



УДК 622.23.05

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТЕЛА НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА

Козлов И.В.<sup>1</sup>, Садовец Р.В.<sup>2</sup>, Садовец В.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана



### Информация о статье

Поступила:

15 апреля 2022 г.

Рецензирование:

12 мая 2022 г.

Принята к печати:

21 мая 2022 г.

### Ключевые слова:

горные машины, геоход, нож  
исполнительного органа,  
сложная геликоидная форма,  
методика построения

### Аннотация.

Статья посвящена разработке методики построения твердотельных моделей тела ножевого исполнительного органа нового класса горнопроходческой техники – геохода. Сформулирована и обоснована актуальность темы. Выделены преимущества применения геохода для образования полости в подземном пространстве в сравнение с другими видами проходческого оборудования. Для постановки цели и задач были рассмотрены основные типы ножевого исполнительного органа, и особенности их работы. Любой ножевой исполнительный орган геохода можно представить, как состоящий из трех элементов: тела исполнительного органа, которое крепится на модуль сопряжения с головной секцией геохода, и режущей кромки. Геометрические параметры режущей кромки, а, следовательно, и тела ножа, зависят от силовых и геометрических параметров как исполнительного органа, так и геохода. Выделены три варианта конструктивного исполнения ножевого исполнительного органа геохода, для которых разработаны методики построения твердотельных моделей. Разработанные методики построения твердотельных моделей позволяют строить конструктивные решения ножевого исполнительного органа геохода различного типоразмера, что является предпосылкой для разработки параметрической модели создания тел исполнительного органа. Построенные модели являются основополагающими для разработки технологии изготовления тел исполнительного органа геохода.

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

### Введение

В последние годы отмечается повышенный интерес к широкому использованию подземного пространства. Основными причинами этому служат дефицит городской территории и усиление урбанизации. Поэтому появились задачи по разработки новых подходов, технологий, а также машин, позволяющих уменьшить затраты на образование полостей в геосреде [1-3].

Перспективным направлением в развитие технологий образования полости занимает геоходная технология, которая осуществляется геоходом [4-6].

Геоход – новый класс горных машин, движущийся в массиве пород с использованием геосреды. Принцип его работы напоминает “ввинчивание” в геосреду. В отличие от других проходческих машин, он способен двигаться в любой траектории пространства, а также заменяет сразу три вида техники – разрушение породы, её удаление, а также крепление выработанного пространства [7-10].

Преимущества применения геоходной технологии образования полости в подземном пространстве:

- возможность транспортировки разрушенной горной массы;
- высокая эффективность образования полости в подземном пространстве, по сравнению с традиционными способами проведения подземных работ;
- безопасность проведения подземных горных работ;
- возможность реверсивного движения геохода;
- возможность ревизии и замены основных узлов в условиях горной выработки;
- возможность непрерывной подачи на забой проходческого оборудования;
- высокая производительность проходческой системы при небольшой массе;
- основные операции по сооружению выработки выполняются в совмещенном режиме;
- высокая маневренность геохода;
- снижение в 6 и более раз металлоемкости оборудования проходческой системы;
- повышение в 4 и более раз темпов проходки, производительности труда;
- снижение трудоемкости и стоимости ведения горнопроходческих работ;
- возможность проведения выработок с любым расположением в пространстве.

Развитие геоходной технологии, а также разработка новых конструктивных решений систем геохода с применением современных методов изготовления, позволит не только сократить затраты на создание уже разработанных геоходов, но также расширить область применения геоходной технологии, тем самым увеличить скорость освоения подземного пространства [11-14].

Главной операцией проходческого цикла является разрушение горной массы в забое выработки. Данная операция осуществляется исполнительным органом (ИО) геохода, который представляет собой соединенные между собой несколько ножей. Пример такого исполнительного органа представлен на рисунке 1 [15].

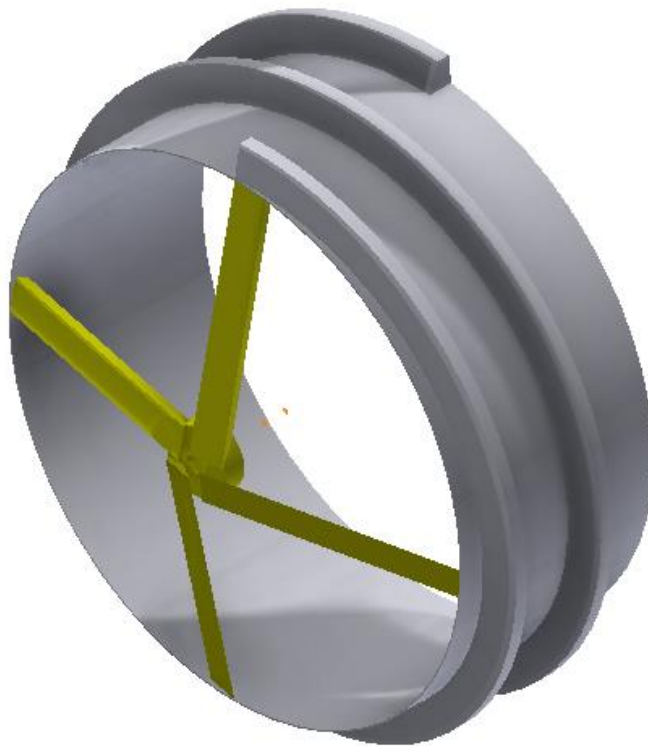


Рис. 1. Схема ножевого исполнительного органа  
Fig. 1. Scheme of geokhod cutting body blade



Ножевой ИО геогода должен состоять из узла сопряжения и ножа, который, в свою очередь, состоит из двух частей: тела ИО и режущей кромки. Форма режущей кромки зависит от геометрических и силовых параметров геогода [16]. Соответственно, тело ИО должно полностью повторять геометрию режущей кромки, а также согласно [17] иметь несколько вариантов исполнений, от которых будет зависеть способ его крепления к узлу сопряжения ИО к головной секции геогода, а также его технические характеристики. В основном выделяются три типа исполнения тела ножевого исполнительного органа [18]:

1. Геликоид – прямоугольная пластина, поделенная на равные сечения, каждое из которых имеет свой собственный угол наклона относительно первоначального положения. Особенности «геликоидной» формы тела ИО:

- простота изготовления;
- крепление происходит по ровной оси, тем самым, исполнительный орган занимает малую площадь;
- резание горных пород происходит в виде прямой линии, из-за чего изнашивание лезвия происходит равномерно;
- не требует разработки дополнительного крепления.

2. Геликоид с воронкой. Представляет собой прямоугольную пластину, поделенную на равные сечения, каждое из которых имеет свой собственный угол наклона относительно первоначального положения. Грань, которая крепится к центру геогода изгибается на определенный радиус [17-19]. Длина дуги будет равняться изгибаемой части. Особенности формы тела ИО «геликоида с воронкой»:

- лезвие начинает производить резание по прямой, переходящей в дугу, из-за чего при дальнейшей работе остается в центре горная масса, постепенно срезаемая изогнутой частью;
- из-за того, что ось тела ножа идет по дуге, площадь, занимаемая телом больше, чем у геликоида, но в тот же момент, это позволяет уменьшить длину центральной части ножа;
- необходима разработка дополнительного крепления, которое компенсировало бы неравномерное восприятие нагрузок на нож;

3. Выпуклый геликоид. Конструктивно напоминает геликоид с воронкой, за исключением того, что изгиб происходит с обеих сторон. Центр изгиба может располагаться как на равном расстоянии от обеих граней, так и варьироваться в зависимости от условий проведения выработки [18-20]. Особенности формы тела ножа «выпуклый геликоид»:

- лезвие начинает производить резание на максимально удаленном от центра расстоянии, в дальнейшем переходящим в дугу, из-за чего при дальнейшей работе в центре и по краям остаются горные массы, постепенно срезаемые изогнутыми частями;
- так как изгиб тела ножа происходит с обеих сторон, формируемая длина становится меньше, из-за чего тело при данной длине возможно установить в геогоды меньшего диаметра;
- так как ось идет по кривой, существует возможность уменьшить длину центральной части ИО;
- необходима разработка дополнительного крепления, которое компенсировало бы неравномерное восприятие нагрузок на режущей кромке ножа.

Для оценки напряженно-деформированного состояния тела ножа и элементов сопряжения исполнительного модуля между собой, а также формирования сеточной модели узла сопряжения ИО с головной секцией геогода, необходимо разработать методики построения твердотельной модели тела ИО для каждого из предложенных типов исполнений.

Кроме того, разработанные методики построения различных вариантов тел ИО являются основополагающими для разработки вариантов технологии изготовления тела ИО. Для построения твердотельных моделей были приняты следующие геометрические параметры: диаметр геогода 1,8 м, сечение модели тела ИО 50 мм на 150 мм. Изгиб в геликоиде с воронкой



проходил по радиусу 400 мм. Радиус окружности, по которой шел изгиб, был равен в обоих случаях 400 мм.

