

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. РЕМОНТ

УДК 625.08:620.169.1

А. Н. Максименко, канд. техн. наук, профессор, **Е. В. Заровчатская**, магистр техн. наук, Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь
E-mail: Spectrol@tut.by

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ МАШИН

В статье рассматривается оценка эффективности использования гидрофицированных машин с учетом динамики производительности и себестоимости машиночаса в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: строительные и дорожные машины, эксплуатация, производительность, себестоимость, прибыль, срок полезного использования, технико-экономические показатели.

Максимальный эффект в процессе эксплуатации строительных и дорожных машин (СДМ) возможно получить только в результате комплексных и взаимосвязанных мероприятий при проектировании, производстве и использовании по назначению конкретной машины с учетом изменения ее выходных параметров от наработки с начала эксплуатации. Для учета влияния конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов можно подобрать параметры по оценке работоспособности конкретной машины и по их динамике в процессе ее использования определить оптимальную наработку, соответствующую максимальной прибыли с учетом всех факторов, влияющих на работоспособность СДМ, которая будет отличаться от средних значений до 50 % [1].

Анализ динамики выходных параметров при эксплуатации машины позволяет определить производительность, себестоимость машиночаса, оптимальную наработку окупаемости стоимости ее изготовления, максимальные эксплуатационные затраты и максимальную прибыль за этап эксплуатации ее жизненного цикла.

На этапе разработки машины к ней предъявляются основные требования: высокая производительность и экономичность, надежность, простота управления и обслуживания, ремонтпригодность, удобство транспортировки, высокие эстетические качества [2].

К сожалению, основные выходные параметры (производительность и себестоимость машино-часа) применяются постоянными при оценке эффектив-

ности их использования. Фактически они значительно изменяются в процессе наработки машины, что важно учитывать при планировании и организации использования СДМ, включая обеспечение их работоспособности.

Стратегия поддержания и восстановления работоспособности СДМ была предложена в статье [3]. Ее реализация возможна при установленной динамике основных выходных параметров (производительность и себестоимость машино-часа) в процессе наработки машины.

Динамика основных выходных параметров гидрофицированных машин в процессе их эксплуатации

Планирование и организация строительных работ, формирование комплектов и комплексов СДМ проводится с учетом производительности машины, которая в настоящее время принимается средней за межремонтный цикл при значительных изменениях ее в зависимости от наработки с начала эксплуатации. При использовании информационных технологий для учета и анализа эффективности эксплуатации каждой машины предоставляется возможность перейти на новый уровень оценки применения комплектов и комплексов и в целом парка при выполнении любых строительных операций.

Основным показателем оценки уровня организации работы машины является эксплуатационная производительность, которая значительно изменяется в процессе ее использования. Снижение ее про-

исходит и за счет изнашивания деталей сопряжений сборочных единиц, что в гидроприводе сказывается на внутренних перетечках рабочей жидкости.

Современные СДМ оснащены преимущественно объемным гидроприводом. Основным недостатком которого является то, что все гидроэлементы связаны между собой последовательно и выход из строя одного элемента, приводит к отказу всей гидросистемы. Изменение выходных параметров гидросистемы оказывает сильное влияние на производительность СДМ. Изнашивание сопряжений сборочных единиц гидропривода влияют на продолжительность выполнения машиной отдельных операций и всего цикла.

Параметрами контроля гидропривода в целом являются: продолжительность выполнения отдельных операций или рабочего цикла; температура рабочей жидкости и темп ее нарастания; количественное и качественное изменения рабочей жидкости; полный КПД гидравлической системы. Наиболее широко для оценки общего состояния гидропривода применяется метод сравнения продолжительности выполнения отдельных операций или цикла с номинальными и предельными значениями [4].

