

УДК 625.002.5

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

СОКОЛОВ И. А., *д. т. н., проф.*

Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

Аннотация. Постановка проблемы. Возведение зданий и сооружений представляет собой сложный технологический процесс, одной из составляющих которого являются производство земляных работ. В структуре стоимости возводимых земляных работ, в зависимости от видов зданий и сооружений, составляют от трех до шестидесяти процентов. В настоящее время земляные работы на 98% механизированы. Машины для производства земляных работ, являются одним из основных видов машин, с помощью которых осуществляется комплексная механизация строительстве. Оснащение строительства высокоэффективными машинами, ускоренная замена устаревшей техники новой, высокопродуктивной – одно из основных направлений повышения эффективности земляных работ в строительстве. Интенсификация земляных работ главным образом обеспечивается на основе совершенствования организационно-технологических мер обеспечивающих эффективное использование парка землеройной техники. Сложившаяся структура парка машин, каждая из которых способны выполнять только одну операцию производственного цикла, приводит к тому, что для выполнения всей совокупности работ по созданию земляного сооружения необходимо формирование комплекта машин способных их реализовать. Альтернативой комплекта машин является использование землеройной техники многоцелевого назначения оснащенной 5-10 видами сменного рабочего оборудования с 20-40 рабочими органами, что обеспечивает выполнение всех видов земляных работ единичной машиной. **Цель статьи.** Разработать механизм технико-экономической оценки эффективности работы комплекта специализированных землеройных машин в сравнении с землеройными машинами многоцелевого назначения позволяющий, при заданных параметрах производства, установить границы их эффективного применения. Определить эффективность работы каждой рассматриваемой единицы землеройной техники, и в дальнейшем, сформировать рациональный комплект машин, способный в установленные сроки выполнить заданный объем работ с минимальными затратами. **Выводы.** Системный подход к вопросу проектирования полного технологического процесса производства земляных работ позволил установить взаимосвязь между технологическими и технико-экономическими показателями характеризующими землеройные машины и объемом выполняемых ими работ. Полученные зависимости объема земляных работ и характеристик землеройной техники представили возможность устанавливать границы эффективности использования машин многоцелевого назначения.

Ключевые слова: землеройные машины, производство земляных работ, комплект машин, многоцелевые строительные машины, приведенные затраты

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

СОКОЛОВ І. А., *д. т. н., проф.*

Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

Анотація. Постановка проблеми. Зведення будівель і споруд являє собою складний технологічний процес, однією із складових якого є виробництво земляних робіт. У структурі вартості зводяться земляних робіт, залежно від видів будівель і споруд, складають від трьох до шістдесят відсотків. В даний час земляні роботи на 98% механізовані. Машины для виробництва земляних робіт, є одним з основних видів машин, за допомогою яких здійснюється комплексна механізація будівництві. Оснащення будівництва високоефективними машинами, прискорена заміна застарілої техніки нової, високопродуктивної - один з основних напрямків підвищення ефективності земляних робіт у будівництві. Інтенсифікація земляних робіт головним чином забезпечується на основі вдосконалення організаційно-технологічних заходів забезпечують ефективно використання парку землерійної техніки. Сформована структура парку машин, кожна з яких здатні виконувати тільки одну операцію виробничого циклу, призводить до того, що для виконання всієї сукупності робіт зі створення земляної споруди необхідно формування комплекту машин здатних їх реалізувати. Альтернативою комплекту машин є використання землерійної техніки багатоцільового призначення оснащеної 5-10 видами змінного робочого обладнання з 20-40 робочими органами, що забезпечує виконання всіх видів земляних робіт одиничною машиною. **Мета статті.** Розробити механізм техніко-економічної оцінки ефективності роботи комплекту спеціалізованих землерійних машин в порівнянні з землерійними машинами багатоцільового призначення дозволяє, при заданих параметрах виробництва, встановити межі їх ефективного застосування. Визначити ефективність роботи кожної розглянутої

одиниці землерийної техніки, і надалі, сформувати раціональний комплект машин, здатний у встановлені терміни виконати заданий обсяг робіт з мінімальними витратами. **Висновки.** Системний підхід до питання проектування повного технологічного процесу виробництва земляних робіт дозволив встановити взаємозв'язок між технологічними і техніко-економічними показателями характеризують землерийні машини і обсягом виконуваних ними робіт. Отримані залежності обсягу земляних робіт і характеристик землерийної техніки представили можливість встановлювати межі ефективності використання машин багатопільового призначення.

