

## СТРАТЕГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

*Канд. техн. наук, доц. МАКСИМЕНКО А. Н.*

*Белорусско-Российский университет*

Эффективность использования строительных и дорожных машин (СДМ) в значительной степени зависит от стратегии поддержания и восстановления их работоспособности. Затраты на поддержание и восстановление работоспособности машин за этап эксплуатации их жизненного цикла в 5–10 раз выше по сравнению с изготовлением новых, а согласно прогнозу развития в XXI в. в сфере эксплуатации и ремонта будет занято 80–90 % всех трудовых ресурсов [1]. Причем затраты на обеспечение работоспособности можно существенно сократить повышением надежности машин с организацией фирменного обслуживания. Обеспечить высокий уровень работоспособности машин возможно только в результате комплексных взаимоувязанных мероприятий при их проектировании, производстве и эксплуатации. Компания-изготовитель должна быть экономически заинтересована в снижении суммарных затрат на обеспечение работоспособности изготавливаемых машин.

В практике США, Англии, Японии и других наиболее развитых стран принята номенклатура показателей строительных машин, которая характеризует эффективность их использования у потребителя (коэффициент, учитывающий простои по обеспечению их работоспособности; амортизационный срок в часах работы; суммарная стоимость ремонта) [2]. В Республике Беларусь основу эффективности создания или модернизации машины составляет стоимость изготовления с фирменным контролем и обеспечением ее работоспособности только

в гарантийный период. В статье предлагается методика оценки эффективности этапов жизненного цикла машины с учетом изменений технико-экономических показателей в процессе ее использования с применением положительных показателей отечественного и зарубежного опыта.

**Установившаяся практика обеспечения работоспособности машин в Республике Беларусь.** В нашей стране ведущими предприятиями машиностроения являются МАЗ, МТЗ, БелАЗ и «Амкодор». Основные требования при создании новой машины (высокая производительность, надежность, простота управления и обслуживания, ремонтпригодность, удобство транспортирования, высокие эстетические качества) научно обоснованы в [3] и не противоречат установившейся практике ведущих зарубежных фирм.

Однако в основу обеспечения работоспособности ведущие зарубежные производители машин закладывают фирменное обслуживание с полной ответственностью изготовителя за их техническое состояние за этап эксплуатации жизненного цикла. Элементы положительного зарубежного опыта по фирменному обслуживанию внедряются в Республике Беларусь посредством увеличения продолжительности гарантийного периода до 2 лет [4]. Только тесная прямая и обратная связь между производителями и потребителями техники позволит обеспечить необходимое качество изготовления и работоспособность на этапе эксплуатации жизненного цикла, а также повысить эффективность использования и конкурентоспособность

конкретной машины. К сожалению, все ведущие предприятия машиностроения в Беларуси обеспечивают работоспособность выпускаемой техники только в гарантийный период.

Анализ восстановления работоспособности погрузчиков Амкодор 332 и Амкодор 342 в гарантийный период эксплуатации показал, что средняя продолжительность ремонта составила 1,2 сут. и не превышала 2 сут., и это время входит в число показателей устранения неисправностей. После гарантийного периода единая система обеспечения работоспособности машины отсутствует, уровень технической эксплуатации определяется технической базой и кадрами предприятия по использованию техники. Продолжительность восстановления работоспособности подконтрольных погрузчиков после гарантийного периода увеличивается в 3–5 раз и исчисляется в отдельных случаях месяцами при отказе сложных сборочных единиц.

Основной причиной значительных простоев дорогостоящей техники после гарантийного периода эксплуатации является отсутствие централизованного контроля за выполнением правил эксплуатации машин, а также предприятий по ремонту их сборочных единиц. В настоящее время в Республике Беларусь нет ни одного завода по капитальному ремонту сложных машин и их сборочных единиц и агрегатов, за исключением двигателей. Восстановление работоспособности сборочных единиц на предприятиях, эксплуатирующих машины, не обеспечивает планируемый ресурс из-за отсутствия современного оборудования и квалифицированных кадров. Такое состояние с восстановлением работоспособности машин обеспечивает только 50 % ресурса, задаваемого изготовителем, а простои в капитальных ремонтах превышают нормативные в 5,5 раза, что приводит к снижению рабочего времени в год его проведения до 40 % от среднего значения. Такая установившаяся практика обеспечения работоспособности сложной техники формирует мнение специалистов о нецелесообразности капитальных ремонтов. Объективно необходимость проведения капитального ремонта определяет анализ технических и экономических факторов.

