

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Рециклинг технических объектов

Г.В. Мураткин

Учебное пособие

Тольятти
2016

1. Жизненный цикл транспортно-технологических машин и комплексов

Изучение материала этого раздела необходимо для точного понимания специфики современных технологических процессов, с которыми приходится сталкиваться инженерам машиностроительных специальностей в своей профессиональной деятельности.

Одними из недостатков современной технической цивилизации являются прогрессирующие проблемы разрушения окружающей среды и истощение природных ресурсов. В рамках этих проблем специалисты пытаются решить задачу рачительного использования материальных ресурсов путем управления жизненным циклом машин.

Жизненный цикл машины – это промежуток времени от начала разработки конструкции машины (стадия конструирования машины) и до ее утилизации. Кроме того, жизненный цикл включает стадии производства и эксплуатации машины до полного исчерпания ее рабочего ресурса. Исчерпание ресурса обусловлено наступлением предельного технического состояния машины, при котором ее дальнейшая эксплуатация по назначению технически невозможна. Признаками предельного состояния машины являются снижение технико-экономических характеристик: ухудшение эффективности работы, снижение производительности, мощности и к.п.д., повышение энергозатрат и др. Это состояние требует проведения капитального ремонта, который проводится с целью восстановления работоспособности и ресурса машины. Однако он возможен лишь при наличии у большинства деталей остаточной долговечности. В случае отсутствия остаточной долговечности деталей из-за произошедших вследствие процессов старения необратимых изменений в структуре и свойствах большинства материалов восстановление машины до исправного, работоспособного состояния технически весьма затруднительно и экономически нецелесообразно. Это обусловлено тем, что затраты средств,

направленных на поддержание в работоспособном состоянии такой отремонтированной машины, будут выше прибыли, которую она будет приносить в процессе эксплуатации. Кроме того, нецелесообразность восстановления отслужившей свой срок машины также определяется мерами технической и экологической безопасности.

При своевременном проведении технического обслуживания машин в процессе эксплуатации поломки возникают сравнительно редко. Наряду с техническим обслуживанием выполняются все виды ремонтов (текущий, средний и капитальный), которые устраняют внезапные и постепенно возникающие в результате изнашивания отказы.

Текущий ремонт – это ремонт, который проводится с целью восстановления работоспособности объекта путем замены изношенных деталей и узлов на новые.

Средний ремонт – это ремонт, который проводится с целью восстановления исправности и частичного восстановления ресурса машины путем замены и восстановления деталей, узлов и агрегатов ограниченной номенклатуры.

Капитальный ремонт – это ремонт, который проводится с целью устранения неисправностей и восстановления ресурса машины путем полной разборки машины и замены изношенных деталей, узлов и агрегатов на восстановленные комплектующие, включая базовые детали.

Главной задачей технического обслуживания и ремонта является экономически эффективное поддержание работоспособности машин в процессе эксплуатации. Так, периодическая регулировка технических систем и замена недолговечных деталей направлены на поддержание надежности машины в предписанных пределах.

Своевременное и качественное проведение технического обслуживания и ремонта позволяет в полной мере использовать конструктивно заложенный ресурс машины. Стадия эксплуатации является важнейшей составляющей жизненного цикла машины. Обычно она делится на циклы эксплуатации

моментом проведения капитального ремонта (рис. 1). Стадия эксплуатации включает минимум два цикла и, соответственно, один капитальный ремонт. Проведение капитального ремонта увеличивает продолжительность эксплуатации в предписанных условиях и обеспечивает гарантированную работоспособность машины до следующего капитального ремонта. Обеспечение показателя надежности машин после капитального ремонта на уровне, близком к новому, зависит от уровня технологического обеспечения основного производства машин, определяющего качество продукции, от уровня технологий ремонта и степени совершенства системы организации ремонтного производства. Высокое качество капитального ремонта машин может быть в полной мере обеспечено в условиях крупных ремонтных предприятий, имеющих прогрессивное высокопроизводительное оборудование, современную организацию труда и технического контроля, гарантирующих высокую технологическую дисциплину на всех этапах проведения ремонтных работ. Продукцией такого ремонтного предприятия, по сути, является заново изготовленная («вторично изготовленная») обезличенным методом машина из бывших в эксплуатации, но годных деталей, восстановленных изделий и новых запасных частей.

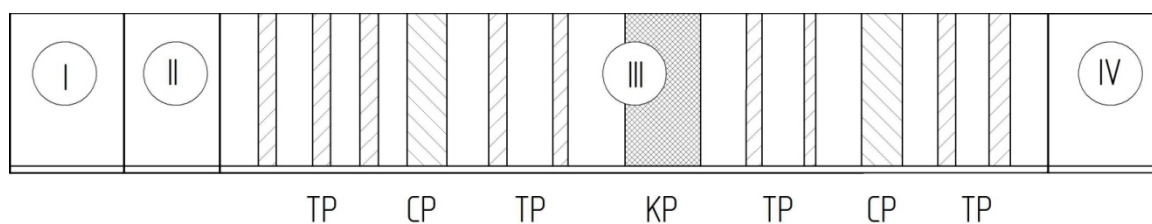


Рис. 1. Структурная диаграмма жизненного цикла машин:

