

УДК 625.08

А. Н. Максименко, канд. техн. наук, доц., Д. Ю. Макацария, Е. В. Зезюлина,
А. А. Максименко

ИЗМЕНЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН ОТ ИХ НАРАБОТКИ С НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассматриваются вопросы изменения выходных параметров строительных и дорожных машин в зависимости от их наработки с начала эксплуатации. Даются рекомендации о целесообразности использования машин с учетом динамики изменения этих параметров. Рассмотрены методика и алгоритм определения целесообразности использования конкретной машины при изменении производительности, коэффициента технического использования, стоимости новой машины и затрат на восстановление ее работоспособности в процессе наработки с начала эксплуатации.

Эффективность строительного производства в значительной степени зависит от выходных параметров используемых технических средств. При организации производства работ важно обеспечить не только работоспособность техники, но и снизить затраты на техническую эксплуатацию, которые, как правило, на порядок выше затрат на ее изготовление. Кроме того, затраты на техническое обслуживание (ТО) и ремонт в строительном производстве составляют до 30 % стоимости машиночаса, которая изменяется в процессе старения техники до 50 % при снижении часовой производительности до 40 %. Эти изменения необходимо учитывать при организации производства работ, что позволит определить граничные условия целесообразности использования техники в зависимости от процесса ее старения.

Проведенные исследования по применению строительных и дорожных машин (СДМ) показали, что с увеличением наработки с начала эксплуатации их коэффициент технического использования $K_{ТИ}$ изменялся от 0,95 до 0,65. Это изменение комплексного показателя надежности приводит к снижению объема полезно выполняемой работы и значительному увеличению затрат на поддержание и восстановление работоспособности техники.

Кроме снижения использования техники по времени с увеличением наработки с начала эксплуатации изменяются ее выходные параметры (технологические, технико-экономические и эргономиче-

ские), которые уменьшают часовую выработку и увеличивают эксплуатационные затраты. Причем интенсивность их изменений в процессе наработки с начала эксплуатации зависит от показателей качества, заложенных при проектировании и производстве СДМ. С увеличением качества производимой техники увеличивается ее фактическая часовая производительность, что приводит к снижению удельных эксплуатационных затрат на поддержание и восстановление ее работоспособности. Так, сравнение экскаваторов одной размерной группы, эксплуатируемых в одних условиях с разными показателями качества, показало отличие фактической производительности более чем на 40 % (табл. 1).

Анализ эффективности использования техники с учетом изменения выходных параметров в процессе наработки с начала эксплуатации позволяет проследить динамику изменения технико-экономических показателей и оценить целесообразность ее использования.

Для решения этой задачи важно учитывать по каждой единице техники выработку, время работы и время всех простоев, затраты на эксплуатационные материалы и запчасти, трудоемкость на поддержание и восстановление ее работоспособности. Такой учет и оперативный анализ использования техники позволят повысить эффективность использования

с определением граничных условий целесообразности ее применения.

В процессе эксплуатации СДМ эксплуатационные затраты возрастают с уве-

личением наработки с начала эксплуатации. Рассмотрим на примере скрепера ДЗ-11 динамику их изменения (рис. 1).

Табл. 1. Показатели оценки сравниваемых экскаваторов

Марка	Мощность, кВт	Масса, т	Рабочее давление в гидросистеме, МПа	Уровень шума в кабине, дБ	Количество параметров бортовой системы диагностирования	Часовой расход топлива, кг	Эксплуатационная производительность, м ³ /ч
ЭО-5126	125	32	20	80	12	19	68
JS 220	102	23,7	26	74	36	14	115

