

Азаренко А.А., М.А. Константинов, И.Ю. Боос  
Сибирский Федеральный университета.  
Институт горного дела геологии и геотехнологий  
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.  
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

### Методика выбора оптимальных параметров скальных отвалов

Отвалообразование, как одно из важных звеньев технологического процесса открытого способа добычи полезных ископаемых, характеризуется значительной трудоемкостью и относительно высокой стоимостью работ. В настоящее время изучению вопросов технологии отвалообразования и ее влияние на технико-экономические показатели работы горнодобывающего предприятия уделяется все большее внимание. Однако, проводимые исследования в известной мере страдают односторонностью. В большинстве случаев основное внимание уделяется анализу чисто технологических процессов без оценки устойчивости откосов отвалов, оказывающей нередко решающее влияние на выбор горнотранспортного оборудования, технологических схем отвалообразования, организации работ и охраны труда при отсыпке отвалов. При этом зачастую параметры отвалообразования принимаются без достаточного обоснования по аналогии с разрабатываемыми карьерами и отвалами. В других случаях основное внимание уделяется установлению параметров предельных устойчивых откосов без их увязки с технологией отвалообразования; при этом нередко из поля зрения исключается экономическая сторона вопроса, в связи с чем получение оптимального решения для окончательного выбора схем отвалообразования становится весьма затруднительным.

Очевидно, что правильное решение данного вопроса возможно лишь на основе комплексного подхода, базирующегося на технико - экономическом обосновании схемы и способа отвалообразования, обеспечивающих устойчивость отвалов в конкретных горно-геологических условиях и способствующих повышению безопасности работ. Как показал проведенный нами анализ работы (более 45 отвалов), на практике вопросам отвалообразования до сих пор уделяется явно недостаточное внимание. На рассмотренных карьерах наибольшее распространение получило бульдозерное отвалообразование совместно с автомобильным транспортом. Отсыпаемые отвалы слагаются в основном скальными и полускальными породами, отличающимися весьма высокими прочностными характеристиками в массиве. Для складирования вскрышных пород применяется преимущественно периферийное отвалообразование, при котором автосамосвалы разгружаются по периферии отвального фронта в непосредственной близости от верхней бровки отвального откоса или под откос. В этом случае вся порода или ее часть перемещается под откос бульдозером.

Как показали исследования, для большинства рассматриваемых карьеров присущ целый ряд недостатков в организации процесса отвалообразования, к основным из которых могут быть отнесены следующие.

На многих предприятиях параметры отвалов (ярусов) не рассчитываются, а принимаются по аналогии с действующими карьерами или на основании опыта. В особой степени это характерно для случаев отсыпки отвалов на наклонное основание в условиях гористой и резко пересеченной местности. Для одних и тех же горно-геологических условий высоты отвалов различаются в два и более раза. Это объясняется тем, что вопросам определения физико-механических характеристик пород отвалов и их оснований, являющихся исходными данными для расчета параметров предельных устойчивых отвалов, уделяется мало внимания. В большинстве случаев отсыпаемые породы характеризуются данными об их крепости в массиве по шкале М.М. Протоdjяконова. При этом в расчетах тело отвала по всей высоте рассматривается как однородная среда, характеризующееся некоторыми усредненными показателями сопротивляемости пород сдвигу. Как следствие, получаемая в результате расчетов предельная высота отвалов скальных и полускальных пород оказывается явно заниженной, что влечет за собой снижение экономических показателей отвалообразования, связанных с увеличением путей транспортирования пород и задалживанием излишних площадей земельного отвода.

При назначении параметров устойчивых отвалов первостепенное значение имеет знание показателей прочностных свойств пород тела отвала. Прочностные характеристики отвалов скальных и полускальных пород во многом определяются закономерностями распределения гранулометрического состава пород в теле отвала; от характера этого распределения зависит и плотность пород отвала, и угол внутреннего трения.

Угол наклона откоса отвала, который при существующих способах отвалообразования является в большинстве случаев углом естественного откоса отсыпаемых пород. По данным многочисленных замеров [1,2] угол естественного откоса пород скальных отвалов колеблется незначительно  $34^{\circ} - 37^{\circ}$ .

Изменение гранулометрического состава пород по высоте отвала оказывает существенное влияние на величины основных прочностных характеристик (сцепление, угол внутреннего трения), а также плотность пород, слагающих тело отвала.

Отвал состоит из породных кусков различных размеров. Образование больших блоков обусловлено в основном естественной трещиноватостью пород в массиве; средние и мелкие куски возникают в процессе измельчения породы в карьере при производстве буровзрывных работ, часть мелкой фракции образуется в результате физического и химического выветривания пород непосредственно в теле отвала. На всех карьерах по методике, изложенной в работе [1,2], было проведено исследование на основании которого делается заключение о том, что отвал скальных пород следует рассматривать как слоистую среду с неявно выраженными границами слоев, мощность которых зависит от среднего размера структурного блока и характера распределения гранулометрического состава пород, обусловленного гравитационной сортировкой сыпучего материала при формировании отвального массива. Нижний и средний слои отвала, сформированные преимущественно породами крупной фракции, обладает повышенной устойчивостью. Поэтому предельная высота устойчивого отвала определяется прочностными характеристиками верхнего мелкофракционного слоя, составляющего 0,3 - 0,4 высоты отвала.

Таким образом, зная прочностные характеристики верхнего слоя по схеме 5.2 [2] можно определить предельную высоту  $h$  верхнего слоя, затем перейти и к общей высоте отвала через формулу  $H = h/0,35$ .

При отсыпки скальных и полускальных пород на слабое основание большой мощности определение параметров предельного откоса по схеме 2.1, 2.2 [2] не всегда дает удовлетворительный результат, так как механизм деформирования таких откосов несколько иной. Под действием веса пород отвала несущая способность основания может оказаться исчерпанной, что влечет за собой деформацию пород в основании отвала; затем начинает деформироваться и проседать сам отвал. К этому времени уже сформирована общая поверхность скольжения с обязательным выпором у бровки основания. В предлагаемом численно-аналитическом способе расчета коэффициента запаса устойчивости отвала определяется как отношение удерживающих и сдвигающих сил с использованием принципа суперпозиций, согласно которому сдвигающие и удерживающие силы определяются суммированием соответственно сдвигающих и удерживающих сил от собственного веса призмы обрушения отвала и внешней нагрузки. Нами разработан соответствующий математический аппарат, алгоритм решения и программа реализована на ПЭВМ. Например, для одного из карьеров по данной методике был проведен расчет параметров скального отвала, расположенного на слабом основании при следующих исходных данных: тело отвала -  $k = 0,0008$  МПа;  $\rho = 32^{\circ}$ ;  $\gamma = 2,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;

основание отвала -  $k' = 0,0008$  МПа;  $\rho' = 32^{\circ}$ ;  $\gamma' = 2,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Анализ расчетов показал, что максимальная высота отвала может быть 35м. При высоте отвала 40м коэффициента запаса устойчивости отвала меньше единицы, а значит откос с основанием будет деформироваться. При двухъярусной отсыпке устойчивым может быть отвал с высотами 1-го и 2-го ярусов по 30м и площадкой безопасности между ними в 30м; в этом случае минимальный коэффициент запаса устойчивости равен 1,068, а при тех же параметрах для площадки безопасности между ними в 20м отвал будет уже неустойчив. При соотношении высот первого яруса 35м и второго яруса 20м и ширине площадки безопасности 20м отвал также устойчив, так как коэффициента запаса устойчивости равен 1,009.

Одним из наиболее распространенных способов ведения отвальных работ на карьерах является бульдозерное отвалообразование с транспортированием пород во внешние отвалы авто-

мобильным транспортом. Эффективность данного способа отвалообразования во многом зависит от правильного выбора параметров отвала, его формы и местонахождения.

При проектировании отвалообразования на карьерах стремятся использовать рельеф местности для создания отвалов большой емкости по возможности вблизи карьера с целью сокращения пути транспортирования пород. Выбор оптимальной формы и местонахождения отвала должен производиться на основе сравнения различных вариантов отвалообразования, число которых может достигать нескольких десятков. Практика горного дела показывает, что эта задача решается маркшейдерской службой предприятий без достаточно обоснованной увязки с устойчивостью откосов, параметрами отвалов, технологией и экономикой отвалообразования. Нами предлагается графоаналитический способ обоснования экономически выгодной формы отвала с учетом рельефа местности, формы отвала в плане и его высоты, которая не превышает предельную по состоянию устойчивости. Исходным материалом служит проект отработки месторождения, топогеодезическая основа района предполагаемого местонахождения отвалов, данные инженерно-геологических изысканий района отвалообразования, а также результаты исследований физико-механических свойств пород отвала и его основания.

Суть метода состоит в следующем:

1. На топографическом плане местности в районе предполагаемой отсыпки отвала наносятся контуры земельного отвода, зоны безопасных сдвижений горных пород от влияния подработки, забалансовых и некондиционных запасов, предусматриваемых в перспективе к отработке.

2. Производится аналитическое описание рельефа местности полиномом  $n$ -ой степени или вычисляется средняя отметка поверхности земли под отвалом.

3. Определяется предельная высота отвала по степени устойчивости отсыпаемых пород и грунтов основания и, исходя из проектного объема вскрыши, вычисляется площадь отвала, необходимая для его размещения.

4. Сообразуясь с условиями местности, отстраивается ряд различных по форме контуров, ограничивающих расчетную площадь отвала; графически определяется в условной системе координаты характерных точек каждого контура и производится аналитическое описание линий контуров с помощью полигонального полинома Чебышева.

5. Площадь отвала разбивается на элементарные участки и в зависимости от выбранной схемы отвалообразования рассчитывается объем каждой элементарной призмы, необходимое количество автомашин для ее отсыпки и длина транспортирования до центра каждого участка. Суммированием найденных величин по элементарным участкам находят значения показателей для всего отвала; из всех рассмотренных контуров выбирается оптимальная форма отвала, характеризующаяся минимальным значением общего пути транспортирования пород.

6. Производится расчет устойчивости борта карьера в зависимости от влияния отвала с целью оценки достаточности его удаления от борта карьера; определяется ширина призмы возможного обрушения на отвале от действия горнотранспортного оборудования.

Согласно вышеизложенной методике производится сравнение других вариантов отвалообразования, отличающихся местоположением отвала на местности и числом ярусов. В результате принимается окончательное решение об оптимальной форме и параметрах отвала, соответствующих минимальному среднему пути транспортирования пород. Предлагаемая методика доведена до машинного решения.