Сведения многих ученых показывают, что затраты на капитальный ремонт составляют по машинам 40–60 % и по агрегатам 25–65 % от

стоимости вновь изготовленных при снижении затрат на материалы и комплектующие в 2–3 раза [2]. Последнее условие особенно важно для нашей страны при нарастающем дефиците металлов.

С увеличением стоимости техники целесообразность капитального ремонта возрастает. И этот ремонт необходимо налаживать на основе межведомственных региональных центров по капитальному ремонту основных сборочных единиц и агрегатов сложной техники, что позволяет восстанавливать работоспособность с ресурсом, близким к новым, и внедрить агрегатный метод ремонта на предприятиях по их эксплуатации. Для техники, производимой в Беларуси, целесообразно наладить фирменное обслуживание, что позволит повысить качество и ремонтпригодность машины за счет устойчивой обратной связи в процессе ее проектирования, производства и эксплуатации.

Второй существенный недостаток при производстве сложной техники состоит в том, что выходные параметры, закладываемые в конструкцию машины, рассматриваются без их динамики в процессе эксплуатации. Так, основной выходной параметр в соответствии с функциональным назначением машины – производительность – принимается постоянной за межремонтный период.

Исследования по влиянию наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин показали снижение эксплуатационной производительности в 2–3 раза за межремонтный цикл [5]. Снижение производительности сопровождается увеличением затрат на поддержание и восстановление работоспособности машины, что приводит в совокупности к большой интенсивности роста стоимости единицы механизированных работ.

С увеличением наработки с начала эксплуатации снижается годовое количество рабочего времени более чем на 50 % [5] и увеличиваются эксплуатационные затраты до 50 % [6]. Такие изменения технико-экономических показателей необходимо учитывать не только при планировании и организации эксплуатации машин, но и при оценке эффективности технических решений на этапах их проектирования и производства.

В настоящее время основная задача, стоящая перед производителем, – снижение затрат

с обеспечением высоких показателей надежности. Современный уровень развития науки и техники позволяет достичь любых показателей надежности. Однако повышение надежности связано с увеличением стоимости изготовления машины. Поэтому при производстве машины необходимо рассматривать повышение надежности на основании снижения удельных суммарных затрат ( $Z_{уд}$ ) и максимальной прибыли на единицу произведенной продукции ( $\Pi_{уд}$ ):

$$Z_{уд} = \frac{C_n + C_3}{H_{опт} \Pi_T} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\Pi_{уд} = \frac{C_n - (C_n + C_3)}{H_{опт} \Pi_T} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $C_n$  – стоимость выполняемой работы машиной в соответствии с ее целевым назначением за наработку  $H_{опт}$ ;  $C_n$  – стоимость новой машины, включая затраты на проектирование, изготовление, испытание, отладку и доставку к месту работы;  $C_3$  – стоимость эксплуатации машины с учетом обеспечения ее работоспособности за наработку  $H_{опт}$ ;  $\Pi_T$  – техническая производительность машины;  $H_{опт}$  – наработка, соответствующая максимальной прибыли [7].

Как правило, целесообразно повышать затраты на изготовление и снижать на обеспечение работоспособности машины. Однако при увеличении затрат на изготовление новых машин необходимо экономическое обоснование по рациональному их распределению на повышение выходных параметров и надежности.

Увеличение затрат на повышение выходных параметров машины способствует росту  $\Delta C_n$  и  $\Delta C_3$  (с ростом интенсивности работы машины повышаются эксплуатационные расходы  $C_3$ ). Если дополнительные средства при создании новой машины будут направлены только на повышение надежности, то  $\Delta C_n$  возрастает, а  $\Delta C_3$  соответственно снижается, поэтому при неизменных выходных параметрах получение высокой прибыли будет ограничено. Здесь важно распределить дополнительные затраты на повышение выходных параметров и надежности, чтобы  $\Pi_{уд}$  принимало максимальное значение к наработке  $H_{опт}$ .

В сложившихся условиях решение задач по обеспечению работоспособности машин должно

быть переориентировано на использование внутренних резервов с учетом снижения интенсивности роста эксплуатационных затрат и производительности на этапе эксплуатации их жизненного цикла. Потенциальные возможности повышения эффективности использования машин в строительной отрасли составляют до 80 % за счет совершенствования режимов их технического обслуживания, ремонта и диагностики [8], используя уже накопленный зарубежный и отечественный опыт, в том числе и на предприятиях строительной отрасли нашей страны.

