

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

*Канд. техн. наук, проф. МАКСИМЕНКО А. Н.,
магистр техн. наук ЗАРОВЧАТСКАЯ Е. В., инж. МАСЛОВСКАЯ С. В.*

Белорусско-Российский университет

E-mail: maksimenko.bru@yandex.ru

Эффективность использования изделий машиностроения определяется уровнем их работоспособности. Затраты, связанные с обеспечением работоспособности, за период эксплуатации превосходят в 6–10 раз начальную стоимость изделий. Причем в процессе их использования эти затраты увеличиваются при снижении выходных параметров, обеспечивающих эффективность применения изделия по назначению. Важно учитывать эти изменения на этапах изготовления изделий машиностроения. Достижение максимального эффекта на этапе эксплуатации жизненного цикла изделия возможно только в результате комплексных и взаимоувязанных мероприятий при проектировании, производстве и использовании по назначению конкретного объекта с учетом динамики его выходных параметров. Анализ динамики выходных параметров при его эксплуатации позволит определить предельные значения производительности, эксплуатационных затрат и наработки для получения максимальной прибыли на единицу наработки.

В статье на примере гидрофицированных экскаваторов пятой размерной группы приведена динамика основных выходных параметров на этапе эксплуатации их жизненного цикла; выявлен основной фактор, влияющий на интенсивность снижения производительности гидрофицированной машины; обоснована целесообразность учета динамики выходных параметров при оценке эффективности ее использования; предложена методика определения наработки окупаемости затрат на приобретение машины и оптимальной наработки этапа эксплуатации, ее жизненного цикла, соответствующей получению максимальной прибыли.

В настоящее время при определении целесообразности создания машин закладываются постоянные значения основных выходных параметров (производительности, себестоимости машино-часа), со-

ответствующих началу эксплуатации. Фактически они значительно изменяются в процессе наработки машины, что важно учитывать при ее создании и использовании по функциональному назначению, включая обеспечение ее работоспособности. Предложена методика реализации стратегии поддержания и восстановления работоспособности строительных и дорожных машин. Методика ее реализации предлагается в статье на основе затрат на изготовление машины и динамики основных выходных параметров на этапе эксплуатации ее жизненного цикла.

Ключевые слова: гидрофицированные строительные и дорожные машины, жизненный цикл, выходные параметры.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 11 назв.

DETERMINATION OF MAIN OUTPUT PARAMETERS FOR HYDROFICATED CONSTRUCTION AND ROAD-BUILDING MACHINES AT OPERATIONAL STAGE OF THEIR LIFE CYCLE

MAXIMENKO A. N., ZAROVCHATSKAYA E. V., MASLOVSKAYA S. V.

Belarusian-Russian University

Usage efficiency of mechanical engineering products is determined by level of their operating capability. Expenses connected with provision of operating capability for the whole operational period exceed initial cost of the products by 6-10-fold. Moreover, while being used the expenses have a tendency to increase with reduction of output parameters that ensure product application efficiency for its intended purpose. It is necessary to take into account these changes at manufacturing stages of mechanical engineering products. Maximum efficiency can be obtained at the operational stage of the product life cycle only as a result of complex and inter-related measures during designing, manufacturing and usage of the specific product for its intended purpose with due account of its output parameter dynamics. While using the product an analysis of its output parameter dynamics will make it possible to determine maximum value of the operating capability, operational expenses and best practices for obtaining maximum profit per operating time unit.

Taking hydroficated excavators of the 5th grade as an example the paper presents dynamics of main output parameters at the operational stage of their life cycle; reveals the main factor influencing on intensity of hydroficated machine operating capability reduction; substantiates an expediency of taking into account output parameter dynamics while evaluating efficiency of its usage; proposes a methodology for determination of or a pay-off time period for recoument of expenses pertaining to machine procurement and optimum time period for operational stage, its life cycle that corresponds to obtaining maximum profit.