### Литература

1. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука, 1987-224 с.
2. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М. : Горная книга, 2008. – 683 с.

Волченков А.В.

*Муromский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
armitr@yandex.ru*

### Нахождение оптимальных показателей технического уровня технологических машин

Для каждого оцениваемого образца и прототипа вычисляется его отклонение  $\rho_i$  ( $i' = 1 \dots 10$ ),  $\rho_{p1}$ ,  $\rho_{p2}$ ,  $\rho_{p3}$ ,  $\rho_{p4}$  от линеаризционной поверхности. Через точки, соответствующие прототипам-образцам  $A_2$  и  $A_3$ , с минимальным и максимальным отклонениями, в пространстве технических параметров проводятся кривые, эквидистантные линеаризционной – нижняя и верхняя границы соответствия ТУ прототипов-образцов. Расположение точек соответствует прототипам и оцениваемым образцам технологических машин относительно линеаризционных граничных кривых. Отклонение каждого образца оцениваемой технологической машины от линеаризционной кривой сопоставляется с максимальным и минимальным отклонениями  $\rho^-$  и  $\rho^+$ . Отклонение  $\rho_{p4}$  образца  $M_4$  превосходит значение  $\rho^+$ :  $\rho_{p4} > \rho^+$ . Отклонение  $\rho_{p1}$  образца  $M_1$  лежит в пределах  $\rho^+ \geq \rho_{p1} \geq \rho^-$ . Отклонение  $\rho_{p2}$ ,  $\rho_{p3}$  образцов  $M_2$ ,  $M_3$  отрицательны и по абсолютной величине превосходят абсолютную величину  $\rho^-$ ,  $\rho_{p2} < \rho^-$ ,  $|\rho_{p2}| > |\rho^-|$ ,  $|\rho_{p3}| > |\rho^-|$ . По результатам проведенных сопоставлений формулируются следующие результаты оценки: образец  $M_4$  превосходит уровень прототипов; образец  $M_1$  соответствует уровню прототипов; образцы  $M_2$  и  $M_3$  уступают уровню прототипов. В качестве цели и критерия (ограничений) оптимизации обоснованно выбирается важнейший параметр, например, «цена-надежность»:

Для технологических машин зависимость цены станка  $\Pi$  от показателей надежности линеаризуется степенной функцией  $\Pi_i = b_i \omega_i^{-a}$ ,

где  $b_i$  – эмпирический коэффициент, равный себестоимости изготовления  $i$ -ой модели машины, параметр потока отказов которого условно равен 1;

$a$  – параметр степени, характеризующий степень изменения себестоимости под влиянием изменения надежности.

Рассмотрим типоразмерный ряд машин, состоящий из пяти представителей (оцениваемая машина и четыре прототипа), по которым имеются данные. Требуется определить  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$ , чтобы при минимальной себестоимости изготовления машины параметр потока отказов станка  $\omega_M$  (базового образца).

По формуле

$$\omega_1 = \frac{\omega_M}{1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{b_i}{b_1} \right)^{\frac{1}{a+1}}}$$

определяем  $\omega_1$  с учетом  $b_i \omega_i^{-(a+1)} = b_n \omega_n^{-(a+1)}$ ,  $\omega_n = \omega_1 \left( \frac{b_n}{b_1} \right)^{\frac{1}{a+1}}$ .

Находим значение  $\omega_i$  для остальных машин.

По формуле  $C_i = b_i \omega_i^{-a}$  рассчитываем себестоимость изготовления каждой машины при оптимальном уровне безотказности. Вывод об оптимальности параметров технологических машин делается по величине отклонения оптимизированных показателей от их первоначальной величины.

Каменский М.Н.  
Новомосковский институт РХТУ имени Д.И. Менделеева  
301665, Тульская область, г. Новомосковск, ул. Дружбы, 8  
MKamensky@yandex.ru

### Разработка конструкции центробежного насоса в системе автоматизированного проектирования

На химических производствах применяются насосы, которые предназначены для перекачивания химически активных жидкостей, характеризующихся взрывоопасностью и токсичностью [1]. Эти насосы должны быть сконструированы так, чтобы избежать утечек перекачиваемой среды, стойко контактировать с агрессивными жидкостями, а также обеспечивать продолжительное время работы и высокий КПД.

Известно, что центробежные насосы получили наиболее широкое распространение. В этих насосах перекачивание жидкости производится с помощью вращения рабочего колеса от приводного двигателя (рис. 1), в результате чего происходит поворот потока жидкости на  $90^\circ$  от осевого направления к радиальному.



Рис. 1. Рабочее колесо центробежного насоса

В процессе проектирования центробежного насоса основное внимание уделяется геометрии лопаток рабочего колеса, отводящих и подводящих устройств, видов уплотнений. Подвод должен обеспечить равномерное распределение скоростей в потоке перекачиваемой жидкости перед входом в рабочее колесо, а отвод – преобразование потока после рабочего колеса.

Для разработки конструкции центробежного насоса наиболее рационально применить системы автоматизированного проектирования (САПР), что сократит трудоёмкость и сроки проведения работ.

В САПР с использованием функций «Окружность», «Сплайн», «Вытянуть», «Круговой массив», «Вырез» были разработаны конструкции колеса центробежного насоса и сальниковой втулки (рис. 2).

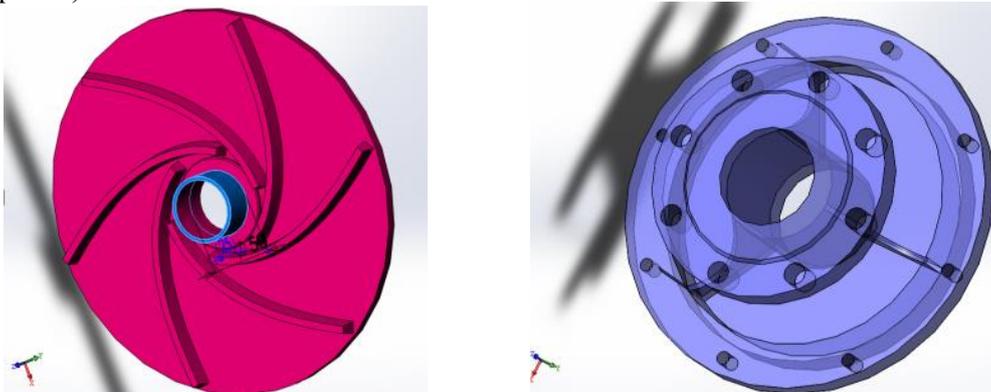


Рис. 2. Разработанные конструкции рабочего колеса и сальниковой втулки

В процессе проектирования необходимо разрабатывать конструкции оборудования с обязательным проведением прочностных расчетов в современных САПР и особое внимание необходимо уделить долговечности основных узлов для обеспечения их надежной эксплуатации.

Также в системе автоматизированного проектирования была разработана конструкция корпуса насоса (рис. 3).

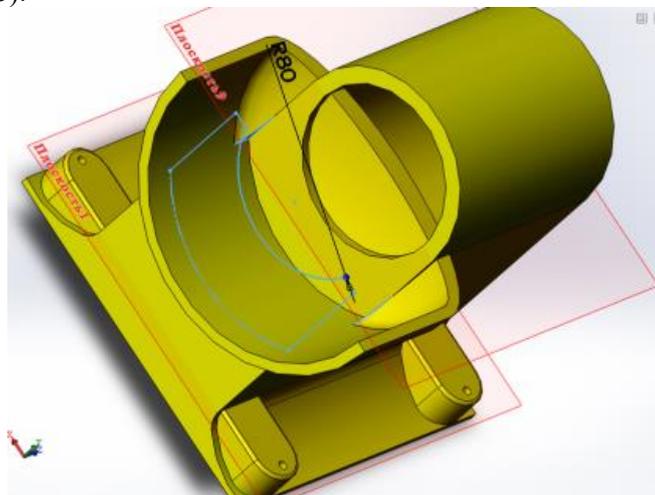


Рис. 3. Корпус насоса

В работе были сконструированы все остальные элементы центробежного насоса, изготовлены их чертежи, на этапе сборки производилось сопряжение всех разработанных деталей, а также осуществлялась проверка правильности сборки (рис. 4).

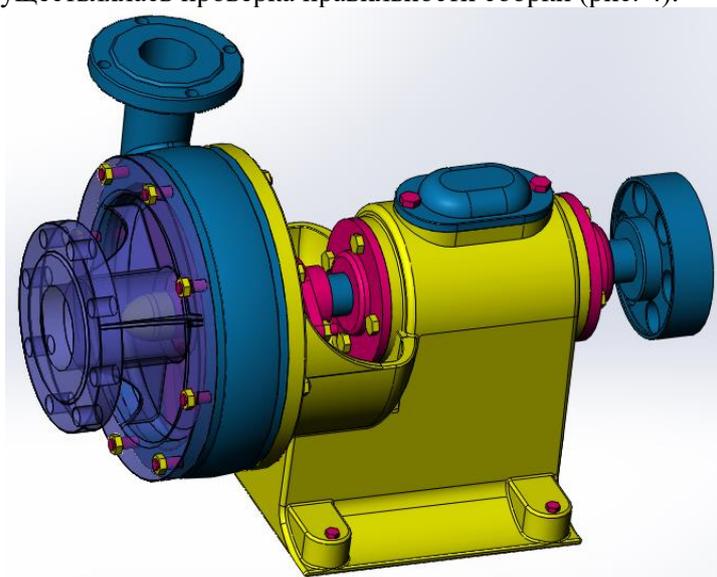


Рис. 4. Разработанная конструкция центробежного насоса

Применение систем автоматизированного проектирования позволяет выбирать материал основных элементов насоса, обеспечивающих химическую совместимость с перекачиваемой жидкостью, также САПР дает возможность при необходимости оперативно вносить соответствующие изменения в проектные решения и повысить качество оформления документации.

В процессе выполнения поставленной задачи была разработана конструкция центробежного насоса и изготовлены его чертежи, предназначенные для наглядного изучения внутреннего устройства и принципа работы машины.

#### Литература

1. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. М: Альфа-М, 2006. 608 с.