I – стадия конструирования; II – стадия производства; III – стадия эксплуатации; IV – стадия утилизации. ТР – текущий ремонт;

СР – средний ремонт; КР – капитальный ремонт

Современным направлением развития ремонтного производства является максимальная приспособленность к различным восстанавливаемым изделиям, близким по технологическому признаку. Это направление может

быть реализовано за счет создания гибких производственных систем. Но при этом следует учитывать, что если в основном производстве высокая гибкость достигается при больших программах выпуска продукции, то в ремонтном производстве с небольшой программой ремонта вопрос повышения гибкости решается за счет высокой степени переналаживаемости технологического оборудования. Поэтому модернизация ремонтного производства идет в направлении оснащения современным оборудованием с гибкой переналадкой, которое при переходе на обработку другой группы изделий не требует дополнительных вложений и остановки производства.

2. Понятие «рециклинг машин» и его виды

Транспортно-технологические машины и комплексы в процессе эксплуатации утрачивают свои потребительские свойства, превращаясь в неисправные, предельно изношенные объекты, эксплуатация которых должна быть прекращена из-за неустранимого ухода выходных (технико-экономических) параметров за установленные пределы. Эти объекты оказывают сильнейшее экологическое давление на окружающую среду.

Снизить уровень загрязнения окружающей среды от воздействия предельно изношенных объектов можно за счет повышения эффективности их использования во время и после эксплуатации. Для решения этой задачи, а также вопросов экономии невозобновляемых сырьевых ресурсов и энергии в промышленно развитых странах создан новый промышленный сектор экономики – *рециклинг* машин. Целью рециклинга является возвращение исчерпавших ресурс машин и их компонентов к новому жизненному циклу либо в обновленном (восстановленном) виде, либо в каком-то ином преобразованном виде с новыми потребительскими свойствами. Рециклинг является новой идеологией современной технической цивилизации, охватывающей все сферы производства, начиная с проектирования конструкции и заканчивая утилизацией машин. Он представляет собой

комплексную систему, объединяющую все виды ремонтной деятельности, которые реализуют замкнутый цикл безотходного производства.

В настоящее время рециклинг машин может осуществляться реновацией, конверсией или утилизацией (рис. 2). Каждое из этих направлений для конкретной машины определяется по результатам технико-экономической и экологической экспертиз.



Рис. 1.2. Структурная схема рециклинга машин

Реновация (от латинского *renovatio* – обновление, возобновление) машин, достигших своего предельного состояния, но имеющих ещё достаточно большую остаточную долговечность, представляет собой процесс, направленный на продление рабочего ресурса машин. Она, по сути, является определяющим фактором обеспечения жизнедеятельности машин в

современных условиях. Реновация включает в себя ремонт машин и восстановление деталей, узлов и агрегатов.

Ремонт с давних пор считался одним из основных способов возвращения машинам работоспособности в соответствии с требованиями технической документации. Под ремонтом понимается совокупность организационно-технических и технологических мероприятий, направленных на устранение неисправностей и отказов. И в настоящее время ремонт также широко применяется для продления жизненного цикла машин. Кроме того, у ремонта появилась новая задача: модернизация машин с ограниченными техническими и потребительскими характеристиками.

Модернизация машин, производимая путем разного уровня сложности изменений их конструкции и замены комплектующих, направлена на расширение их технических возможностей и улучшение потребительских свойств в рамках заложенного конструкторами функционального назначения. Так, путем установки контролеров нового поколения машинам придаются новые эксплуатационные характеристики или выходные параметры, отличающиеся от первоначальных значений.

При проведении ремонта машин существуют два основных направления восстановления работоспособности: замена изношенной детали на новую или замена изношенной детали на восстановленную. Первый путь является экстенсивным и наиболее дорогостоящим. Второй путь хоть и более ресурсосберегающий и экологически чистый, но требует дополнительных материальных и трудовых затрат, связанных с процессом восстановления. Он позволяет в значительной мере снизить нагрузку, лежащую на основном производстве, по обеспечению предприятий запасными частями, которые составляют около 30% всей машиностроительной продукции. Более того, восстановление деталей на ремонтных предприятиях в перспективе будет практически единственным источником пополнения предприятий запасными частями.

Как показывает многолетняя мировая практика, у машин, поступающих в капитальный ремонт, только 20% деталей подлежат выбраковке и утилизации, 20% пригодны для дальнейшей работы без восстановления, а 60% можно восстановить. Однако еще в советские времена у многих производителей и работников сферы государственного управления нашей страны сложилось предосудительное отношение к капитальному ремонту, как к неэффективному мероприятию. Они ратовали за безремонтный принцип использования машины, основанный на создании равнопрочной машины, которую после регламентного срока службы можно было, как одноразовую посуду, отправлять в утиль. При этом все разговоры о необходимости развития реновационного производства называли «колхозными замашками». Такое мнение основывалось на факте, что в большинстве случаев качество и долговечность восстановленных машин было ниже качества новой техники, а стоимость ремонтных работ при этом была достаточно высокой. Происходило это из-за низкого уровня ремонтных технологий и технологического оборудования, недостаточной культуры производства и нарушений технологической дисциплины. При этом противниками капитального ремонта приводился еще один довод: в промышленно развитых странах реновация машин не проводится. По этой причине ремонтным предприятиям отводилась второстепенная роль, ограниченная финансированием по остаточному принципу. Однако за рубежом вопросами обеспечения рационального сервиса производители начинают заниматься уже в период создания новой техники, причем размер затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт является одним из основных показателей ее будущей конкурентоспособности. А восстановление дорогостоящей техники считается весьма выгодным делом. Так, на специализированном ремонтном предприятии "Интернейшнел Харвестер" в Чикаго (США) стоимость восстановления агрегатов автотранспортных средств составляет 20 – 25% от стоимости изготовления

