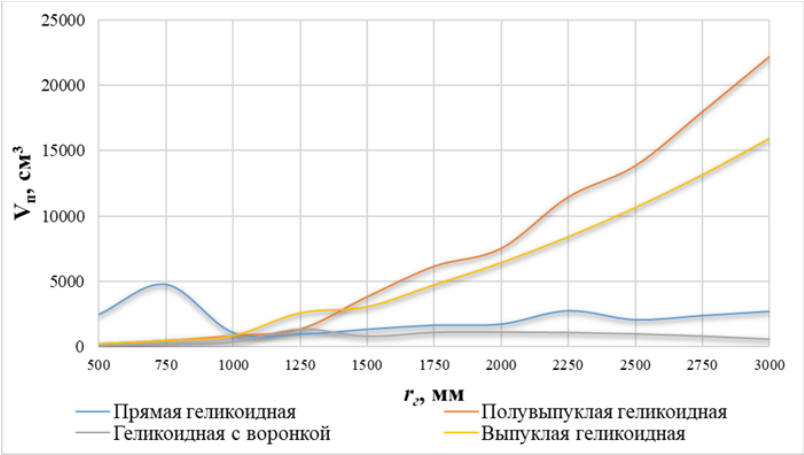

Рис. 3. Зависимость объема вспомогательного материала ($V_п$) от радиуса геохода ($r_г$) для разных геликоидных форм ножей ИО геохода

Fig. 3. Dependence of the $V_п$ on the $r_г$ for the dumps of the executive body a semi-convex helicoid shape

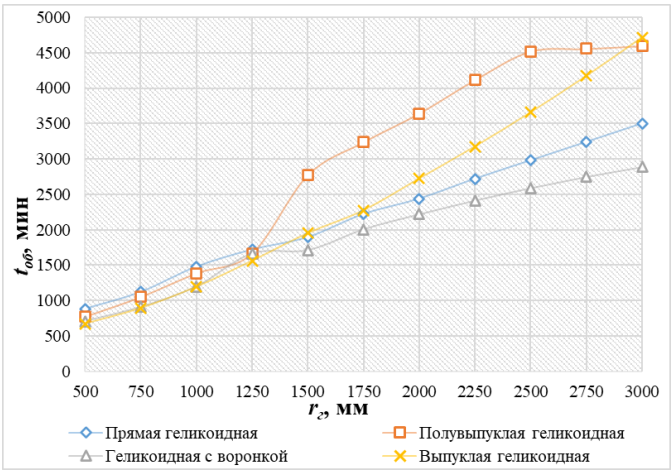

Рис. 4. Зависимость основного времени ($t_{об}$) SLM-технологии от радиуса геохода ($r_г$) для разных геликоидных форм ножей ИО геохода

Fig. 4. Dependence of the basic time ($t_{об}$) of SLM technology on the radius of the geohod ($r_г$) for different helicoid shapes of the knives of the IO geohod

геохода ($r_г$) для разных геликоидных форм ножей ИО геохода.

Объем вспомогательного материала возрастает с увеличением радиуса геохода. Прямая геликоидная форма требует наименьшего объема вспомогательного материала. Полувыпуклая и выпуклая формы расходуют больше вспомогательного материала, причем выпуклая геликоидная конструкция требует наиболее значительных затрат. На Рис. 4 приведена зависимость основного времени ($t_{об}$) SLM-технологии от радиуса геохода ($r_г$) для разных геликоидных форм ножей ИО геохода.

Основное время при технологии SLM увеличивается с ростом радиуса геохода. Прямая геликоидная форма имеет минимальные значения времени среди всех конструкций. Полувыпуклая и выпуклая формы требуют больше времени, достигая порядка 4500 минут при радиусе 3000 мм. Геликоидная форма с воронкой занимает промежуточные значения между выпуклой и полувыпуклой конструкциями.

Выводы

В результате работы:

– установлена зависимость технологических параметров изготовления ножевых исполнительных органов (ИО) геохода от их геликоидной формы и радиуса геохода $r_г$. Показано, что выбор рациональной технологии (гибка или селективное лазерное сплавление) определяется конкретным сочетанием этих двух факторов.

– для технологии гибки (усилие $P_г$) наименьшие значения на всем диапазоне радиусов ($r_г$=500…3000) обеспечивает геликоидная форма с воронкой (минимальное усилие гибки), что делает ее предпочтительной с точки зрения обработки давлением.

– для аддитивной технологии (селективное лазерное сплавление) по двум критериям – объему вспомогательного материала $V_п$ и основному времени печати $t_{об}$ – наилучшие показатели демонстрирует прямая геликоидная форма (минимальный $V_п$ и минимальное $t_{об}$ для всех радиусов). Выпуклая геликоидная форма является наименее технологичной при аддитивном производстве.