Карпов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
krash75@mail.ru*

### **Оценка технологичности конструкции изделий и эффективности технологических процессов по величине удельной энергоёмкости**

Уровень энергозатрат на производство изделий (энергоёмкость) является важным показателем технологичности их конструкции. Ранее из-за сравнительной дешевизны энергоресурсов внимания проблеме энергоёмкости отечественной машиностроительной продукции уделялось недостаточно: доля энергозатрат в структуре себестоимости изделия составляла 4-6 процентов и учитывалась через накладные расходы. В настоящее время в некоторых энергоёмких производствах этот показатель достигает 30-60 процентов. Для разработки мероприятий по энергосбережению необходимо учитывать энергетическую характеристику выпускаемой продукции. Общая энергоёмкость изделия может быть достоверно определена только при наличии методов расчёта и (или) измерения величины энергозатрат на всех переходах (операциях) технологического процесса.

Удельная энергоёмкость обработки резанием функционально зависит от механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров инструмента и элементов режима резания. Следовательно, становится актуальным решение проблемы оптимизации указанных управляемых технологических условий по критерию минимума энергозатрат. Ранее нами описаны устойчивые функциональные связи удельной энергоёмкости с режимами резания, параметрами режущего инструмента, стойкостью лезвия, качеством обработанных поверхностей [1, 2].

Применяемые способы обработки заготовок деталей машин лезвийными инструментами являются весьма затратными в энергетическом отношении. Общие затраты энергии в 10 и более раз превосходят величину полезной работы формирования новых поверхностей, что следует из проведённого нами анализа закономерностей трансформации энергии в зоне резания (рис. 1). Избыток энергии, затрачиваемой на обработку, создает повышенную динамическую и тепловую напряжённость области контакта лезвия с заготовкой, увеличивает уровень вибраций в технологической системе и, как следствие, снижает качество обработанной поверхности и стойкость инструмента.

Будучи зависимой от большого числа управляемых факторов процесса резания, удельная энергоёмкость может служить целевой функцией их оптимального выбора. Проведённые исследования свидетельствуют о том, что для конкретных способов обработки такая функция либо имеет ярко выраженные экстремумы, либо монотонно убывает (особенно при увеличении подачи  $s$  и глубины резания  $t$ ). Обращает на себя внимание незначительное влияние (по сравнению с вышеуказанными факторами) на энергоёмкость значения скорости резания  $v$ . Выбор условий осуществления обработки резанием по минимуму энергозатрат позволяет осуществлять снятие припуска с максимальным энергетическим КПД на каждом технологическом переходе [2].

Удельная энергоёмкость является характерным показателем любого метода обработки резанием. Являясь физическим критерием эффективности, удельная энергоёмкость не зависит напрямую от экономики производства, но выявляет все резервы качества и производительности, которые предопределены сложным комплексом физико-механических закономерностей взаимодействия режущего инструмента и заготовки, в то время как величина экономических показателей зависит от характера производства, типа и состояния конкретной единицы оборудования и других конъюнктурных факторов.

Важным преимуществом удельной энергоёмкости по сравнению с другими физическими и экономическими показателями технологичности конструкции изделий и эффективности технологической обработки является доступность его определения в производственных

условиях путём сопоставления количества израсходованной энергии и объёма (либо площади) обработанных поверхностей [1].

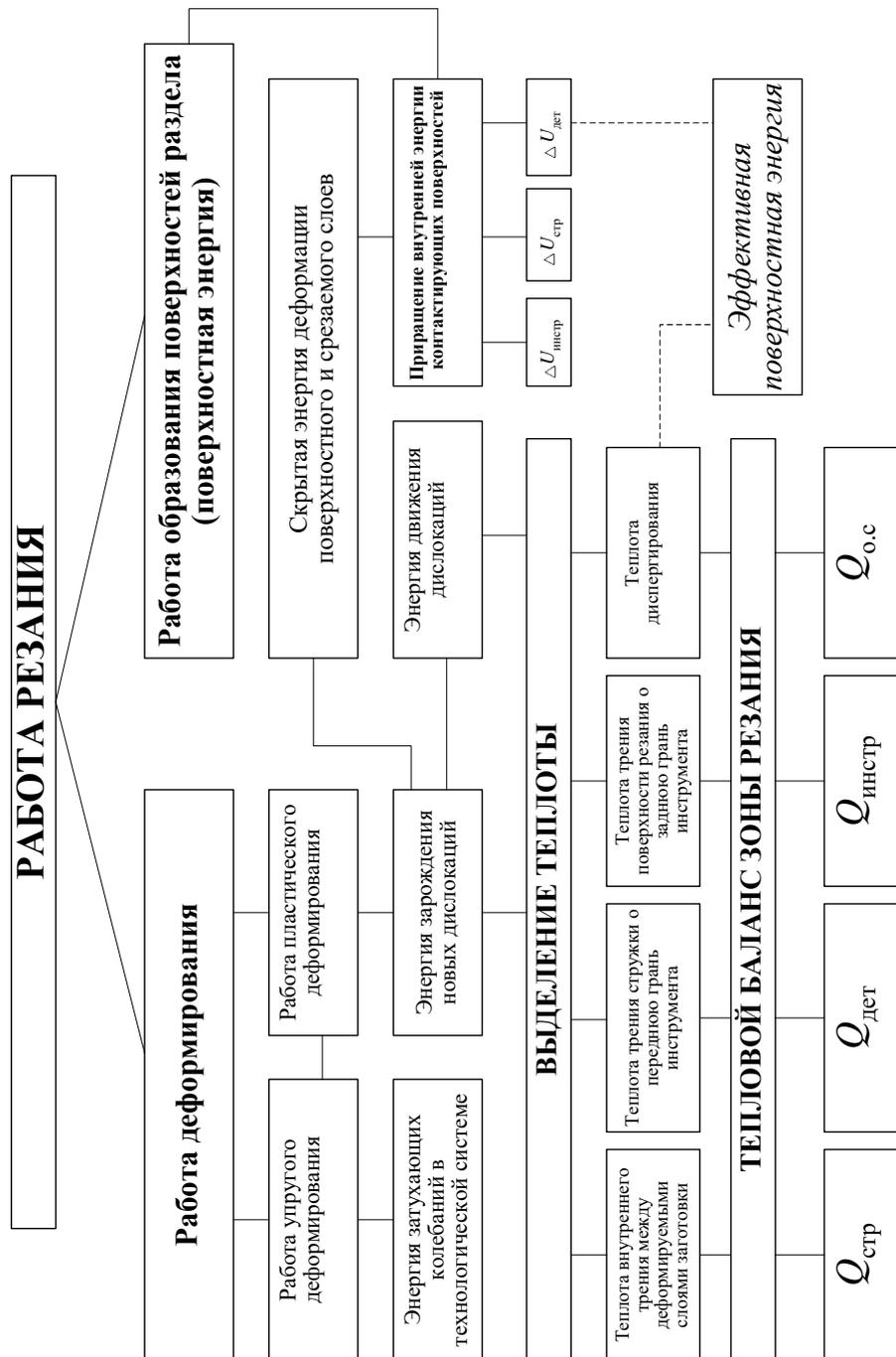


Рис. 1. Структурная модель трансформации энергии в зоне резания

### Литература

1. Карпов А.В. К вопросу повышения энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3. – С. 43-47; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37439> (дата обращения: 10.01.2020).
2. Карпов А.В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 37–49.

Карпов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
krash75@mail.ru*

### **Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании**

В 2012-2019 гг. каф. технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета разрабатывалась и апробировалась методика структурной и параметрической оптимизации технологических процессов обработки резанием с использованием комплексного критерия наибольшей энергетической эффективности стружкообразования  $K \rightarrow \max$ , представляющего собой отношение

$$K = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}} = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{\tau_{\text{ц}}} N(\tau) dt}, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм<sup>3</sup>, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения срезаемого слоя;  $V$  – объём срезаемого слоя;  $n_{\text{ц}}$  – число циклов изменения мощности резания  $N(\tau)$  в единицу времени;  $A_{\text{ц}}$  – работа, совершаемая режущим инструментом за время  $\tau_{\text{ц}}$  цикла полного однократного изменения мощности резания [1, 2].

В [3] нами рассмотрены четыре типовые схемы изменения мощности резания  $N=N(\tau)$  во времени рабочего хода:

- мощность резания не изменяется во времени;
- мощность резания постепенно возрастает до максимального значения  $N_{\max}$ , затем стремительно убывает;
- мощность резания стремительно возрастает до максимального значения  $N_{\max}$ , затем постепенно убывает;
- мощность резания постепенно возрастает до максимального значения  $N_{\max}$ , затем постепенно убывает (параболическая закономерность).

Различные виды обработки заготовок лезвийными режущими инструментами (точение, сверление, фрезерование, протягивание, разрезание, строгание и т.п.) можно отнести к одной из типовых схем. Типизация реальных закономерностей изменения мощности резания во времени позволила выявить для каждой схемы методику определения величины энергозатрат за время рабочего хода (подынтегральное выражение в (1)).

В таблицах 1 и 2 приведены теоретико-эмпирические выражения для расчёта показателя энергетической эффективности стружкообразования  $K$  применительно к наиболее распространённым видам обработки резанием – точению и фрезерованию.

Значение  $K$  зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала ( $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\psi_{\text{в}}$ ,  $T_s$ ,  $E$ ,  $\delta$ ,  $HВ$ ), диаметра заготовки или фрезы  $D$ , геометрических параметров инструмента ( $k_{\text{фр}}$ ,  $k_{\text{гр}}$ ,  $k_{\text{р}}$ ), режимов резания ( $t$ ,  $s$ ,  $n$ ,  $v$ ), температуры  $T$ . Показатель  $K$  может быть сведён к целевой функции вида  $K \rightarrow \max$ , аргументами которой являются управляемые технологические параметры. Расчётные выражения показателя  $K$  легли в основу оптимизации технологических процессов обработки резанием. В результате оптимизации отмечено сокращение энергетических затрат при осуществлении процессов точения и фрезерования заготовок до 15-18% по отношению к рекомендованным в справочной литературе технологическим условиям обработки при обеспечении требуемых значений производительности, стойкости инструмента, качества обработанных поверхностей.