новых изделий. Отпускная цена восстановленных агрегатов в среднем на 20% меньше цены новых. При этом производитель гарантирует ресурс восстановленной техники не менее ресурса новой. Это стало возможным благодаря новым ремонтным технологиям, высокому уровню культуры производства и внедрению в ремонтное производство поточной линии. Опыт этой фирмы получил широкое распространение в промышленно развитых странах, так как реновация сельскохозяйственной, дорожно-строительной техники и автомобилей стала приносить значительную прибыль.

Еще одним аргументом в пользу развития реновационного производства является резолюция участников II Международного конгресса «Surface Engineering», проходившего в Великобритании в конце 80-х годов прошлого века, которые признали реновацию полноправной и перспективной отраслью промышленности.

В настоящее время в реновационных отраслях развитых стран мира задействовано около 30% технологического оборудования и рабочих, а все специализированные предприятия, на которых они работают, можно подразделить на три основных типа:

1. Сеть ремонтных предприятий, созданной специализированными службами крупных фирм-изготовителей техники у своих дилеров. Службы занимаются технологическим оснащением и организацией участков, цехов или поточных линий по ремонту и восстановлению агрегатов ограниченной номенклатуры.

2. Отдельные специализированные заводы по ремонту и восстановлению агрегатов и узлов определенной номенклатуры, которые непосредственно не связаны с каким-то одним производителем. Уровень производства на этих заводах ограничен годовой программой восстанавливаемых изделий, выпускаемых различными фирмами.

3. Небольшие фирмы, занимающиеся восстановлением узко специализированной номенклатуры изделий (не более двух-трех наименований).

Восстановление деталей – это процесс возобновления исправного состояния и ресурса деталей путем возвращения им утраченной из-за изнашивания части материала и доведения до нормативного уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации машин. Восстановление изношенных деталей является неотъемлемой частью всего процесса ремонта машин.

Для того чтобы обеспечить ресурс ремонтируемых деталей не менее ресурса новых изделий восстановление необходимо проводить с помощью прогрессивных технологий и методов, а также с использованием материалов высокого качества. При этом помимо обеспечения необходимых размеров и формы деталей, при восстановлении требуется уделять большое внимание повышению эксплуатационных свойств рабочих поверхностей путем формирования слоя с особыми свойствами, обладающего высокой несущей способностью. Для этого необходимо знать условия эксплуатации, механизм разрушения поверхностей и зависимости эксплуатационных свойств от параметров качества поверхностного слоя, таких как микрогеометрия, структура, твердость, остаточные напряжения и др. В этой связи разработка эффективных технологий восстановления деталей сложной формы, изготовленных из материалов с высокими прочностными и особыми свойствами в настоящее время является актуальной задачей для ремонтных предприятий.

Несмотря на запаздывающее развитие ремонтных технологий, они в последние годы начали оказывать большее влияние на технологии основного производства. Для примера можно отметить, что если при выпуске продукции некий размер оказывался ниже допустимого, то это являлось неисправимым браком, тогда как для реновационного производства это обычный устранимый дефект. В результате для «спасения» брака основное производство заимствовало из реновационного производства различные технологии наращивания размеров (например, напыление, наплавка, напекание и др.). Сейчас в основном производстве введение в

технологический процесс изготовления биметаллических (двухслойных) деталей операций напыления и наплавки износостойкого, высокопрочного покрытия на низкоуглеродистый основной металл позволяет резко повысить качество изделий и сэкономить дорогостоящие специальные металлы и сплавы и тем самым снизить себестоимость продукции. Кроме того, технологии восстановления дают возможность принципиально изменить пути достижения точности. Так, традиционные методы достижения точности путем удаления материала поверхностного слоя заготовки (состоящей из однородного материала) механической обработкой режущими инструментами в ряде случаев заменяются новыми методами, основанными на процессах нанесения материала в виде тончайших слоев, которые позволяют буквально конструировать деталь и получать ее размеры с высокой точностью.

В настоящее время реновация машин является, безусловно, самым эффективным направлением рециклинга, так как затраты на восстановление изношенных объектов с помощью прогрессивных технологий и энергосберегающих методов составляют 30 – 50% от первоначальной стоимости изделий. При этом реновация деталей, узлов и машин с учетом выбраковки изделий из-за производственных ошибок и технологических отходов наряду с экономией материальных, энергетических и трудовых ресурсов, многократно снижает загрязнение окружающей среды. По сути, это самое экологически чистое и энергосберегающее производство, не требующее значительных инвестиций, которому на сегодняшний день нет экологической и экономической альтернативы. Экономический эффект от реновации можно оценить разностью затрат на изготовление новой машины и на её восстановление, отнесенных к ресурсу техники.

