

Технические науки

Тойгамбаев С.К.

Закалка витков пружин сельскохозяйственных машин с применением электромеханического упрочнения

Тойгамбаев Серик Кокибаевич – кандидат технических наук, профессор, кафедра «Тракторы и автомобили», факультет «Процессы и машины в агробизнесе», Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.

E-mail: kokibaewich@yandex.ru

Аннотация

Существуют различные методы и способы восстановления упругости и жесткости деталей машин. Наибольшее количество таких деталей приходится на пружины, которые применяют во многих механизмах (клапанном механизме двигателя, сцеплении, топливном насосе высокого давления, бензонасосе, карбюраторе и др.). Рессорные листы и торсионы работают в подвесках транспортных средств. Характерные повреждения упругих элементов – утрата жесткости. В данной статье предложено использование электромеханического упрочнения при восстановлении жесткости и упругости пружин, которое показало эффективность применения этого способа восстановления работоспособности пружины.

Ключевые слова

Пружина; упругость, жесткость; электромеханическое упрочнение.

Электромеханическое упрочнение (ЭМУ) основано на сочетании термического и силового воздействия на поверхностный слой обрабатываемой детали. Сущность этого способа заключается в том, что в процессе обработки через место контакта инструмента с поверхностью обрабатываемой детали проходит ток большой силы и низкого напряжения вследствие чего выступающие гребешки поверхностного слоя обрабатываемой поверхности подвергаются сильному нагреву, под давлением инструмента деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой упрочняется. В условиях серийного производства и ремонта деталей основной задачей совершенствования должно

явиться повышению производительности процесса и обеспечению высокого качества.

Это должно осуществляться путем применения многоинструментальных приспособлений, которые во многих случаях позволяют исключить электроконтактное устройство, что особенно важно при упрочнении деталей большой длины, так как при этом обеспечивается стабильность теплообразования по всей длине детали, и, кроме того, экономится электроэнергия.

Особенность электромеханической обработки связана с явлением горячего наклепа. Эта особенность будет проявляться тем интенсивнее, чем выше температура нагрева и давления обработки. Отсюда следует, что при высоких температурах и значительных давлениях электромеханической обработки можно ожидать в светлой зоне поверхностного слоя появление растягивающих остаточных напряжений. Сложность структуры и объёмных изменений в поверхностном слое электромеханической обработки зависит от взаимодействия тепловых и силовых факторов.

Принципиальная схема электромеханической обработки на токарном станке приведена на рисунке 1. От сети напряжением 220|380В ток проходит через понижающий трансформатор, а затем через место контакта поверхности обрабатываемой детали с инструментом. Сила тока и вторичное напряжение регулируются в зависимости от площади контакта поверхности обрабатываемой детали и инструмента, исходной шероховатости поверхности и качества поверхностного слоя. Профиль, получаемый после рабочего хода сглаживающего инструмента, имеет увеличенную контактную поверхность, повышенную твердость, уменьшенную шероховатость и упругие свойства контактной поверхности.

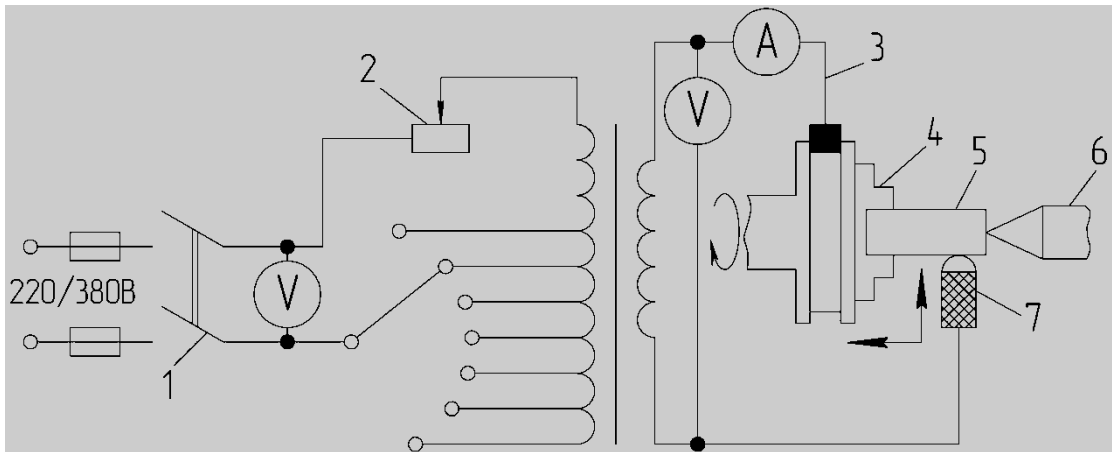


Рисунок 1 – Принципиальная схема электромеханической обработки детали на токарном станке (1- рубильник; 2 - реостат; 3 - вторичная обмотка; 4 - патрон; 5 - деталь; 6 - задняя бабка; 7 — инструмент)