Таблица 1 - Расчёт показателя энергетической эффективности при точении

Вид токарной обработки	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Расчетное выражение
Точение продольное цилиндрическое	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь, $\sigma_b \leq 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{5,556 \cdot 10^{-3}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,65}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
		Конструкционная сталь, $\sigma_b > 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{7,848 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx \frac{2,204 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{s^{0,25} \cdot n^{0,15} \cdot (D-t)}{D^{0,85}}$
		Серый чугун	$K \approx \frac{1,136 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot HB^{0,4}} \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
		Ковкий чугун	$K \approx \frac{1,174 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{HB^{0,4}} \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
Точение поперечное цилиндрическое (торцовое)	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь, $\sigma_b \leq 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{5,556 \cdot 10^{-3}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,65}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25}$
		Конструкционная сталь, $\sigma_b > 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{7,848 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25}$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx \frac{2,204 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot (Dn)^{0,15} \cdot s^{0,25}$
		Серый чугун	$K \approx \frac{1,136 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot HB^{0,4}} \cdot s^{0,25}$
		Ковкий чугун	$K \approx \frac{1,174 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{HB^{0,4}} \cdot s^{0,25}$

Таблица 2 - Расчёт показателя энергетической эффективности при фрезеровании

Вид фрезерной обработки	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Расчетное выражение
Фрезерование цилиндрическое	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь	$K \approx 3,153 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{t^{0,14} \cdot s_M^{0,28}}{D^{0,14} \cdot z^{0,28} \cdot n^{0,28}}$
		Серый чугун	$K \approx 3,44 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot HB^{0,55}} \cdot \frac{t^{0,17} \cdot s_M^{0,35}}{D^{0,17} \cdot z^{0,35} \cdot n^{0,35}}$
		Ковкий чугун	$K \approx 3,021 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{HB^{0,55}} \cdot \frac{t^{0,14} \cdot s_M^{0,28}}{D^{0,14} \cdot z^{0,28} \cdot n^{0,28}}$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx 2,129 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,7}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{t^{0,12} \cdot s_M^{0,35}}{D^{0,13} \cdot z^{0,25} \cdot n^{0,25}}$
		Серый чугун	$K \approx 0,532 \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot HB} \cdot \frac{t^{0,1} \cdot s_M^{0,2}}{D^{0,1} \cdot z^{0,2} \cdot n^{0,2}}$
	Разрезание круглого проката дисковой пилой	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь
Твердый сплав		Конструкционная сталь	$K \approx 1,708 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,7}}{1-1,7 \psi_b} \cdot \frac{d^{0,1} \cdot D^{0,1} \cdot s_M^{0,2}}{B^{0,1} \cdot z^{0,2} \cdot n^{0,1}}$

### Литература

1. Karpov A.V. Determining the effective conditions for machining fabrication procedures based on the cutting process energy patterns // Procedia Engineering. Vol. 129 (2015). Pp. 116-120.
2. Карпов А.В. Показатели энергетической эффективности процесса резания // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. Том 14. № 1. 2012. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012. – С. 51-59.
3. Карпов А.В. Совершенствование технологических процессов обработки резанием с использованием энергетического критерия эффективности стружкообразования // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 8 февр. 2019 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2019.– С. 209-210.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Константинов А.М., Баринов С.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
ararat2221@mail.ru*

### **Исследование влияния режимов упрочнения на микроструктуру стали 40Х**

В настоящее время, для повышения срока службы изделий широко применяют различные технологии упрочнения. Одними из основных способов упрочнения является термообработка, химико-термическая обработка, нанесение покрытий и поверхностное пластическое деформирование.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – способ обработки, в ходе которого происходит упруго-пластическое деформирование поверхностного слоя детали с целью повышения его прочности, увеличения стойкости к износу. ППД имеет ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми способами обработки. Главным является наличие плавного перехода между упрочненным и неупрочненным слоем, что, в отличие от способа нанесения покрытий различных видов, исключает концентраторы напряжений на границе между упрочненной и неупрочненной областями детали. Также ППД отличается высокой эффективностью и меньшей энергоемкостью процесса, может применяться для деталей различной формы и размеров, подходит для обработки деталей с ранее закаленным поверхностным слоем и т.д.

Достаточно перспективным методом поверхностного пластического деформирования является метод статико-импульсной обработки. Сущность статико-импульсной обработки (СИО) заключается в предварительном статическом поджатии инструмента и последующем динамическом воздействии на него ударным импульсом. [1] Предварительное статическое поджатие инструмента перед ударом позволяет наиболее полно передавать энергию удара в нагружаемую среду, повышая КПД процесса до 30%. Таким образом, повышается эффективность воздействия на обрабатываемый материал. За счет ряда дополнительных конструктивно-технологических параметров, СИО может проводиться с разной глубиной и степенью упрочнения, что позволяет формировать как равномерно, так и гетерогенно упрочненный слой.

Метод статико-импульсной обработки разработан относительно недавно, поэтому вопрос изучения его возможностей является актуальной задачей современной науки. Ранее проводились исследования влияния режимов упрочнения на твердость, остаточные напряжения, контактную выносливость и ударную вязкость [2]. Исследованию влияния режимов упрочнения СИО на микроструктуру упрочненных образцов уделялось достаточно мало внимания. Полученные знания в этой области позволят более широко использовать в промышленности технологию СИО.

Целью данной работы является исследование влияния режимов упрочнения на микроструктуру стали 40Х. Выбор объекта исследования – стали 40Х, – обоснован тем, что данная марка стали широко применяется на производстве для изготовления ответственных деталей машин, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях.

Для достижения поставленной цели проведены эксперименты, в ходе которых с различными режимами статико-импульсной обработки, обеспечивающими перекрытие пластических отпечатков от 0,1 до 0,9, произведено упрочнение образцов из стали 40Х. Упрочнение осуществлялось стержневым роликом длиной 40 мм и диаметром 10 мм. После из упрочненных образцов изготовлены микрошлифы, металлографические исследования которых проводились с помощью микроскопа Leica DMI8.

На основании результатов проведенного эксперимента установлено, что с увеличением равномерности с  $K=0,1$  до  $K=0,9$ , в поверхностном слое стали 40Х, происходит увеличение толщины слоя с микроструктурными изменениями с 124 до 311 мкм (рис. 1). Внутри этого слоя наблюдается текстура деформации зерен, сглаживающая их границы [3]. Под зоной с

микроструктурными изменениями расположена исходная (состояние поставки) нормализованная структура перлита и феррита.



Рис. 1 Упрочненный слой образца из стали 40X, с  $K=0,8$ ,  $\times 158$ .

### Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2004. 288 с. (Библ. технолога).
2. Kirichek A.V., Barinov S.V., Yashin A.V., Kolontsov S.E. The investigation of the deformation wave hardening effect on the strength of the medium and low alloy steels // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 177, 012121 (5 pp), 2017
3. Киричек А.В., Баринов С.В., Давыдов С.В., Яшин А.В., Зайцев А.А., Константинов А.М. Микроструктурные изменения в стали 45, вызванные волновым деформационным упрочнением // Вестник Брянского государственного технического университета, 2017. № 8 (61). С. 79-85..

Константинов М.А., И.Ю. Боос  
Сибирский Федеральный университета.  
Институт горного дела геологии и геотехнологий  
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.  
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

### Оценка устойчивости откосов бортов карьера в обводненном массиве горных пород

По гидрогеологическим условиям эксплуатации карьера «Восточный» Олимпиадинского ГОКа, прибортовой массив обильно обводнен.

Оценка устойчивости обводненных откосов была выполнена по методике и специальной программе [1,2], позволяющая рассчитать коэффициент запаса устойчивости прибортового массива в зависимости от различного положения депрессионной воронки. В программе используются два метода расчета: алгебраического сложения сил и векторного сложения сил.

Схема расчета обводненного откоса методом алгебраического сложения сил представлена на рис. 1.

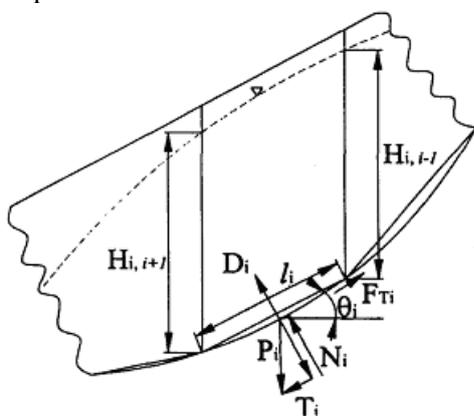


Рис. 1. Схема расчета обводненного откоса методом алгебраического сложения сил

В расчет принимаются следующие силы:  $N_i$ ,  $T_i$  — соответственно нормальная и касательная составляющие веса расчетного блока;  $D_i$  — сила гидростатического давления, направленная перпендикулярно основанию расчетного блока:

$$D_i = \gamma_w \frac{H_{i,i-1} + H_{i,i+1}}{2} l_i$$

где  $\gamma_w$  — плотность воды,  $\text{т/м}^3$

$H_i$  — высота столба воды в расчетном блоке, м;

$l_i$  — протяженность обводненной части блока, м.

Коэффициент запаса устойчивости откоса  $n$  по методу алгебраического сложения сил определяется для наиболее напряженной поверхности скольжения по формуле:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - D_i) \text{tg} \varphi_p + C_p \sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

В программу вводятся координаты (X, Y) контура борта, границы типов пород, депрессионной кривой, поверхности ослабления, сцепление, угол внутреннего трения без коэффициента запаса, в соответствии с которыми определяется положение кривой скольжения из условия минимальности коэффициента запаса устойчивости.

В расчетах, в зависимости от расстояния от верхней бровки откоса борта до центра водоупорной скважины, рассматривалось пять возможных вариантов положения депрессионной воронки. Высота высачивания принята равной 50 м от дна карьера.

В табл. 1 приведены расчетные коэффициенты запаса устойчивости для рассматриваемых бортов карьеров в зависимости от положения депрессионной воронки.

Из таблицы 1 видно, что для обеспечения заданного коэффициента устойчивости ( $n=1,3$ ) бортов в обводненных условиях пород необходимо уменьшение генерального угла по отношению к условиям сухого откоса.

С учетом данных табл.1, для четвертого и пятого варианта положения депрессионной воронки, устойчиво-конструктивные параметры бортов карьера в обводненных условиях приведены в табл. 2.