Однако по мере морального и физического старения машин всегда будет существовать потребность в их утилизации и, следовательно, конструкция машин должна быть к этому максимально приспособлена.

В этой связи перед конструкторами при проектировании машины стоят две взаимосвязанные и во многом противоречивые задачи. Во-первых, необходимо спроектировать работоспособную и надежную машину, т.е. машину, стабильно и качественно выполняющую заданные функции на всем максимально длительном периоде эксплуатации. Во-вторых, необходимо чтобы в конце периода эксплуатации машина была способна прекращать выполнение своих функций и исчезать без большого материального ущерба и вредных воздействий на окружающую среду. Решение в полной мере этой дилеммы в настоящее время не представляется возможным, так как это предполагает создание такой машины, которая бы через запрограммированное время сама бесследно исчезала или превращалась в массу полезных материалов для вторичного использования.

Второе направление рециклинга – *конверсия* (от латинского *conversio* – обращение, превращение) неисправных машин, представляющая собой комплекс мероприятий, направленных на техническую доработку машин и компонентов (не обладающих свойствами, позволяющими перевести их в разряд реновируемых объектов) с целью дальнейшего их использования по иному функциональному назначению. Так, незначительная конструкторская доработка авиационного двигателя позволяет использовать его для создания больших воздушных потоков при сушке зерна на промышленных элеваторах, также доработка позволяет использовать коробки передач автомобилей в конструкциях различных стендов для испытаний узлов и агрегатов и др.

Третье направление – экономически и экологически приемлемая утилизация, в основе которой лежит переработка машин и вторичное использование их металлов, неметаллических материалов и эксплуатационных технических жидкостей.

Следует подчеркнуть, что *утилизация* (от латинского *utilis* – полезный, употребление с пользой) – это не столько процесс уничтожения (захоронения) невосстанавливаемых машин (восстановление которых невозможно или нецелесообразно) сколько процесс их вторичной

переработки. Она представляет собой систему, которая включает комплекс технологических, конструкторских и организационных мероприятий, направленных, главным образом, на сбор, транспортирование, сортировку и переработку не подлежащих ремонту и конверсии машин с целью получения вторичной продукции и энергии. Утилизация, являющаяся, по сути, ремонтным направлением, показывает, что безремонтный принцип использования равнопрочных машин на самом деле не является чисто безремонтным и подтверждает безусловную необходимость проведения ремонта. К тому же изготовить равнопрочную машину с помощью существующих технологий на сегодняшний день не представляется возможным. Для достижения равной прочности, под которой понимается одинаковая долговечность, деталей, узлов и агрегатов требуется обеспечить не только равные средние ресурсы этих объектов, но и еще, самое главное, одинаковые по значению коэффициенты вариации их ресурсов.

Необходимо отметить экологические и экономические преимущества ремонтного принципа перед принципом безремонтного обеспечения жизнедеятельности технических объектов. При безремонтном принципе эксплуатации машин коэффициент использования возможностей изделий ничтожно низок, можно сказать, что в этом случае промышленность создает антропогенный (созданный в результате человеческой деятельности) мусор. И если на микроэкономическом уровне (для отдельных предприятий) выпуск одноразовой продукции оказывается высокорентабельным, то макроэкономика все более ощущает её экологическую опасность. Следует напомнить, что 50% антропогенных загрязнений приходится на долю США, население которых составляет только 5% от мирового. Образующийся мусор загрязняет окружающую среду и таким образом нарушает ее экологический баланс как в отдельных регионах, так и в масштабе всей планеты.

В настоящее время утилизация во многих случаях реализуется по старинке путем прессования старых машин и перевозки металлического лома железнодорожным транспортом на металлургические комбинаты, которые

выдают свою продукцию машиностроительным предприятиям. Формально, казалось бы, жизненный цикл машин завершен – они благополучно были утилизированы и переработанные материалы начали новый цикл. Однако по существу такую технологию вряд ли можно признать экономически эффективной и экологически оправданной. Ведь при прессовании машин даже с предварительной частичной разборкой в брикете вместе с черными металлами оказываются легированные и цветные сплавы, там же остаются неметаллические компоненты (примерно 8% грязи и стекла и около 12% неметаллических сгораемых материалов). Выделить неметаллы при переплавке из общей массы скрапа, используемого в мартеновском производстве, технологически невозможно, что, безусловно, отрицательно сказывается на качестве выплавляемого металла. Поэтому далеко не все современные металлургические комбинаты принимают на переплавку старые машины. С другой стороны в отслужившей свой срок машине содержится масса полезных материалов: сталь и сплавы, пластик, стекло, технические эксплуатационные жидкости и др., которые после переработки могли бы с успехом вторично использоваться в различных отраслях промышленности.

Существуют современные технологии вторичной переработки с использованием специального оборудования, например шредеров (от английского *shread* – разрывать). В отличие от пресса шредер не брикетировывает машину, а измельчает ее на мелкие фракции, которые подвергаются сортировке по виду материалов (рис. 3). Полученный с помощью шредерной установки лом черных металлов, называемый металлическим шротом, характеризуется высокой насыпной плотностью и отсутствием примесей. Такой лом является весьма ценным видом сырья для металлургических производств.

