УДК 629.7.07

А. Н. Максименко, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Е. А. Косенко, Белорусско-Российский университет
E-mail: maksimenko-bm@vandex.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности этапов жизненного цикла машины, поддержания и восстановления ее работоспособности с учетом изменений технико-экономических показателей в процессе ее эксплуатации. Производительность, себестоимость машиночаса, количества рабочего времени, КПД, коэффициент технического использования, коэффициент внутрисменного использования и другие технико-экономические показатели изменяются в процессе эксплуатации машины. Предложена стратегия проведения технических обслуживаний и ремонтов для получения максимальной прибыли за этап эксплуатации жизненного цикла машины с учетом изменений технико-экономических показателей.

Ключевые слова: *работоспособность, этап эксплуатации, жизненный цикл, прибыль, производительность, себестоимость.*

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Введение

Перспективы социально-экономического развития страны во многом зависят от стратегии развития ведущих отраслей промышленности. При проектировании и изготовлении новой машины важно учитывать затраты на поддержание и восстановление работоспособности при использовании ее в соответствии с функциональным назначением. Затраты на поддержание и восстановление работоспособности машин за этап эксплуатации их жизненного цикла превышают в 5—10 раз по сравнению с изготовлением новых, а прогноз развития на XXI век показывает, что 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. Фирма-изготовитель должна быть экономически заинтересована в снижении суммарных затрат на обеспечение работоспособности парка машин.

В практике США, Великобритании, Японии и других развитых стран принята номенклатура показателей строительных и дорожных машин (СДМ), которая характеризует эффективность их использования у потребителя (коэффициент, учитывающий простои по обеспечению их работоспособности; амортизационный срок в часах работы; суммарная стоимость ремонта) [2]. В странах СНГ 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.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Важнейшие факторы, влияющие на работоспособность машины

Численные значения параметров, характеризующих способность машины выполнять заданные функции, устанавливаются в техническом задании при проектировании, они 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 обслуживании 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 взаимоувязанных 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 является 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 технических обслуживаний (ТО) и ремонтов устанавливается вид закона распределения отказов вследствие износа его характеристики и границы отклонения и в этом случае результаты расчета основаны на средней величине скорости изнашивания. Использование средних результатов для прогнозирования работоспособности отдельной машины приводит к ошибкам до 50 % [4].

На этапе эксплуатации машин факторы, характеризующие условия эксплуатации (температура окружающей среды, запыленность и влажность ок-