Nowadays constant values of main output parameters (operating capability, self cost of machine-hour) corresponding to the beginning of operation are to be taken into account while determining expediency of machine creation. Practically they significantly change in the process of machine operation this fact must be taken account while creating a machine and using it for its intended operational purpose and ensuring its operating capability. The proposed methodology for maintaining and restoration of operating capability of construction and road-building machines was published previously [3]. The paper proposes a methodology for its implementation on the basis of expenses for machine manufacturing and dynamics of main output parameters at the operational stage of its life cycle.

Keywords: hydroficated construction and road-building machines, life cycle, output parameters.

Fig. 1. Tab. 2. Ref.: 11 titles.

Введение. Достижение максимального эффекта на этапе эксплуатации жизненного цикла строительных и дорожных машин (СДМ) возможно только в результате комплексных и взаимоувязанных мероприятий при проектировании, производстве и использовании по назначению конкретной машины с учетом динамики ее выходных параметров. Для учета влияния конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов можно подобрать параметры по оценке работоспособности конкрет-

ной 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 машино-часа, оптимальную наработку окупаемости стоимости ее изготовления, максимальные

эксплуатационные затраты и максимальную прибыль за этап эксплуатации ее жизненного цикла. На этапе создания машин к ней предъявляются требования: высокая производительность и экономичность, надежность, простота управления и обслуживания, ремонтпригодность, удобство транспортирования, высокие эстетические качества [2]. К сожалению, основные выходные параметры (производительность и себестоимость машино-часа) применяются постоянными при оценке эффективности их использования, хотя они значительно изменяются в процессе наработки машины. Это важно учитывать при планировании и организации использования СДМ, включая обеспечение их работоспособности.

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

Динамика основных выходных параметров гидрофицированных экскаваторов пятой размерной группы на этапе эксплуатации их жизненного цикла. Планирование и организация строительных работ, формирование комплектов и комплексов СДМ проводятся 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 происходит и за счет изнашивания деталей сопряжений сборочных единиц, что в гидроприводе сказывается на внутренних перетечках рабочей жидкости. В конструкциях современных СДМ применяется преимущественно объемный гидропривод. Основным недостатком гидросистем 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 существенное влияние на производительность СДМ. Изнашивание сопряжений сборочных единиц гидропривода сказывается на продолжительности 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].

В качестве исследуемых машин выбраны гидравлические экскаваторы пятой размерной группы (ЭО-5126, JSB-240). Рабочий цикл этих экскаваторов можно разделить на составляющие: копание, подъем рабочего оборудования на выгрузку, поворот на выгрузку, выгрузка грунта, поворот в забой, изменение положения рабочего оборудования при повороте в забой.

Существует методика определения времени цикла работы экскаватора [5], в которой рассматривается работа экскаватора с обратной лопатой с ковшем вместимостью 1,6 м³ при разработке грунтов третьей категории. Этот расчет позволяет определить время цикла новой машины, но он не учитывает изменений, происходящих с машиной и непосредственно с гидроприводом с учетом наработки с начала эксплуатации.

Основной показатель изменений в работе гидропривода – объемный КПД, который определяет динамику снижения производительности. Объемный КПД гидропривода, равно как и объемный КПД отдельных основных сборочных единиц, является выходным параметром гидропривода и характеризует собой три важнейших показателя гидросистемы: техническое состояние сборочной единицы, показатель экономической целесообразности дальнейшей экс-

плуатации гидропривода или отдельной сборочной единицы [6] и продолжительность выполнения отдельных составляющих цикла экскаватора. Исследования по изменению продолжительности отдельной операции цикла при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя экскаватора ЭО-5126 подтвердили качественные зависимости изменений КПД элементов гидропривода от наработки машины с начала эксплуатации, установленные А. М. Харазовым [6].

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 0,90 до 0,47 (табл. 1).