Основным показателем изменений в работе гидропривода является объемный коэффициент полезного действия, который определяет динамику снижения производительности. Анализ результатов исследований по интенсивности изменения работоспособности сборочных единиц гидропривода ЭО-5126 показал, что в зависимости от наработки подконтрольных машин с начала эксплуатации объемный КПД снижался с 0,9 до 0,47 (табл. 1).

Таблица 1
Пределы изменения выходных ЭО-5126

Показатели	Новая машина	Предельные значения контролируемого параметра
Коэффициент подачи насоса	0,97	0,77
Объемный КПД гидрораспределителя	0,98	0,88
Объемный КПД гидроцилиндра	1	0,94
Объемный КПД гидромотора	0,95	0,76
Объемный КПД гидропривода экскаватора	0,9	0,47
Время цикла, с	22	42
Техническая производительность, м ³ /ч	180	101

Таблица 2

Изменение основных выходных параметров экскаватора ЭО-5126 от наработки с начала эксплуатации

Наработка, моточасы	K_{Π}	K_c	$K_{C_{MЧ}}$
До 1000	0,78	0,95	1,0
1000—2000	0,79	0,9	0,95
2000—3000	0,73	0,85	1,0
3000—4000	0,69	0,8	1,08
4000—5000	0,66	0,75	1,20
5000—6000	0,63	0,7	1,29
6000—7000	0,63	0,29	1,40
7000—8000	0,61	0,6	1,52
8000—9000	0,60	0,55	1,67
9000—10 000	0,59	0,5	1,78

При предельном значении объемного КПД гидропривода техническая производительность снижается на 44 %. Для экскаватора ЭО-5126 были обработаны карточки учета их работы. Полученные результаты указывают также на снижение коэффициента внутрисменного режима работы K_{Π} от наработки с начала эксплуатации (табл. 2), что приводит к уменьшению эксплуатационной производительности дополнительно на 47 %. При этом происходит увеличение времени простоя в технических обслуживаниях (ТО) и ремонтах и трудоемкости для обеспечения работоспособности машины. Все это напрямую отражается на росте себестоимости машино-часа ($C_{MЧ}$) при увеличении наработки с начала эксплуатации. Ее изменение можно учесть коэффициентом $K_{C_{MЧ}}$ (см. табл. 2), который равен отношению себестоимости машино-часа при i -й наработке к $C_{MЧ}$ при наработке до 1000 моточас.

Можно проследить, что с уменьшением объемного КПД гидропривода увеличивается время цикла вдвое с начала эксплуатации при достижении 10 000 моточасов, а эксплуатационная производительность машины с учетом изменений K_{Π} падает в 2,5 раза.

Для выполнения планируемых объемов работ экскаватором со значительным износом сопряженных пар сборочных единиц гидропривода, двигатель должен работать на наиболее высокой частоте вращения коленчатого вала или требуется более продолжительное рабочее время, что приводит к увеличению расхода топлива и стоимости машино-часа.

При планировании и организации строительного производства необходимо учитывать изменение выходных параметров каждой конкретной машины. При достижении критических значений параметров

Зависимость времени подъема стрелы на максимальную высоту от наработки

Наработка, моточасы	Время подъема стрелы, с	
	ЭО-5126	JSB-240
0	6,42	6,94
1000	6,85	8,09
2000	7,13	5,40
3000	7,92	4,35
4000	9,42	5,95
5000	11,80	8,98
6000	16,55	11,75
7000	18,06	13,17
8000	23,64	13,25
9000	32,16	13,72
10 000	75,95	15,64

своевременно принимать решение о целесообразности использования как отдельных сборочных единиц, так и гидропривода в целом.

В зависимости от наработки с начала эксплуатации для гидрофицированного экскаватора ЭО-5126, используемого в дорожной отрасли второй климатической зоны, изменения технической производительности можно выразить через коэффициент K_c , который можно выразить зависимостью:

$$K_{\Pi} = 1 - 5 \cdot 10^{-5} N_{\Phi}, \quad (1)$$

где N_{Φ} — фактическая наработка машины с начала ее эксплуатации, моточас.