Для построения геликоидной формы тела ножа ИО была взята методика, представленная в [17]. Согласно этой методике значения углов наклона каждого сечения сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Значения углов наклона сечения

Table 1. Values of the angles of inclination of the section

№ пол	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\beta_x$ град	0	52,64	66,59	73,19	76,94	79,33	80,99	82,21	83,35	84,46	84,95

Для разработки методик по второму и третьему типу исполнения тела ножа ИО необходимо учитывать длину дуги, по которой загибается тело ножа. Длина дуги окружности должна равняться длине до изгиба. Данная зависимость выражается в формуле (1).

$$l = \frac{\alpha \pi R}{180} \quad (1)$$

где  $l$  – длина дуги, мм;  $\alpha$  – угол, отделяющий данную дугу, град;  $R$  – радиус окружности, мм.

Построение для тела геликоидной формы выполняется в следующей последовательности:

1. Выбираем плоскость спереди, в которой строим сечение тела (рис. 2).
2. Параллельно передней плоскости строим дополнительно 10 плоскостей на расстоянии 90 мм (выбираем для начала переднюю плоскость > справочная геометрия: плоскость > расстояние смещения: 90 > где число создаваемых плоскостей вводим 10) (рис. 3).

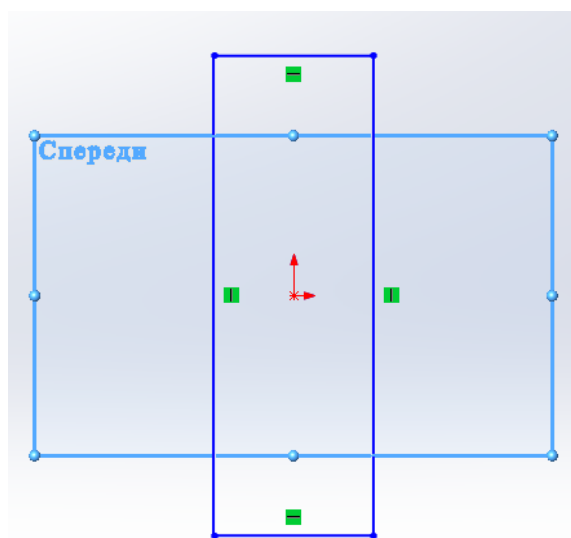


Рис. 2. Плоскость и сечение тела  
Fig. 2. Plane and section of the body

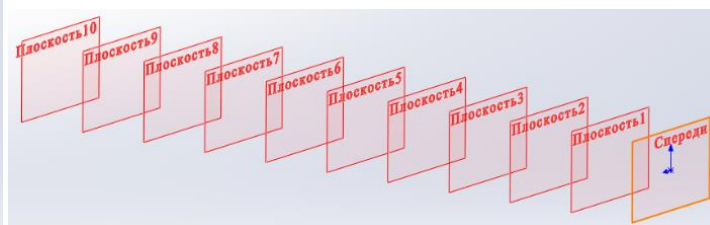


Рис. 3. Дополнительные плоскости  
Fig. 3. Additional planes

3. В каждой плоскости строим эскизы сечения тела так же, как и в первой плоскости. После поворачиваем каждый из эскизов на нужный угол относительно вертикали (за точку вращения принимаем центр эскиза, лежащий на пересечении его диагоналей) (рис. 4).

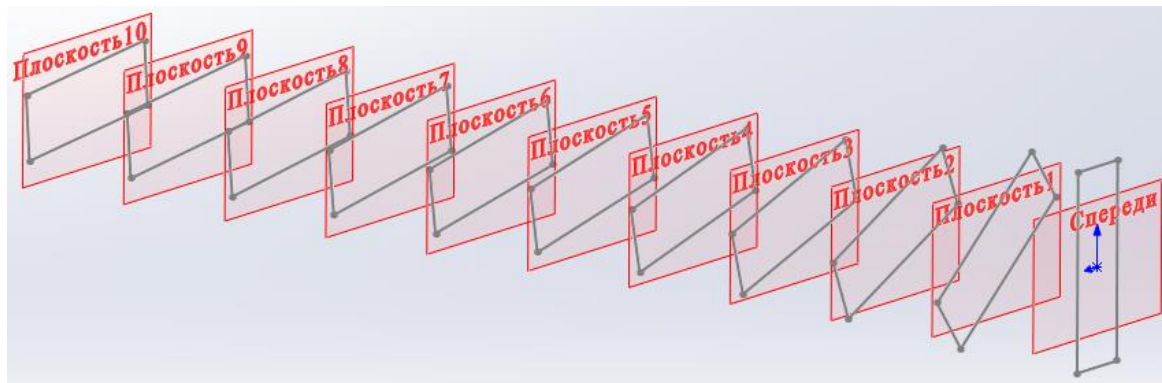


Рис. 4. Сечения тела в каждой плоскости  
Fig. 4. Body sections in each plane

4. Методом бобышка/основание по сечениям строим твердотельную модель тела ножа ИО геохода (рис. 5).

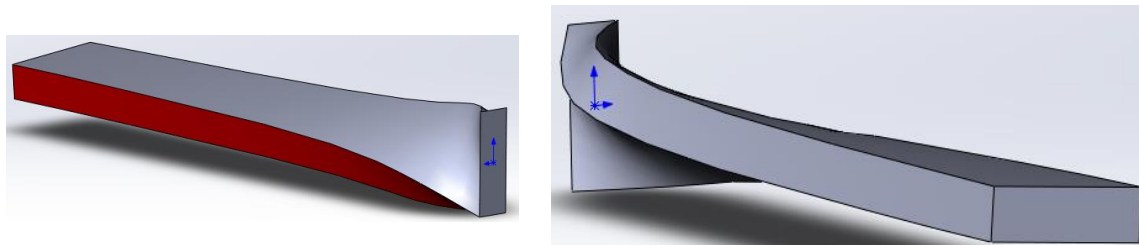


Рис. 5. Твердотельная модель тела  
Fig. 5. Solid-state body model

5. Создаем сборку ИО геликоидной формы. Для этого располагаем полученное тело в головной секции геохода и формируем макет четырех лучевого ИО геохода (рис. 6).

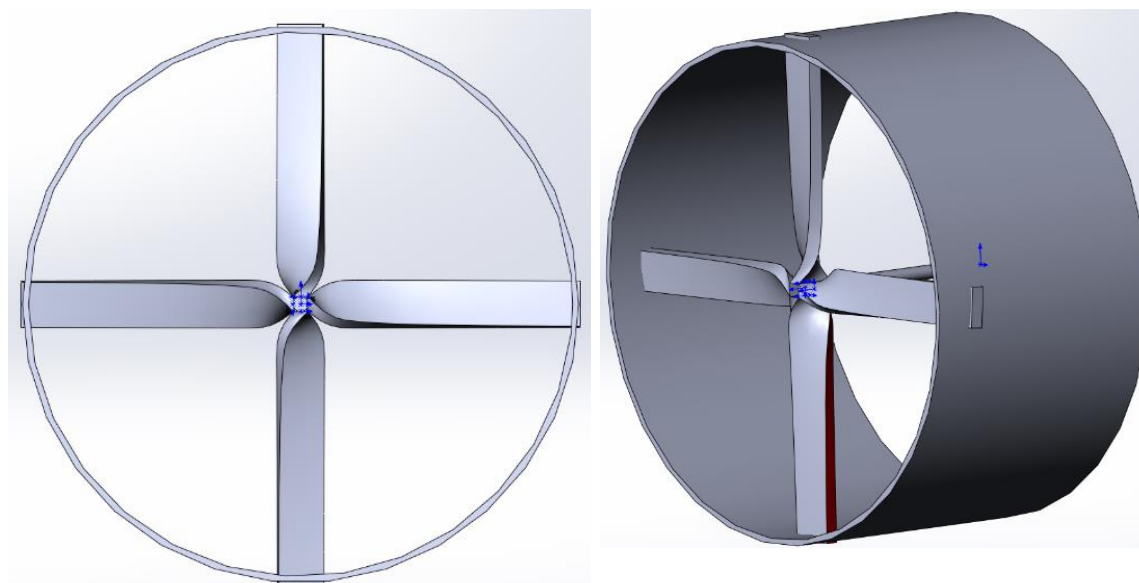


Рис. 6. Компоновочная схема  
Fig. 6. Layout diagram

Построение для тела ножа геликоида с воронкой:



1. Выбираем плоскость спереди. Так как изгиб будет проводиться с этой стороны, то сечение не строим (рис. 2).
2. Параллельно передней плоскости строим дополнительно 10 плоскостей на расстоянии 90 мм (рис. 7).