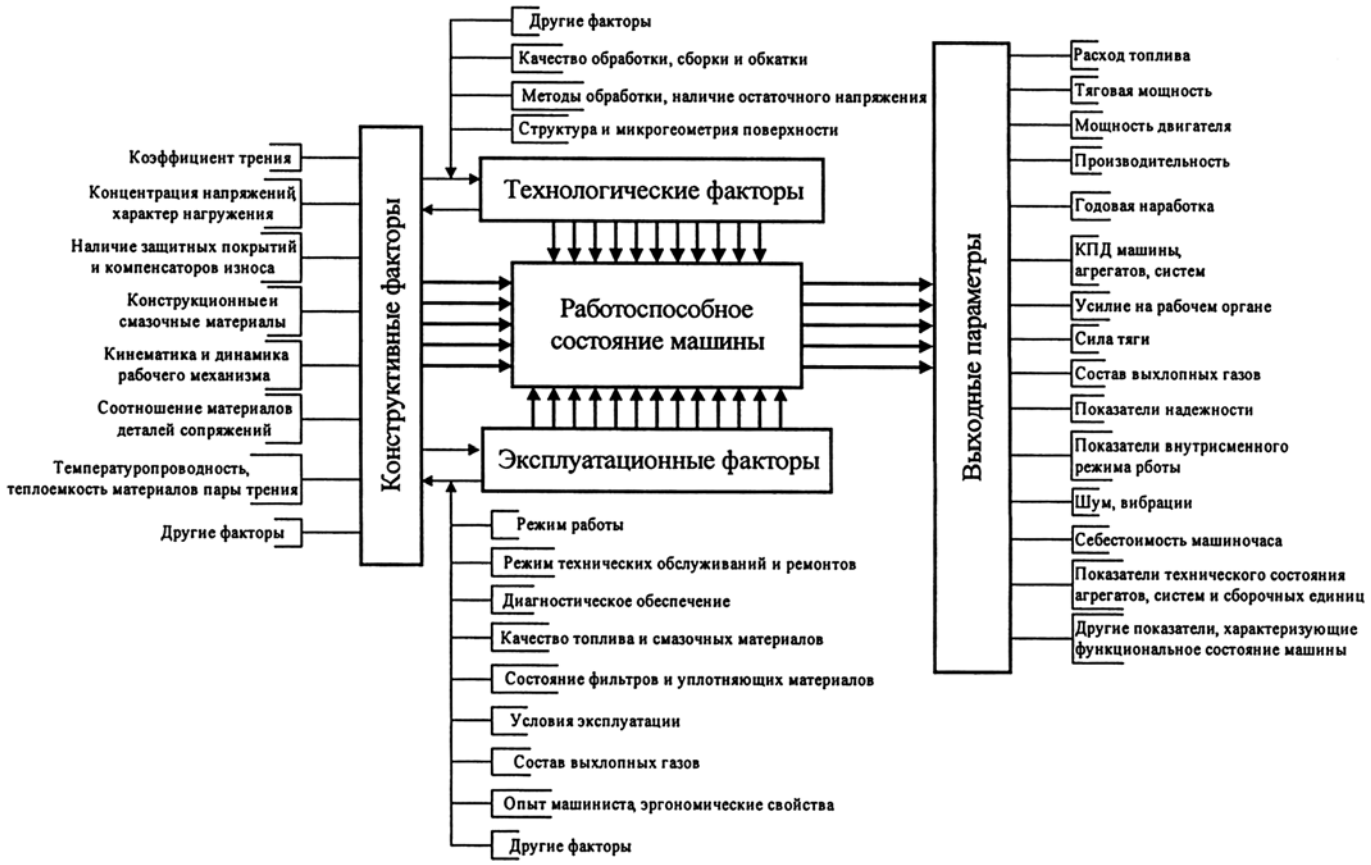

Рис. 1. Основные факторы, влияющие на работоспособность машины

ружающей среды и др.) изменяют скорость изнашивания и влияют на конструктивные и технологические решения для снижения влияния этих факторов на выходные параметры машины. Другими факторами (режимами нагружения, обслуживания и ремонтов, повышением качества применяемых топлив, масел и технических жидкостей, токсичностью выхлопных газов; очисткой 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 выполнить заданные функции, необходимо установить зависимости их от износа сопряжений, лимитирующих наработку работоспособного состояния.

Анализ показателей надежности гидрофицированных машин показывает, что самая низкая вероятность безотказной работы наблюдается у гидропривода [5] (более 50 % отказов от общего количества). Исследования авторов [6] подтверждают также, что вероятность безотказной работы гидропривода в целом, например, погрузчика Амкодор-332 к наработке 1000 моточасов оказалось 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) [4]. 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 (фирмы 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 обеспечивают эксплуатацию в соответствии с ее функциональным назначением. Продолжительность работоспособности машины определяется не только совершенством конструкции и качеством изготовления, но и динамикой основных выходных параметров (производительности, себестоимости машиночаса, количества рабочего времени, КПД, комплексного показателя надежности, коэффициента внутрисменного режима работы и пр.).

С увеличением наработки машины с начала эксплуатации эти параметры значительно изменяются [7, 8] и достигают предельных значений, при которых дальнейшее использование машины нецелесообразно.

Рациональная эксплуатация может быть продлена при поддержании работоспособности машины в соответствии с рекомендациями производителя и организацией восстановления ее в соответствии с предложенным ранее методом ремонта и диагностики [6, 9]. Часовая эксплуатационная производительность машины зависит от внутрисменного режима работы, количество рабочего времени от продолжительности технических обслуживаний и ремонтов (ТОР), а себестоимость машиночаса — от принятой системы ТОР и уровня ее реализации.