Ключові слова: землерийні машини, виконання земляних робіт, комплект машин, багатопільові будівельні машини, наведені витрати

SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF THE MULTI-PURPOSE CONSTRUCTION MACHINERY IN EARTHWORKS

SOKOLOV I. A., *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

Department of technology and building production, State Higher Education Establishment "Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

Abstract. Formulation of the problem. Construction of buildings and structures is a complex process, one of the components of which are the processing of digging. The cost structure constructed earthworks, depending on the types of buildings and structures, ranging from three to sixty percent. Currently, excavation work on 98% mechanized. Machines for the production of excavation, are one of the main vehicles by which the comprehensive mechanization of construction. Equipment construction vehicle with high, fast replacement of obsolete equipment with new, highly productive - one of the main ways of increasing the efficiency of excavation in construction. Intensification excavation mainly ensured by improving the organizational and technological measures to ensure efficient use of earthmoving equipment fleet. The current structure of the fleet, each of which can perform only one operation of the production cycle, resulting in the fact that for the implementation of the entire set of works on creation of earthworks necessary to form a set of machines capable to realize them. An alternative is to use a set of machines earth-moving equipment, multi-purpose equipped with 5-10 kinds of changeable working equipment with 20-40 working bodies, which provides all kinds of earthworks single machine. **The purpose of the article.** Develop a mechanism for technical and economic assessment of the effectiveness of the set of specialized earth-moving machines as compared to earth-moving machines, multi-purpose allows, under specified production parameters, to establish the limits of their effective application. To determine the efficiency of each unit of the considered earth-moving equipment, and further, to form a rational set of machines that can run on time given the amount of work at minimum cost. **Conclusions.** Systematic approach to the design of complete production process of digging it possible to establish the relationship between technology and feasibility pokazatelyami characterizing zemlerony machine and the amount of work they do. The resulting dependence of the volume of excavation and earthmoving equipment performance provided the opportunity to establish the boundaries of efficiency, multi-purpose machines.

Key words: digging, excavate, Kit cars, multi-purpose machine construction, reduced expenditures

Постановка проблеми и ее связь с научными и практическими заданиями. Возведение и реконструкция объектов промышленного и гражданского назначения, строительство инженерных сетей и коммуникаций, автомобильных дорог и др. – вот неполный перечень зданий и сооружений, неотъемлемой частью строительства которых является производство земляных работ. Виды, форма и размеры земляных сооружений определяются их назначением, зависят от рельефа земляной поверхности, а также от физико-механических свойств грунтов. К ним относятся спланированные площадки, котлованы, траншеи, дамбы, каналы, дорожные выемки, насыпи и т.д. Машин для производства земляных работ разделяют на землеройные, землеройно-транспортные, машины для подготовительных и вспомогательных работ, уплотнения и разрыхления грунтов. Основными представителями видов этих

машин являются одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, корчеватели, рыхлители, катки, трамбовки, виброуплотнители [3, 5].