**Важнейшие факторы, влияющие на работоспособность машины.** Численные значения параметров, характеризующих способность машины выполнять заданные функции, устанавливаются в техническом задании при проектировании; обеспечиваются качеством изготовления, качеством сборки и обкатки при производстве; реализуются в процессе ее эксплуатации с повышением или уменьшением области работоспособного состояния в зависимости от режимов технических обслуживаний и ремонтов, диагностического обеспечения, применяемых топлив и смазочных материалов, условий работы и т. д.

Интенсивность изменений выходных параметров, характеризующих работоспособность машины, зависит от множества факторов, которые можно объединить в три группы (рис. 1). Обеспечить высокий уровень работоспособности машины возможно только в результате комплексных взаимосвязанных мероприятий при ее проектировании, производстве и эксплуатации.

При создании новой машины критериями ее работоспособности являются прочность, износостойкость, жесткость, теплостойкость, вибрационная устойчивость [3]. Однако на этапе эксплуатации основным критерием по обеспечению работоспособности машины будет износостойкость. Потеря работоспособности более 80 % машин происходит вследствие износа [2]. Процесс изнашивания зависит от множества факторов, и величина износа носит случайный характер. Для определения потребности в запасных частях, прогнозирования ресурса, обоснования режимов ТО и ремонтов используются средние величины скорости изнашивания с установлением закона распределения износа, его характеристики и границы отклонения.