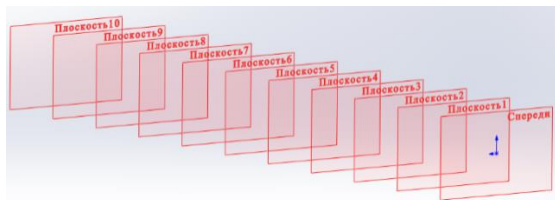


Рис. 7. Дополнительные плоскости  
Fig. 7. Additional planes

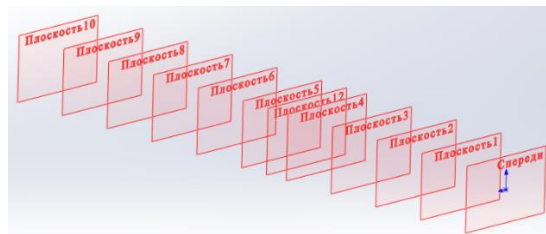


Рис. 8. Плоскость изгиба  
Fig. 8. Bending plane

3. Вводим плоскость, до которой будет проводиться изгиб. Для этого выбираем переднюю плоскость и вводим расстояние 400 мм. Ограничивающая плоскость готова (плоскость 12 рис. 8).
4. Далее для работы выбираем плоскость справа. Так как мы начинали построения с плоскости спереди (первое сечение располагалось в ней), то для дальнейшего построения можем использовать центрированную точку. Из центрированной точки проводим линию 400 мм в сторону ограничивающей плоскости, она должна попасть на неё. Затем проводим линию 400 мм в сторону изгиба. Мы нашли центр окружности, по которой проходит изгиб. Строим данную окружность (рис. 9).

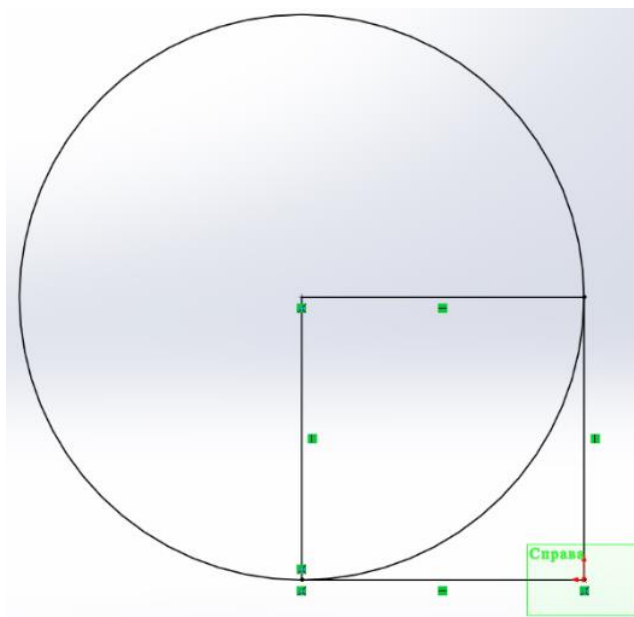


Рис. 9. Окружность изгиба  
Fig. 9. Bending circumference

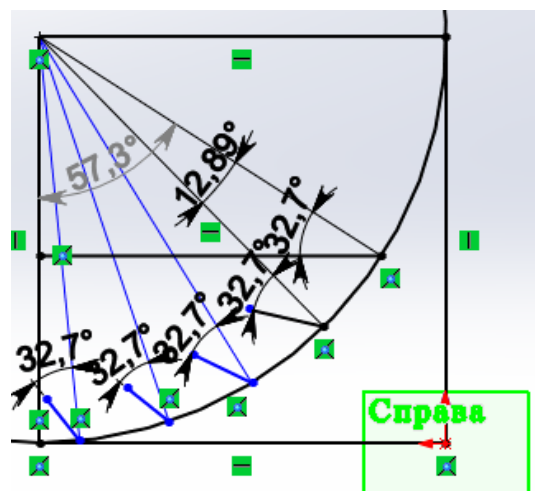


Рис. 10. Углы наклона сечений по изгибу  
Fig. 10. The angles of inclination of the sections along the bend

5. Так как линии до изгиба и после должны быть равны, а изгиб проходит по окружности, то нам необходимо найти углы, которыми будет отсекается дуга 400 мм, а также малые дуги в 90 мм от её конца. Для этого используем формулу (1). Данный угол будет равен  $57,3^\circ$ , угол для малых дуг (относительно большей дуги) –  $12,89^\circ$ . Строим прямые, отклоненные на данные углы относительно вертикали. Линия, отсекающая дугу 400 мм, определяет положение центра нашего первого сечения в данной окружности.



Данное сечение будет параллельно горизонтали, из-за чего имеет угол наклона относительно определяющей линии (линия, отсекающая дугу 400 мм) –  $32,7^\circ$ . Остальные сечения также будут иметь такой же наклон относительно своих линий (рис. 10).

6. Создаем дополнительные плоскости для сечений тела ножа. Для этого в справочной геометрии > плоскость выбираем в качестве первой ссылки плоскость справа > перпендикулярно, а в качестве второй – линии в плоскости сечения. Плоскости для сечений готовы (рис. 11).
7. После всех построений мы имеем все необходимые плоскости для построения сечений тела ножа исполнительного органа. Строим сечения, а затем наклоняем их на необходимый угол (в качестве исходной точки для наклона принимаем центр эскиза, который лежит на пересечении диагоналей) (рис. 12).
8. Используя команду бобышка/основание по сечениям выбираем постепенно каждое сечение и строим твердотельную модель тела (рис. 13).

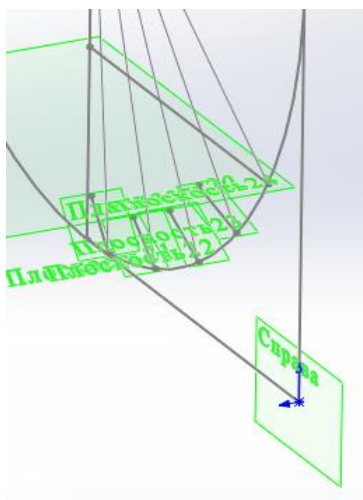


Рис. 11.  
Дополнительные  
плоскости сечений  
Fig. 11. Additional section  
planes

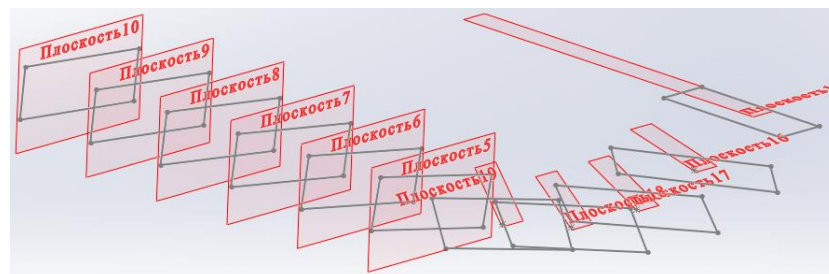


Рис. 12. Сечения тела в каждой плоскости  
Fig. 12. Body sections in each plane

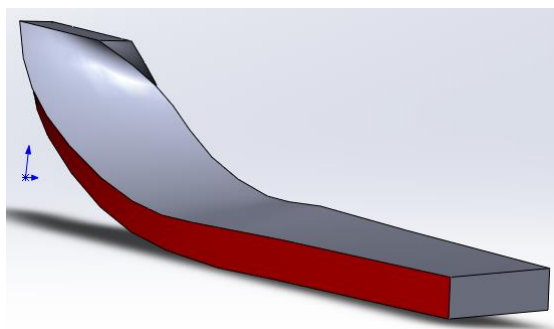
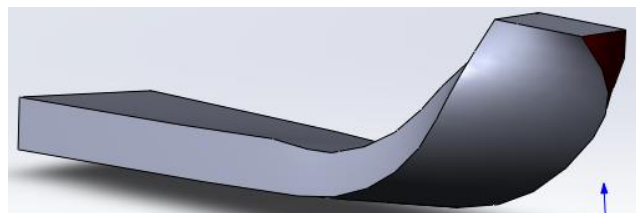


Рис. 13. Твердотельная модель тела  
Fig. 13. Solid-state body model



9. Делаем компоновочную схему исполнительного органа с воронкой (рис. 14).