Для других гидрофицированных машин качественное изменение K_c , аналогичное при разных количественных значениях, так для погрузчика Амкор-332 формула определения коэффициента старения будет иметь вид:

$$K_c = 1 - 7 \cdot 10^{-5} N_{\Phi}. \quad (2)$$

Интенсивность изменения этого коэффициента зависит от условий эксплуатации и тонкости очистки гидравлического масла. Предприятия по изготовлению СДМ в Республике Беларусь и Российской Федерации предусматривают тонкость очистки гидравлического масла 25 мкм (в лучшем случае 10 мкм), что недостаточно для обеспечения стабильной работы гидропривода машин в межремонтном цикле.

В зарубежных фирмах предусматривается тонкость очистки менее 5 мкм (фирма JSB обеспечивает тонкость очистки 1,5 мкм), что обеспечивает снижение интенсивности изнашивания на порядок и стабилизацию продолжительности отдельных операций гидрофицированных машин в процессе их эксплуатации.

Одним из основных факторов, влияющих на техническую производительность экскаватора, является продолжительность выполнения отдельных операций и цикла в целом. Анализ изменения времени подъема ковша для экскаваторов 5-й размерной группы ЭО-5126 (тонкость очистки 25 мкм) и JSB-240 (тонкость очистки 1,5 мкм) показал, что в пределах половины ресурса эта величина соизмерима, а при наработке 10 000 моточасов время подъема для ЭО-5126 превышает в 5 раз.

Фиксированные значения времени подъема стрелы на максимальную высоту определялись при фиксированных значениях при номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя и температуры гидравлического масла (табл. 3).

Математическая модель

определения этапа эксплуатации жизненного цикла машины с учетом динамики технико-экономических показателей

В международной практике при оценке эффективности эксплуатации СДМ отсутствуют единые рекомендации по применяемым технико-экономическим показателям (ТЭП) и методики их определения. Это объясняется сложностью учета качества изготовления, затрат на поддержание и восстановление работоспособности СДМ и динамики выходных параметров в процессе их эксплуатации.

Современный подход оценки эффективности эксплуатации СДМ предусматривает применение следующих технико-экономических показателей: производительности P_{Σ} , себестоимости машиночаса $C_{мч}$, годового количества рабочего времени T_{Σ} , наработки N , себестоимости механизированных работ $C_{мр}$ и прибыли Π [6, 7].

Себестоимость машиночаса определяется по формуле:

$$C_{мч} = Z_a + Z_{\text{ЭН}} + Z_{\text{СМ}} + Z_{\Gamma} + Z_{\text{ТОР}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{СО}} + Z_{\text{ПБ}}, \quad (3)$$

где Z_a — амортизационные отчисления, руб./машино-час; $Z_{\text{ЗП}}$ — заработная плата машинистов, руб./машино-час; $Z_{\text{ЭН}}$ — затраты на энергоносители, руб./машино-час; $Z_{\text{СМ}}$ — затраты на смазочные материалы, руб./машино-час; Z_{Γ} — затраты на гидравлические жидкости, руб./машино-час; $Z_{\text{ТОР}}$ — затраты на ТО и ТР, руб./машино-час; $Z_{\text{СО}}$ — затраты на сменную оснастку, руб./машино-час; $Z_{\text{ПБ}}$ — затраты на переоборудование, руб./машино-час.

Приведенная себестоимость механизированных работ для новой машины:

$$C_{ен}^{пр} = \frac{C_{мч} K_{нк}}{П_{т} K_{с} K_{в}}, \quad (4)$$

где $K_{нк}$ — коэффициент, учитывающий накладные расходы; $K_{в}$ — коэффициент внутрисменного режима работы; $П_{т}$ — часовая техническая производительность новой машины, м³/машино-час, т/машино-час, м²/машино-час.