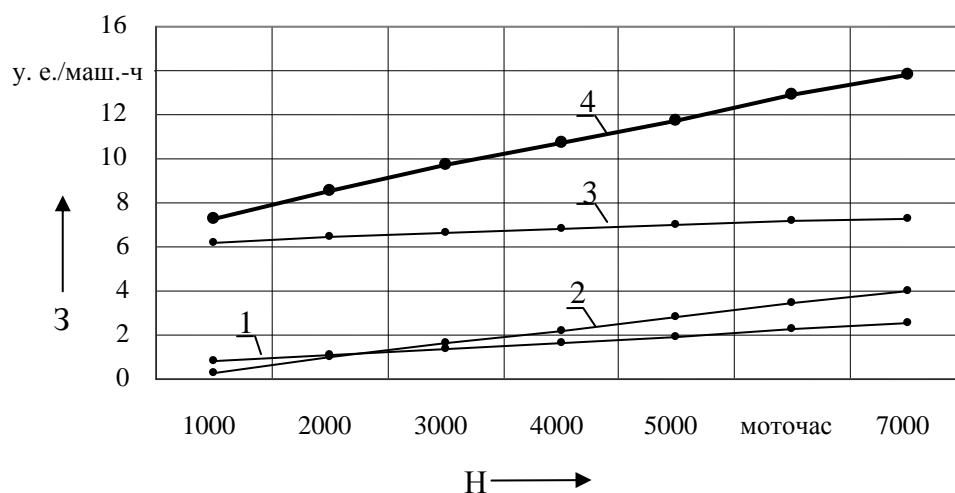


Рис. 1. Влияние наработки скрепера ДЗ-11 на эксплуатационные затраты: 1 – затраты на ТО и ремонт; 2 – затраты на запчасти; 3 – затраты на энергоносители, смазочные материалы и гидравлическую жидкость; 4 – суммарное значение эксплуатационных затрат

В процессе роста наработки с наибольшей интенсивностью увеличиваются затраты на запасные части. Для техники с небольшой наработкой эти затраты являются наименьшим слагаемым эксплуатационных затрат, но к наработке, равной 5000 моточасов, они увеличиваются на порядок. Это связано с тем, что на начальном этапе эксплуатации обходятся заменой только сборочных единиц и эксплуатационных материалов, замена и использование которых производится при ТО. При дальнейшей эксплуатации возникают отказы основных узлов и агрегатов, связанных с

процессом их старения и требующих замены для дальнейшей эксплуатации техники.

В настоящее время эти изменения эксплуатационных затрат при планировании производственной эксплуатации техники не учитываются, а количественное значение затрат определяется по усредненным показателям. Однако такой подход дает хорошую сходимость результатов при планировании эксплуатации парка машин в целом только при равномерном его обновлении.

Наряду с эксплуатационными за-

тратами важным выходным параметром является производительность техники, ко-

торая в процессе производственной эксплуатации машин изменяется (рис. 2).

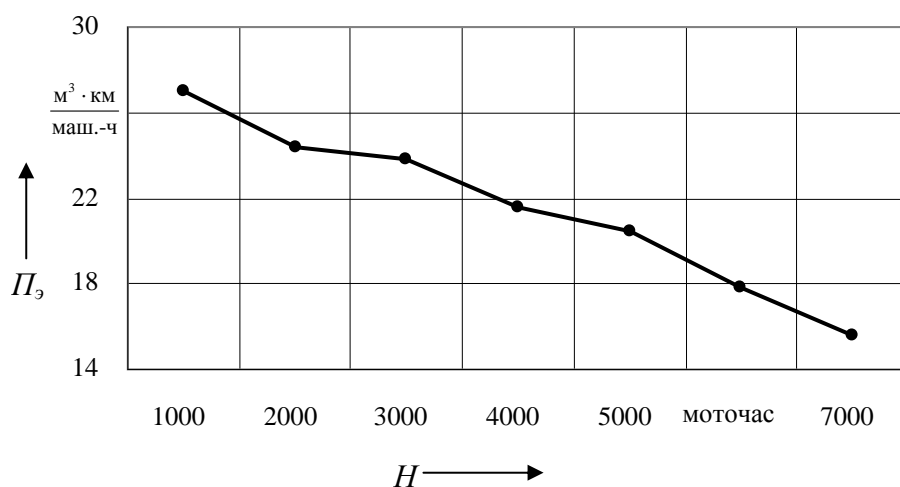


Рис. 2. Изменение часовой эксплуатационной производительности скрепера ДЗ-11 в зависимости от наработки с начала эксплуатации

Процесс снижения часовой производительности для СДМ в зависимости от наработки для целей планирования можно выразить через $K_{ТП}$. В этом случае часовую эксплуатационную производительность определяем по формуле

$$P_{э} = P_{Т} \cdot K_{ТП}, \quad (1)$$

где $P_{Т}$ – часовая техническая производительность машины.

В процессе производственной эксплуатации СДМ определение выходных параметров в зависимости от наработки позволяет повысить эффективность планирования и использования техники в строительном производстве.