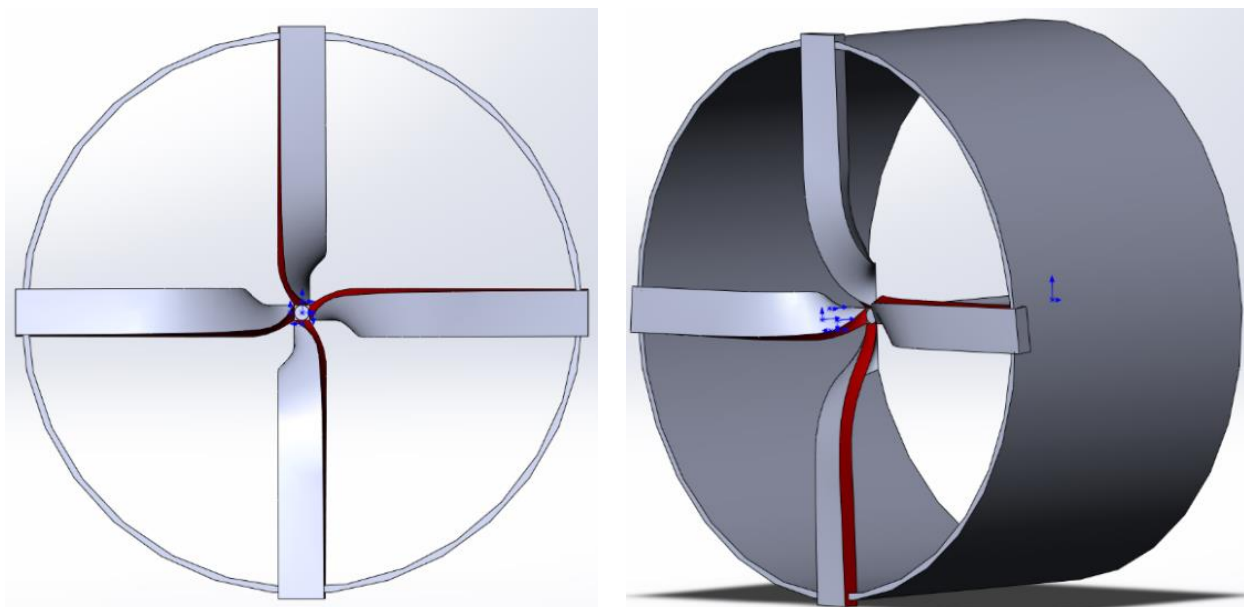


Рис. 14. Компоновочная схема  
Fig. 14. Layout diagram

Разработка методики построения тела ножа геликоида выпуклого.

Данное тело может иметь несколько разновидностей:

- 1) Начальное сечение перпендикулярно начальному положению, конечное сечение также перпендикулярно начальному положению.
- 2) Начальное сечение перпендикулярно начальному положению, конечное сечение остается в начальном положении, промежуточные сечения наклонены.
- 3) Начальное сечение перпендикулярно начальному положению, конечное сечение остается в начальном положении, промежуточные сечения наклонены под углом.

Для данного построения необходимо находить оптимальное значение изгиба, а также места, где будет проходить данный изгиб.

Данное построение необходимо разбить на два этапа, поскольку первый для всех трех типов одинаковый: изгиб по начальному сечению до центра; изгиб по конечному сечению до изгиба.

Первый этап:

1. Выбираем плоскость спереди, в которой строим сечение тела.
2. Параллельно передней плоскости строим дополнительно 10 плоскостей на расстоянии 90 мм.
3. Вводим плоскость, до которой будет проводится изгиб. Для этого выбираем переднюю плоскость и вводим расстояние 450 мм. Ограничивающая плоскость готова (плоскость 11). В нашем случае она совпадает с плоскостью 5 (рис. 15).

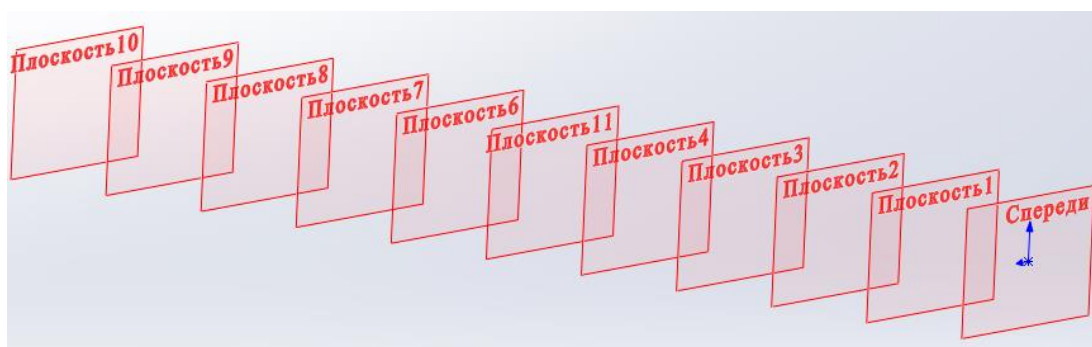


Рис. 15. Плоскость изгиба  
Fig. 15. Bending plane



4. Выбираем плоскость справа. Так как мы начинали строить с плоскости спереди, то можно использовать центрированную точку в качестве точки начального построения. Проводим из неё изначальную линию 450 мм в сторону ограничивающей плоскости, она должна попасть на неё. Затем проводим линию 400 мм в сторону, куда будет проводиться изгиб. Мы нашли центр окружности, по которой проходит изгиб. Строим данную окружность (рис. 16).
5. Так как линия до изгиба и после должны равняться, а изгиб идет по окружности, то используя формулу (1) находим угол, который будет отделять дугу 400 мм в окружности, а также маленькие дуги в 90 мм от её конца. Данные углы равны соответственно:  $64,46^\circ$  и  $12,89^\circ$ . Строим прямые, отклоненные на данные углы. Линия, отсекающая дугу в 450 мм, указывает на центр первого сечения, лежащего на данной окружности. Данное сечение параллельно горизонтали, из-за чего имеет угол наклона относительно определяющей линии (прямая, отсекающая дугу в 450 мм). Сам угол равен  $25,54^\circ$ . Остальные сечения также имеют такой же наклон относительно своих прямых (рис. 17).

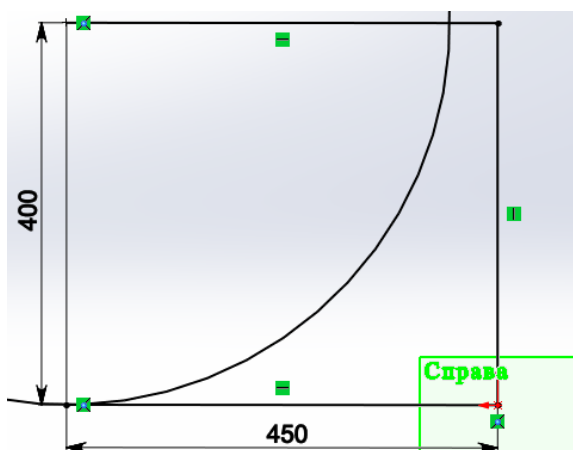


Рис. 16. Окружность изгиба  
Fig. 16. Bending circumference

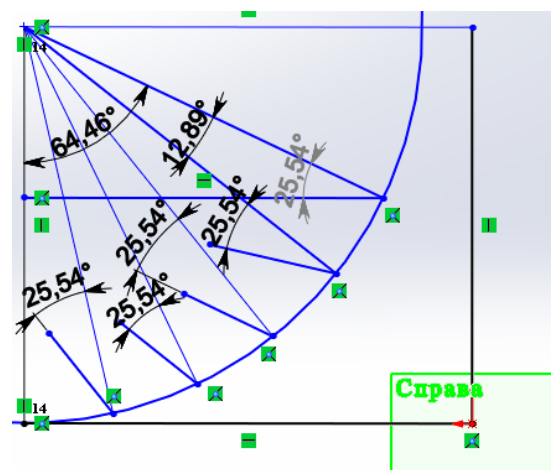


Рис. 17. Углы наклона сечений по изгибу  
Fig. 17. The angles of inclination of the sections along the bend

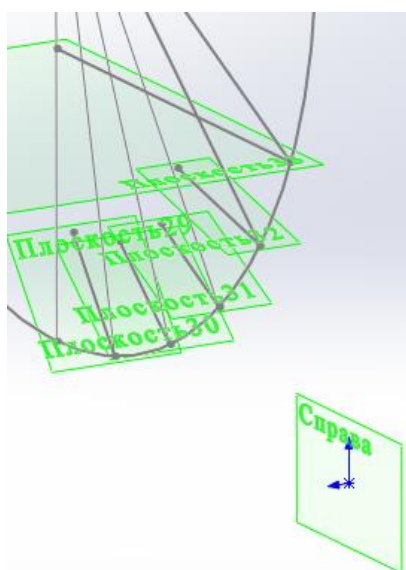
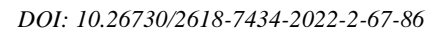