Сглаживающий инструмент представляет собой пружинную державку, на которой закреплена пластина из твердого сплава или роликовая головка. Силу сглаживания регулируют путем натяга поперечного суппорта станка или специального индикатора, встроенного в инструмент, можно определить сжатие пружины, а, следовательно, и силу, действующую на обрабатываемую деталь. С точки зрения металловедения, процессы электромеханической обработки можно отнести к особому виду поверхностей получаемых термомеханической обработкой (ТМО). Принципиальное отличие от ТМО состоит в том, что этот процесс, как правило, относится к упрочняюще-отделочной обработке. К особенностям теплообразования и термических процессов следует отнести: наличие двух основных источников теплоты, создаваемых электрическим током и трением; локальный нагрев, сопровождающийся действием значительных давлений; термический цикл (нагрев, выдержка и охлаждение) весьма кратковременный и измеряется долями секунды; высокая скорость охлаждения определяется интенсивным отводом теплоты в середину детали. Эти отличия обуславливают получение особой, мелкодисперсной и твердой структуры поверхностного слоя,

обладающей высокими физико-химическими и эксплуатационными свойствами.

Вследствие частых деформаций и происходящих релаксационных процессов пружины (например, клапанов ДВС) теряют упругие свойства, что снижает эксплуатационные показатели машин. Восстановление упругих свойств пружин холодной прокаткой роликом малоэффективно, а восстановление раздачей витков термической обработкой является трудоемкой операцией. Применение технологии восстановления пружин электромеханической обработкой основано на совмещении операции растяжения, поверхностного горячего деформирования и закалки витков.

Схема восстановления упругих свойств пружин представлена на следующем рисунке 2.

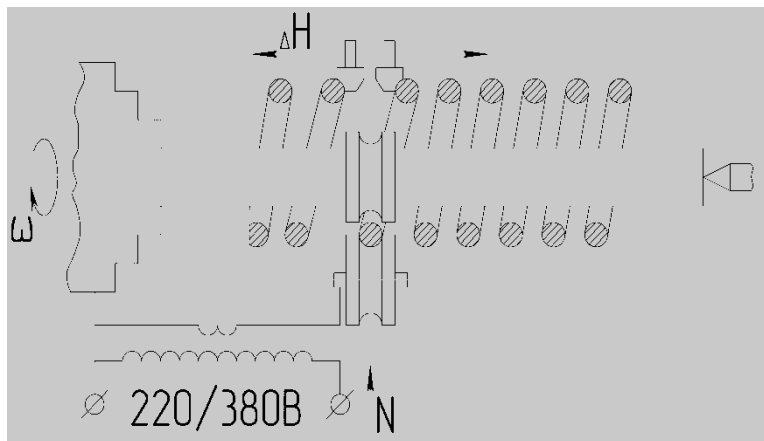


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства для восстановления пружин

В патрон токарного станка устанавливают вал с роликом, на вал надевают восстанавливаемую пружину, второй конец вала прижимается центром задней бабки. В процессе обработки витки пружины раздвигаются двумя шторками приспособления, монтируемого на суппорте станка. Это приспособление вместе с раздвижными шторками может перемещаться с суппортом. Как обычно при электромеханической обработке, профильный обжимающий ролик при помощи пружинной державки, устанавливаемой на суппорте станка, прижимается к виткам пружины с определенной силой. При вращении вала

витки пружины подвергаются двухстороннему обжатию роликами, через которые пропускается электрический ток. Таким образом, пружина одновременно подвергается растяжению между шторками, обжатию и нагреву между роликами. Для повышения эффекта закалки охлаждающая жидкость подводится в зону нагрева.