– выявлено, что полувыпуклая геликоидная форма занимает промежуточное положение по всем технологическим параметрам (усилие гибки, объем поддержек, время печати) и может рассматриваться как рациональный вариант при необходимости использования обоих методов производства.

– показано, что с ростом радиуса геохода $r_г$ все рассмотренные технологические параметры (усилие гибки, объем вспомогательного материала, время печати) возрастают для всех форм, что свидетельствует о повышенной трудоемкости и ресурсоемкости изготовления крупногабаритных ножевых ИО. При этом геликоидная форма с воронкой обеспечивает наименьший рост усилия гибки, а прямая форма – наименьший рост объема поддержек и времени печати при SLM.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальтер А. В., Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Чазов П. А. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геохода на основе данных координатного контроля // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. № 4(69). С. 31–42. DOI: 10.17212/1994-6309-2015-4-31-42. EDN VKVBRT.

2. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ефременков А. Б. [и др.] Создание нового инструментария для формирования подземного пространства // Горная Техника. 2015. № 1(15). С. 24–26. EDN UOLFDL.

3. Аксенов В. В., Вальтер А. В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. 2014. № 8–3. С. 945–950. EDN TCVMNR.

4. Аксенов В. В., Вальтер А. В., Бегляков В. Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. № 4(65). С. 19–28. EDN SZRFEF.

5. 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.

6. Адамов, А. П. Интегральная методика оценки показателей технологичности конструкций электронной аппаратуры // Неделя науки-2016: материалы XXXVII итоговой научно-технической конференции ДГТУ, Махачкала, 18–23 апреля 2016 года / Под редакцией Исмаилова Т. А. Махачкала : Издательство ДГТУ, 2016. С. 285–289. EDN WXXKUB.

7. Назарьев А. В., Бочкарев П. Ю. Перспективы применения методики выявления критичных требований к сборке высокоточных изделий для оценки технологичности конструкции // Механики XXI веку. 2025. № 24. С. 163–167. EDN VRHHXV.

8. Подрез Н. В., Говорков А. С. Разработка методики оценки технологичности конструкции изделия на основе 3D-модели изделия машиностроения // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 1. С. 198–207. DOI: 10.34759/vst-2023-1-198-207. EDN DDUUKP.

9. Подрез Н. В. Разработка методики качественной оценки технологичности

конструкции изделия машиностроения на основе исходных данных производства в виде электронной модели // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2023. № 4. С. 36–40. EDN AIBVTM.

10. Холодкова А. Г. Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 11. С. 3–9. EDN KAWRWX.

11. Полухина С. Ю., Прохоров В. Т., Полякова В. А. Методика оценки технологичности конструкций заготовок // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2014. № 6(181). С. 133–138. DOI: 10.17213/0321-2653-2014-6-133-138. EDN TDXSQF.

12. Нозирзода Ш. С., Ефременков А. Б., Пашков Д. А. Разработка конструктивных решений ножевого исполнительного органа геохода с учетом технологических особенностей // Устойчивое развитие горных территорий. 2025. Т. 17. № 1(63). С. 161–172. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-161-172. EDN IFIGJL.

13. Пашков Д. А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геохода для разрушения мягких пород: автореферат дис. … кандидата технических наук / Пашков Дмитрий Алексеевич. Кемерово, 2021. 22 с. EDN KDROMP.

14. Нозирзода Ш. С. Обоснование рациональных параметров ножевых исполнительных органов с учетом эксплуатационных требований при создании геохода: автореферат дис. ... кандидата технических наук / Нозирзода Шодмон Салохидин. Кемерово, 2025. 21 с.

15. Аксенов В. В., Буялич Г. Д., Пашков Д. А. [и др.] Обоснование необходимости создания стендов для испытаний моделей геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 5(181). С. 81–87. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-81-87. EDN UUSVRG.

16. Пашков Д. А. Влияние геометрических параметров исполнительного органа геохода на его силовые параметры // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 6. С. 109–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_109. EDN LVTNUY.

17. 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.

18. Тимофеев В. В., Трифанов И. В. Методика расчета усилий, необходимых при гибке труб малого сечения прямоугольного профиля // Космические аппараты и технологии. 2022. Т. 6. № 2(40). С. 109–118. DOI: 10.26732/j.st.2022.2.05. EDN DPTIOQ.

19. Козлов А. В., Хилькевич Я. М. Определение предельных натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2004. № 1. С. 101–106. EDN HKUZFR.

20. Томило В. А., Нестрович М. Л. Технология и инструмент для гибки листов из высокопрочных сталей // Литье и металлургия. 2020. № 1. С. 50–55. DOI: 10.21122/1683-6065-2020-1-50-55. EDN BBCMBF.