Рис. 18. Дополнительные плоскости сечения  
Fig. 18. Additional section planes



- JOURNAL OF MINING AND GEOTECHNICAL  
ENGINEERING, 2022, 2(17):67*

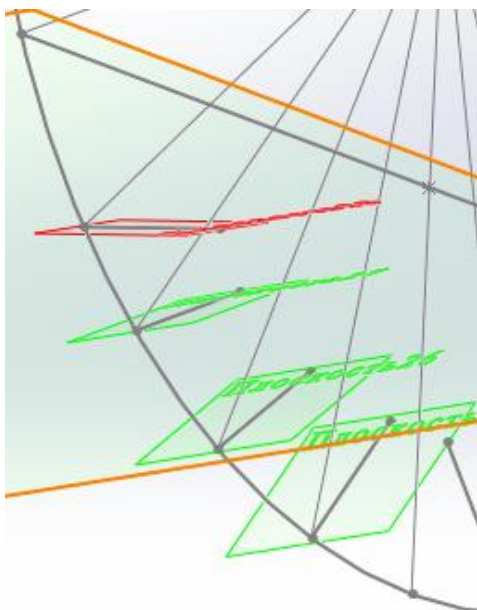


Рис. 20. Плоскости сечений изгиба  
Fig. 20. Planes of bending sections

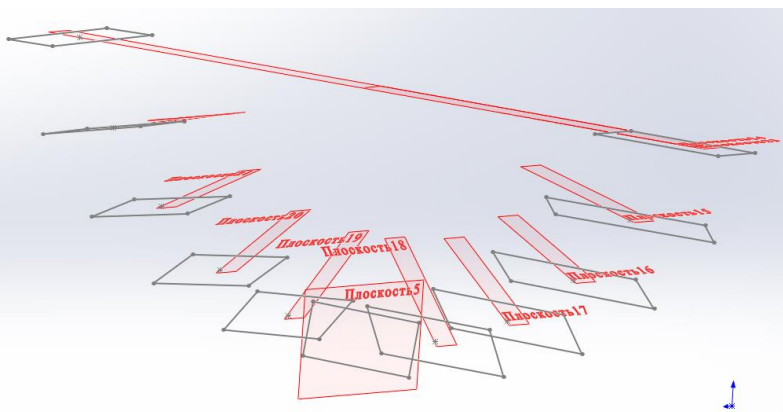


Рис. 21. Сечения тела в каждой плоскости  
Fig. 21. Body sections in each plane

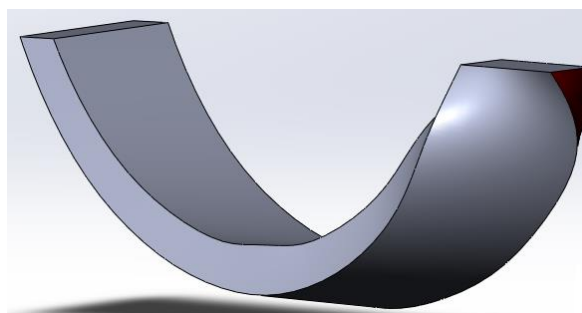
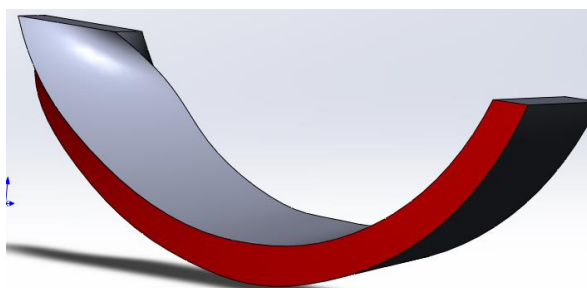


Рис. 22. Твердотельная модель тела  
Fig. 22. Solid-state body model

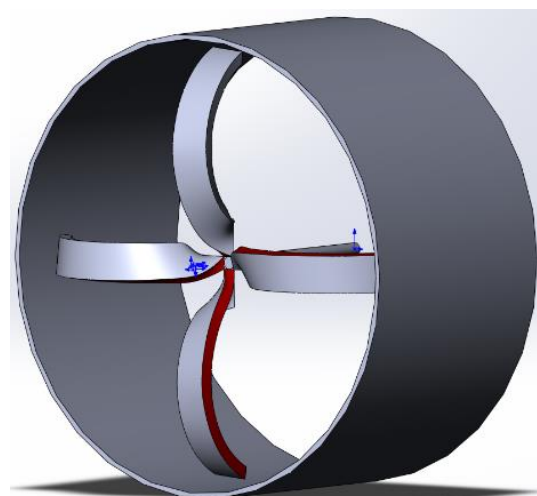
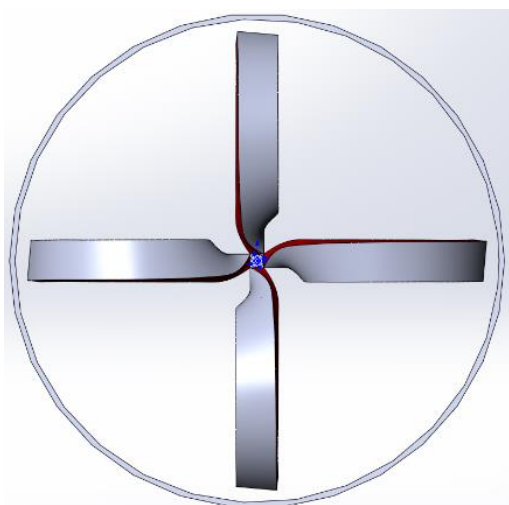


Рис. 23. Компоновочная схема  
Fig. 23. Layout diagram

## II. Построение второго случая.

1. Отделяем дугу 450 мм в окружности (плоскость, созданная на шаге 5). Проводим данную линию, а после отделяем относительно неё 90 мм дуги для оставшихся сечений. Углы, отсекающие от окружности дуги имеют такие же значения, что и в этапе 5. Последнее сечение остается параллельно плоскости спереди, в то время, как остальные сечения располагаются на прямых, отделяющих малые дуги (рис. 24).

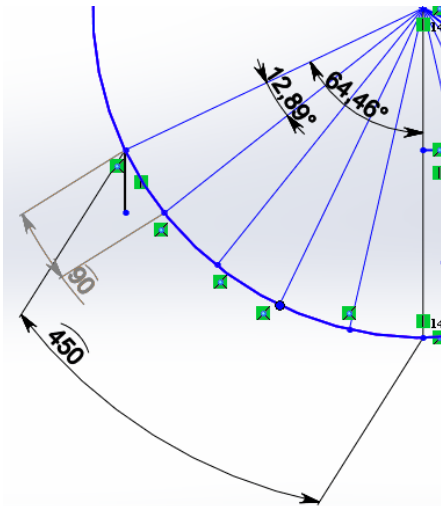


Рис. 24. Вторая часть изгиба  
Fig. 24. The second part of the bend

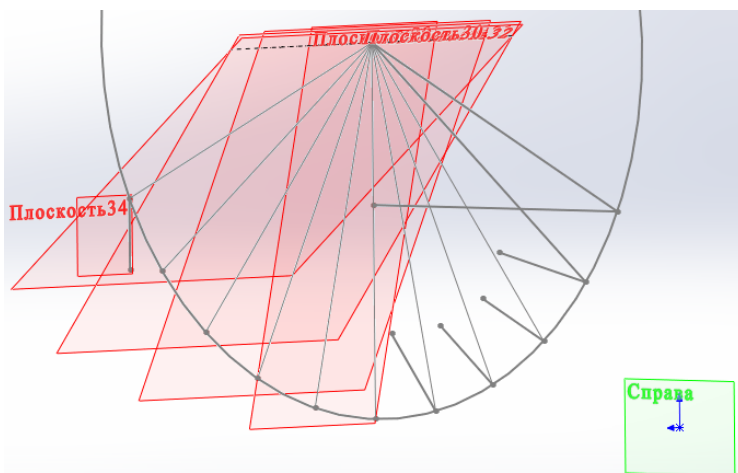


Рис. 25. Плоскости сечений изгиба  
Fig. 25. Planes of bending sections

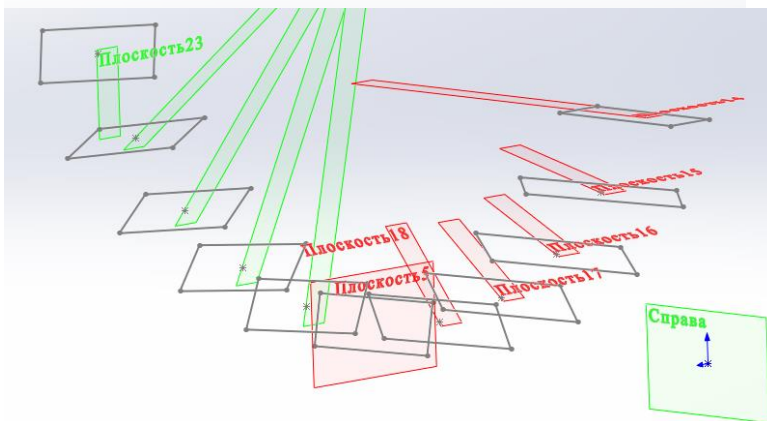


Рис. 26. Сечения тела в каждой плоскости  
Fig. 26. Body sections in each plane

2. Вводим плоскости для каждого сечения в изгибе (рис. 25). В качестве исходных данных выбираем плоскость справа с привязкой к перпендикулярности и линии, лежащие в плоскостях данного сечения.
3. По итогу первого и второго этапа имеем плоскости, в которых будут располагаться сечения тела. Строим данные сечения и наклоняем их на необходимый угол (в качестве исходной точки для наклона используем центр данного сечения, который лежит на пересечении их диагоналей) (рис. 26).
4. Используя команду бобышка/основание по сечениям выбираем по порядку наши сечения. Твердотельная модель тела исполнительного органа готова (рис. 27).