Микроструктура поверхностного слоя восстановленных пружин глубиной 0,2 мм представляет собой мелкодисперсный бесструктурный мартенсит с сердцевиной пружины – сорбит отпуска



Рисунок 3 – Микроструктура пружин, восстановленных в оптимальном режиме: поверхностный слой – мелкодисперсный мартенсит; сердцевина – сорбит отпуска



Рисунок 4 – Микротвердость восстановленной пружины: поверхностный слой - 65HV; сердцевина - 46HV

Рентгеноструктурным анализом установлено, что на поверхности восстановленных пружин создаются остаточные сжимающие напряжения, достигающие 270 МПа, что превышает остаточные напряжения новых пружин (190 МПа). Все это способствует повышению выносливости восстановленных пружин. Экспериментальные испытания при базовом числе циклов нагружения $10,8 \cdot 10^6$ показали, что пружины, восстановленные электромеханической обработкой, имеют на 6-12% большую упругость по сравнению с новыми и восстановленными накаткой роликом с последующей термической обработкой. В результате длительных эксплуатационных испытаний выявилась высокая надежность пружин, восстановленных электромеханической обработкой. При средней наработке на отказ двигателя 3345 ч упругость восстановленных пружин находится на уровне новых, что делает их пригодными к дальнейшей эксплуатации. Таким образом, приведенный технологический процесс восстановления пружин, позволяет не только восстанавливать утраченные их свойства, но и значительно увеличивать их ресурс. Принцип электромеханической обработки может быть также использован для восстановления упругих свойств плоских пружин, как, например, рессоры. Однако в этом направлении должны быть проведены специальные исследования.

Источник переменного тока – УЭМО-2. Установка УЭМО-2 разработана в УСХИ при участии ГОСНИТИ (рис. 5). Она представляет собой силовой понижающий трансформатор с аппаратурой регулирования электрических режимов работы, приборами контроля и защиты. Установка собрана в металлическом шкафу и может перемещаться на двух роликах-катках. В нижней части шкафа установлен силовой понижающий трансформатор. Его первичная обмотка имеет отводы, подсоединённые к переключателю 9, установленному на лицевой панели. Плавное регулирование силы тока до 1000А осуществляется при переводе переключателя 9 в положение I.