Таблица 1

Пределы изменения выходных параметров гидропривода и машины

Показатель	Новая машина	Предельное значение контролируемого параметра
Коэффициент подачи насоса	0,97	0,77
Объемный КПД гидрораспределителя	0,98	0,88
Объемный КПД гидроцилиндра	1,00	0,94
Объемный КПД гидромотора	0,95	0,76
Объемный КПД гидропривода экскаватора	0,90	0,47
Время цикла, с	22,00	42,00
Техническая производительность, м ³ /ч	180,00	101,00

При предельном значении объемного КПД гидропривода техническая производительность снижается на 44 %. Для экскаватора ЭО-5126 были обработаны карточки учета их работы. Полученные результаты указывают на снижение коэффициента внутрисменного режима работы $K_{п}$ от наработки с начала эксплуатации (табл. 2), что приводит к снижению 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 ($C_{мч}$) при увеличении наработки с начала эксплуатации. Ее изменение можно учесть коэффициентом $K_{смч}$ (табл. 2), который равен отношению себестоимости машино-часа при i -й наработке к $C_{мч}$ при наработке до 1000 моточасов.

Таблица 2

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

Наработка, моточасы	$K_{п}$	$K_{с}^*$	$K_{смч}$
до 1000	0,78	0,95	1,00
1000–2000	0,79	0,90	0,95
2000–3000	0,73	0,85	1,00
3000–4000	0,69	0,80	1,08
4000–5000	0,66	0,75	1,20
5000–6000	0,63	0,70	1,29
6000–7000	0,63	0,65	1,40
7000–8000	0,61	0,60	1,52
8000–9000	0,60	0,55	1,67
9000–10000	0,59	0,50	1,78

$K_{с}^*$ – коэффициент, учитывающий старение машины с учетом наработки.

Следует отметить, что с уменьшением объемного КПД гидропривода увеличивается время цикла вдвое с начала эксплуатации при достижении 10000 моточасов, а эксплуатационная производительность машины с учетом изменений $K_{п}$ 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. В случае достижения критических значений параметров нужно 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 техни-

ческой производительности можно выразить через коэффициент K_c

$$K_c = 1 - (\eta_n - \eta_i) = 1 - \eta_n + \eta_i, \quad (1)$$

где η_n – объемный КПД гидропривода новой машины; η_i – объемный КПД гидропривода при i -й наработке.

Интенсивность изменения коэффициента K_c 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 на всех этапах эксплуатации их жизненного цикла. Многие зарубежные компании предусматривают тонкость очистки менее 5,0 мкм (фирма JSB обеспечивает тонкость очистки 1,5 мкм), что обеспечивает снижение интенсивности изнашивания на порядок и стабилизацию продолжительности отдельных операций гидрофицированных машин на этапе эксплуатации их жизненного цикла (рис. 1).

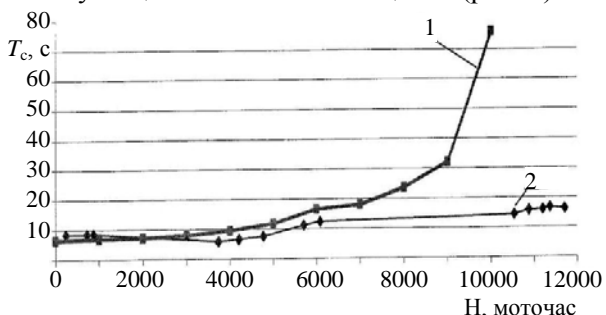


Рис. 1. Зависимость времени подъема стрелы на максимальную высоту от наработки для экскаватора: 1 – ЭО-5126; 2 – JSB-240

Одним из основных факторов, влияющих на техническую производительность экскаватора, является продолжительность отдельных операций и цикла в целом. Анализ динамики времени подъема ковша для экскаваторов пятой размерной группы ЭО-5126 (тонкость очистки 25,0 мкм) и JSB-240 (тонкость очистки 1,5 мкм) показал, что для новых машин данная величина соизмерима, а с увеличением наработки это время для ЭО-5126 повышается в разы (рис. 1).

Фиксированные значения времени подъема стрелы на максимальную высоту определяются при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

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 на этапе эксплуатации их жизненного цикла. Современный подход оценки эффективности эксплуатации СДМ предусматривает применение следующих ТЭП: производительности Π_3 ; себестоимости машино-часа $C_{мч}$; годового количества рабочего времени $T_ч$; наработки H ; себестоимости механизированных работ $C_{мр}$; удельных приведенных затрат Z и прибыли Π [7–11].