Каждый из видов машин имеет ряд разновидностей, которые применяются в зависимости от конструкции земляных сооружений и имеют свои технические характеристики. Они отличаются ходовым оборудованием и устройством рабочих органов. В подавляющем большинстве землеройные машины способны выполнять только одну специфичную операцию и только отдельные из них – две. Сложившаяся структура парка землеройных машин способных выполнять только одну операцию производственного цикла, приводит к тому, что для выполнения всей совокупности работ по созданию земляного сооружения необходимо формирование комплекта машин способных их реализовать. Использование для производства работ ком-

плекта машин приводит к значительному увеличению единовременных затрат по их доставке на площадку и текущее обслуживание. Кроме этого применение комплекта машин в стесненных условиях городской застройки, а также при реконструкции зданий и сооружений, приводит к резкому снижению производительности каждой единицы техники в комплекте и значительно увеличивает продолжительность производственного цикла в связи с невозможностью совмещения производимых операций. Перечисленные проблемы определили тенденцию расширения области применения землеройной техники, способной за счет применения различных видов сменного рабочего оборудования выполнять несколько видов работ [2, 4, 6,]. Некоторый опыт создания многоцелевого оборудования накоплен в нашей стране, однако основными лидерами в создании и практическом использовании этого вида строительной техники являются зарубежные фирмы Poclain (Франция), Caterpillar, Esco (США), Fiat (Италия), Demag, Krupp и Leibherr (ФРГ). Эти машины оснащены 5-10 видами сменного рабочего оборудования с 20-40 сменными рабочими органами, что на практике обеспечивает выполнение всех видов земляных работ и технологических операций единичной строительной машины многоцелевого назначения. Рыночная стоимость этих машин многократно превышает стоимость строительной техники, способной выполнять 1-2 операции, что предопределяет установление границ их эффективного использования.

Цель статьи. Предложить методическую схему установления границ эффективного использования многоцелевых строительных машин при производстве земляных работ.

Изложение основного материала. Система показателей, взаимосвязанная с целевым назначением машин и характером выполняемых технологических процессов, определяется на основе анализа интегрального технико-экономического показателя, соизмеряющего производственные затраты с полученным экономическим эффектом от применения соответствующей техники [1, 3]. В качестве такого интегрального показателя приняты приведенные затраты:

$$S = C + E_n \cdot K, \text{ грн./год} \quad (1)$$

где: C – себестоимость произведенной продукции за год, грн./год;

E_n – нормативный коэффициент эффективности (для строительных машин $E_n=0,15$);

K – рыночная стоимость единицы строительной техники, грн.

Величина приведенных затрат на выполнение заданного объема работ определяется продолжительностью производственного цикла и зависит от эксплуатационной производительности строительной машины и количества смен работы в сутки:

$$t = \frac{V}{\Pi \cdot c}, \text{ час} \quad (2)$$

где V – объем выполняемых работ, м^3 ;

Π – эксплуатационная производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$;

c – количество смен в сутки.

Землеройные машины с многоцелевыми рабочими органами выполняют комплекс технологических операций разного назначения необходимых и достаточных для получения требуемой продукции. Таким образом, они работают в условиях изменяющейся производительности на каждом из видов работ. Для этих машин продолжительность технологического цикла рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{цм}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\Pi_i C_i}, \text{ час} \quad (3)$$

где: V_i – объем работ выполняемый i -м рабочим органом, м^3 ;

Π_i – производительность i -го рабочего органа на каждом виде работ и при каждом условии эксплуатации (типы грунтов, строительных материалов, влажность грунта и т.п.), $\text{м}^3/\text{час}$;

n – количество видов работ, выполняемых сменными рабочими органами;

C_i – количество смен на каждом виде работ.

Продолжительность работы машины на рабочей площадке составит:

$$T = t_{\text{цм}} + t_0 + t_n \quad (4)$$

где: t_0 – продолжительность технического обслуживания машины, час;

t_n – продолжительность перенастроек при смене рабочих органов, час.