21. Unit 3D Print: интернет-портал. URL: https://unit3dprint.ru/ (Дата обращения: 03.03.2026).

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Об авто*рах:

Нозирзода Шодмон Салохидин, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленных технологий, Политехнический институт Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого (173003, Россия, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41), e-mail: shoni_1997@mail.ru

Пашков Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Ананьев Кирилл Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, зав. каф. горных машин и комплексов, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: aka.kgmik@kuzstu.ru

Садовец Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:
Нозирзода Шодмон Салохидин – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.
Пашков Дмитрий Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.
Ананьев Кирилл Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.
Садовец Владимир Юрьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ASSESSMENT OF THE MANUFACTURABILITY OF THE HELICOID SHAPES OF THE BLADE EXECUTIVE BODIES OF THE GEOKHOD

Shodmon S. Nozirzoda[1]*, Dmitry A. Pashkov[2], Kirill A. Ananyev[2], Vladimir Y. Sadovets[2]

[1] Yaroslav the Wise Novgorod State University
[2] T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: shoni_1997@mail.ru

Abstract.
One of the key criteria in the development of constructive solutions for mining machines, including a geokhod, is the manufacturability of the design, which determines the possibility of effective manufacturing of the product in production conditions. The geokhod has specifics related to its blade executive body, which is the main element for the destruction of soft rocks. In this regard, it is important to take into account the influence of various design parameters, including the shape of the cutting edge, which largely determines subsequent design decisions, including the main elements of the assembly of the executive body. In this paper, the influence of design parameters (in particular, the radius of the geokhod) and the shape of the cutting edge of the blade executive body of the geokhod on the technological parameters during the implementation of two technological processes: pressure treatment (bending) and the additive manufacturing method is investigated. For additive manufacturing, the main manufacturing time (printing time) and the volume of auxiliary material are chosen as the main technological parameter. For bending technology, the calculated criterion is the bending force at different values of the geokhod radius. As a result, the dependences of the influence of the radius of the geokhod and the shape of the cutting edge on the technological parameters are obtained when using additive manufacturing and bending methods, which makes it possible to reasonably choose rational technological solutions for the manufacture of blade actuators of the geokhod. It is revealed that the semi-convex helicoid shape occupies an intermediate position in all technological parameters (bending force, support volume, printing time) and can be considered as a rational option if it is necessary to use both production methods. The helicoid shape with a funnel provides the least increase in bending effort, and the straight shape provides the least increase in support volume and printing time with SLM.

CC BY

Article info
Received:
09 June 2026

Accepted for publication:
01 September 2026

Accepted:
15 September 2026

Keywords: *geokhod, bladed executive body, blade, helicoid shape, adaptability of the design, technological parameters*

For citation: Nozirzoda Sh.S., Pashkov D.A., Ananyev K.A., Sadovets V.Y. Assessment of the manufacturability of the helicoid shapes of the blade executive bodies of the geokhod. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 4(176):68-77. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-4-68-77, EDN: ULSZPJ

Acknowledgments
The work was carried out with the financial support of the «Alfa-Bank» Accelerator Society within the framework of the Alfa-Future Grants to Teachers program.

REFERENCES

1. Walter A.V., Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Chazov P.A. Determination of the error in the location of the sectors of the stabilizing section of the geohod based on coordinate control data. *Metalworking (technology, equipment, tools).* 2015; 4(69):31-42. DOI: 10.17212/1994-6309-2015-4-31-42. EDN VKVBRT.

2. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Efremenkov A.B. [et al.] Creation of new tools for the formation of underground space. *Mining Machinery.* 2015; 1(15):24-26. EDN UOLFDL.

3. Aksenov V.V., Walter A.V. The specifics of a geohod as an object of production. *Scientific review.* 2014; 8-3:945-950. EDN TCVMNR.

4. Aksenov V.V., Walter A.V., Beglyakov V.Yu. Ensuring the geometric accuracy of the shell when assembling sections of the geohod. *Metalworking (technology, equipment, tools).* 2014; 4(65):19-28. EDN SZRFEF.

5. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Kazantsev A.A. [et al.] Experience of participation in a project on the organization of high-tech production. *Mining equipment and electromechanics.* 2016; 8(126):8-15. EDN WWDBRT.

6. Adamov A.P. Integral methodology for assessing the performance indicators of electronic equipment structures. *Week of Science-2016: proceedings of the XXXVII final scientific and technical conference of DSTU.* Edited by Ismailov T.A. Makhachkala: DSTU Publishing House; 2016. Pp. 285-289. EDN WXXKUB.