Основная задача эксплуатирующих организаций состоит в максимальном использовании потенциальных возможностей конструкции машины при выполнении полезной работы с минимальными затратами на сохранение и восстановление ее работоспособности.

Оценку эффективности применения машины в этом случае целесообразно определять минимальными суммарными затратами на ее изготовление и эксплуата-

цию, а также объемом выполняемой полезной работы при использовании ее по назначению.

В общем случае изменение суммарного экономического эффекта \mathcal{E}_t можно представить выражением

$$\mathcal{E}_t = C_t - (C_u + C_{эт}), \quad (2)$$

где C_t – стоимость выполняемой полезной работы машины в соответствии с ее целевым назначением за время t ; C_u – стоимость новой машины, включая затраты на проектирование, изготовление, испытание, отладку и доставку ее к месту работы; $C_{эт}$ – стоимость технической эксплуатации машины с учетом поддержания и восстановления ее работоспособности за время t .

В процессе использования машины по назначению характер изменения C_t и $C_{эт}$ различный, который и определяет целесообразность ее использования. Так, интенсивность роста стоимости выполняемой полезной работы при увеличении наработки с начала эксплуатации снижается, а стоимость поддержа-

ния и восстановления работоспособности наоборот возрастает. Это связано со снижением выходных параметров машины и увеличением затрат на техническое обслуживание, диагностику и ремонт ее с увеличением времени t .

Зависимость C_t и $C_{\text{эт}}$ от наработки с начала эксплуатации можно выразить через комплексный показатель надежности – коэффициент технического использования:

$$C_t = P_3 \cdot C_T \cdot t \cdot K_{\text{ТИ}}; \quad (3)$$

$$C_{\text{эт}} = C_{\text{маш.-ч}}^{\text{np}} \cdot t \cdot K_{\text{ТИ}}, \quad (4)$$

где P_3 – часовая эксплуатационная производительность (количество единиц продукции за 1 ч использования машины по назначению); C_T – стоимость единицы продукции; $C_{\text{маш.-ч}}^{\text{np}}$ – приведенные эксплуатационные затраты 1 маш.-ч машины; t – время нахождения машины в работе и время простоев в ТО и ремонтах, кроме капитального.

С учетом зависимостей (3) и (4) формулу (2) можно представить функциональной зависимостью

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_t &= C_t - (C_u + C_{\text{эт}}) = P_3 \cdot C_T \times \\ &\times t \cdot K_{\text{ТИ}} - (C_u + C_{\text{маш.-ч}}^{\text{np}} \cdot t \cdot K_{\text{ТИ}}) = \\ &= t \cdot K_{\text{ТИ}} (P_3 \cdot C_T - C_{\text{маш.-ч}}^{\text{np}}) - C_u = \\ &= t \cdot K_{\text{ТИ}} \cdot P_3 (C_T - C_e^{\text{np}}) - C_u, \end{aligned} \quad (5)$$

где C_e^{np} – приведенная себестоимость единицы продукции.

Для исполнителя производимых работ важно знать четыре периода эксплуатации машины: окупаемости стоимости машины, предела роста \mathcal{E}_t , снижения \mathcal{E}_t и период убыточной ее эксплуатации.

Период окупаемости $t_{\text{ок}}$ определяется из условия

$$\mathcal{E}_t = 0 \text{ и } \Delta C_t - \Delta C_{\text{эт}} > 0,$$

т. е.

$$t_{\text{ок}} = \frac{C_u}{P_3 \cdot K_{\text{ТИ}} (C_T - C_e^{\text{np}})}. \quad (6)$$

Период предела роста \mathcal{E}_t можно определить из условия равенства производной от суммарного экономического эффекта нулю.

Наступает этап эксплуатации машины $t_{\text{онм}}$, когда наблюдается равенство интенсивности роста стоимости полезно выполняемой работы и стоимости по поддержанию и восстановлению ее работоспособности.

Дальнейшее использование машины по назначению при $t > t_{\text{онм}}$ приведет к снижению приращения суммарного экономического эффекта.

Основная задача технической эксплуатации – повышать наработку машины во втором периоде эксплуатации ($t_{\text{онм}} \rightarrow \text{max}$), и при достижении этой наработки необходимо уже производить анализ возможности планирования ее капитального ремонта (КР) или замену на новую с целью повышения выходных параметров при выполнении полезной работы.