Динамику выходных параметров конкретной 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. Оценку 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 этих 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 машиночаса, которая включает затраты, связанные с использованием ее в соответствии с функциональным назначением и на поддержание и восстановление ее работоспособности. Исследования по использованию машины показали, что на топливо, смазочные материалы, технические жидкости и на обеспечение работоспособности расходуется более 70 % эксплуатационных затрат. Причем, эти составляющие себестоимости машиночаса увеличиваются с повышением наработки машины с начала эксплуатации.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

На этапе эксплуатации жизненного цикла машины оценку значений параметров, характеризующих ее работоспособное состояние, необходимо обеспечивать не по усредненным значениям с указанием доверительной вероятности, а по фактическим, определяемым по результатам диагностирования и (или) индивидуального учета, который уже ведется на предприятиях дорожной отрасли Республики Беларусь 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 [4, 6, 8].

Анализ динамики выходных параметров с экономической оценкой эффективности использования машины позволят определить изменения области ее работоспособности. Снижение интенсивности изменений контролируемых параметров и их качественное улучшение техническим воздействием позволят расширить область работоспособного состояния машины.

Оценка эффективности использования изделий машиностроения

Повышение качества должно проводиться на основе общей заинтересованности изготовителя, потребителя и общества в целом.

Основная задача изготовителя — наладить выпуск изделий необходимого качества с минимальными затратами, обеспечивающими их высокую конкурентоспособность.

Любое изделие создается и изготавливается для выполнения полезной работы при его использовании в соответствии с функциональным назначением. При этом задача потребителя — максимальное использование потенциальных возможностей конструкции изделия при выполнении полезной работы с минимальными затратами на сохранение и восстановление его работоспособности.

Получение максимального эффекта при создании и эксплуатации объекта определяется минимальными суммарными затратами на изготовление и эксплуатацию, а также объемом полезной работы, выполненной им за жизненный цикл изделия.

В общем случае изменение суммарного экономического эффекта $Э_ф$ можно представить выражением:

$$Э_ф = C_{(H)} - (C_и + C_{Э(H)}), \qquad (1)$$

где $C_{(H)}$ — стоимость выполняемой работы изделия в соответствии с его целевым назначением за наработку H, руб.; $C_и$ — стоимость нового изделия, включая затраты на проектирование, изготовление, испытание, отладку и доставку его к месту работы, руб.; $C_{Э(H)}$ — стоимость технической эксплуатации изделия с учетом сохранения и восстановления его работоспособности за наработку H, руб.

Анализируя зависимость (1), можно выделить четыре периода при эксплуатации объекта (рис. 2).

Первый период H_1 характеризуется минимальными эксплуатационными затратами за счет самых низких составляющих на сохранение и восстановление работоспособности изделия и на расход эксплуатационных материалов; максимальным объемом полезной работы, выполняемой изделием за единицу времени; максимальной интенсивностью роста экономического эффекта при его отрицательном значении до полной окупаемости стоимости изготовления. За этот период (период окупаемости) стоимость выполненных работ $C_{(H)}$ сравняется с затратами на изготовление изделия и суммы эксплуатационных затрат за этот период. Продолжительность H_{0K} зависит от стоимости изготовления изделия и разности между интенсивностью роста стоимости полезной работы и стоимости его эксплуатации.

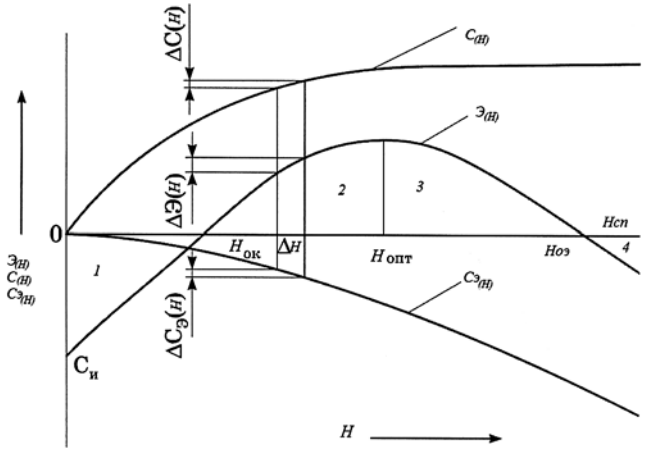

Рис. 2 Качественное изменение стоимостей полезной работы $C_{(H)}$, эксплуатации $C_{Э(H)}$ и суммарного экономического эффекта $Э_{(H)}$ от наработки машины с начала эксплуатации

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Важно обеспечить минимальное значение этого периода и перейти к периоду эксплуатации, когда изделие начинает приносить потребителю доход.