Таблица 1. Значения коэффициентов запаса при различных положениях депрессионной воронки и значениях угла откосов бортов

Генеральный угол откоса	Коэффициент запаса при:					
	сухом откосе	различных вариантах положения депрессионной воронки				
		1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант	5 вариант
восточного борта						
37,0°	1,33	1,01	1,05	1,07	1,13	1,22
33,5°	1,47	1,14	1,15	1,17	1,24	1,34
31,0°	1,57	1,20	1,22	1,26	1,28	1,45
западного борта						
36,1°	1,23	1,05	1,06	1,07	1,10	1,16
34,0°	1,32	1,12	1,13	1,14	1,17	1,24
30,0°	1,49	1,20	1,21	1,22	1,26	1,34
северного борта						
38,3°	1,28	0,98	0,99	1,01	1,05	1,17
35,0°	1,40	1,07	1,08	1,10	1,14	1,27
31,0°	1,55	1,16	1,17	1,20	1,26	1,38
южного борта						
35,7°	1,28	1,07	1,08	1,09	1,12	1,20
33,0°	1,39	1,14	1,15	1,15	1,20	1,28
29,5°	1,53	1,24	1,25	1,26	1,30	1,39

Таблица 2 - Конструктивные параметры устойчивых бортов карьера в обводненных условиях

Борт карьера	Высота борта Н, м	Устойчиво-конструктивный угол откоса $\alpha$ , град					
		положение депрессионной воронки					
		4-й вариант			5-й вариант		
		Нижней части	Средней части	Верхней части	Нижней части	Средней части	Верхней части
Южный	700,0	37,5	29,5	23,0	47,5	33,0	26,0
Северный	600,0	40,0	30,0	25,5	45,5	34,5	28,0
Восточный	614,0	40,0	30,5	25,0	45,4	34,7	27,0
Западный	705,0	37,0	29,0	24,5	38,2	31,5	25,0

Для более неблагоприятных вариантов положения депрессионной воронки (1-ой и 2-ой) необходимо дальнейшее уменьшение генеральных углов бортов.

Учитывая, что конфигурация бортов карьера в плане близка к окружности, за счет сил бокового распора величина генерального угла откоса борта может быть увеличена на 4 - 6°.

### Литература

1. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М. : Горная книга, 2008. – 683 с.

2. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В. Расчет устойчивости карьерных откосов по программе STABILITY ANALYSIS. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 56-63.

Никитина Л.Г.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: nikitina-nlg@yandex.ru*

### **Электрошпиндели для современных станков**

Современные скорости резания требуют новых конструкций шпиндельного узла, который должен обеспечить следующие требования:

- высокая мощность в широком диапазоне частот вращения;
- высокая радиальная и осевая жёсткость;
- максимальная скорость вращения.

Одним из вариантов такой конструкции может быть электрошпиндель (ЭШ), в котором детали двигателя встроены в корпус шпиндельного узла. Электрошпиндель металлорежущего станка должен состоять из установленного на подшипниках шпиндельного вала, узлов электродвигателя и механизма зажима инструмента [1].

Шпиндель должен иметь высокие скорости вращения, передавать вращающий момент и мощность к инструменту, иметь хорошую нагрузочную способность и длительный срок службы.

При проектировании приходится учитывать тот факт, что высокоскоростной шпиндель не может иметь высокой жёсткости, а шпиндель имеющий высокую жёсткость не может вращаться на высоких частотах без резкого уменьшения срока службы подшипников. Таким образом, конструктор ЭШ обязан выбрать наилучшее компромиссное решение.

Одним из наиболее важных факторов высокоскоростного шпинделя является выбор подшипников [2].

Для высокоскоростной обработки в основном используются шариковые радиально-упорные подшипники, т.к. они обеспечивают высокую точность вращения, нагрузочную способность и скорость. В некоторых случаях используются роликоподшипники вследствие их более высокой нагрузочной способности и жёсткости. Однако они не обеспечивают необходимую скорость вращения.

Важным критерием выбора подшипников является максимальная скорость подшипника или достижимая скорость вращения шпинделя. Это определяется типом подшипника, методом смазки, преднатягом, нагрузкой.

Одним из основных параметров радиально-упорных подшипников является угол контакта. Осевая нагрузка радиально-упорных шарикоподшипников увеличивается с увеличением угла контакта. Угол  $25^\circ$  выбирают, если шпиндель предназначен в основном для сверления,  $15^\circ$  - для фрезерования.

Выходная жесткость шпиндельного узла существенно зависит от величины предварительного нагружения (преднатяг). В зависимости от условий работы в опорах может быть создан лёгкий, средний и тяжёлый преднатяг. Лёгкий преднатяг создается в подшипниках предназначенных для работы на очень высоких скоростях, они имеют меньшую жёсткость. При создании тяжелого преднатяга шпиндель работает на меньших скоростях, но имеет максимальную жёсткость.

С целью обеспечения требуемой нагрузочной способности шпинделя, подшипники в опоре комплектуются по следующим схемам: дуплекс (два подшипника в опоре) и триплекс (три подшипника в опоре). Это позволяет распределить нагрузку и увеличить общую жёсткость шпинделя.

Важным фактором быстроходности подшипников является метод смазывания. Наиболее простым методом смазки является консистентная смазка, при которой она закладывается на весь срок службы подшипников. При очевидных преимуществах (минимальная стоимость и минимальные затраты на техническое обслуживание), на высоких скоростях ее свойства ухудшаются.

Наиболее эффективной смазкой подшипников для высокоскоростных ЭШ является воздушно-масляная смазка. Точно рассчитанное количество масла и воздух подаются под давлением в специальный механический смеситель, откуда воздушно-масляная смесь по трубкам поступает к подшипникам шпинделя [3].

В качестве электродвигателей высокоскоростных ЭШ чаще всего используют асинхронные двигатели, ротор которого устанавливается на шпинделе, статор в корпусе ЭШ. Размеры и мощность двигателя жёстко ограничены размером шпинделя. Частота вращения ротора регулируется изменением частоты питающего напряжения. Для сохранения постоянного положения оси ротора при различных радиальных и осевых нагрузках, отклонения ротора контролируются радиальными и осевыми датчиками, установленными в корпусе.

При определении конструктивных размеров шпинделя следует прогнозировать виброустойчивость шпиндельного узла, которая проявляется на высоких скоростях вращения. Частота изгибных колебаний зависит от диаметра и длины шпиндельного вала. Конструкция с длинным шпинделем имеет ряд преимуществ – увеличение нагрузочной способности шпинделя и возможность установки ротора большей мощности. Однако увеличение длины шпинделя может привести к тому, что частота изгибных колебаний может приблизиться к рабочим частотам в зоне резания. В этом случае нужно или увеличить диаметр шпиндельного вала, или уменьшить его длину [4].

### Литература

- 1 Анализ теплового состояния мотор-шпинделя. - Современные проблемы науки и образования №3, Академия естествознания, Электронный научный журнал, Москва 2013
2. Пуш А.В., Зверев И.А. - Проектирование шпиндельных узлов, на опорах качения с заданными показателями работоспособности. СТИН, 1999, № 9, с. 9.
3. Смирнов А.И. Оптимизация смазки быстроходных шпиндельных узлов. М.: НИИМАШ, 1979. - 44с.
4. Хомяков В.С., Никитин С.П., Лурье А.И. - Влияние структуры привода главного движения на его динамические характеристики. СТИН, 1997, № 2, с.16.

Прохоров Е.С.  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический  
университет им. Л.Н. Толстого»  
г. Тула, проспект Ленина, 125, Российская Федерация  
E-mail: lukienko\_lv@mail.ru)

### **Использования карт потока производственных процессов для повышения эксплуатационной надежности МТА**

**Введение.** Производство сельскохозяйственной продукции требует применения в технологии возделывания сельскохозяйственных культур высокопроизводительной сельскохозяйственной техники. В настоящее время машинно-тракторный парк Тульской области состоит в основном из техники, возраст которой более 10 лет. Так как заменить технику большинство предприятий не имеет возможности, возникает необходимость повышения эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов, для обеспечения бесперебойной работы и сохранения должного уровня производительности.

**Основная часть.** При внедрении в сельское хозяйство новых технологий, возникает множество проблем. Одна из основных проблем это недоступность информации для работников среднего и низшего звена, которые напрямую связаны с исполнением новых технологических процессов. Огромную роль при этом играет квалификация механизаторов машинно-тракторных агрегатов, от которых зависит эффективная эксплуатация техники, а также качество и объем выполняемых работ.

Под эксплуатационной надежностью МТА понимается его способность сохранять работоспособность при использовании в течение определенного промежутка времени. Под нарушением работоспособности машинно-тракторного агрегата понимается остановка его работы по технологическим и техническим отказам, вследствие достижения предельного состояния [1].

Уровень эксплуатационной надежности МТА характеризуются возможностью его работы без остановок из-за нарушения работоспособности и возможности по восстановлению его работоспособности. Уровень эксплуатационной надежности МТА оценивают: - по величине наработки на отказ; - по себестоимости ТО и ремонта; - по значению коэффициента готовности агрегата [2].

При проведении предпосевной обработки почвы, повышение эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов позволит уменьшить простои техники по техническим причинам, сократить затраты на эксплуатацию, сократить потери ресурсов (запасных частей, трудовых затрат и денежных средств), повысить производительность, обеспечить выполнение операций в заданные сроки.

Профессором Н.И. Джабборовым, доцентами А.В. Добриновым и Д.В. Бутусовым [1] было предложено разработать карту потока производства сельскохозяйственной продукции. Карта производства состоит из трех уровней. В карте производства первого уровня визуализируется технология производства в целом, она предназначена для квалифицированных специалистов, которые ответственны за своевременное и качественное выполнение технологических операций по производству продукции. Карты потока производства второго и третьего уровня визуализируют технологический процесс ежедневного технического обслуживания (ЕТО), технического обслуживания (ТО) или ремонта технических средств и предназначены для непосредственного исполнителя технологических процессов и операций, то есть для механизаторов. Проведение своевременного и качественного технического обслуживания способствует повышению эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов. Техническое обслуживание техники при наработке определенного количества моточасов или выработке определенного количества топлива. Периодичность технического обслуживания рассчитывается для каждого вида техники индивидуально. Виды и средняя периодичность выполнения технических обслуживаний машинно-тракторных агрегатов представлены в таблице 1.

ЕТО	ТО-1	ТО-2	ТО-3	СТО
Через каждые 10 часов работы	125 моточасов или 550 кг. израсходованного топлива	500 моточасов или 2200 кг. израсходованного топлива	1000 моточасов или 8800 кг. израсходованного топлива	При переходе на осенне-зимний или весенне-летний период эксплуатации

Таблица 1. Виды и средняя периодичность выполнения технических обслуживаний машинно-тракторных агрегатов

Разработка и введение карт потока производственного процесса относятся к эксплуатационным мероприятиям для повышения эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов. Также для повышения эксплуатационной надежности используются технологические мероприятия, такие как: оптимизация эффективной мощности двигателя, скорости движения машинно-тракторного агрегата и т.д. Разработка эксплуатационных и технологических мероприятий обеспечит повышение эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов, что напрямую связано с производительностью, а также обеспечит увеличение прибыли от производства сельскохозяйственной продукции за счет уменьшения простоев техники и снижения затрат на ремонт.