Эксплуатация машины без КР после $t_{\text{онм}}$ происходит при $\Delta C_{\text{эт}} > \Delta C_t$, и наступает момент равенства стоимости выполненной полезной работы со стоимостью изготовления и технической эксплуатацией машины, т. е. $C_t = C_u + C_{\text{эт}}$. Здесь заканчивается третий период эксплуатации и начинается четвертый, при котором суммарный экономический эффект имеет отрицательное значение, т. е. при дальнейшей эксплуатации эксплуатирующая организация несет убыток.

Величину суммарного экономического эффекта, а также начало и окончание рассматриваемых интервалов наработки определяем с учетом численного значения и знака ΔC_t , $\Delta C_{\text{эт}}$, $\Delta \mathcal{E}_t$, \mathcal{E}_t и t .

Так, началу и окончанию каждого периода соответствуют значения:

– для первого периода

$$t = 0, \mathcal{E}_t = -C_u \text{ и } \mathcal{E}_t = 0, \Delta \mathcal{E}_t > 0;$$

– для второго периода

$$\mathcal{E}_t = 0, \Delta \mathcal{E}_t > 0 \text{ и } d\mathcal{E}_t/dt = 0;$$

– для третьего периода

$$d\mathcal{E}_t/dt = 0 \text{ и } \mathcal{E}_t = 0, \Delta\mathcal{E}_t < 0;$$

– для четвертого периода

$$\mathcal{E}_t = 0, \Delta\mathcal{E}_t < 0 \text{ и } t = t_{cn}.$$

Интенсивность изменения и величина \mathcal{E}_t зависят от интенсивности изменения C_t и C_{zt} . При $\Delta\mathcal{E}_t = C_t - C_{zt} > 0$ окупаются затраты на приобретение новой машины, и чем выше $\Delta\mathcal{E}_t$, тем короче $t_{ок}$ и организация быстрее будет получать прибыль. Все дополнительные затраты, особенно в третьем периоде, позволяющие увеличить значения $\Delta\mathcal{E}_t$ и t_{omm} , оправданы, что способствует увеличению \mathcal{E}_t . Эксплуатация машины в третьем и четвертом периодах может быть оправдана при комплексной механизации производственных процессов, когда отсутствует возможность ее замены или увеличивается стоимость единицы производящей продукции, т. е. $C_{Ti+1} > C_{Ti}$. Во всех остальных вариантах машина должна проходить ремонт или подлежит списанию при наработке t_{cn} .

Использование информационных технологий при эксплуатации машины с учетом характера изменения C_t и C_{zt} 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.

В процессе использования СДМ важную роль играет уровень организации для поддержания и восстановления их работоспособности. В настоящее время наиболее широкое применение находит система технических обслуживаний и текущих ремонтов машины по наработке. В Республике Беларусь нет ни одного завода по капитальному ремонту СДМ, но есть предприятия по проведению этих ремонтов для агрегатов и сборочных единиц.

При отсутствии специализированных заводов по КР СДМ восстановление их работоспособности целесообразно проводить

по техническому состоянию агрегатов и сборочных единиц в соответствии с рекомендациями в [3].

Этот метод значительно сокращает продолжительность простоев в ремонтах и практически до списания машины КР не проводится. При этом с увеличением наработки с начала эксплуатации объем полезно выполняемой работы снижается, а затраты на поддержание и восстановление работоспособности возрастают. Важно определить предельную наработку целесообразности использования машины, и для реализации современных требований организации технической эксплуатации СДМ необходимо обеспечить производителя работ информацией о возможности приобретения техники с поддержанием и восстановлением ее работоспособности до определенной наработки с последующей заменой ее на новую или оформление аренды на период выполнения определенного объема работ. Решению этих вопросов поможет использование информационных технологий в соответствии с предложенным алгоритмом (рис. 3).

Алгоритм предусматривает создание базы данных по каждой машине. Пополнение ее происходит за каждый i -й интервал времени (отчетный период, смена объекта или технологического процесса, изменение стоимости единицы полезно выполняемой работы и т. д.). Можно придерживаться принятой системы учета использования СДМ по календарному времени (месяц, квартал, полугодие и год).