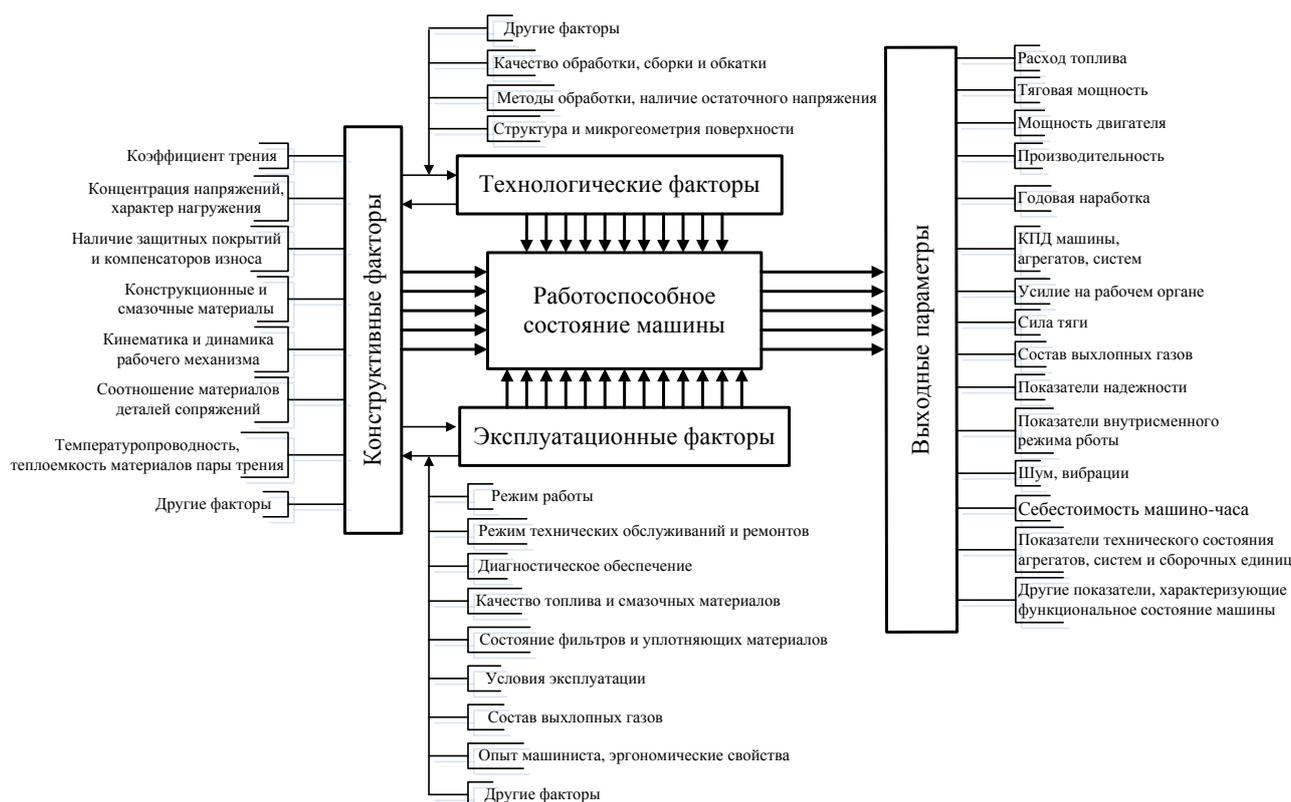


Рис. 1. Основные факторы, влияющие на работоспособность машины

На этапе эксплуатации машин факторы, характеризующие условия эксплуатации (температура, запыленность и влажность окружающей среды и др.), изменяют скорость изнашивания и влияют на конструктивные и технологические решения, что сказывается на выходных параметрах машины. Другими факторами (режимы нагружения, обслуживания и ремонтов; повышение качества применяемых топлив, масел и технических жидкостей; токсичность выхлопных газов; очистка используемых масел и др.) можно управлять в процессе поддержания и восстановления работоспособности машины. Износ сопряжений непосредственно влияет на выходные параметры машины, снижая ее работоспособность. Для управления изменением выходных параметров, характеризующих способность выполнения заданных функций, необходимо установить зависимость их от износа сопряжений, лимитирующих наработку работоспособного состояния.

Анализ показателей надежности гидрофицированных машин показывает, что самая низкая вероятность безотказной работы наблюда-

ется у гидропривода [9] (более 50 % отказов от общего количества). Исследования автора [10] подтверждают также, что вероятность безотказной работы гидропривода в целом погрузчика Амкодор 332 к наработке 1000 моточасов оказалась самой низкой и составила 0,4.

Важнейшими факторами, лимитирующими наработку до отказа гидронасосов, гидродвигателей и аппаратуры управления, являются количество механических примесей в рабочей жидкости (РЖ) и их размеры (снижение размеров с 20 до 5 мкм увеличивает ресурс насосов в 10 раз). Заложив при проектировании тонкость очистки РЖ менее 5 мкм и максимальную наработку ее замены с учетом рекомендуемой технологии, можно обеспечить работоспособность основных элементов гидропривода на протяжении ресурса машины (фирма JSB обеспечивает тонкость очистки РЖ 1,5 мкм с наработкой ее замены 6000 моточасов, что позволяет стабилизировать техническую производительность на этапе эксплуатации). Заложенные параметры работоспособности на этапе проектирования и изготовления машины обеспечи-

вают эксплуатацию в соответствии с ее функциональным назначением. Продолжительность работоспособности машины определяется не только совершенством конструкции и качеством изготовления, но и динамикой изменения основных выходных параметров (производительности, себестоимости машино-часа, количества рабочего времени, КПД, комплексного показателя надежности и др.). С увеличением наработки машины с начала эксплуатации эти параметры значительно изменяются [5, 11] и достигают предельных значений, при которых дальнейшее ее использование нецелесообразно.

Рациональная эксплуатация может быть продлена при поддержании работоспособности машины в соответствии с рекомендациями производителя и организацией восстановления ее по предложенному ранее методу ремонта и диагностики [10, 12]. Часовая эксплуатационная производительность машины зависит от внутрисменного режима работы, количество рабочего времени – от продолжительности технических обслуживаний и ремонтов (ТОР), а себестоимость машино-часа – от принятой системы ТОР и уровня ее реализации.

Динамику выходных параметров машины можно определить диагностированием по параметрам, характеризующим изменение ее работоспособного состояния. Дополнительные затраты на диагностику и ремонт позволяют увеличить значения выходных параметров (КПД гидропривода и др.), что приведет к значительному снижению стоимости единицы продукции, повышению производительности, выручки и прибыли. Оценка технического состояния машины в целом можно производить по изменению следующих параметров: мощность, расход топлива, КПД, усилие на рабочем органе, состав выхлопных газов и др.

При предельном значении одного из выходных параметров машина теряет работоспособное состояние и требуется техническое воздействие для восстановления численных значений выходных параметров. Интегральным выходным параметром машины является производительность, которая зависит от мощности, КПД, усилия на рабочем органе, внутрисменного режима работы, годовой наработки и др. Другим интегральным выходным параметром машины

является себестоимость машино-часа, которая включает затраты, связанные с использованием ее в соответствии с функциональным назначением и на поддержание и восстановление ее работоспособности. Исследования по эксплуатационным затратам при использовании машины показали, что на топливо, смазочные материалы, технические жидкости и на обеспечение работоспособности расходуется более 70 %. Причем эти составляющие себестоимости машино-часа увеличиваются с повышением наработки машины с начала эксплуатации.