С учетом возможности определения простоев в ТО и ремонтах, а также $K_{смч}$ прибыль от использования машины можно определять по формуле:

$$П = (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{ен}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{в} T_{ч}, \quad (5)$$

где $C_{т}$ — стоимость единицы выполненной работы, руб.; $C_{ен}^{пр}$ — приведенная себестоимость механизированных работ для новой машины, руб./м³, руб./т; $П_{т}$ — техническая производительность машины, м³/машиночас, т/машиночас, м²/машино-час; $T_{ч}$ — расчетное количество часов рабочего времени машины на планируемый год; $K_{н}$ — коэффициент, учитывающий повышение качества производимых работ при реализации перспективных технологий [9].

$C_{ei}^{пр} = K_{смч} C_{ен}^{пр}$ — приведенное значение стоимости механизированных работ при i -ой наработке, руб./м³, руб./м³, руб./т.

При возможности учета наработки машины по приборам прибыль от использования машины точнее можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned} П &= (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{ен}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п} K_{п}^x = \\ &= (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{ен}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x H, \end{aligned} \quad (6)$$

где H — наработка машины, определяемая по счетчику моточасов, моточас; $K_{п}^x$ — коэффициент, учитывающий работу двигателя на холостых оборотах; $K_{п} = K_{в}/K_{п}^x$ — коэффициент перехода от количества часов рабочего времени машины к наработке по показаниям счетчика в моточасах или спидометра в километрах пробега.

В процессе организации выполнения строительных работ возникает необходимость в определении наработки окупаемости приобретаемой техники, проведение ее КР и списании. Для решения этой за-

дачи прибыль от эксплуатации конкретной машины можно определить по формуле:

$$П_{а} = (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{еа}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x H - C_{u}, \quad (7)$$

где $C_{еа}^{пр}$ — приведенная себестоимость механизированных работ, определяемая при исключении из себестоимости машиночаса затрат на амортизацию машины, C_{u} — стоимость машины, р.

Изменения $П_{а}$ в процессе эксплуатации машины представлены в работе [7]. Приобретая машину, юридическое лицо несет затраты, которые ему компенсируются в процессе использования машины по назначению.

При определенной наработке затраты на приобретение машины окупятся, т. е.:

$$П_{а} = (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{еа}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x H - C_{u} = 0,$$

а наработка окупаемости стоимости новой машины определяется по выражению:

$$H_{ок} = \frac{C_{u}}{(K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{еа}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x}. \quad (8)$$

Поставив значение C_{u} из выражения (5) в формулу (4), получаем зависимость, которую можем использовать для определения прибыли после $H_{ок}$:

$$П_{а} = (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{еа}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x (H - H_{ок}). \quad (9)$$

Максимально возможную прибыль машины за срок службы можно получить при наработке после проведения ее КР, соответствующей равенству нулю производной от зависимости б и аналогичных зависимостей после i -го КР.

В общем виде получаемую прибыль от использования машины при постоянном качестве производимой продукции после определения наработки окупаемости можно выразить формулой:

$$\begin{aligned} П_{max} &= (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{еа}^{пр}) П_{м} K_{с} K_{п}^x (H - H_{ок}) + \\ &+ \sum_{i=1}^k (K_{н} C_{м} - K_{смч} C_{екри}^{пр}) \times \\ &\times П_{mi} K_{с} K_{п}^x (H_{pi} - H_{окri}), \end{aligned} \quad (10)$$

где $H_{кри}$ — наработка окупаемости после i -го КР, моточас; K — количество КР.

Наработка окупаемости стоимости КР машины определяется по формуле:

$$H_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кр}i}}{\left(K_{\text{н}} C_m - K_{\text{смчкр}i} C_{\text{екр}i}^{\text{пр}} \right) P_m K_{\text{ср}i} K_{\text{пр}i}^x}, \quad (11)$$

где $C_{\text{кр}i}$ — стоимость i -го КР.