Заключение. Кроме увеличения уровня эксплуатационной надежности машинно-тракторных агрегатов, размера годового энергетического (или экономического) эффекта и повышения производительности труда, визуализация технологических процессов: - помогает увидеть не только отдельный производственный процесс, но и весь поток производимых процессов. Также карта делает многие решения, связанные с технологией, ясными, понятными и простыми для обсуждения. Карта потока производства позволяет управляющему, ответственному за реализации технологии, легко контролировать и корректировать ход и качество выполнения всех полевых механизированных работ.

Тимофеев А.А., Гречишников В.А.

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего  
Образования «Московский Государственный Технологический Университет  
«СТАНКИИ»127055, Москва, Вадковский пер., 1  
timofeev.design@yandex.ru**Исследование параметров конструкции и установки резбового резца, влияющих на  
точность формообразования трапецидальной резьбы ходовых винтов**

Детали, имеющие резьбу в виде равнобочной трапеции, применяются в станкостроении, робототехнике, авиастроении и многих других отраслях промышленности. Обработка резьб является широко распространённой и сложной технологической операцией. Существует множество способов получения деталей с наружной трапецидальной резьбой, в частности лезвийными инструментами. По сравнению с другими видами инструментов этой группы, наиболее используемым является резбовой резец, обладающий рядом преимуществ, к числу которых можно отнести:

- 1) простоту конструкции и технологии изготовления;
- 2) возможность одним и тем же резцом получать резьбы различного диаметра и шага;
- 3) высокую точность расположения оси обработанной резьбы относительно цилиндрической и торцевой поверхностей заготовки;
- 4) возможность нарезать резьбы с переменным шагом, а также — на конической поверхности.

При нарезании наружной трапецидальной резьбы используют две принципиально различные схемы установки инструмента (рис. 1).

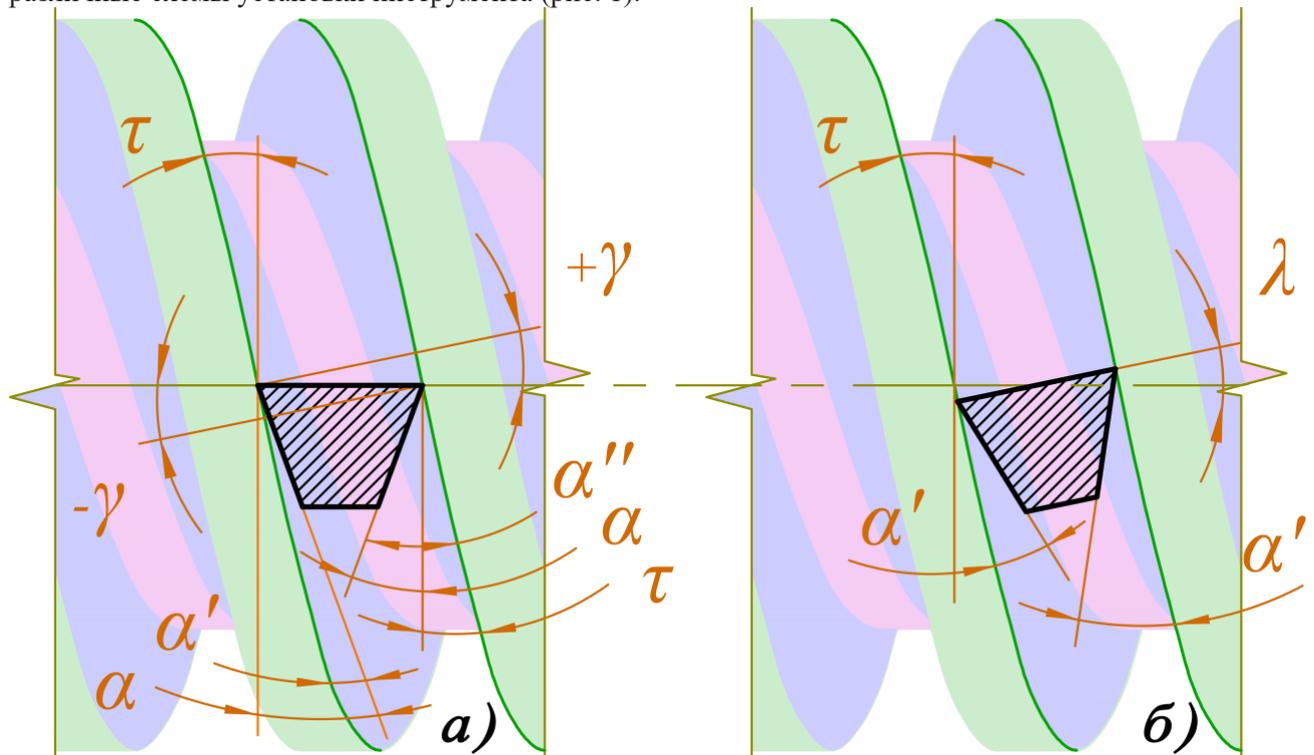


Рис. 1. Схемы установки резбового резца по отношению к заготовке:

а) в осевом сечении резьбы; б) в плоскости, нормальной к винтовой поверхности резьбы

Обработывая наружную трапецидальную резьбу по схеме, изображённой на рис. 1, а, передняя грань резца совпадает с профилем винтовой канавки в диаметральной плоскости детали, что является удобным с точки зрения изготовления и контроля инструмента [1]. Однако данный способ установки имеет значительный недостаток – различные условия резания на

обеих кромках резца. Устанавливая резец по схеме, указанной на рис. 1, б, условия резания выравниваются, но в этом случае профиль режущей части на передней поверхности инструмента должен совпадать с формой винтовой канавки в плоскости, нормальной к винтовой поверхности резьбы [2]. Алгоритм профилирования резьбового резца в виде блок-схемы представлен на рис. 2.

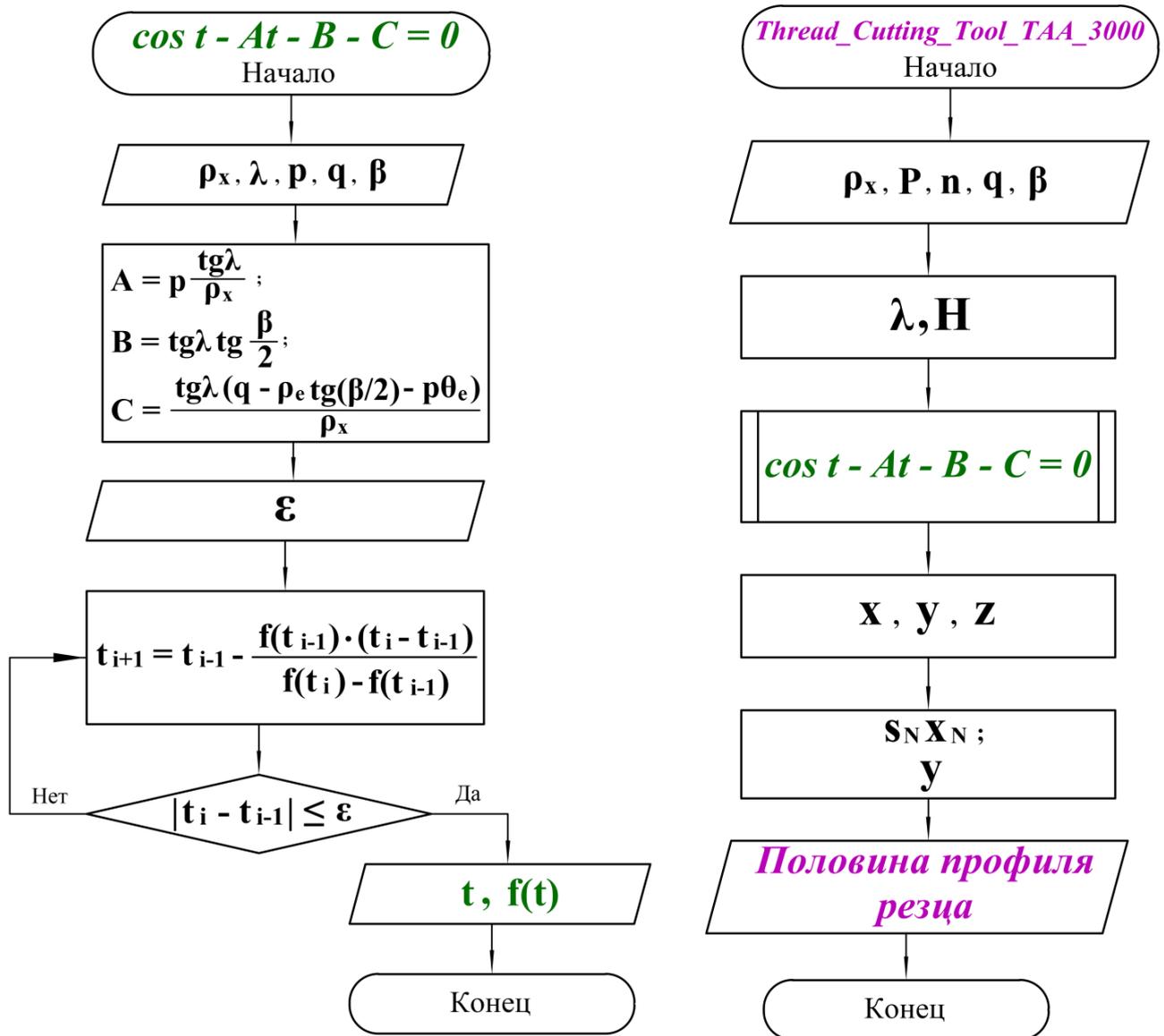


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения формы винтовой канавки в нормальном сечении наружной трапецидальной резьбы

На рис. 3 продемонстрированы три варианта установки резьбового резца – в плоскости, нормальной к направлению винтовой линии на внутреннем, среднем и наружном диаметре.