За рассматриваемый период производится учет информации по объему полезно выполняемой работы, выходных параметров машины, простоев и трудоемкости при поддержании и восстановлении работоспособности, расхода топливосмазочных материалов (ТСМ) и запчастей.

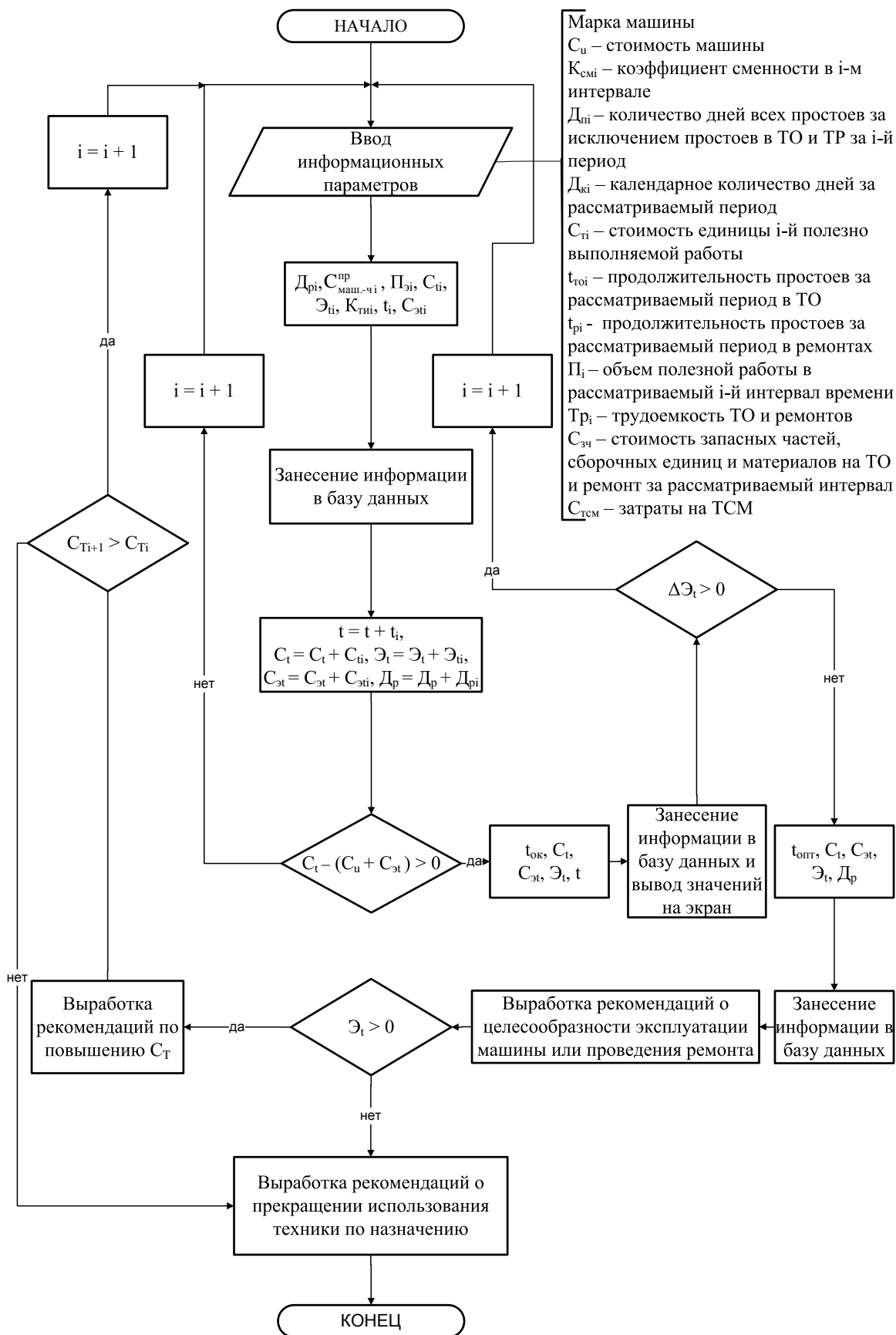


Рис. 3. Алгоритм определения целесообразности эффективного использования машины

Все эти данные в настоящее время фиксируются в карточках по учету эксплуатации СДМ в соответствии с нормативной документацией. Использование информационных технологий позволит упростить сбор и обработку этих данных по предложенному алгоритму. За каждый i -й рассматриваемый период времени определяются: количество дней нахождения машины в работе D_{pi} ; количество рабочего времени t ; часовая эксплуатационная производительность $П_{эi}$; коэффициент технического использования $K_{ТИi}$; приведенные затраты эксплуатации машины в течение машиночаса $C_{маи.-чi}^{np}$; стоимость полезно выполненной работы C_{Ti} ; затраты, связанные с поддержанием и восстановлением работоспособности машины $C_{эti}$; значение суммарного экономического эффекта $Э_{ti}$.