Таким образом, приведенные затраты на выполнение общего объема земляных работ многоцелевой машиной составят:

$$S_m = \sum_{i=1}^n C_{mi} + \frac{0,15}{F_m} \left(\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\Pi_i C_i} + \sum_{i=1}^n t_{ni} + t_o \right) \times \\ \times K_m + D_m + 3_{mo} + \sum_{i=1}^n 3_{mi} t_{ni} \quad (5)$$

где: C_{mi} – себестоимость i -го вида земляных работ, грн;

t_{ni} – продолжительность переоснастки при смене i -го рабочего органа, час;

t_o – продолжительность регламентного технического обслуживания, час;

F_m – годовой фонд времени работы машины, час;

n – количество видов работ, которые равно количеству замен рабочих органов;

D_m – затраты по доставке машины на площадку, грн;

3_{mo} – затраты на регламентное техническое обслуживание, грн;

3_{mi} – затраты на переоснастку i -го рабочего органа.

Альтернативным вариантом выполнения земляных работ в равноценных и сопоставимых условиях является его производство комплектом узкопрофильных землеройных машин, способных осуществлять один из видов работ.

Приведенные затраты на выполнение заданного объема работ составят:

$$S_k = \sum_{j=1}^n C_j + \sum_{j=1}^n D_j + 0,15 \sum_{j=1}^n \left(\frac{K_j \cdot V_j}{\Pi_j \cdot F_j \cdot C_j} + t_{oj} \right) \text{ грн.} \quad (6)$$

где: C_j – себестоимость земляных работ выполняемых j -ой машиной, грн;

n – количество видов работ;

K_j – рыночная стоимость j -ой единицы строительной техники, грн;

V_j – объем земляных работ выполняемых j -ой машины;

Π_j – производительность j -ой машины; $\text{м}^3/\text{час}$;

F_j – годовой фонд времени работы j -ой машины; час;

D_j – затраты по доставке j -ой машины на строительную площадку, грн;

t_{oj} – продолжительность регламентных работ по техническому обслуживанию j -ой единицы техники.

С целью проведения сравнительной оценки эффективности использования машин при производстве земляных работ устанавливаются значения удельных приведенных затрат,

т.е. затрат, отнесенных на 1 м^3 объема выполненных работ.

Удельные приведенные затраты при выполнении заданного объема работ составят:

– для многоцелевых машин:

$$S_{my} = \frac{S_m}{\sum_{i=1}^n V_i} \text{ грн./м}^3 \quad (7)$$

– для комплекта машин:

$$S_{ky} = \frac{S_k}{\sum_{i=1}^n V_i} \text{ грн./м}^3 \quad (8)$$

Основой для разработки методики сравнительные оценки эффективности применения землеройных машин различного назначения послужило графическое представление полного процесса производства работ в виде морфологической модели вариантов их реализации. Характер полученных разбиений полного процесса на элементарные, их топология, позволили описать полный процесс в виде каскада экспотенциального типа, который в свою очередь представляет собой не что иное, как граф построения рационального варианта полного технологического процесса. Оценка экономической эффективности процесса производится путем сопоставления по рассматриваемым вариантам показателей, положенных в основу выбора рационального варианта.

Исходной информацией для решения данной задачи являются показатели, характеризующие объемно-планировочные и конструктивные особенности возводимого земляного сооружения, геологические условия строительной площадки, а также существующий или наличный парк землеройных машин. Дополнительно необходима постановка условий, определяющих продолжительность ведения работ (директивные или расчетные), что в свою очередь обуславливает количество рабочих смен в сутки и определяет необходимость разбиения выполняемых объемов работ на захватки.

Для обоснования эффективности использования комплектов узкоспециализированных землеройных машин и сравнительной оценки с эффективностью применения многоцелевых машин в качестве основного показателя, обуславливающего тот или иной способ (метод) производства, принят объем работ, выполняемых каждой единицей техники.

На первом этапе для решения поставленной цели решалась задача формирования наиболее эффективного комплекта узкоспециализированных машин, способных выполнить заданный объем работ в установленные сроки и обеспечивающий минимальные затраты производства. На втором этапе выполнялась сравнительная оценка и выбор эффективной многоцелевой машины из числа находящихся в наличии.