Зарубежный опыт показывает, что проблему переработки отслуживших свой срок машин необходимо решать, прежде всего, законодательно – основная масса бюджетных средств должна направляться на организацию перерабатывающих предприятий при одновременном введении жестких

санкций за загрязнение окружающей среды от неисправных машин и запрещении организации новых открытых полигонов и свалок.

Система зарубежной утилизации машин включает в себя комплексные мероприятия по приемке отработавших свой срок машин, их технико-экономической и экологической оценке, сливу всех эксплуатационных жидкостей, частичному демонтажу навесных узлов и агрегатов, переработке невосстанавливаемых объектов, реализации снятых кондиционных изделий на вторичном рынке сбыта, переплавке металлического шрота, обезвреживанию и захоронению отходов вторичной переработки.

Нельзя не отметить, что даже в самых современных полных цепочках утилизации старых машин экономически выгодны далеко не все их звенья. Особенно это касается вопросов организации сбора, транспортирования и экологически безопасного демонтажа машин. Для устранения всех затратных операций, так называемых узких мест, системы утилизации правительством должны выделяться необходимые финансовые средства, которые ранее были получены от производителей, дилеров и предприятий путем сбора налогов.

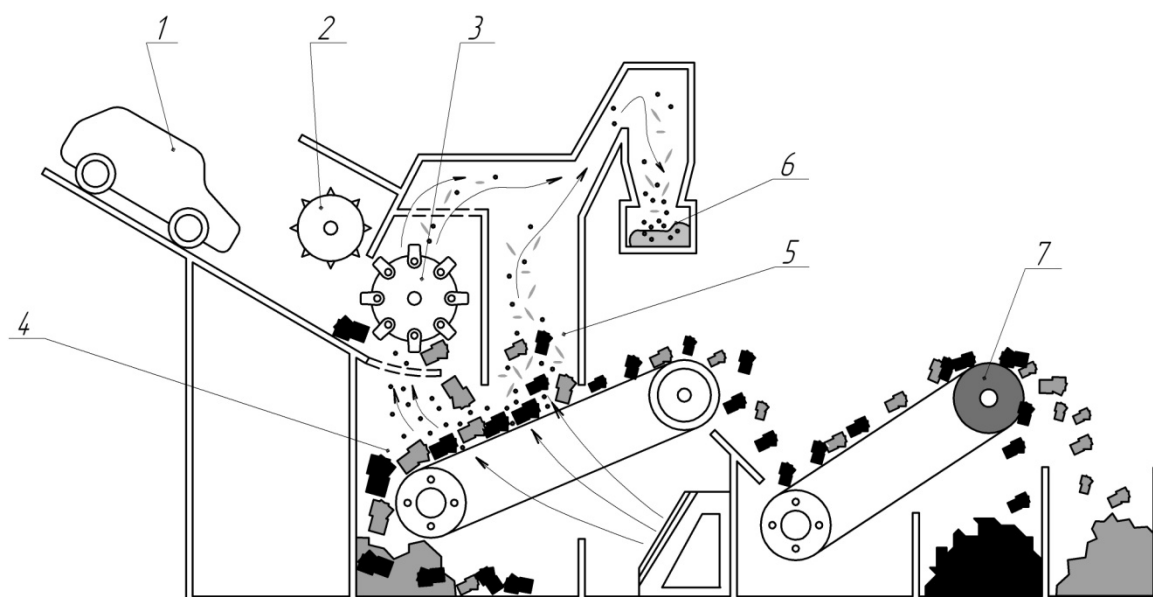


Рис. 3. Схема линии по переработке машин: 1 – утилизируемый объект; 2 – разрыватель; 3 – шредер; 4 – пылесборник; 5 – пневматический сепаратор; 6 – магнитный сепаратор; 7 – гравиметрический сепаратор

В зависимости от технических возможностей перерабатывающие предприятия используют стационарные или мобильные шредерные установки и разного уровня сложности технологии вторичной переработки, которые основаны на различной глубине демонтажа машин. При этом следует отметить, что самые передовые технологии, позволяющие получать высокую чистоту и насыпную плотность металлургического вторсырья и тем самым обеспечивать снижение времени и повышение качества переплавки лома, требуют более глубокого демонтажа машин.

Отходы вторичной переработки (полимеры, ткань, стекло и др.), называемые шредерными остатками, составляют примерно 20 – 25% от массы машины. Они также как многие другие экологически опасные отходы подлежат, так называемой примитивной утилизации путем сжигания, изменения агрегатного состояния (например, перевод жидких отходов, способных просачиваться в грунт, в твердые отходы), нейтрализации или дезактивации и захоронения. Примитивная утилизация проводится лишь с одной экологической целью – не допустить более сильного попадания вредных веществ в окружающую среду. Обезвреживание и захоронение опасных отходов предпочтительнее производить на месте их образования, чтобы исключить необходимость их транспортирования и тем самым уменьшить риск загрязнения экологической системы.