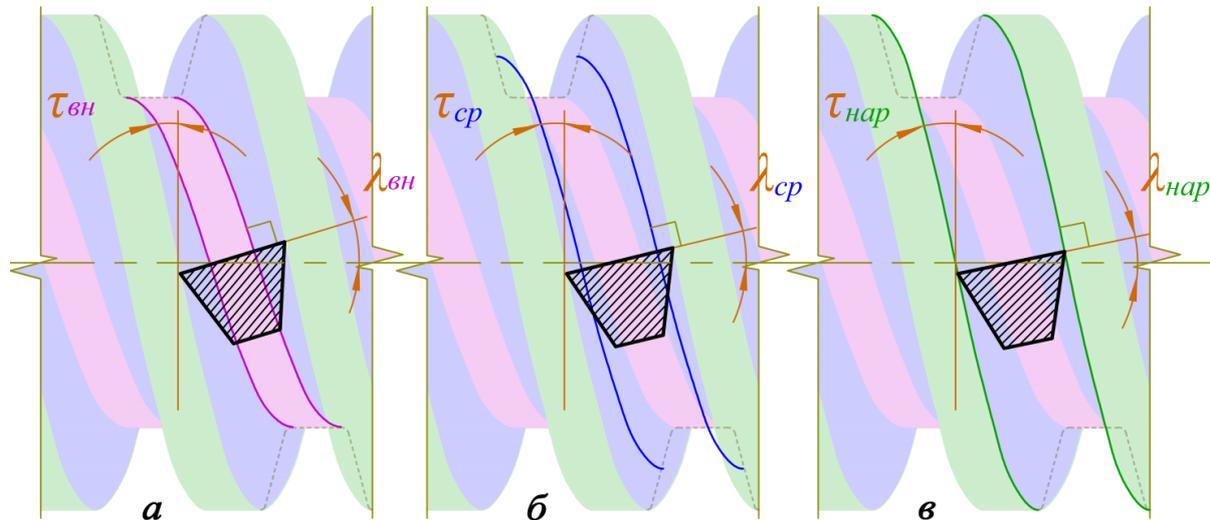


Рис. 3. Схема установки передней грани резца в плоскости, перпендикулярной направлению винтовой линии на диаметре:  
а – внутреннем; б – среднем; в – наружном

По результатам теоретического эксперимента было установлено, что форма винтовой канавки в нормальном сечении резьбы на наружном диаметре имеет наиболее прямолинейный контур, следовательно, резец с таким профилем легче изготовить [3]. Также было установлено, что предварительно обрабатывая наружную трапецидальную резьбу по схеме, изображённой на рис. 3, в, образуется наибольшая величина на припуск под чистовую обработку [4].

#### Выводы

1. Разработана математическая модель, определяющая параметры формы винтовой канавки в нормальном сечении наружной трапецидальной резьбы, используемые для построения профиля передней поверхности резца, за счёт чего повышается точность формообразования детали.
2. Установлено, что форма профиля винтовой канавки в плоскости, нормальной к направлению винтовой линии на наружном диаметре резьбы имеет наиболее прямолинейный контур, следовательно, инструмент с таким профилем легче изготовить.
3. Установлено, что при установке режущей части резца в плоскости, нормальной к направлению винтовой линии на наружном диаметре резьбы, образуется наибольшая величина на припуск под чистовую обработку.
4. Разработана программа в среде визуализированного программирования, реализующая математическую модель определения профиля впадины резьбы в нормальной секущей плоскости. Данная программа может быть одним из элементов системы автоматизированного проектирования резцов для обработки наружной трапецидальной резьбы.

#### Литература

1. Гречишников В. А. Наука и искусство системного моделирования инструментального обеспечения машиностроительных производств: монография / В. А. Гречишников. – М.: КУРС, 2016. – 376 с. – (Монография).
2. В. А. Гречишников, А. А. Тимофеев, А. С. Приходько, С. С. Емельянова. Определение профиля пластины сборных резцов для обработки трапецидальной резьбы ходовых винтов // Вестник МГТУ «СТАНКИН» № 4 (43), 2017. С. 62 – 67.
3. Тимофеев А. А., Хамзин Р. Р., Исаев А. В. Исследование параметров конструкции резьбового резца, влияющих на точность формообразования наружной трапецидальной резьбы // Двенадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России». 2019. С. 93 – 95.
4. В. А. Гречишников, А. А. Тимофеев, А. В. Исаев. Исследование формы режущего элемента токарного резца для обработки резьбы ходового винта // Вестник МГТУ «СТАНКИН» № 3 (50), 2019. С. 15 – 20.

Шпаков<sup>1</sup> П.С., Юнаков<sup>2</sup> Ю.Л.

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: spsp01@rambler.ru

<sup>2</sup>Сибирский Федеральный университета.  
Институт горного дела геологии и геотехнологий  
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.  
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

### Оценка устойчивости бортов фактического профиля Кия-Шалтырского нефелинового рудника

Свойства горных пород оказывают весьма существенное влияние на все производственные процессы при отработке месторождений.

Основной исходной информацией при оценке степени устойчивости уступов и бортов карьеров являются физико-механические свойства горных пород и структурно-тектонические особенности прибортовых массивов, которые определяют напряженное состояние откосов, возникающее под влиянием внутренних и внешних сил. Основными показателями физико-механических свойств горных пород являются плотность  $\gamma$ , сопротивление сжатию  $\sigma_{сж}$  и разрыву  $\sigma_p$ , сцепление  $k$ , угол внутреннего трения  $\rho$  массива и породных контактов  $k'$  и трения  $\rho'$  [1,2].

Изучение физико-механических свойств пород производилось в лабораторных условиях на породных образцах и обратными расчетами оползней.

Для определения расчетных прочностных характеристик горных пород, по которым в дальнейшем будут проводиться расчеты устойчивости карьерных откосов, необходимо вначале используя результаты лабораторных испытаний, рассчитать их значения в массиве [1]. Результаты расчетов приведены в столбце 3,4 табл. 1.

На руднике в результате маркшейдерской съемки были определены контур бортов карьера по различным разведочным линиям. Затем по каждому профилю определялся средний угол наклона борта карьера и его высота. Результаты приведены в столбцах 4 и 6 табл.1.

Оценка устойчивости и определения предельных параметров произведена для северо-восточного и юго-западного бортов карьера по профилям –VIII, -VI, -III, 0, +III. На этих профилях показаны исходные и расчетные данные с графическим отображением поверхности скольжения, величины призмы возможного обрушения, а также фактические контура бортов карьера.

На рис.1 приведен один из профилей юго-западного борта карьера по профильной линии –III.

Расчеты проводились по методике [1], с использованием программного продукта «Программа для расчета устойчивости карьерных откосов «Stability analysis»» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010614557, 2010г) [2,3], которая исключает погрешности при графоаналитических способах расчета.

Коэффициент запаса устойчивости для предельных параметров брался равным 1, т.к. в расчетах по устойчивости бортов введен коэффициент запаса в прочностные характеристики 1,3, т.е. они будут находиться в устойчивом состоянии.

Произведена оценка устойчивости бортов фактического профиля (профильные линии – VIII, – VI, III, 0, +III) результаты которой сведены в таблицу 1.

Исходя из данных таблицы можно сделать вывод о том что борта карьеров находятся в устойчивом состоянии.

Дальнейшая корректировка должна проводиться после изменения контуров бортов карьера и при уточнении прочностных характеристик массива.

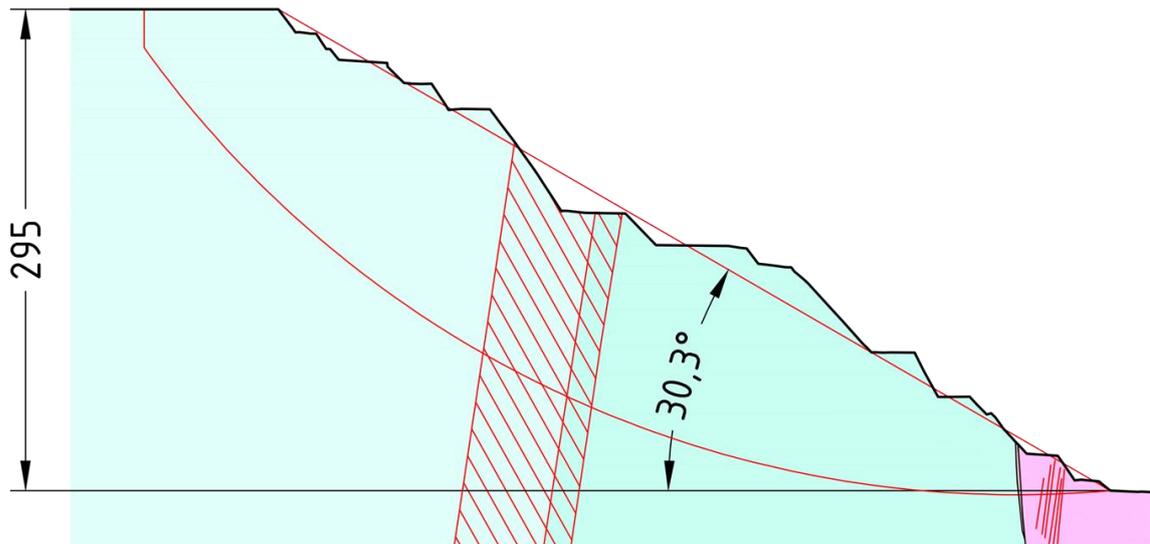


Рис.1. Разрез юго-западного борта карьера по профильной линии –III

Таблица 1. Результаты оценки устойчивости бортов фактического профиля «Кия-Шалтырского нефелинового рудника»

Номер профиля	Борт карьера	Сцепление К, т/м <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения ρ, град	Угол откоса α, град	Высота откоса Н, м	Коеф. запаса устойчивости n
1	2	3	4	5	6	7
– VIII	Северо-восточный	31,2	33,0	29,9	260,0	1,6857
	Юго-западный	27,0	35,3	31,5	235,0	1,7389
– VI	Северо-восточный	33,7	33,0	36,2	295,0	1,4018
	Юго-западный	37,9	27,0	27,3	255,0	1,6269
– III	Северо-восточный	36,3	34,0	37,9	355,0	1,3421
	Юго-западный	39,9	27,0	30,3	295,0	1,4541
0	Северо-восточный	24,4	33,0	38,6	290,0	1,2213
	Юго-западный	43,3	27,0	28,9	2900	1,5565
+ III	Северо-восточный	24,4	33,0	37,9	270,0	1,2648
	Юго-западный	37,4	27,0	30,5	260,0	1,4739

### Литература

1. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М. : Горная книга, 2008. – 683 с.
2. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В. Расчет устойчивости карьерных откосов по программе STABILITY ANALYSIS. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 56-63.
3. Программа для расчета устойчивости карьерных откосов "Stability analysis". программы, зарегистрированные в реестре программ для эвм российской федерации. ru обпбт № 4(75) 20.12.2010. Программы для ЭВМ. Рег. номер 2010614557 (09.07.2010). Авторы Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В., Фролов И.А.