Приведенные затраты на единицу продукции для каждого из рассматриваемых вариантов, определенные для многоцелевых машин по формуле 5, а для комплекта машин по формуле 6, могут быть представлены выражением:

$$S_m = a_m + \frac{e_m}{N} \quad (9)$$

где: a_m – затраты, независимые от объема земляных работ, грн;

e_m – часть затрат, зависящих от объема производства, грн;

m – рассматриваемый вариант;

N – объем земляных работ, м³.

Для нахождения границ рациональности применения варианта из числа m , необходимо сходиться из предположения, что объем земляных работ может изменяться от нуля до бесконечности. Границы рассматриваемых вариантов будут находиться в пределах:

$$S_{mmax} = f(N) = a_m + e_m \quad (10)$$

$$S_{mmax} \lim_{N \rightarrow +\infty} f(N) = \lim_{N \rightarrow +\infty} f(a_m + \frac{e_m}{N}) = a_m \quad (11)$$

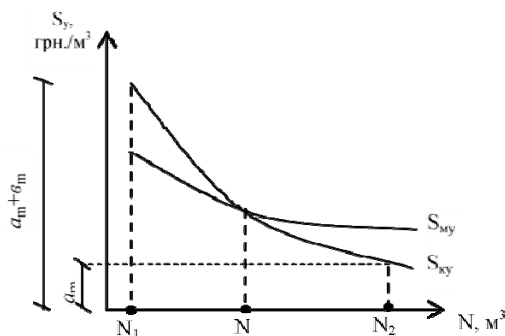


Рис. 1 Графическое определение границ эффективности применения / Graphic delimitation of the efficiency of

Графическое изображение данной задачи представлено на рис. 1. Области перехода зон эффективности рассматриваемых вариантов является точка пересечения кривых.

Рассмотрение графического изображения зависимости удельных приведенных затрат

для комплекта землеройных машин (S_{ky}) и многоцелевой машины (S_{my}) позволяет сделать вывод о том, что при заданном объеме земляных работ (N), находящемся в интервале $N_1 - N$, эффективно использовать многоцелевую землеройную машину, а при $V > N$ - комплект машин.

При проектировании производства земляных работ, составной частью которого являются технологические карты, принимается окончательное решение об эффективности использования многоцелевых машин или комплекта машин, способных в установленные сроки выполнить заданный объем работы. В технологической карте приводятся способы, последовательность и графики выполнения процесса, а также производится разбивка общего объема работ на участки и захватки, и определяются пути движения машин и транспорта. Работы по устройству земляных сооружений, осуществляемые комплектом машин, выполняют поточным методом. Число захваток должно соответствовать количеству одновременно выполняемых процессов. При одновременном выполнении ряда процессов минимальное число захваток увеличивается.

Размеры захваток определяют исходя из требуемого фронта работ для ведущей машины в комплекте. Для полносборных сооружений определяется площадь захваток:

$$F_3 = \frac{t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j}{h} \quad (12)$$

где: $t_{ц}$ – продолжительность работы машины на одной захватке (модуль цикличности) принимается равной одной смене;

$t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j$ - суммарная производительность комплекта машин (n) м³/смену;

h – толщина земляного слоя, м.

При устройстве линейных земляных сооружений устанавливается длина захватки:

$$L_3 = \frac{t_{ц} \sum_{j=1}^n \Pi_j}{V}, \text{ м}$$

где: L_3 – длина земляного сооружения, м;

V – объем земляного сооружения, м³.

В зависимости от размеров захватки, принятой для ведущих машин, определяется объем работ для остальных машин и формируются составы звеньев машин для выполнения заданного объема земляных работ. При производстве земляных работ предусматривают

максимальное совмещение процессов, а продолжительность цикла регулируется количеством машин в комплекте.

Предложенный подход позволяет установить оптимальную с точки зрения затрат продолжительность цикла производства земляных работ и сформировать рациональный комплект специализированных землеройных машин.