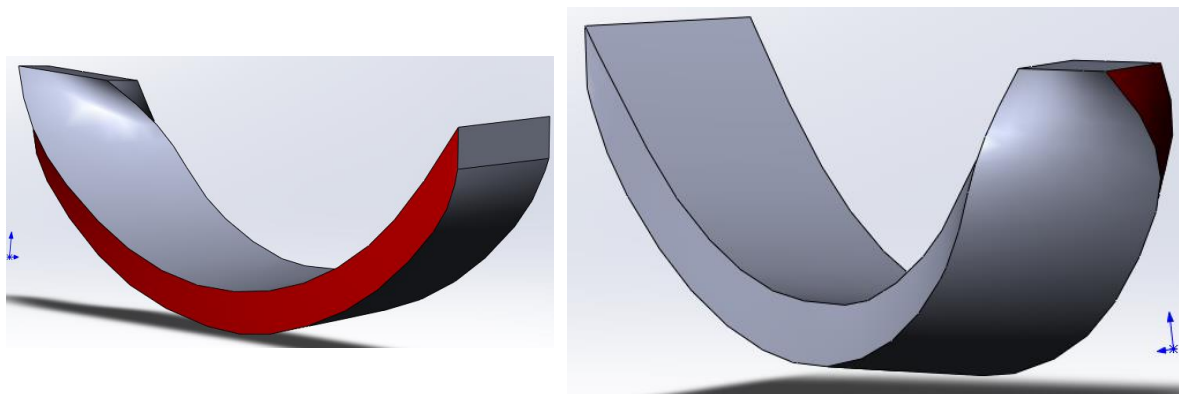


Рис. 27. Твердотельная модель тела

Fig. 27. Solid-state body model

5. Делаем компоновочную схему (рис. 28).

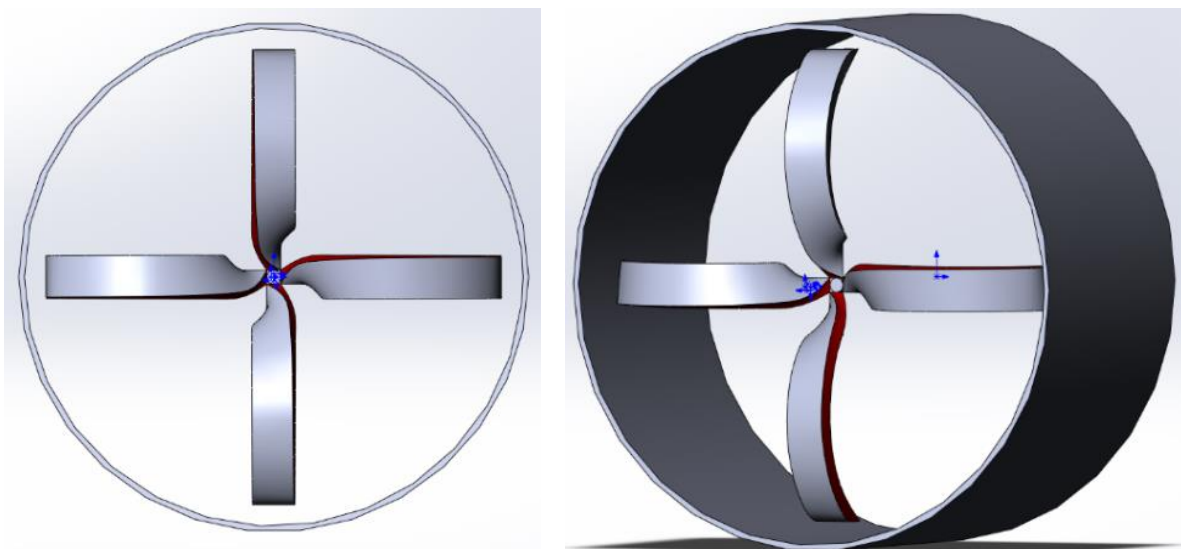


Рис. 28. Компоновочная схема

Fig. 28. Layout diagram

### III. Построение третьего случая.

1. Отделяем дугу 450 мм в окружности (плоскость, созданная на шаге 5). Проводим данную линию, а после отделяем относительно неё 90 мм дуги для оставшихся сечений. Углы наклона данных линий идентичны углам в шаге 5. Последнее сечение параллельно плоскости спереди, из-за чего имеет угол наклона относительно определяемой линии (прямая, отделяющая дугу 450 мм). Сам угол



равен  $115,54^\circ$ . Остальные сечения имеют такой же наклон относительно своих определяемых линий. (рис. 29).

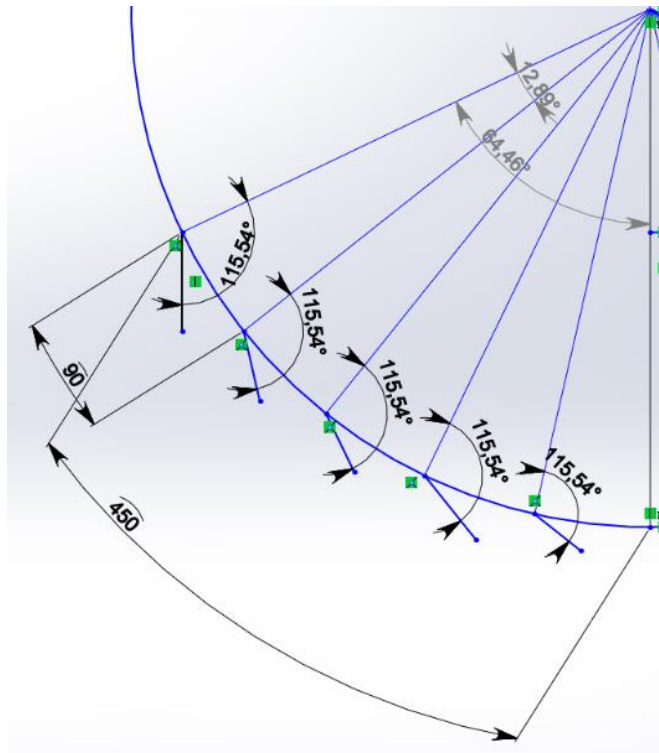


Рис. 29. Вторая часть изгиба  
Fig. 29. The second part of the bend

- Вводим плоскости для каждого сечения в изгибе (рис. 30). В качестве исходных данных выбираем плоскость справа с привязкой к перпендикулярности и линии, лежащие в плоскостях данного сечения.

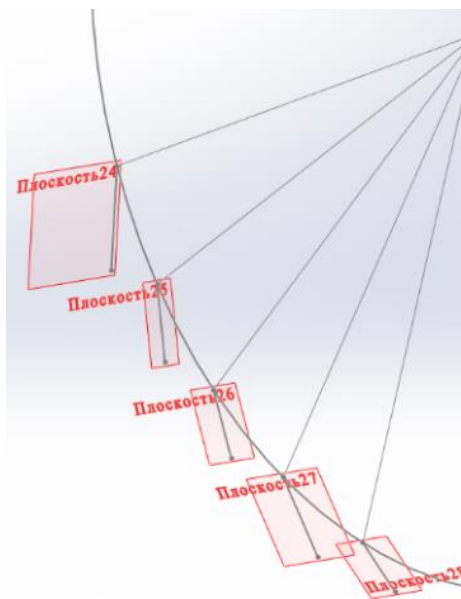


Рис. 30. Плоскости сечений изгиба  
Fig. 30. Planes of bending sections

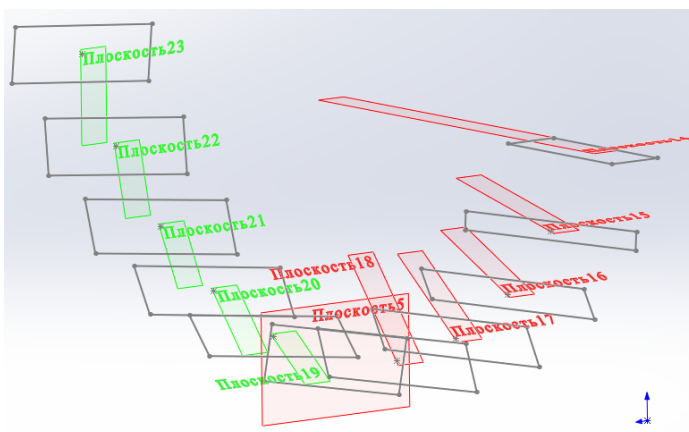


Рис. 31 Сечения тела в каждой плоскости  
Fig. 31. Body sections in each plane

3. По итогу первого и второго этапа имеем плоскости, в которых будут располагаться сечения тела. Строим данные сечения и наклоняем их на необходимый угол (в качестве исходной точки для наклона используем центр данного сечения, который лежит на пересечении их диагоналей) (рис. 31).
4. Используя команду бобышка/основание по сечениям выбираем по порядку наши сечения. Твердотельная модель тела исполнительного органа готова (рис. 32).