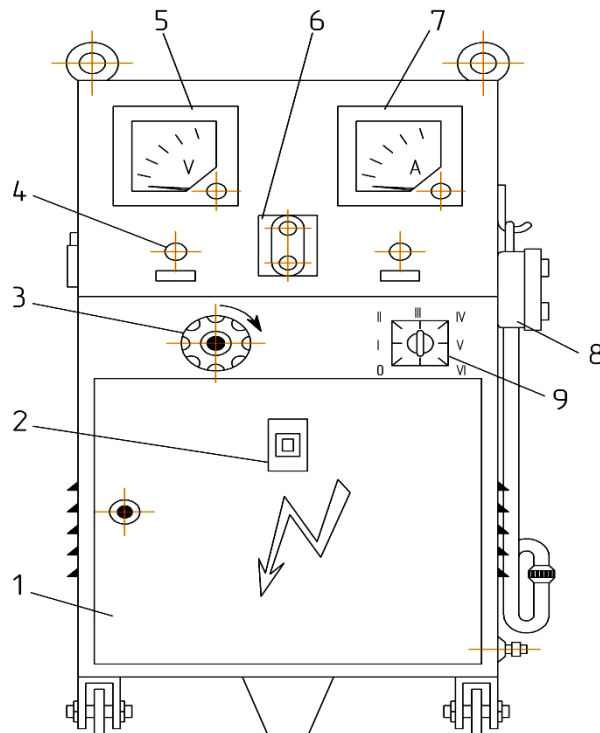


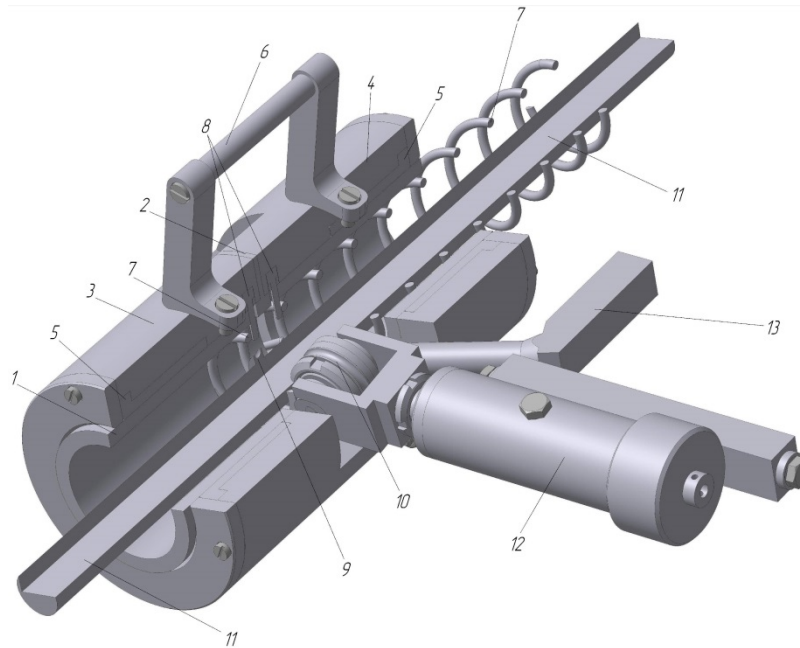
Рисунок 5 – Общий вид установки УЭМО-2

При этом первичная обмотка трансформатора получает питание через соответствующие контакты переключателя от регулятора напряжения типа РНО-250-5, размещенного в верхней части установки. Маховичок регулятора 3 выведен на лицевую панель. Дальнейшее ступенчатое увеличение силы тока до 1800 А с коэффициентом увеличения от одной ступени к другой 1,12 обеспечивается переводом переключателя 9 в положения II, III, IV, V и VI. Контроль режимов обработки осуществляют по показаниям вольтметра 5 и амперметра 7. На лицевой панели расположены также две сигнальные лампы 4. Красная с надписью «Сеть» и зеленая с надписью «Работа». Включение и выключение трансформатора производится с помощью кнопок 6 на лицевой панели или с помощью переносной кнопочной станции 8. В нижней части установки имеется навесная электрическая панель 1, с внутренней стороны которой смонтированы электроаппаратура управления. Общее включение и выключение осуществляется рычагом 2 автоматического выключателя.

Таблица 1 – Основные технические характеристики установки УЭМО-2

	Технические характеристики	Номинал
1	Номинальная электрическая мощность, кВт	10
2	Напряжение питания, В	220/380
3	Напряжение во вторичной рабочей цепи, В	0 ... 7
4	Предельная величина рабочего тока, А	1800
5	Диапазон регулирования рабочего тока, А: плавного ступенчатого	0...1000 1000...1800
6	Число ступеней регулирования	6

Устройство для восстановления упругости пружин электромеханической обработкой устанавливается на токарном станке (см. рис. 6) и содержит внутренний цилиндр 1. Кольца 3 и 4 установлены на подшипниках скольжения 5 с обеих сторон от буртика 2 и скреплены рычагом 6, который обеспечивает их синхронное вращение относительно цилиндра. Для растяжения восстанавливаемой пружины 7 служат штоки 8, расположенные верхней частью в фигурных пазах колец 3 и 4, а нижней - в прорезях цилиндра 1. Фигурные пазы колец и прорези цилиндра расположены один под другим и смещены относительно линии окружности цилиндра и колец на угол подъема винтовой линии пружины. Фигурные пазы колец выполнены с участками переменной и постоянной глубины. Участки переменной глубины перпендикулярны к осям прорезей цилиндра 1 и параллельны линии окружности колец. Участки постоянной глубины выполнены расходящимися относительно линии окружности колец 3 и 4. Всего имеется три пары штоков 8, они расположены через 120° по винтовой линии, угол подъема которой равен углу подъема восстанавливаемой пружины 7. Штоки содержат упорную часть и наконечник, установленный в пазах. Для возвращения штока в начальное положение предназначена пружина. Для обжатия витков пружины по сечению служат внутренний 9 и наружный 10 ролики (см. рис. 6).



**Рисунок 6 – Устройство для восстановления упругости пружин
электрохимической обработкой**

Внутренний ролик укреплен на валу *11*, который одним концом крепится в патроне токарного станка, а другим – в центре задней бабки станка. Наружный обжимающий ролик установлен в державке *12*, которая через пружину крепится в суппорте токарного станка. Для нагрева сечения витков пружины служит источник переменного тока УЭМО-2 и подающие ток контакты. Для закалки пружины охлаждающая жидкость подводится по трубке *13* в зону нагрева.