По-видимому, создать абсолютно экологически чистую, безотходную технологию утилизации машин человечеству предстоит только в будущем. Но уже сегодня для достижения этой цели конструкторам машин необходимо, прежде всего, максимально сократить применение материалов, содержащих неперерабатываемые и токсичные вещества, которые способны нанести вред человеку и окружающей среде при их утилизации, заменив их по мере возможности современными биоразлагаемыми материалами. При этом на стадии изготовления комплектующих изделий, на все применяемые материалы следует устанавливать специальный знак, означающий

пригодность к утилизации, и кодовый номер, указывающий на вид используемого материала. Кроме того, при выборе конструкционных материалов необходимо обращать внимание не только на их прочностные свойства, обрабатываемость (способность легко обрабатываться при осуществлении технологического процесса изготовления изделий) и удобство применения по назначению (например, смазочных материалов), но и учитывать их *утильпригодность*, т.е. технологическую способность материалов легко и просто разбираться и отделяться друг от друга, а также безопасно перерабатываться.

Повысить безопасность и эффективность переработки можно также путем максимального сокращения номенклатуры используемых материалов, особенно тех, которые плохо и небезопасно перерабатываются при утилизации машины. Так, количество видов пластмассы может быть сокращено до двух, например, таких как полиэтилены высокого (ПВД) и низкого (ПНД) давления. Это современные материалы допускают совместную переработку, что чрезвычайно актуально для пластмассовых изделий. Также следует учитывать, что список опасных при утилизации веществ не всегда эквивалентен списку опасных отходов вторичной переработки вследствие того, что появляется фактор риска неблагоприятного смешивания веществ при их переработке по принятой технологии.

Особый интерес в цикле вторичной переработки представляет утилизация бывших в употреблении автомобильных шин.

Проблема невосполнимости природного нефтяного сырья для ведущих стран мира предопределила вторичное использование изношенных автомобильных шин с максимальной эффективностью путем их «полного» рециклинга, т.е. путем восстановления, конверсии или переработки.

Однако в многих случаях вместо вторичной переработки изношенные шины подвергаются примитивной утилизации путем сжигания. При их сгорании в атмосферу выделяется масса токсичных веществ: бензопирен, сажа, диоксин, фуран, полиароматические углеводороды,

полихлорированные бифенилы, мышьяк, хром, кадмий и т.д., которые наносят серьезный ущерб окружающей среде. Очевидно, что такой способ утилизации шин является неэффективным и крайне вредным с экологической точки зрения. Вместе с тем существуют современные технологии рециклинга шин, которые позволяют получать значительную прибыль.

По данным Европейской Ассоциации по вторичной переработке шин (ETPA) восстановлению подлежит около 15% автомобильных шин, вышедших из строя вследствие износа протектора и при этом не имеющих существенных повреждений. Их восстановительный ремонт производят методом «наваривания» нового протектора с одновременным формированием рисунка («горячая» вулканизация) и методом приклеивания ленты с заранее нанесенным рисунком при температуре около 100°C («холодная» вулканизация).

Необходимо отметить, что при восстановлении предпочтение отдают шинам грузового автотранспорта вследствие высокой стоимости его новых колес. В этом случае восстановление одной изношенной шины обходится в среднем в 2 – 3 раза дешевле изготовления новой шины.

Конверсия изношенных шин осуществляется путем механического разрезания их на части и фрагменты, которые в дальнейшем используют в качестве строительных материалов для защиты почв от эрозии, укрепления берегов искусственных водоемов и др. Шины характеризуются большой долговечностью в грунте и спокойной воде, поэтому такое их вторичное использование приносит значительный экономический и экологический эффект.

Оставшуюся часть изношенных шин перерабатывают двумя основными способами – физическим и химическим.

Физический способ является одним из высокопроизводительных и наиболее распространенных способов измельчения автомобильных шин, при котором резина не претерпевает каких-либо физико-химических изменений и полностью сохраняет свою структуру.

Одной из самых простых технологий, разработанных на основе физического способа, является технология *ресалтинга* – механического дробления шин в экструдер-измельчителях, оснащенных сепарационной техникой. В результате механической переработки получают резиновую крошку (65%), у которой наиболее полно сохраняются свойства каучука, металлические (25%) и текстильные (10%) отходы.

После утилизации шин существует широкая возможность дальнейшего использования резиновой крошки, в том числе для производства предметов широкого потребления, но это требует дополнительной обработки. Крошка может быть использована в качестве регенерата для резиновых производств, добавки при изготовлении асфальтобетона, сорбента для сбора нефти с поверхности воды, наполнителя при производстве антикоррозийной мастики, гидроизоляционных материалов, герметиков для бесшовной кровли и многого другого.

Гораздо быстрее и легче процесс измельчения шин происходит при низких температурах (-90°C), когда резина находится в превдохрупком состоянии. Измельчение резины при низких температурах существенно снижает энергозатраты на дробление, улучшает отделение металла и текстиля от резины. В большинстве случаев охлаждение резины осуществляют жидким азотом, который является достаточно дорогостоящим технологическим средством, что является сдерживающим фактором для широкого применения на практике технологии низкотемпературного измельчения шин. Более экономически выгодным является процесс охлаждения шин при помощи воздушных турбохолодильных установок, которые позволяют в 3 – 4 раза снизить себестоимость получения полупродукта по сравнению с охлаждением жидким азотом.