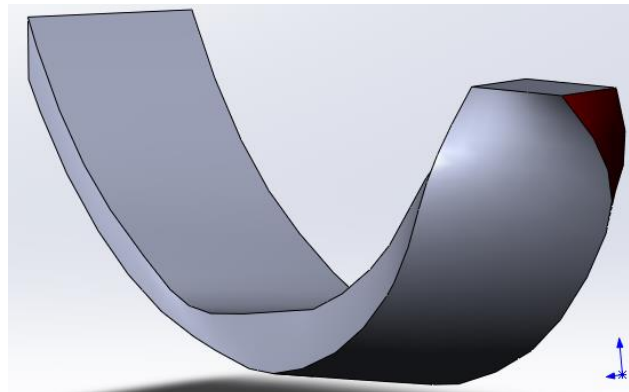
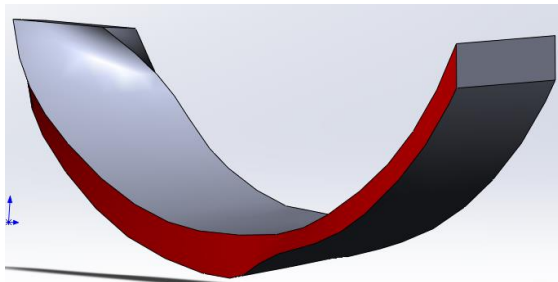


Рис. 32. Твердотельная модель тела  
Fig. 32. Solid-state body model

5. Делаем компоновочную схему (рис. 33).

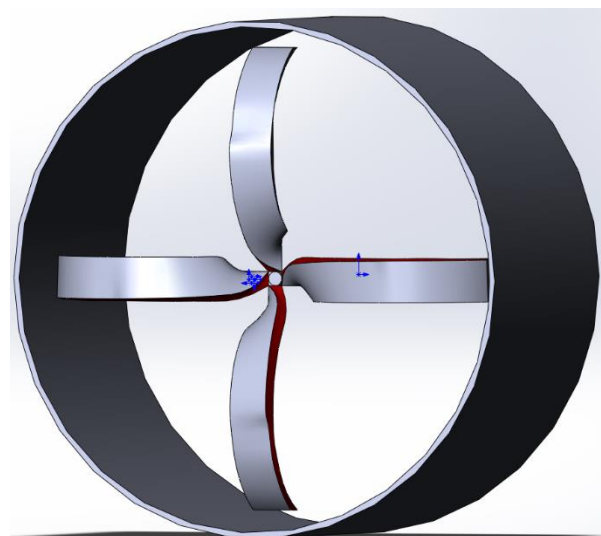
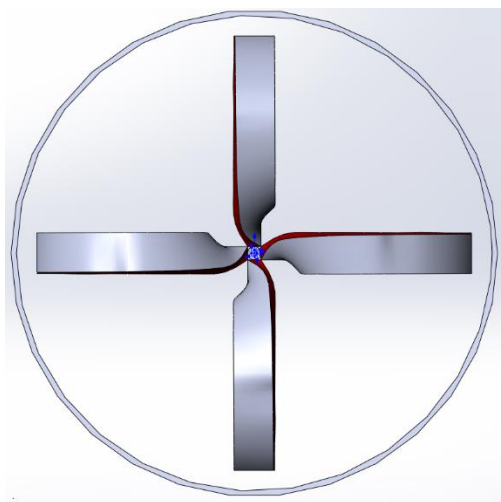


Рис. 33. Компоновочная схема  
Fig. 33. Layout diagram

В результате моделирования по разработанным методикам, были получены твердотельные модели тела ножа ИО различной формы, а также сборки исполнительного органа с данными телами. Полученные твердотельные модели необходимы для:

- моделирования напряженно-деформированного состояния тела ножа ИО геохода в зависимости от горно-геологических условий образования полости в подземном пространстве и геометрических параметров геохода;
- формирование требований к узлу сопряжения ИО с головной секцией геохода и разработка его конструктивных вариантов;
- обоснования конструктивных параметров тела ножа ИО геохода, а также выбора способа и геометрических параметров соединения их между собой и к узлу сопряжения ИО с головной секцией геохода;



- разработки математической модели построения тела ножа ИО различной формы и типоразмера;
- обоснования выбора технологического процесса изготовления тела ножа и его элементов.

## Литература

1. Компонентные решения машин проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Бегляков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1. – С. 251-259. – EDN KPYEZV.
2. Aksekov, V. V. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V. V. Aksekov, A. B. Efremkov, V. Y. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 16-19. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16. – EDN RFPAST.
3. Aksekov, V. V. Estimation of torque variation of geokhod transmission with hydraulic drive / V. V. Aksekov, M. Y. Blaschuk, M. V. Dubrovskii // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 11-15. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.11. – EDN RFOXUZ.
4. Аксенов, В. В. Обоснование необходимости создания нового научного направления - геодинамика подземных аппаратов / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, Д. М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. – № 4(50). – С. 637-643. – DOI 10.21177/1998-4502-2021-13-4-637-643.
5. Walter, A. V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells / A. V. Walter, V. V. Aksekov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 439-444. – EDN UAGJDV.
6. Аксенов, В. В. Геовинчестерная технология и геоходы - инновационный подход к освоению подземного пространства / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2008. – № 4. – С. 19-28. – EDN JVXOVV.
7. Пашков, Д.А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геохода для разрушения мягких пород: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пашков Дмитрий Алексеевич. – Кемерово, 2021. – 176 с. – EDN PUCWKN.
8. Investigation of the mathematical model of the knife of geokhod executive body interaction with the bottomhole rock / V. V. Aksekov, A. B. Efremkov, V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012002. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012002. – EDN DUIMLL.
9. Khoreshok, A. A. Mathematical model for determining the forces of interaction of geokhod systems with geo-environment and with each other / A. A. Khoreshok, D. A. Pashkov, A. B. Efremkov // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012019. – EDN MQRMoe.
10. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, В. Ю. Бегляков, Д. А. Пашков // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 39-47. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47. – EDN ZVEVRT.
11. Садовец, В. Ю. Исследование влияния формы режущей кромки ножевого исполнительного органа геохода на энергоёмкость разрушения породы забоя / В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. – № 4(50). – С. 619-628. – DOI 10.21177/1998-4502-2021-13-4-620-628. – EDN HOWGSW.
12. Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований / В. В. Аксенов, С. В. Магазов, А. А. Хорешок [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4(150). – С. 65-70. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70. – EDN NSDUXH.
13. Патент № 2703027 С1 Российская Федерация, МПК E21D 9/06. Способ строительства подземной выработки и щитовой проходческий агрегат для его осуществления: № 2018143978: заявл. 11.12.2018: опубл. 15.10.2019 / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, Д. А. Пашков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Сибирское научно-производственное объединение" (ООО "Сибирское НПО"). – EDN EFTMUM.
14. Пашков, Д. А. Обоснование величины нагрузок для моделирования взаимодействия инструмента и породы / Д. А. Пашков // Сборник материалов к Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая", Кемерово, 24–27 апреля 2018 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – С. 311061-311065. – EDN UVVLLB.
15. Пашков, Д. А. Определение характерных точек ножевого исполнительного органа геохода / Д. А. Пашков // Сборник материалов к Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с



международным участием "Россия молодая", Кемерово, 24–27 апреля 2018 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – С. 311071-311075. – EDN XVFFYFN.

16. Development of a methodology for modeling complex shaped geokhod operating body in SolidWorks / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering: The conference proceedings ISPCIT'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012005. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012005. – EDN DZOFZP.

17. Садовец, Р. В. Методика построения твердотельной модели ножевого исполнительного органа геолода / Р. В. Садовец, Е. В. Резанова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 14–17 октября 2019 года / Редакция: Д.М. Дубинкин [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 148-151. – EDN JLDJRC.

18. Пашков, Д. А. Влияние шага внешнего движителя на энергоемкость разрушения породы забоя ножевым исполнительным органом геолода / Д. А. Пашков // Россия молодая : Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 16–19 апреля 2019 года / Редакционная коллегия: Костюк Светлана Георгиевна отв. редактор, Останин Олег Александрович, Хорешок Алексей Алексеевич, Дворовенко Игорь Викторович, Кудреватых Наталья Владимировна, Черкасова Татьяна Григорьевна, Стенин Дмитрий Владимирович, Покатилов Андрей Владимирович, Бобриков Валерий Николаевич, Бородин Дмитрий Андреевич. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 10309. – EDN HUNWUZ.

19. Пашков Д. А. Влияние геометрических параметров исполнительного органа геолода на его силовые параметры // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 109–120. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_0\_109.