В каждом i -м интервале по исходным данным определяются величины $C_{эti}$, C_{Ti} и $Э_{ti}$, которые за период времени с начала эксплуатации оцениваются суммой значений по всем интервалам:

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_{Ti} = \sum_{i=1}^n П_{эi} \cdot C_{Ti} \cdot t_i; \quad (7)$$

$$C_{эt} = \sum_{i=1}^n C_{эti} = \sum_{i=1}^n C_{маи.-чi}^{np} \cdot K_{ТИi} \cdot t_i; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Э_t = \sum_{i=1}^n Э_{ti} = \sum_{i=1}^n П_{эi} \cdot K_{ТИi} \times \\ \times t_i (C_{Ti} - C_{ei}^{np}) - C_u, \end{aligned} \quad (9)$$

где n – количество рассматриваемых интервалов за наработку t .

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 или проведения КР.

При создании материально-технической базы для проведения капитального ремонта сложной техники целесообразность его проведения определяется выходными параметрами, его стоимостью и затратами на поддержание и восстановление ее работоспособности.

Проведенные исследования показали, что $K_{ТИ}$, $П_{э}$ увеличиваются, а $C_{маи.-ч}^{np}$ и C_e^{np} уменьшаются после КР, но численные значения и интенсивность их изменения значительно уступают начальным значениям новой машины [2–5]. Так, значения стоимости машиночаса для скреперов ДЗ–11 повышались после КР от 33 % (в интервале 0...1000 моточасов) до 45 % (в интервале 4000...5000 моточасов). Разовые затраты на проведение КР по данным зарубежных и отечественных исследований [2, 5] составляют 50–60 % от стоимости новой машины, но интенсивность снижения часовой эксплуатационной производительности и роста эксплуатационных затрат значительно сокращают рациональную наработку после КР по сравнению с новой машиной. Определить ее с использованием информационных технологий можно в соответствии с предложенным алгоритмом (см. рис. 3). Разница интенсивности изменения C_t и $C_{эt}$ с начала эксплуатации машины и после КР позволяет определить предельную наработку до ее списания.

Предлагаемая методика определения целесообразности использования СДМ позволяет оценивать эффективность их применения с учетом изменения выходных параметров в процессе наработки с начала эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максименко, А. Н. Оценка эффективности использования изделий машиностроения / А. Н. Максименко, В. А. Максименко, А. А. Максименко // Вестн. МГТУ. – 2005. – № 2(9). – С. 98–103.

2. **Зорин, В. А.** Основы работоспособности технических систем : учебник для вузов / В. А. Зорин. – М. : Магистр-пресс, 2005. – 536 с.

3. Планирование строительного производства с учетом наработки применяемых машин и использованием информационных технологий / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника – 2007. – № 2 (11). – С. 42–49.

4. **Кудрявцев, Е. М.** Комплексная механизация строительства / Е. М. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во ассоциации строительных вузов, 2005. – 424 с. : ил.

5. **Максименко, А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 400 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Белорусский государственный университет
Материал поступил 04.10.2007

**A. N. Maksimenko, D. Y. Makazarija,
E. V. Zezjulina, A. A. Maksimenko**
**Change of output parameters of building
and road machines from their operating
time for maintenance beginning**
Belarusian-Russian University
Belarusian State University

In this article the problems of changing of output parameter at building and road machines depending upon their operating time from the start of operation are considered. The recommendations about possibilities of machine's usage including dynamics of this parameter changing are given. The procedure and algorithm of definition of usage possibilities of specific machine by its productivity changing, the factors of technical application, the cost of a new machine and expenditure for the restoration of its efficiency in the course of its operation time from the start of its usage are considered.