Начинается второй период $Н_2$ эксплуатации при $Н = Н_{0К}$ и заканчивается, когда интенсивность роста стоимости полезной работы $\Delta С(Н)$ сравнивается с интенсивностью роста стоимости эксплуатации изделия $\Delta С_Э(Н)$. Причем в этом периоде разность $\Delta С(Н) - \Delta С_Э(Н) > 0$, что способствует росту прибыли в процессе эксплуатации изделия.

Этот период обеспечивает максимальный экономический эффект и его продолжительность зависит от качества изготовления изделия и организации технической эксплуатации.

Во втором периоде эксплуатации изделия снижаются выходные параметры (уменьшается производительность при сокращении времени использования его по назначению), что приводит к снижению роста $\Delta С(Н)$, а интенсивность роста $\Delta С_Э(Н)$ наоборот увеличивается. Наступает момент эксплуатации изделия $Н_{опт}$, когда наблюдается равенство интенсивности роста стоимости от полезной работы и стоимости по сохранению и восстановлению его работоспособности, т. е. $\Delta С(Н) = \Delta С_Э(Н)$. Дальнейшее использование изделия по назначению при $Н > Н_{опт}$ приведет к снижению приращения суммарного экономического эффекта.

Основная задача технической эксплуатации — повышать наработку изделия во втором периоде эксплуатации ($Н_{опт} \to max$) и при достижении этой наработки необходимо уже производить анализ возможности планирования его ремонта, модернизации или замены на новое с целью повышения выходных параметров при выполнении полезной работы.

Эксплуатация изделия без ремонта или модернизации после $Н_{опт}$ (третий период) происходит при $\Delta С_Э(Н) > \Delta С(Н)$ и наступает момент $Н_{оэ}$ равенства стоимости выполненной полезной работы и стоимости изготовления и технической эксплуатации, т. е.: $С_{(Н)} = С_и + С_{э(Н)}$. Здесь заканчивается третий период эксплуатации и начинается четвертый, при котором суммарный экономический эффект имеет отрицательное значение, т. е. возникает убыточное производство.

Оптимальное решение по распределению ресурсов при создании и эксплуатации изделий, а также определение рассматриваемых этапов наработки с учетом всех возможных вариантов возможно при использовании информационных технологий. Для качественного анализа изменения суммарного экономического эффекта от наработки изделия и определения граничных условий при составлении алгоритма использования информационных технологий рассмотрим изменение всех составляющих $Э_{(Н)}$ (см. рис 2).

В процессе наработки Н изделия стоимость выполняемой полезной работы С(Н) при постоянных значениях часовой технической производительности $П_Т$ и стоимости единицы продукции $С_Т$ определяется выражением:

$$С_{(Н)} = П_Т Н К_П^Х К_Э С_Т, \qquad (2)$$

где $К_П^Х$ — коэффициент, учитывающий работу ДВС на холостых оборотах; $К_Э$ — коэффициент эргономических свойств машины.

В процессе наработки с начала эксплуатации $П_Т$ значительно изменяется (для гидрофицированных строительных машин она может превышать на 50 % первоначальную величину) и ее можно представить как функция от Н:

$$П_Т = F_1(Н). \qquad (3)$$

В этом случае стоимость выполненной работы изделием за наработку Н равна:

$$С_Н = \int_0^Н С_Т F_1(Н) dН. \qquad (4)$$

При значительном уменьшении $С_Н$, в процессе эксплуатации изделия стоимость работ по сохранению и восстановлению его работоспособности увеличивается, особенно при наработке, превышающей 0,5 среднего ресурса (для рассматриваемых гидрофицированных строительных машин с достаточной точностью ее можно выразить трехчленом второго порядка), и в общем виде можно записать:

$$С_Э = \int_0^Н F_2(Н) dН. \qquad (5)$$

Величину суммарного экономического эффекта, а также начало и окончание рассматриваемых интервалов наработки определяем с учетом численного значения и знака $\Delta С(Н)$, $\Delta С_Э(Н)$, $\Delta Э(Н)$, $Э(Н)$ и Н.