Существуют и другие технологии переработки автомобильных шин, которые основаны на новейших научно-технических достижениях. Среди них широкое распространение получила бародеструкционная технология вторичной переработки шин, в которой используется высокое давление,

позволяет перевести резину в вязкотекучее состояние. В этом состоянии осуществляется измельчение резины путем выдавливания псевдожидкой массы через отверстия специальной камеры. Эта технология позволяет достаточно легко отделить резину от металлического корда и бортовых колец. Безусловно, большой интерес представляют новая технология измельчения бывших в употреблении автомобильных шин озоновым потоком, которая благодаря способности озона подавлять все токсичные выбросы стала одной из самых экологически безопасных технологий утилизации шин.

На основе химического способа переработки вышедших из эксплуатации шин разработаны технологии, которые направлены в основном на получение вторичной энергии. В основе этих технологий лежат высокотемпературные процессы (сжигание, крекинг, пиролиз), которые приводят к полному разрушению структуры и свойств резины.

Высокотемпературная переработка шин проводится двумя методами – прямым методом, при котором их сжигают в струе кислорода, и косвенным методом, основанном на термическом разложении резины.

В первом случае цельные, но чаще измельченные (фракции размером 50 – 100 мм) шины используют в качестве высококалорийного альтернативного топлива в целлюлезно-бумажном, цементном и других производствах. Также резиновая крошка, как топливный материал, применяется в качестве горючей добавки при сжигании угля или горючих сланцев с целью повышения их теплотворной способности.

Во втором случае с помощью технологии пиролиза получают горючий газ, который используют в качестве топлива в различных производствах.

Сравнительный экономический анализ различных технологий утилизации изношенных шин показал, что пиролиз является самой эффективной технологией переработки шин.

Пиролиз автомобильных шин, осуществляемый при температуре 425 – 650°С в условиях пониженного давления и отсутствия кислорода, позволяет

провести разложение и возгонку органических материалов без окисления металлических составляющих. Он дает возможность из 1т перерабатываемых шин получить 450 – 600 л пиролизного масла, 250 – 320 кг пиролизной сажи, 55 кг металла и 10,2 м³ пиролизного газа. Полученные низкомолекулярные углеводороды в большинстве случаев применяют в качестве альтернативного топлива. Ароматические масла, выделяемые из газообразной фракции пиролиза, используют для приготовления резиновых смесей в производстве резинотехнических изделий. Тяжелую углеводородную фракцию пиролиза применяют в качестве добавки к битуму, который используют в производстве асфальта, а пиролизную сажу – в производстве пластификаторов и смягчителей регенерации резины.

Безусловный интерес из-за сложившегося дефицита рудного свинецсодержащего сырья представляет переработка отслуживших свой срок аккумуляторов.

Аккумуляторы, используемые в современных автотранспортных средствах, в основном выпускаются в виде кислотно-свинцовых батарей, как правило, в пластмассовых корпусах. Применяемый в них электролит представляет собой водный раствор серной кислоты с добавлением некоторых стабилизирующих добавок. Утилизация бывших в употреблении аккумуляторов осуществляется по следующей технологии: слив электролита, срезание крышки корпуса аккумуляторной батареи, разделение аккумулятора на свинцовую и полимерную части, механическая разделка свинцового лома, сортировка и мойка полимерных материалов, которые в последующем переплавляются в промышленный пластик. Использованный электролит в отдельных случаях (при наличии специального оборудования) подвергают повторной переработке, во всех остальных – нейтрализуют и сливают в сточные воды.

Наибольший интерес с коммерческой точки зрения представляют свинцовые пластины, из которых после переплавления получают промышленный свинец, драгоценные (золото, серебро) и другие металлы.

Переработка аккумуляторного лома производится на предприятиях рециклинга, имеющих, как правило, в десять раз меньшую мощность, чем заводы первичного цикла переработки рудного концентрата. Она представляет собой сложный и трудоемкий процесс, рентабельность которого обеспечивается за счет применения более эффективной технологии, чем технология производства первичного свинца из рудного сырья.

Современный процесс переработки аккумуляторного лома, обеспечивающий высокую экологическую безопасность и быструю окупаемость, состоит из операций получения чернового свинца восстановительной плавкой и его комплексного рафинирования (очистка от примесей). Оптимальное сочетание операций плавки и рафинирования в замкнутом цикле переработки позволяет исключить накапливание токсичных, трудно перерабатываемых отходов (рафинировочных шлаков, дроссов и др.) и предельно сократить выбросы экологически вредной свинцовой пыли в окружающую среду.

После восстановительной плавки черновой свинец содержит большое количество (2 – 10%) постоянных примесей, таких как медь, теллур, сурьма, мышьяк, олово, висмут и драгоценные металлы. Необходимость рафинирования чернового свинца обусловлено не только повышением качества промышленного свинца, но и максимальным извлечением драгоценных металлов, стоимость которых часто превышает стоимость самого свинца. Следует отметить, что в черновом свинце содержится до 3 кг/т драгоценных металлов, что, однако на порядок меньше, чем в свинце, полученным из рудных концентратов.