Работает устройство следующим образом. Вал *11* с закрепленным внутренним обжимающим роликом *9* зажимается одним концом в патроне токарного станка. Внутренний цилиндр *1* в сборе с кольцами *3* и *4* и штоками *8* устанавливается на станину токарного станка так, чтобы обжимающий ролик *9* оказался внутри цилиндра. Пружина *7* надевается на свободный конец вала *11*, вставляется в отверстие внутреннего цилиндра и продвигается в нём до тех пор, пока первый рабочий виток пружины не установится над внутренним

обжимающим роликом 9. В это время штоки 9 находятся в верхнем начальном положении и не задевают за восстанавливаемую пружину 7. Рычагом 6 кольца 3 и 4 синхронно поворачиваются относительно внутреннего цилиндра 1 на угол 30°. При этом вращение фигурных колец 3 и 4, наложенных на прорези цилиндра, смещает штоки 8 к центру цилиндра и вводит их в зацепление с восстанавливаемой пружинной за счет уменьшения высоты фигурных пазов.

Затем рычагом 6 кольца 3 и 4 синхронно поворачиваются на угол 15°. Такой поворот ещё дальше смещает фигурные пазы колец, наложенные на прорези цилиндра 1 при этом штоки 8 больше не опускаются, а расходятся в стороны, растягивая виток восстанавливаемой пружины 7. Расхождение штоков обеспечивается движением штока по отклоненной части фигурного паза постоянной глубины. Первый рабочий виток восстанавливаемой пружины 7 растянут. К свободному концу вала 11 подводится центр задней бабки токарного станка и фиксируется. Через сквозную нишу, выполненную в цилиндре, к растянутому и установленному на внутренний ролик 9 витку восстанавливаемой пружины подводится и прижимается усилием N наружный обжимающий ролик 10. Одновременно придаётся вращение патрону токарного станка, вала 11, ролику 9 и включается источник переменного тока. Под действием сил прижатия роликов пружина прокатывается между ними, подвергаясь нагреву электрическим током, обжатию по сечению силой N и растяжению между штоками 8. Для закалки пружины в зону нагрева по трубке 13 подводится охлаждающая жидкость. По мере того, как все рабочие витки восстанавливаемой пружины будут обработаны, отключается источник переменного тока и останавливается станок. Отводится в обратном направлении рычаг 6, синхронизирующий вращение колец 3 и 4. Убираются в начальное верхнее положение штоки 8. Пружина 7 вынимается из цилиндра 1. Процесс восстановления закончен далее на устройство устанавливается новая пружина и цикл повторяется. Для передачи тока от трансформатора через

патрон к детали было разработано электроконтактное устройство. Схема электроконтактного устройства, укрепляемого на станине станка, приведена на рис. 7.

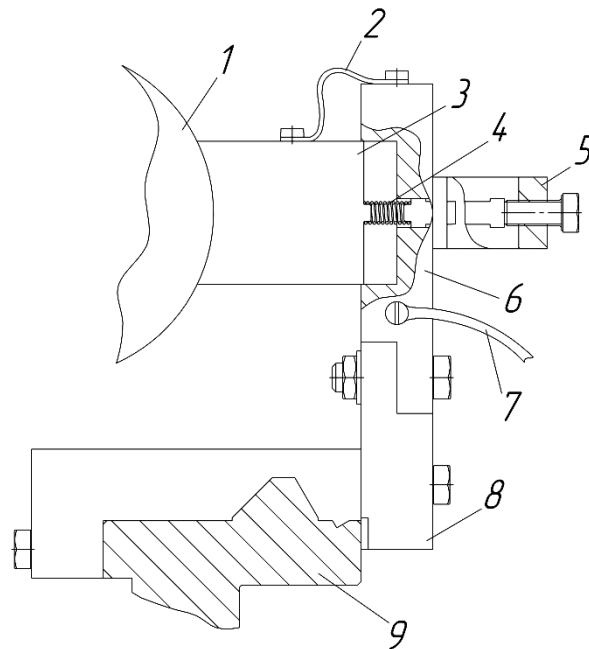


Рисунок 7 – Электроконтактное устройство

Устройство должно быть изолировано от станины станка. Ток от трансформатора подводится к обрабатываемой детали при помощи многожильного провода 7 через медно-графитовую щетку 3 и патрон 1.