Шпаков<sup>1</sup> П.С., Юнаков<sup>2</sup> Ю.Л.

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: spsp01@rambler.ru

<sup>2</sup>Сибирский Федеральный университета.  
Институт горного дела геологии и геотехнологий  
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.  
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

### Определение прочностных характеристик на основе обратных расчетов оползней

При расчете параметров устойчивых карьерных откосов важное место занимают вопросы надежной оценки прочностных свойств горных пород в массиве для условий, соответствующих их природному состоянию. Как известно, при решении задач устойчивости откосов методами, основанными на теории предельного равновесия, в качестве исходных данных используются плотность пород  $\gamma$  и показатели сопротивления сдвигу (сцепление  $k$  и угол внутреннего трения  $\rho$ ). Обобщенные или нормативные значения этих показателей обычно устанавливаются на основе статистической обработки результатов лабораторных и натуральных испытаний физико-механических свойств пород.

Наиболее надежным и достоверным способом определения прочностных характеристик прибортовых и отвальных массивов горных пород является метод обратных расчетов, который учитывает все факторы, повлекшие нарушение устойчивого состояния массива [1].

Рассмотрим обрушение группы уступов восточного борта карьера Кия-Шалтырского нефелинового рудника рис.1.

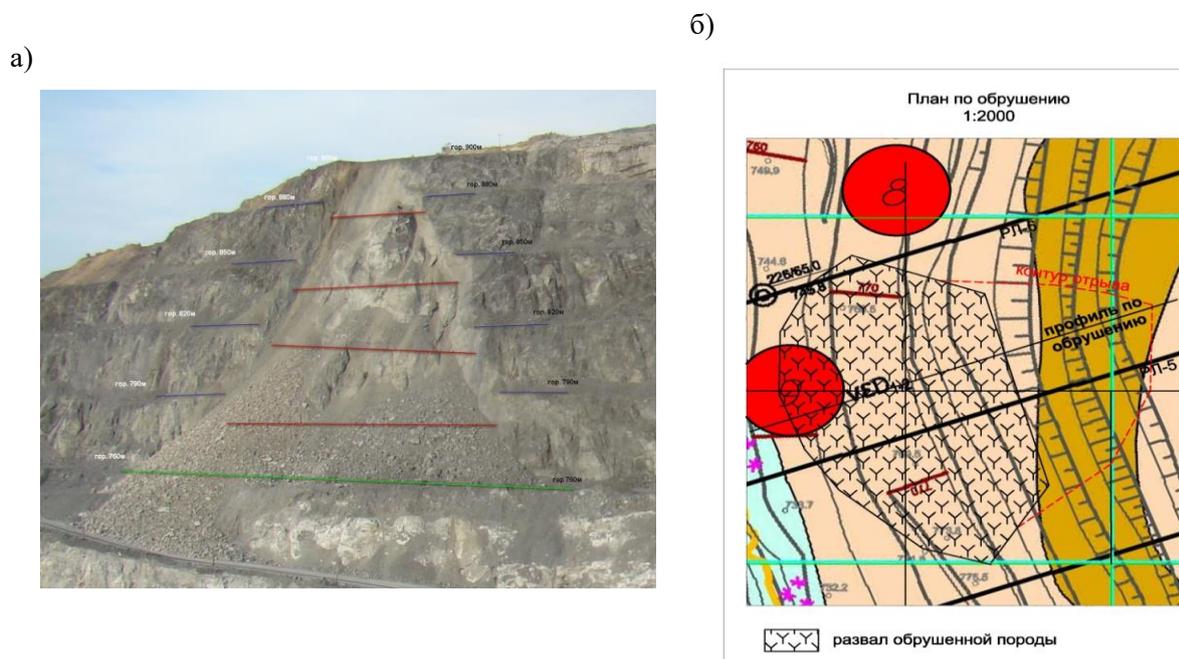


Рис.1. Обрушение группы уступов восточного борта карьера: а-натура; б-план

По результатам маркшейдерских съемок участков, где произошло обрушение, были установлены контуры тела оползня и местоположение поверхности скольжения рис.2,а.

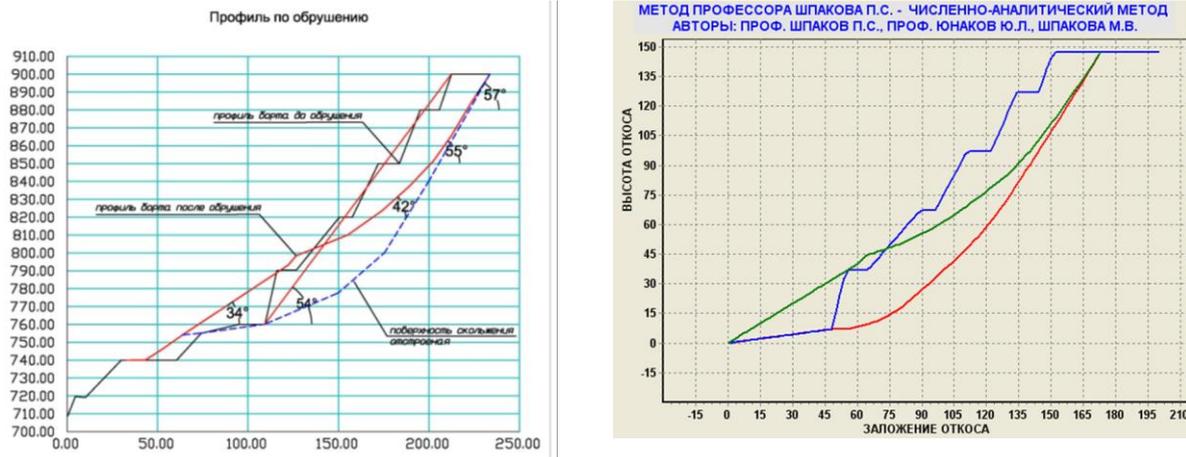


Рис.2. Метод обратных расчетов: а – определение параметров поверхности скольжения и контура обрушения из натуральных наблюдений; б-определение прочностных характеристик по программе SS02

Для более объективного определения прочностных характеристик целесообразно проводить комплексные исследования, включающие лабораторные, натурные испытания пород и обратные расчеты произошедших или искусственно вызванных оползней и обрушений откосов с дифференцированным выбором расчетных показателей физико-механических свойств пород.

Плотность пород  $\gamma$  с достаточной точностью определяется в лабораторных условиях по кернам инженерно-геологических скважин, поэтому нормативные их значения для каждого литологического типа принимаются как средние (средневзвешенные) по месторождению в целом либо по отдельным его участкам.

Ниже по методике [1] приведены результаты определения физико-механических свойств пород, слагающих борта карьера методом обратных расчётов. Расчет велся по программе SS02 [1], разработанной под руководством профессора Шпакова П.С.

Решение задачи выполняется численно-аналитическим методом. На основании рис.2 определяем исходные данные для расчета: количество узловых точек поверхности скольжения  $n_{pp}= 7$ ; борта  $n_{nn1}= 13$ ; тела оползня  $n_{nn2}= 8$ ; количество расчетных блоков  $il= 100$ ; плотность  $g = 2 \text{ т/м}^3$ ; коэффициент разрыхления  $kr= 0$ ; остаточное сцепление  $cost= 0,5 \text{ т/м}^2$ .

Получены следующие результаты расчета: сцепление в массиве без учета  $N_{90} - C = 24,56 \text{ т/м}^2$ ; угол внутреннего трения -  $fi = 29,40^\circ$ ; сцепление в массиве с учетом  $N_{90} - C = 23,25 \text{ т/м}^2$ .

В полученные данные для расчета устойчивости откосов, корректировки их значений путем ведения некоторого коэффициента запаса не требуется, поскольку эти показатели в неявном виде учитывают совокупность определенных инженерно-геологических условий и особенностей деформирования горного массива.

Однако область надежного их использования зачастую ограничивается условиями оползневого участка либо ему подобными. Поэтому расширение диапазона применения параметров сопротивления горных пород сдвигу на основе обратных расчетов оползней представляется весьма перспективным.

## Литература

1. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов. Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2008. – 683 с.: ил.

Яшков В.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
zirjd@mail.ru

### Взаимосвязь факторов, обеспечивающих формирование поверхностных слоев покрытий

Долговечность восстановленных деталей во многом определяется совокупным рельефом и глубиной слоя с разрушенной микроструктурой, оказывающим решающее влияние на показатели, внешнего трения, износа и развития явлений усталости.

Формирование исходного рельефа и шероховатости наиболее эффективно в процессе шлифования. При данном виде обработки идет интенсивное теплообразование, основная доля которого (до 80 %) переходит в деталь, что сопровождается структурными превращениями в обрабатываемом материале.

По указанной причине и построена схема взаимосвязи технологических факторов, обеспечивающих получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий твердого железа (рисунок 1).

Механическая обработка сопровождается противоборством между обрабатываемым металлом и прочностными свойствами режущего инструмента. Физико-механические свойства твердого железа (фактор1) оказывают влияние на физико-механические свойства режущего инструмента (фактор 2) это: материал и величина зерна абразива, твердость, вид связки и структура и др. Результатом взаимодействия покрытия и инструмента является рациональные режимы и условия обработки (рисунок 1) (фактор3), выходными параметрами которых являются физико-механические и топологические свойства наружного слоя. Выходные параметры характеризуются комплексом показателей качества восстановленной поверхности детали (фактор 6).



Рисунок 1 Схема связи факторов, обеспечивающих формирование исходных слоев твердого железа

Параметры (фактор 6) могут быть равны утраченным или превзойти их (лучший вариант), а возможно и уступать утраченным свойствам (худший вариант). Из рассмотренной схемы взаимосвязи групп факторов следует, что фактор 4 формируется в процессе механической обработки. Он является заключительной стадией в восстановительной технологии и одной из ответственных.

### **Литература**

1. Гречишников В.А., Яшков В.А., Пивкин П.М., Романов В.Б., Исаев А.В., Маслов А.Р. Абразивные инструменты для обработки отверстий в деталях робототехнических комплексов // СТИН. 2016. № 9. С. 11-14.
2. Худобин Л.В., Михайлин С.М., Унянин А.Н., Веткасов Н.И. Контактные температуры и силы шлифования кругами, термообработанными по микроволновой технологии // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 4 (14). С. 81-86.
3. Яшков В.А. К вопросу о взаимосвязях технологических факторов, обеспечивающих получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий твердого железа в процессе механической обработки // "Современные наукоемкие технологии" № 12 2019, стр. 123-128.