Так, началу и окончанию каждого периода соответствуют значения:

первого:

$$Н = 0,\ Э_{(Н)} = -С_и \text{ и } Э_{(Н)} = 0,\ \Delta Э(Н) > 0;$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

второго:

$$Э_{(Н)} = 0,\ \Delta Э(Н) > 0 \text{ и } dЭ_{(Н)}/dН = 0;$$

третьего:

$$dЭ_{(Н)}/dН = 0 \text{ и } Э_{(Н)} = 0,\ \Delta Э(Н) < 0;$$

четвертого:

$$Э_{(Н)} = 0,\ \Delta Э(Н) < 0 \text{ и } Н = Н_{сп}.$$

Интенсивность изменения и величина $Э_{(Н)}$ зависит от интенсивности изменения $С_{(Н)}$ и $С_{э(Н)}$. При $\Delta Э(Н) = С_{(Н)} - С_{э(Н)} > 0$ окупаются затраты на приобретение новой машины и чем выше $\Delta Э(Н)$, тем короче $Н_{ок}$ и потребитель быстрее будет получать прибыль. Все дополнительные затраты, особенно в третьем периоде, позволяющие увеличить значения $\Delta Э(Н)$ и $Н_{опт}$, оправданы, что способствует увеличению $Э_{(Н)}$. Эксплуатация машины в четвертом периоде может быть оправдана при комплексной механизации производственных процессов, когда отсутствует возможность ее замены или увеличивается стоимость единицы производимой продукции.

Использование информационных технологий при эксплуатации машины с учетом характера изменения $С_{(Н)}$ и $С_{э(Н)}$ позволит эксплуатирующей организации оперативно по каждому изделию определить целесообразность дальнейшей эксплуатации или капитального ремонта, а также суммарный экономический эффект при любой наработке с начала эксплуатации.

При индивидуальном подходе к оценке эффективности использования СДМ за рассматриваемый период производится учет информации по объему полезно выполняемой работы, выходные параметры машины, простоев и трудоемкости при поддержании и восстановлении работоспособности, расхода топливо-смазочных материалов и запчастей.

Все эти данные в настоящее время фиксируются в карточках по учету эксплуатации СДМ в соответствии с нормативной документацией.

В каждом i-ом интервале по исходным данным определяется $С_{эНi}$, $С_{Нi}$ и $Э_{Нi}$. Эти величины за период времени с начала эксплуатации оцениваются суммой значений по всем интервалам, т. е.:

$$С_Н = \sum_{i=1}^{n} С_{Нi} = \sum_{i=1}^{n} П_{Тi} К_{Сi} К^{Х}_{Пi} К_{Эi} Н_i; \qquad (6)$$

$$С_{ЭН} = \sum_{i=1}^{n} С_{ЭНi} = \sum_{i=1}^{n} С^{ПР}_{МЧ} Н_i\ К^{Х}_{Пi}; \qquad (7)$$

$$Э_Н = \sum_{i=1}^{n} Э_{Нi} = \sum_{i=1}^{n} П_{Тi} К_{Сi} К^{Х}_{Пi} К_{Эi} Н_i \left(С_{Тi} - С е^{пр}_{Нi}\right) - C_u, \qquad (8)$$

где n – количество рассматриваемых интервалов за рабочее время.

С увеличением наработки с начала эксплуатации происходит накопление численных значений расчетных технико-экономических показателей, позволяющих определить наработку окупаемости, предельную наработку роста суммарного экономического эффекта и прибыльной эксплуатации машины, а также выработку рекомендаций о прекращении использования ее по назначению.

Обеспечение работоспособности СДМ с учетом изменений выходных параметров в процессе их эксплуатации

Получение максимальной прибыли при эксплуатации СДМ возможно при учете стоимости изготовления и ремонта, а также динамики выходных параметров в процессе их наработки с начала эксплуатации. При приобретении или ремонте машины важно прогнозировать наработку окупаемости затрат и возможность получения максимальной прибыли за этап эксплуатации ее жизненного цикла.

С увеличением наработки с начала эксплуатации снижается годовое количество рабочего времени свыше 50 % [7] и увеличиваются эксплуатационные затраты до 50 % [10]. 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.