Для лучшего контакта медно-графитовую щетку 3 рекомендуется хорошо притереть к проточенному пазу патрона. Щетка имеет посадку с зазором в пазу стойки 6; эластичный прижим её к патрону осуществляется пружиной 4. Конструкция электроконтактного устройства зависит от конструкции станка и подводимой мощности. При передаче тока большой силы целесообразно устанавливать две щетки и более.

Также была изготовлена специальная державка. Державка со спиральной пружиной (рис. 8) предназначена для ЭМО роликовым инструментом цилиндрических пружин. Инструмент 1 крепится на бронзовой втулке 7 гайкой 2.

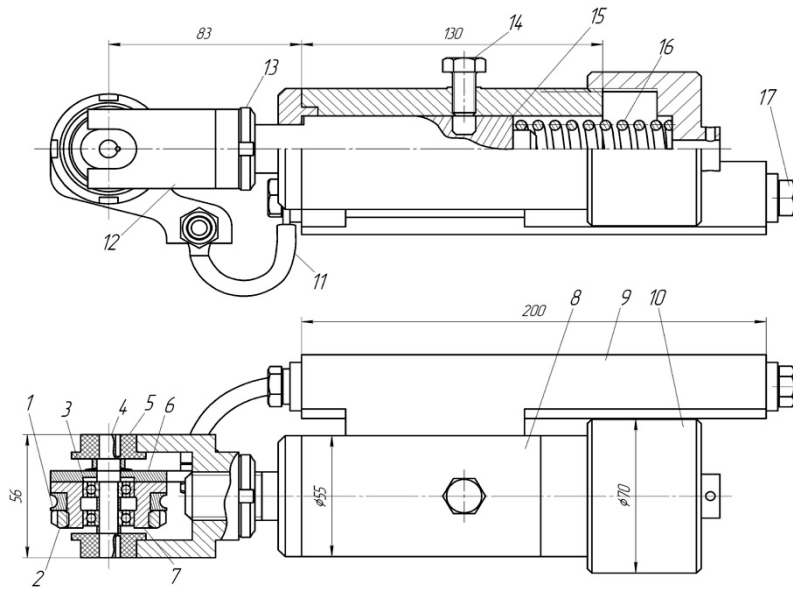


Рисунок 8 – Державка со спиральной пружиной

Втулка с инструментом вращается на шарикоподшипниках 3 вокруг неподвижной оси 4. Ток подводится через проводник 11 и скользящий контакт медно-графитовой щетки 6, прижимаемой к втулке пружиной. Ось на текстолитовых втулках 5 закреплена на вилке головки 12. Головка наворачивается на шток державки 15 и стопорится гайкой 13. Сила прижима инструмента к пружине создается за счёт спиральной пружины 16, натяг которой осуществляется гайкой 10. Стопор 14 позволяет жестко зафиксировать шток в корпусе оправки. Оправка устанавливается в резцедержатель станка с помощью планки 9. Кабель от вторичной обмотки источника переменного тока крепится болтом 17. Державка изготавливается из стали ГОСТ 1050-88.

В заключение, можно резюмировать, что в основу способа ЭМО восстановления пружин положены технологические операции, повышающие релаксационную стойкость и упругость восстановленных пружин в среднем на 6% по сравнению с новыми. Обеспечивается восстановление почти всех пружин ремонтного фонда, даже с короблением торцов и неравномерным шагом между витками. Для внедрения электромеханического способа

восстановления пружин не требуется создания специальных автоматов, а достаточно, токарного станка и оснастки для электромеханической обработки.

Список литературы

1. *Анурьев А.В.* Справочник конструктора машиностроителя: в 3-х т. Т.1, Т.2, Т.3. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001.
2. *Аскинази Б.М.* Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989.
3. *Ерохин М.Н. и др.* Детали машин и основы конструирования. 3-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС, 2004.
4. *Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. и др.* Надёжность и ремонт. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2000.
5. *Рудик Ф.Я., Элькин С.Ю.* Оснастка для восстановления витых цилиндрических пружин // Строительные и дорожные машины. 2001. № 9. С.29-31.
6. *Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Мынжасаров Р.И.* Надёжность технологических машин. М.: МГУП, 2008.
7. *Тойгамбаев С.К.* Применение инструментальных материалов при резании металлов. М.: МГУП, 2007.