С учетом возможности определения простоев в ТО и ремонтах прибыль от использования машины можно определить по формуле

$$\Pi = (C_T - C_e^{пп}) \Pi_T K_c K_B T_ч, \quad (2)$$

где C_T – стоимость единицы выполненной работы, руб.; $C_e^{пп}$ – приведенная себестоимость механизированных работ, руб./м³, руб./т; Π_T – техническая производительность машины, м³/машино-час, т/машино-час, м²/машино-час; K_B – коэффициент внутрисменного режима работы; $T_ч$ – расчетное количество часов рабочего времени машины на планируемый год.

При возможности учета наработки машины по приборам прибыль от использования машины более точно можно рассчитать по формуле

$$\begin{aligned} \Pi &= (C_T - C_e^{пп}) \Pi_T K_c K_B K_n^x \frac{H}{K_n} = \\ &= (C_T - C_e^{пп}) \Pi_T K_c K_n^x H, \end{aligned} \quad (3)$$

где H – наработка машины, определяемая по счетчику моточасов, моточас; K_n – коэффициент перехода от количества часов рабочего времени машины к наработке по показаниям счетчика в моточасах или спидометра в километрах пробега; K_n^x – коэффициент, учитывающий работу двигателя на холостых оборотах.

В процессе организации выполнения строительных работ возникает необходимость в

определении наработки окупаемости приобретаемой техники, проведения ее капитального ремонта и списания. Для решения этой задачи прибыль Π_a от эксплуатации конкретной машины можно определить по формуле

$$\Pi_a = (C_T - C_{ea}^{np}) \Pi_T K_c K_n^x H - C_{и}, \quad (4)$$

где C_{ea}^{np} – приведенная себестоимость механизированных работ, определяемая при исключении из себестоимости машино-часа затрат на амортизацию машины; $C_{и}$ – стоимость машины, руб.

Изменения Π_a в процессе эксплуатации машины представлены в [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.

$$\Pi_a = (C_T - C_{ea}^{np}) \Pi_T K_c K_n^x H - C_{и} = 0,$$

а наработка окупаемости стоимости новой машины $H_{ок}$ определится по выражению

$$H_{ок} = \frac{C_{и}}{(C_T - C_{ea}^{np}) \Pi_T K_c K_n^x}. \quad (5)$$

Подставив значение $C_{и}$ из (5) в (4), получаем зависимость, которую можем использовать для определения прибыли после наработки окупаемости

$$\Pi_a = (C_T - C_{ea}^{np}) \Pi_T K_c K_n^x (H - H_{ок}). \quad (6)$$

Максимально возможную прибыль машины за срок службы можно получить при наработке после проведения ее капитального ремонта, соответствующей равенству нулю производной от зависимости (6) и аналогичных зависимостей после i -го капремонта. В общем виде получаемую максимальную прибыль от использования машины при постоянном качестве производимой продукции после определения наработки окупаемости можно выразить формулой

$$\Pi_{max} = (C_T - C_e^{np}) \Pi_T K_c K_n^x (H - H_{ок}) + \sum_{i=1}^k (C_T - C_{екри}^{np}) \Pi_{Тi} K_{сri} K_{при}^x (H_{кри} - H_{окри}), \quad (7)$$

где $H_{окри}$ – наработка окупаемости после i -го капремонта, моточас; k – количество капремонтов; $K_{сри}$, $K_{при}^x$ – коэффициенты K_c и K_n

после капитального ремонта; $H_{кри}$ – наработка после капремонта.

Нарработка окупаемости стоимости капремонта машины определяется по формуле

$$H_{ок} = \frac{C_{кри}}{(C_T - C_{екри}^{np}) \Pi_{Тi} K_{сri} K_{при}^x}, \quad (8)$$

где $C_{кри}$ – стоимость i -го капремонта.