Предложенный метод комплексной оценки вариантов применения машин при производстве работ позволяет учитывать возможности организационно-технической базы землеройных машин и степень их соответствия объемно-планировочным и конструктивным решениям земляных сооружений, принять к внедрению технологический процесс, обеспечивающий при заданном объеме работ максимальную эффективность их применения.

Вывод. Предложенный метод обоснования эффективности использования многоцелевых землеройных машин позволил системно подойти к вопросу проектирования полного технологического процесса производства работ на основе установления взаимосвязи между техническими, технологическими и технико-экономическими показателями, характеризующими землеройные машины, и объемом выполняемых ими работ. Установленные зависимости объема работ и характеристик землеройной техники позволили сделать вывод о том, что использование машин многоцелевого назначения эффективно при небольших объемах работ, реконструкции объектов и вообще при работе в стесненных условиях. Границы эффективности их применения могут быть определены только путем сравнения вариантов с комплектами узкоспециализированных землеройных машин.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гличев А. В. Экономическая эффективность технических систем / А. В. Гличев. – Москва : Экономика, 1971. – 270 с.
2. Гокун В. В. Технологические основы конструирования машин. Сущность, направление и методы осуществления / В. В. Гокун. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машгиз, 1963. – 736 с.
3. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования) / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1974. – 254 с.
4. Хмара Л. А. Роботизация строительных процессов / Л. А. Хмара, И. А. Стефанов, Е. П. Уваров. – Луганск : Глобус, 2002. – 408 с.
5. Машини для земляних робіт / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін, М. І. Дерев'янчук, В. М. Супонев ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2014. – 547 с.
6. Хмара Л. А. Научные основы формирования многокомпонентных рабочих органов землеройных / Л. А. Хмара // Интенсификация рабочих процессов строительных машин. Сборник научных трудов Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 4 : Машини для земляних работ. – С. 14-21.

REFERENCES

1. Glichev A.V. *Jekonomicheskaja jeffektivnost' tehniceskikh sistem* [Economic efficiency of technical systems]. Moskva: Jekonomika, 1971, 270 p. (in Russian).
2. Gokun V.V. *Tehnologicheskie osnovy konstruirovaniya mashin. Sushhnost', napravlenie i metody osushhestvlenija* [Technological basics of machine design. Matter, direction and methods of implementation]. 3rd edition. Moskva: Mashgiz, 1963, 736 p. (in Russian).
3. Gusakov A.A. *Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva (v uslovijah avtomatizirovannyh sistem proektirovaniya)* [Organizational-technological reliability of building production (in terms of automated systems of design)]. Moskva: Strojizdat, 1974, 254 p. (in Russian).
4. Hmara L.A., Stefanov I.A. and Uvarov E.P. *Robotizacija stroitel'nyh processov* [Robotic automation of building processes]. Lugansk: Globus, 2002, 408 p. (in Russian).
5. Hmara L.A., Kravec' S.V., Skobljuk M.P., Nikitin V.G., Derev'janchuk M.I. and Suponev V.M. *Mashiny dlja zemljanih robit* [Machinery for earthworks]. Rivne, Dnipropetrovsk, Harkiv, 2014, 547 p. (in Ukrainian)
6. Hmara L.A. *Nauchnye osnovy formirovaniya mnogokomponentnyh rabochih organov zemlerojnyh* [Scientific bases of formation of multicomponent earthmoving working attachments]. *Intensifikacija rabochih processov stroitel'nyh mashin. Sbornik nauchnyh trudov Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury* [Intensification of work processes of construction machinery. Collection of scientific papers of Pridneprovsk'ska state academy of civil engineering and architecture]. Dnepropetrovsk, 1998, no. 4, pp. 14-21. (in Russian).

Рецензент: д.т.н., проф. А. І. Білоконь

Надійшла до редколегії: 04.11.2015 р. Прийнята до друку: 06.10.2015 р.