На этапе эксплуатации жизненного цикла машины оценку значений параметров, характеризующих ее работоспособное состояние, необходимо обеспечивать не по усредненным величинам с указанием доверительной вероятности, а по фактическим, определяемым по результатам диагностирования и (или) индивидуального учета, который уже ведется на предприятиях дорожной отрасли с установкой приборов на каждую машину, определяющих расход топлива, наработку, полезное время работы, простои и другие показатели. Для автоматизации оценки эффективности использования и обеспечения работоспособности машин предложены методы и алгоритмы определения наработки до предельного значения всех контролируемых параметров, характеризующих ее функциональное назначение [8, 10, 11].

Для учета влияния конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов важно подобрать параметр (параметры) диагностирования конкретного объекта и по его динамике в процессе эксплуатации найти остаточный ресурс до потери работоспособного состояния. Причем факторы, определяющие работоспособность объекта при проектировании, практически не могут быть использованы при оценке его текущего технического состояния, обеспечивая необходимую точность. Например, при проектировании цепных передач учитывается шесть важнейших факторов [3] для обеспечения их работоспособности, которые принимаются с коэффициентами, определяемыми экспериментально.

В основу проектирования работоспособности машин за этап эксплуатации закладывается ресурс, который определяется по средней ин-

тенсивности изменения структурного или функционального параметра (параметров), обеспечивающего работоспособность контролируемого объекта до предельного состояния. При эксплуатации цепной передачи ее техническое состояние определяется зазором в сопряжении и контролируется суммарным угловым зазором с установленными предельными и номинальными значениями. Подконтрольные объекты, эксплуатирующиеся в одних условиях, предельного состояния достигают при разной наработке. Здесь важно перейти от среднего значения интенсивности изменения контролируемого параметра к фактическому, которые определяются по двум и более замерам с обеспечением погрешности менее 8 % (при использовании средних значений интенсивности изнашивания процесс накопления износа деталей машин имеет отклонения до 50 %) [8].

Анализ динамики выходных параметров с экономической оценкой эффективности использования машины позволяет определить изменения области ее работоспособности. Снижение интенсивности изменений контролируемых параметров и их качественное улучшение техническим воздействием расширят область работоспособного состояния сборочных единиц, агрегатов, системы и машины в целом.

### ВЫВОД

Достижение максимального эффекта при эксплуатации строительных и дорожных машин возможно только в результате комплексных и взаимосвязанных мероприятий на этапах жизненного цикла конкретной машины с учетом динамики технико-экономических показателей при ее использовании. Планирование и организацию обеспечения работоспособности машины целесообразно проводить на основе минимальных удельных затрат на изготовление и обеспечение работоспособности машины,

а также максимальной прибыли на единицу производимой продукции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Проников, А. С.** Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
2. **Зорин, В. А.** Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов / В. А. Зорин. – М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
3. **Скойбеда, А. Т.** Детали машин и основы конструирования: учеб. / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Майданчик; под общ. ред. А. Т. Скойбеда. – 2-е изд., перераб. – Минск: Выш. шк., 2006. – 560 с.
4. **Положение** о гарантийном сроке эксплуатации сложной техники и оборудования: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 27.06.2008, № 952.
5. **Влияние** наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6 (27). – С. 73–76.
6. **Влияние** наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко [и др.] // Грузовик &. – 2007. – № 2. – С. 32–36.
7. **Максименко, А. Н.** Оценка эффективности использования изделий машиностроения / А. Н. Максименко, В. А. Максименко, А. А. Максименко // Вестник Могилевского государственного технического университета. – 2005. – № 2 (9). – С. 98–103.
8. **Максименко, А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
9. **Эксплуатация** подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учеб. / А. В. Рубайлов [и др.]; под ред. Е. С. Локшина. – М., 2007. – 512 с.
10. **Влияние** качества изготовления и технической эксплуатации на работоспособность строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3 (24). – С. 68–73.
11. **Информационные** технологии в определении себестоимости машино-часа строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 2 (23). – С. 86–92.
12. **Рекомендации** по совершенствованию технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин с учетом целесообразности их эксплуатации на любом этапе с начала использования: ДМД 09191.7.008–2009. – Введ. 01.03.09. – Минск: БелдорНИИ, 2009. – 90 с.

Поступила 29.10.2012