Многостадийный процесс рафинирования чернового свинца начинается с обезмеживания (очистка от меди), содержание которой в черновом свинце достигает 2 – 3%. Этот процесс состоит из двух стадий – грубой и тонкой очистки. Грубая очистка производится в периодическом режиме в небольших модульных печах. В результате очистки содержание меди в свинце снижается до 0,1 – 0,2%. Но такое снижение не позволяет

получить свинец, пригодный для промышленного использования. Поэтому требуется тонкая очистка черногого свинца. Тонкая очистка проводится путем введения в расплавленный металл элементарной серы, образующей с примесями тугоплавкие соединения, которые в последующем выводятся из свинца. После тонкой очистки получают свинец с остаточным содержанием меди в пределах 0,005–0,0005%. Дальнейшее рафинирование от теллура, мышьяка, сурьмы и олова производится окислительным способом путем продувки черногого свинца воздухом. При продувке воздухом происходит глубокая очистка свинца путем окисления примесей, имеющих большое сродство к кислороду, которые переходят в шлак. Далее проводят завершающую технологическую операцию выделения из свинца драгоценных металлов, состоящих в основном из серебра, поэтому эту операцию называют обессеребрением.

При строгом соблюдении регламента рафинирования черногого свинца получают качественную продукцию в виде свинцовокальциевых сплавов марок С0, С1, С2 и С3, которые вторично используют в различных отраслях промышленности, в том числе при изготовлении новых аккумуляторов.

Большую экологическую проблему представляют твердые бытовые отходы, которые в большинстве случаев вывозят на полигоны и свалки без какой-либо предварительной переработки. Их постоянное накопление оказывает крайне негативное воздействие на окружающую среду и ведет к ухудшению экологической обстановки в регионах.

Необходимость восстановления окружающей среды путем обезвреживания техногенных сред и экологически безопасной переработки бытового мусора вывела утилизацию в ранг одной из актуальных проблем современности.

При наличии у перерабатывающих предприятий современных технологий и оборудования вторичная переработка могла бы приносить прибыль, соизмеримую с промышленным производством. Вместе с тем существуют высокоэффективные и экономически рентабельные технологии

вторичной переработки, которые в рамках высокотехнологичных отходоперерабатывающих комплексов позволяют максимально использовать ресурсный потенциал отходов. К таким технологиям относятся сухое и жидкое измельчение, диспергирование, повторное плавление, переосаждение из растворов, деструкция, химическая модификация и др.

Органическая фракция отходов могла бы с успехом перерабатываться пиролизом для получения вторичной энергии. Безусловно, большой интерес представляет, вероятно, самая экологически чистая технология микробиологической переработки. В соответствии с этой технологией органические отходы подвергаются биологическому разложению с помощью микробов в специальных емкостях. В результате получают гранулят для удобрения сельскохозяйственных полей.

Бетон и твердые отходы строительного производства могли бы перерабатываться по технологии дробления, которая основана на явлении кавитации, возникающей при электрогидравлических ударах в рабочей жидкости.

Особое внимание в последнее время уделяют переработке пластмасс: полиэтилентерефталат (ПЭТ), поливинилхлорид (ПВХ), АБС-пластик, полистирол (ПС), которые все больше используются в качестве упаковочной тары для различной продукции. Их переработка во вторичные материалы и использование с максимальной эффективностью возможны только после сортировки по видам полимеров. Для механического измельчения пластиковых материалов, в частности продукции одноразового пользования используют модульную дробилку подобную шредерной установки, но значительно меньшей мощности. Измельченный материал переплавляют в строительный или промышленный пластик, из которого изготавливают, как правило, неответственные детали машин (бамперы, обивку багажника, коврики и т.п.), а также хозяйственные товары (дорожные ограждения, хозяйственная утварь, покрытия для садовых дорожек и др.).

В связи с возрастающей актуальностью экологических проблем развитие технологий и техники имеют большую рециклинговую направленность. Безусловно, этот сектор экономики в ближайшем будущем будет только развиваться и привлекать все большее внимание со стороны инвесторов.

Литература

1. Гаврилюк В.С., Мельников Э.Л., Бояркин А.О. Экологический потенциал реновационного производства в концепции устойчивого развития // Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. – №4. – С. 2 – 5.
2. Знаменский С. Идеальный шрот // Авторевю. 2006. – №18 – С. 10 – 12.
3. Кривошеков В.Е. Реинжиниринг систем восстановления изношенных деталей машин и рециклинг запасных частей // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. – №1. – С. 4 – 6.
4. Лобузько В.В. Некоторые вопросы терминологии // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. – №1. – С. 32 – 34.
5. Мельников Э.Л. Словарь терминов по специальности «Реновация объектов и средств материального производства» // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. – №9 – 11. 2006. – №2, 4, 6, 8, 10.
6. Мураткин Г. В. Рециклинг – инструмент повышения эффективности использования автомобилей // Автомобильная промышленность. 2012. №12. С. 1 – 5.
7. Мураткин Г.В., Малкин В.С., Доронкин В.Г. Основы восстановления деталей и ремонт автомобилей : в 2 ч.; под ред. Г.В. Мураткина – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. Ч 1. – 247 с. ; Ч 2. – 263 с.
8. Мураткин Г.В. О некоторых проблемах и особенностях организации системы рециклинга машин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. №6. С. 3 – 7.
9. Мураткин Г.В. О некоторых проблемах и особенностях организации системы рециклинга машин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. №7. С. 3 – 8.
10. Пашков А.П. Ремонт: сущность, значимость, перспектива // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. – №6, 7.
11. Петров Р.Л. Системы утилизации легковых автомобилей // Автомобильная промышленность. 2007. – №7. – С. 3 – 6.