Основная задача ставится в настоящее время 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 повышением 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 ($П_{УД}$):

$$Z_{УД} = \frac{\left(С_u + С_э\right)}{Н_{ОПТ} П_T} \to \min; \qquad (9)$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

$$П_{УД} = \frac{C_Н\left(C_u + C_Э\right)}{Н_{ОПТ}П_T} \to \max. \quad (10)$$

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

Увеличение затрат на повышение выходных параметров машины способствует росту $\Delta C_Н$ и $\Delta C_Э$ (с увеличением интенсивности работы машины увеличиваются эксплуатационные расходы $C_Э$).

Если дополнительные средства при создании новой машины будут направлены только на повышение надежности, то $\Delta C_Н$ возрастает, а $\Delta C_Э$ соответственно снизится, при неизменных выходных параметрах получение высокой прибыли будет ограничено. Здесь важно распределить дополнительные затраты на повышение выходных параметров и на повышение надежности, чтобы $П_{УД}$ принимало максимальное значение к наработке $Н_{опт}$.

В сложившихся условиях решение задач по обеспечению работоспособности машин должно быть переориентировано на использование внутренних резервов с учетом снижения интенсивности роста эксплуатационных затрат и интенсивности снижения 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 [4], используя уже накопленный зарубежный и отечественный опыт, в том числе и на предприятиях строительной отрасли.

В работах [10, 11] были приведены основы определения наработок: окупаемости затрат на приобретение, проведения ремонта и списания машины, где ее техническая производительность принималась постоянной за межремонтный цикл. Дальнейшие исследования показали, что техническая производительность для механических трансмиссий и систем управления изменялась из-за снижения работоспособности двигателя и не превышала допустимую погрешность расчетов для СДМ 10 % [2] при снижении эксплуатационной производительности до 70 %. Для гидрофицированных машин снижение технической производительности за межремонтный цикл происходит в 1,5—2 раза, что необходимо учитывать при обеспечении их работоспособности.

Для гидрофицированных машин техническая производительность в зависимости от наработки с начала эксплуатации ($Н_i$) может корректироваться коэффициентом K_C который можно определить по формуле:

$$K_C = 1 - (\eta - \eta_i). \quad (11)$$

где η — КПД гидропривода новой машины; η_i — текущее значение КПД при наработке $Н_i$.

КПД сборочных единиц и гидропривода в целом можно определять методом функционального диагностирования.

Стоимость изготовления (C_u) машины окупается при выполнении полезной работы и дальнейшая их эксплуатация приносит прибыль, которая зависит от изменений количества рабочего времени, производительности и себестоимости машиночаса в зависимости от наработки с начала эксплуатации. Динамика этих технико-экономических показателей приведена в работах [6, 7, 12, 13, 14], которая позволяет сделать вывод о целесообразности учитывать наработку с начала эксплуатации СДМ при планировании и организации строительного производства и обеспечения их работоспособности. Эту наработку можно учитывать через изменения коэффициентов: внутрисменного использования машины ($K_П$), коэффициента технического использования ($K_{ТИ}$) и коэффициента снижения технической производительности (K_C), а также себестоимость единицы производимой работы ($Се^{ПР}$). С учетом перечисленных изменяющихся от наработки выходных параметров прибыль (П) от наработки, определяемой по прибору машины (Н), можно определить по формуле:

$$П = \left(K_{НТ}C_Т - C_e^{ПР}\right)П_T K_C K_П^X НK_Э - C_u, \text{ руб.}, \quad (12)$$

где $K_{НТ}$ — коэффициент, учитывающий повышение качества производимой работы при реализации перспективных технологий.

Приведенная себестоимость механизированных работ (р/м^3) может определяться по формуле:

$$Се^{ПР} = \frac{C_{Мч}K_Н}{П_T K_C K_П}, \quad (13)$$

где $C_{Мч}$ — себестоимость машиночаса машины, которая возрастает с увеличением ее наработки, руб/машчас; $K_Н$ — коэффициент накладных расходов при производстве механизированных работ.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

На основании выражения (12) наработку окупаемости определяем в моточасах, приравняв правую его часть к нулю, и получаем зависимость:

$$Н_{ОК} = \frac{С_{и}}{\left(К_{НТ}С_{Т} - Се^{ПР}\right)П_{Т}К_{С}К_{П}^{х}К_{Э}}. \quad (14)$$

После наработки $Н_{ОК}$ прибыль будет зависеть от роста себестоимости $С_{Мч}$ и снижения эксплуатационной производительности, а также увеличения простоев в технических обслуживаниях и ремонтах, которые снижают количество рабочего времени.