7. Nazariev A.V., Bochkarev P.Y. Prospects for the application of the methodology for identifying critical requirements for the assembly of high-precision products to assess the manufacturability of the structure. *Mechanics of the XXI century.* 2025; 24:163-167. EDN VRHHXV.

8. Podrez N.V., Govorkov A.S. Development of a methodology for assessing the manufacturability of a product design based on a 3D model of a machine-building product. *Bulletin of the Moscow Aviation Institute.* 2023; 30(1):198-207. DOI: 10.34759/vst-2023-1-198-207. EDN DDUUKP.

9. Podrez N.V. Development of a methodology for the qualitative assessment of the manufacturability of a mechanical engineering product based on the initial production data in the form of an electronic model. *Forging and stamping production. Pressure treatment of materials.* 2023; 4:36-40. EDN AIBVTM.

10. Kholodkova A.G. Methodology for assessing the manufacturability of a product design for automatic assembly conditions. *Assembly in mechanical engineering, instrument engineering.* 2008; 11:3-9. EDN KAWRWX.

11. Polukhina S.Y., Polyakova V.A. Methodology for assessing the manufacturability of billet structures. *News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical sciences.* 2014; 6(181):133-138. DOI: 10.17213/0321-2653-2014-6-133-138. EDN TDXSQF.

12. Nozirzoda Sh.S., Efremenkov A.B., Pashkov D.A. Development of constructive solutions for the blade executive body of the geokhod, taking into account technological features. *Sustainable development of mountainous territories.* 2025; 17(1(63):161-172. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-161-172. EDN IFIGJL.

13. Pashkov D.A. Substantiation of the power and energy parameters of the executive bodies of the geokhod for the destruction of soft rocks: abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Pashkov Dmitry Alekseevich. Kemerovo, 2021. 22 p. EDN KDROMP.

14. Nozirzoda S.S. Justification of rational parameters of blade executive bodies, taking into account operational requirements when creating a geokhod: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences / Nozirzoda Shodmon Salokhidin. Kemerovo, 2025. 21 p.

15. Aksenov V.V., Buyalich G.D., Pashkov D.A. [et al.] Justification of the need to create stands for testing geokhod models. *Mining equipment and electromechanics.* 2025; 5(181):81-87. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-81-87. EDN UUSVRG.

16. Pashkov D.A. The influence of geometric parameters of the executive body of the geokhod on its power parameters. *Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal).* 2022; 6:109-120. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_109. EDN LVTNUY.

17. Nozirzoda S.S., Efremenkov A.B. Substantiation of the possibility of using additive manufacturing technology for the manufacture of a blade of the helicoid shape of the executive body of the geokhod. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* 2024; 2(162):79-89. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-79-89. EDN MELRYS.

18. Timofeev V.V., Trifanov I.V. Methodology for calculating the forces required when bending pipes of small cross-section of a rectangular profile. *Space vehicles and technologies.* 2022; 6(2(40):109-118. DOI: 10.26732/j.st.2022.2.05. EDN DPTIOQ.

19. Kozlov A.V., Khilkevich Ya.M. Determination of maximum stresses and forces when bending pipes with rolling. *Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2004; 1:101-106. EDN HKUZFR.

20. Tomilo V.A., Nesterovich M.L. Technology and tools for bending sheets of high-strength steels. *Casting and metallurgy.* 2020; 1:50-55. DOI: 10.21122/1683-6065-2020-1-50-55. EDN BBCMBF.

21. Unit 3D Print: an online portal. URL: https://unit3dprint.ru / (Date of access: 03.03.2026).

© 2026 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. Nozirzoda, Senior Lecturer of the Department of Industrial Technologies of the Polytechnic Institute, Yaroslav the Wise Novgorod State University (173003, Russia, Veliky Novgorod, Bolshaya St. Petersburg str., 41), e-mail: shoni_1997@mail.ru
Dmitry A. Pashkov, Candidate of Sciences in Technology, Senior Researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: pashkovda@kuzstu.ru
Kirill A. Ananyev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mining Machinery and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: aka.kgmik@kuzstu.ru
Vladimir Y. Sadovets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennya st., 28), e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Contribution of the authors:
Shodmon S. Nozirzoda – formulation of a research problem, conceptualization of research, data analysis, summing up, writing a text, reviewing relevant literature, data collection.
Dmitry A. Pashkov – formulation of a research problem, conceptualization of research, data analysis, summing up, writing a text, reviewing relevant literature, data collection.
Kirill A. Ananyev – formulation of a research problem, conceptualization of research, data analysis, summing up, writing a text, review of relevant literature, data collection.
Vladimir Y. Sadovets – formulation of a research problem, conceptualization of research, data analysis, summing up, writing a text, review of relevant literature, data collection.

All authors have read and approved the final manuscript.