По данным Зорина В. А., стоимость КР составляет 40—60 % стоимости новой машины [8]. Причем минимальное значение соответствует первому КР, а максимальное — третьему. Анализ изменений производительности, эксплуатационных затрат на поддержание и восстановление работоспособности, а также получаемой прибыли показал целесообразность проведения не более трех КР с максимальной суммарной наработкой.

Суммарная наработка, соответствующая максимальной прибыли, рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{сум}} = H + \sum_{i=1}^k H_{\text{кр}i}. \quad (12)$$

Для получения максимального эффекта необходимо сокращать этапы изготовления, доставки, монтажа, обкатки и утилизации машины и увеличивать рациональный этап ее эксплуатации.

Продолжительность этапа эксплуатации жизненного цикла СДМ определяется качеством изготовления и системой поддержания и восстановления их работоспособности, зависящей от соотношения ресурсов сборочных единиц и машины в целом. Современный подход при создании машины предусматривает максимальное приближение ресурсов СЕ и машины в целом. В этом случае отказы машины до 0,5 ее ресурса практически отсутствуют при соблюдении нагрузочных режимов работы на объекте и режимов проведения технических обслуживаний и ремонтов. При наработке свыше половины ресурса для снижения эксплуатационных затрат и исключения отказов машины на объекте важно определять остаточный ресурс при проведении плановых ТО и ремонтов с помощью гаражных или бортовых технических средств, позволяющих отслеживать работоспособное состояние СЕ, систем, агрегатов и машины в целом. При значительном отличии ресурсов СЕ отказы машины будут определяться минимальными значениями с увеличением их простоев в ТО и ремонтах, а также с ростом эксплуатационных затрат, что снижает в целом рациональный этап эксплуатации ее жизненного цикла [6].

Выводы

1. Оценку эффективности использования гидрофицированных СДМ необходимо проводить с учетом динамики ТЭП (себестоимости и производительности) в процессе их эксплуатации.

2. Динамику основных ТЭП для экскаваторов ЭО-5126 можно учитывать через приведенные зависимости $K_{\text{п}}$, $K_{\text{смч}}$ и $K_{\text{с}}$ от наработки с начала эксплуатации.

3. Оценку эффективности использования гидрофицированных машин с учетом динамики производительности и себестоимости машиночаса в процессе их эксплуатации можно производить по предложенной методике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максименко А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие / А. Н. Максименко. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
2. Скойбеда А. Т. Детали машин и основы конструирования: учебник / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Майданчик; под общ. ред. А. Т. Скойбеда. — 2-е изд., перераб. — Мн.: Выш. шк., 2006. — 560 с.
3. Максименко А. Н. Стратегия поддержания и восстановления работоспособности строительных и дорожных машин с учетом изменений выходных параметров на этапе эксплуатации их жизненного цикла / А. Н. Максименко // Наука и техника. — 2013. — № 2. — С. 44—49.
4. Максименко А. Н. Диагностика строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин: учеб. пособие / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Г. С. Лягушев. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 302 с.: ил.
5. Харазов А. М. Техническая диагностика гидропривода машин. — М.: "Машиностроение", 1979. — 112 с.
6. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация строительства: учебник / Е. М. Кудрявцев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство АСВ. — 2010. — 464 с.
7. Максименко А. Н. Оценка эффективности использования строительных и дорожных машин: монография / А. Н. Максименко. — Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2012. — 213 с.
8. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В. А. Зорин. — М.: Магистр-Пресс, 2005. — 536 с.
9. Максименко А. Н. Оценка эффективности этапов жизненного цикла строительных и дорожных машин с учетом изменений технико-экономических показателей в процессе их эксплуатации / А. Н. Максименко, Г. С. Тимофеев, А. И. Лопатин, В. В. Кутузов, Е. В. Кутузова, Е. А. Косенко // Грузовик. — 2013. — № 4. — С. 21—29.