20. Садовец, В. Ю. Последовательность операций возведения крепи в условиях геовинчестерной технологии / В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014: Материалы XV международной научно-практической конференции, Кемерово, 06–07 ноября 2014 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2014. – С. 63. – EDN TDIQKN.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

### **Информация об авторах**

**Козлов Илья Владимирович**, студент  
e-mail: kozlov-iliya@mail.ru

**Садовец Владимир Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент  
e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

**Садовец Роман Владимирович**, студент  
e-mail: r.sadovec1296@yandex.ru  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1



## DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MAKING A SOLID MODEL OF THE KNIFE EXECUTIVE BODY OF THE GEOKHOD

Ilya V. Kozlov<sup>1</sup>, Roman V. Sadovets<sup>2</sup>, Vladimir Y. Sadovets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University»

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University



### Article info

Received:

15 April 2022

Revised:

12 May 2022

Accepted:

21 May 2022

**Keywords:** mining machines, geokhod, knife executive body, complex helicoidal shape, construction methodology

### Abstract.

The article is devoted to the development of the methodology of making solid models of the body of the knife executing body of a new class of mining machinery – a geokhod. The relevance of the topic is formulated and substantiated. The advantages of using a geokhod for formation of a cavity in the underground space in comparison with other types of tunneling equipment have been highlighted. In order to set the goal and objectives, the main types of the knife executing body and the peculiarities of their operation have been considered. Any knife executing body (blade actuator) can be represented as consisting of three elements: the body of the actuator, which is attached to the coupling module with the head section of the geokhod, and the cutting edge. The geometrical parameters of the cutting edge, and therefore the knife body, depend on the force and geometrical parameters of both the actuator and the geokhod. Three variants of constructive design of the knife executing body are distinguished, for which the methods of constructing solid models are developed. The developed methods of constructing solid models allow creating the constructive solutions of the blade actuator of geokhod of different size, which is a prerequisite for developing a parametric model of creating the bodies of the actuator. The constructed models are fundamental for the development of the manufacturing technology of the geokhod's executive body.

**For citation:** Kozlov I., Sadovets R., Sadovets V. (2022) Development of a methodology for making a solid model of the knife executive body of the geokhod, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(17):67. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86

### References

1. Komponentovyye resheniya mashin provedeniya gornyykh vyrabotok na osnove geovinchesternoy tekhnologii / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Beglyakov [i dr.] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2009. – № 1. – S. 251-259. – EDN KPYEZV.
2. Aksenov, V. V. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Y. Beglyakov // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 379. – P. 16-19. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16. – EDN RFPAST.
3. Aksenov, V. V. Estimation of torque variation of geokhod transmission with hydraulic drive / V. V. Aksenov, M. Y. Blaschuk, M. V. Dubrovskii // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – Vol. 379. – P. 11-15. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.11. – EDN RFOXUZ.
4. Aksenov, V. V. Obosnovanie neobkhodimosti sozdaniya novogo nauchnogo napravleniya - geodinamika podzemnykh apparatov / V. V. Aksenov, V. Yu. Beglyakov, D. M. Dubinkin // *Ustoychivoe razvitie gornyykh territoriy*. – 2021. – T. 13. – № 4(50). – S. 637-643. – DOI 10.21177/1998-4502-2021-13-4-637-643.
5. Walter, A. V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells / A. V. Walter, V. V. Aksenov // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 770. – P. 439-444. – EDN UAGJDV.
6. Aksenov, V. V. Geovinchesternaya tekhnologiya i geokhody - innovatsionnyy podkhod k osvoeniyu podzemnogo prostranstva / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. – 2008. – № 4. – S. 19-28. – EDN JVXOV.





7. Pashkov, D.A. Obosnovanie silovykh i energeticheskikh parametrov ispolnitel'nykh organov geokhoda dlya razrusheniya myagkikh porod: spetsial'nost' 05.05.06 "Gornye mashiny": dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Pashkov Dmitriy Alekseevich. – Kemerovo, 2021. – 176 s. – EDN PUCWKN.
8. Investigation of the mathematical model of the knife of geokhod executive body interaction with the bottomhole rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 sentyabrya 2021 goda. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012002. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012002. – EDN DUIMLL.
9. Khoreshok, A. A. Mathematical model for determining the forces of interaction of geokhod systems with geo-environment and with each other / A. A. Khoreshok, D. A. Pashkov, A. B. Efremkov // Journal of Physics: Conference Series: 3, Veliky Novgorod, 06–07 sentyabrya 2021 goda. – RUS: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012019. – EDN MQRMOE.
10. Geodinamika prokhodcheskikh podzemnykh apparatov. Geosreda, forma i poverkhnosti / V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, V. Yu. Beglyakov, D. A. Pashkov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2021. – № 3(155). – S. 39-47. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47. – EDN ZVEVRT.
11. Sadovets, V. Yu. Issledovanie vliyaniya formy rezhushchey kromki nozhevogo ispolnitel'nogo organa geokhoda na energoemkost' razrusheniya porody zaboya / V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy. – 2021. – T. 13. – № 4(50). – S. 619-628. – DOI 10.21177/1998-4502-2021-13-4-620-628. – EDN HOWGSW.
12. Tsentr ispytaniy prokhodcheskikh podzemnykh apparatov, vzaimodeystviyushchikh s geosredoy. Oblasti issledovaniy / V. V. Aksenov, S. V. Magazov, A. A. Khoreshok [i dr.] // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2020. – № 4(150). – S. 65-70. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70. – EDN NSDUXH.
13. Patent № 2703027 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E21D 9/06. Sposob stroitel'stva podzemnoy vyrabotki i shchitovoy prokhodcheskiy agregat dlya ego osushchestvleniya: № 2018143978: zayavl. 11.12.2018: opubl. 15.10.2019 / V. V. Aksenov, V. Yu. Beglyakov, D. A. Pashkov ; zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Sibirskoe nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie" (OOO "Sibirskoe NPO"). – EDN EFTMUM.
14. Pashkov, D. A. Obosnovanie velichiny nagruzok dlya modelirovaniya vzaimodeystviya instrumenta i porody / D. A. Pashkov // Sbornik materialov x Vserossiyskoy, nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem "Rossiya molodaya", Kemerovo, 24–27 aprelya 2018 goda. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2018. – S. 311061-311065. – EDN UVVLLB.
15. Pashkov, D. A. Opredelenie kharakternykh toчек nozhevogo ispolnitel'nogo organa geokhoda / D. A. Pashkov // Sbornik materialov x Vserossiyskoy, nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem "Rossiya molodaya", Kemerovo, 24–27 aprelya 2018 goda. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2018. – S. 311071-311075. – EDN XVFYFN.
16. Development of a methodology for modeling complex shaped geokhod operating body in SolidWorks / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering: The conference proceedings ISPCIT'2020, Veliky Novgorod, 25–26 iyunya 2020 goda. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012005. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012005. – EDN DZOFZP.
17. Sadovets, R. V. Metodika postroeniya tverdotel'noy modeli nozhevogo ispolnitel'nogo organa geokhoda / R. V. Sadovets, E. V. Rezanova // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroenii i avtotransporte: Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, 14–17 oktyabrya 2019 goda / Redkollegiya: D.M. Dubinkin [i dr.]. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2019. – S. 148-151. – EDN JLDJRC.
18. Pashkov, D. A. Vliyanie shaga vneshnego dvizhitelya na energoemkost' razrusheniya porody zaboya nozhevym ispolnitel'nyim organom geokhoda / D. A. Pashkov // Rossiya molodaya : Sbornik materialov XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Kemerovo, 16–19 aprelya 2019 goda / Redaktsionnaya kollegiya: Kostyuk Svetlana Georgievna otv. redaktor, Ostanin Oleg Aleksandrovich, Khoreshok Aleksey Alekseevich, Dvoroenko Igor' Viktorovich, Kudrevatykh Natal'ya Vladimirovna, Cherkasova Tat'yana Grigor'evna, Stenin Dmitriy Vladimirovich, Pokatilov Andrey Vladimirovich, Bobrikov Valeriy Nikolaevich, Borodin Dmitriy Andreevich. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2019. – S. 10309. – EDN HUNWUZ.
19. Pashkov D. A. Vliyanie geometricheskikh parametrov ispolnitel'nogo organa geokhoda na ego silovye parametry // Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'. – 2022. – № 6. – S. 109–120. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_0\_109.
20. Sadovets, V. Yu. Posledovatel'nost' operatsiy vozvedeniya krep'i v usloviyakh geovinchesternoy tekhnologii / V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2014: Materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, 06–07 noyabrya 2014 goda. –



Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. T.F. Gorbacheva, 2014. – S. 63. – EDN TDIQKN.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### **Information about the authors**

**Ilya V. Kozlov**, Student  
e-mail: Kozlov-iliya@mail.ru

**Vladimir Yu. Sadovets**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
e-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University  
Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Kemerovo, 28 Vesenniyaya st.

**Roman V. Sadovets**, Student  
e-mail: r.sadovec1296@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Scientific and Educational Centre "KAMAZ-BAUMAN"  
Russian Federation, Moscow, 105005, 2nd Baumanskaya street, 5