Получаемую прибыль в рублях после наработки $Н_{ОК}$ при использовании машины можно определять по формуле:

$$П = \left(К_{НТ}С_{Т} - Се^{ПР}\right)П_{Т}К_{С}К_{П}^{Х}К_{Э}\left(Н - Н_{ОК}\right). \quad (15)$$

Важно в процессе эксплуатации машины определить наработку, соответствующую максимальной прибыли до капитального ремонта. Эта величина $Н_{ОПТ}$ (экономический ресурс) соответствует нулевому значению производной рассматриваемой зависимости (12). После наработки $Н_{ОПТ}$ при плановом текущем ремонте по результатам диагностики целесообразно провести агрегатный метод ремонта с заменой сборочных единиц и агрегатов, снижающих эффективность использования машины, на новые или капитально отремонтированные на специализированных предприятиях, что позволит увеличить ресурс машины.

Анализ количественных изменений выходных параметров после ремонта с учетом его стоимости позволяет определять эффективность проводимых мероприятий по восстановлению работоспособности машины. При внедрении агрегатного метода ремонта капитальный ремонт СДМ и агрегатов проводится при необходимости ремонтировать дорогостоящие базовые сборочные единицы или детали.

Проведенные исследования показали, что произойдет улучшение выходных параметров машины после капитального ремонта, но численные значения интенсивности их изменений при увеличении наработки значительно уступают начальным значениям новой машины [2, 4, 10].

Получаемая прибыль после капитального ремонта может определяться как и до ремонта по аналогичной формуле:

$$П_{Р} = \left(К_{НТ}С_{Т} - Се_{Р}^{ПР}\right) \times$$
$$\times П_{ТР}К_{СР}К_{ПР}^{Х}К_{ЭР}\left(Н_{Р} - Н_{ОКР}\right), \text{ руб.}, \quad (16)$$

где $Се_{Р}^{ПР}$, $П_{ТР}$, $К_{ПР}^{Х}$, $К_{ЭР}$, $К_{СР}$, $К_{НТ}$, $Н_{Р}$, $Н_{ОКР}$ — соответствующие обозначения как и в формуле (12) с численным значением после ремонта.

Целесообразность проведения капитального ремонта машины определяется снижением затрат на один моточас наработки до ремонта и после.

Капитальный ремонт выгодно проводить при выполнении неравенства:

$$\frac{С_{и}}{Н_{ОПТ}} \geqslant \frac{С_{р}}{Н_{ОПТР}}, \quad (17)$$

где $С_{Р}$ и $Н_{ОПТР}$ — соответственно затраты на капитальный ремонт и наработка после капитального ремонта, руб.

При невыполнении неравенства (17) машину следует готовить к списанию с заменой на новую.

В реальных условиях эксплуатации машина может работать на различных объектах с выполнением различных технологических операций и объемов производства работ. Практически оценку эффективности ее использования целесообразно производить поэтапно с определением суммарной прибыли за любые интервалы наработки.

В этом случае суммарная прибыль определяется по формуле:

$$П = \sum_{i=1}^{n} П_{i}, \quad (18)$$

где $П_{i}$ — прибыль, получаемая от использования машины в i-ом интервале наработки; n — количество рассматриваемых интервалов.

При планировании промежуточных углубленных текущих (сборочные единицы машины имеют разные ресурсы, которые требуют капитального ремонта в пределах от 50 до 100 % ресурса машины) и капитальных ремонтов за рассматриваемые интервалы можно принимать наработки с разовыми затратами по восстановлению работоспособности машины и не входящие в текущие эксплуатационные затраты. В этом случае наработка списания машины будет определена по формуле:

$$Н_{СУМ} = Н_{ОПТ} + \sum_{i=1}^{n} Н_{ОПТР i}, \quad (19)$$

где $Н_{ОПТ}$, $Н_{ОПТР i}$ — оптимальная наработка соответственно до ремонта и после i-го ремонта.