По данным В. А. Зорина [9], стоимость капремонта составляет 40–60 % стоимости новой машины. Причем минимальное значение соответствует первому капремонту, а максимальное – третьему. Анализ изменений производительности, эксплуатационных затрат на поддержание и восстановление работоспособности, а также получаемой прибыли показал целесообразность проведения не более трех капремонтов с максимальной суммарной наработкой.

Суммарная наработка, соответствующая максимальной прибыли, рассчитывается по формуле

$$H_{сум} = H + \sum_{i=1}^k H_{кри}. \quad (9)$$

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 (СЕ) 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 более 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 [7].

ВЫВОДЫ

1. При оценке эффективности использования машины важно учитывать динамику выходных параметров на этапе эксплуатации ее жизненного цикла.
2. Предложенная методика позволяет определять наработку окупаемости и наработку этапа эксплуатации жизненного цикла машины с учетом получения максимальной прибыли.

ЛИТЕРАТУРА

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: 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.
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.
5. **Экскаватор гидравлический ЭО-5126** / В. П. Болтыхов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 256 с.
6. **Харазов, А. М.** Техническая диагностика гидропривода машин / А. М. Харазов. – М.: Машиностроение, 1979. – 112 с.
7. **Максименко, А. Н.** Оценка эффективности использования строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2012. – 213 с.
8. **Вавилов, А. В.** Экономическое проектирование технологических машин строительного комплекса / А. В. Вавилов, Д. В. Мааров, А. Я. Котлобай; под общ. ред. А. В. Вавилова. – Минск: Стринко, 2003. – 102 с.

9. **Зорин, В. А.** Основы работоспособности технических систем: учеб. для вузов / В. А. Зорин. – М.: Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.

10. **Кудрявцев, Е. М.** Комплексная механизация строительства: учеб. пособие / Е. М. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Ассоц. строит. вузов, 2005. – 424 с.

11. **Проников, А. С.** Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. – 560 с.

REFERENCES

1. **Maximenko, A. N.** (2006) *Operation of Construction and Road-Building Machines*. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg. 400 p. (in Russian).
2. **Skoybeda, A. T.,** Kuzmin, A. V., & Maydanchik, N. N. (2006) *Machine Parts and Designing Fundamentals*. 2nd ed. Minsk, Vysshaya Shkola. 560 p. (in Russian).
3. **Maximenko, A. N.** (2013) Strategy for Maintaining and Restoration of Operating Capability of Construction and Road-Building Machines with Due Account of Changes in Output Parameters at the Operational Stage of Their Life Cycle. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 2, 44–49 (in Russian).
4. **Maximenko, A. N.,** Antipenko, G. L., & Liagushev, G. S. (2008) *Diagnostics of Construction, Road-Building, Lifting and Transporting Machinery*. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg. 302 p. (in Russian).
5. **Boltykhov, V. P.,** Filatov, A. I., Freidlis, A. P., & Kachkin, Iu. M. (1991) *ЭО-5126 Hydraulic Excavator*. Moscow, Mashinostroyeniye. 256 p. (in Russian).
6. **Kharazov, A. M.** (1979) *Technical Diagnostics of Machine Hydro-Drive*. Moscow, Mashinostroyeniye. 112 p. (in Russian).
7. **Maximenko, A. N.** (2012) *Efficiency Evaluation of Construction and Road-Building Machine Usage*. Mogilev: Belarusian-Russian University. 213 p. (in Russian).
8. **Vavilov, A. V.,** Maarov, D. V., & Kotlobay, A. Ya. (2003) *Economic Designing of Technological Machines of Construction Complex*. Minsk, Strinko. 102 p. (in Russian).
9. **Zorin, V. A.** (2005) *Operating Capability Principles for Technical Systems*. Moscow, Magistr-Press. 536 p. (in Russian).
10. **Kudriavtsev, E. M.** (2005) *Complex Mechanization of Construction*. 2nd ed. Moscow, Association of Construction HEIs. 424 p. (in Russian).
11. **Pronikov, A. S.** (2002) *Parametric Reliability of Machines*. Moscow: MGTU Imeni Bauman [Bauman MSTU]. 560 p. (in Russian).

Поступила 14.07.2014