Исследования авторов доказывают необходимость проведения средних ремонтов с наработкой, равной ресурсу гидропривода машины, совмещая их с плановым текущим ремонтом.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Использование информационных технологий позволяет создать базу данных с анализом изменений выходных параметров не только машины в целом, но и ее сборочных единиц, агрегатов и систем в соответствии с алгоритмами, приведенными в работах [6, 11], а также данных предприятий-изготовителей по их ресурсу, что позволит реализовать резервы повышения работоспособности СДМ и увеличить этап эксплуатации жизненного цикла машины.

Заключение

1. Достижения максимального экономического эффекта и обеспечения создания конкурентоспособной техники возможно только в результате комплексных взаимоувязанных мероприятий на этапах жизненного цикла с учетом изменений технико-экономических показателей при ее использовании.

2. Обеспечение работоспособности машины и экономии ресурсов страны на этапе эксплуатации их жизненного цикла целесообразно планировать на основе минимальных удельных суммарных затрат и максимальной прибыли на единицу производимой продукции.

3. Изменения выходных параметров машины при использовании ее в соответствии с функциональным назначением, важно учитывать на всех этапах ее жизненного цикла.

4. Планирование и организацию восстановления работоспособности машины необходимо определять с учетом изменений выходных параметров по предложенному методу, позволяющему получить максимальную прибыль и максимальную суммарную наработку за этап эксплуатации ее жизненного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Проников А. С.** Параметрическая надежность машин. — М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2002. — 560 с.
2. **Зорин В. А.** Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов. — М.: ООО "Магистр – Пресс", 2005. — 536 с.
3. **Скойбеда А. Т.** Детали машин и основы конструирования: учебник / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Майданчик; под общ. ред. А. Т. Скойбеды. — 2-е изд., перераб. — Мн.: Выш. шк., 2006. — 560 с.
4. **Максименко А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие / А. Н. Максименко. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
5. **Эксплуатация** подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник / А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой и др.; Под ред. Е. С. Локшина. — М., 2007. — 512 с.
6. **Максименко А. Н.** Влияние качества изготовления и технической эксплуатации на работоспособность строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Федосов, В. В. Кляусов // Строительная наука и техника. — 2009. — № 3 (24). — С. 68—73.
7. **Максименко А. Н.** Влияние наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, В. В. Васильев // Строительная наука и техника. — 2009. — № 6 (27). — С. 73—76.
8. **Максименко А. Н.** Информационные технологии в определении себестоимости машиночаса строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, Г. С. Тимофеев, С. Е. Кравченко, Л. В. Тимофеев, В. В. Васильев // Строительная наука и техника. — 2009. — № 2 (23). — С. 86—92.
9. **Максименко А. Н.** Повышение работоспособности гидропривода строительно-дорожных машин / А. Н. Максименко, Д. В. Бездников, В. В. Кутузов, В. В. Васильев // Грузовик &. — М.: Машиностроение. — 2008. — № 9. — С. 23—27.
10. **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.
11. **Максименко А. Н.** Влияние наработки с начала эксплуатации на эффективность использования строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, Г. С. Тимофеев, В. В. Кутузов, А. А. Максименко, А. И. Лопатин, С. Е. Кравченко // Строительная наука и техника. — 2007. — № 6. — С. 73—77.
12. **Максименко А. Н., Антипенок Г. Л., Лягушев Г. С.** Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: Учеб. Пособие. — СПб.: БХВ-Петербург; 2008. — 302 с.
13. **Максименко А. Н.** Определение целесообразности использования строительно-дорожных машин и оценка эффективности их эксплуатации / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Кутузов // Механизация строительства. — 2009. — № 3. — С. 14—20.
14. **Максименко А. Н.** Планирование годового количества рабочего времени и годовой наработки строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко, В. В. Кутузов, А. Н. Сидоров // Автомобильные дороги и мосты. — 2010. — № 1 (5). — С. 77—81.
15. **МДС 81-3.99** Методические указания по разработке сметных норм и расценок на эксплуатацию строительных и дорожных машин и автотранспортных средств.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/