

## Транспорт

УДК 625.76  
DOI: 10.12737/24901

К.П. Мандровский

### ЭРГОНОМИКА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Осуществлена попытка оценки влияния эргономических факторов на технико-экономический показатель-критерий – себестоимость единицы продукции с учётом затрат на владение. Эргономика рассматривается через факторы снижения скоростей движения и потерь времени на переключение органов управления. Производится расчёт показате-

телей для 6 моделей одноковшовых универсальных гусеничных экскаваторов по специальной методике.

**Ключевые слова:** эргономика, технико-экономические показатели, себестоимость единицы продукции, мониторинг эффективности.

K.P. Mandrovsky

### ERGONOMICS AND PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ROAD-BUILDING MACHINE OPERATION

The interconnection of ergonomics factors with performance characteristics of operating efficiency of excavators – const price of product unit taking into account costs of possession (CPEP) is considered. A set of CPEP computations for a variable level of ergonomic factors is carried out. A work cycle time period for an excavator with the mass of 20t reasoning from technical potentialities makes from 6 10 sec which is considerably less of a time period spent actually. Time losses depend on the perfection degree in a control system of a machine defining a value of operation speed decrease by an operator and demand in a multistage positioning of a bucket cutting face. Time losses in a work cycle can be presented as depending upon a value of speed decrease of working equipment motion and time loss for control switching in the course of which working equipment is stationary. For the CPEP definition a list of initial data is necessary a part of

which depends upon current conditions of machine operation that makes impossible obtaining this information without use of systems of an automated information collection and information processing (monitoring systems).

A level of ergonomic properties of a specific machine can be assumed as unchangeable but an operator, at the expense of his individuality, introduces instability into efficiency indices. At the possibility of control of time losses for the management in a real time mode (as a number of other indices) provided with a joint functioning of automated control systems and monitoring systems it is possible to give an assessment to the undisclosed potential of efficiency and competitive ability of machine use.

**Key words:** ergonomics, performance characteristics, cost price of a product unit, efficiency monitoring.

#### Введение

Как правило, сложность управления машиной оценивается с помощью методик, позволяющих произвести подсчёт количества элементарных операций, их энергоёмкости и продолжительности. Например, в [1; 2] описываются варианты оценки сложности управления, но задача выявления взаимосвязи сложности управления с другими показателями (время цикла, производительность) не ставится. Есть работы, где рассмотрена кибербезопасность, немаловажная в использовании мониторинговых систем [3]. В [4] изложены вари-

анты технологических укладов с описанием проявления в них человеческого фактора; в [5] предложена конкретная эргономическая система при проектировании машины для резки битумной кровли; в [6] производится оценка интегральных показателей труда для различных лесосечных машин, где можно получить конкретные выводы о том, какая машина лучше, но нет ответа на вопрос «насколько лучше?» в эквиваленте денежных расходов на единицу полезной работы; в [7] инженерная эргономика рассмотрена как дисциплина; в

[8] рассмотрена методика обоснования численности обслуживающего персонала аварийно-спасательной техники с использованием показателей времени цикла выполнения операций (время цикла можно использовать для получения производительности, а производительность – для получения себестоимости единицы продукции с учётом затрат на владение, однако в такой постановке задача не рассматривается); в [9] эргономика рассматривается как фактор выбора технологии при лесозаготовке; в [10] рассмотрены скандинавские

требования эргономики для лесных машин.

Рассмотрим вопрос сложности управления машиной на примере одноковшовых полноповоротных гусеничных экскаваторов со стороны влияния возникающих потерь времени при управлении на технико-экономические показатели себестоимости единицы продукции с учётом затрат на владение (СЕПВ) [11] и времени выполнения работ  $T_{вр}$ , позволяющих дать оценку эффективности и конкурентоспособности техники.

### Эргономические показатели и потери времени на управление

Эргономические показатели характеризуют удобство управления машиной, формирующее потери времени на осуществление управления. Для экскаватора массой 20 тонн время рабочего цикла, исходя только из технических возможностей машины, составляет от 6 до 10 секунд при расчёте по специальным математическим моделям [12; 13]. В действительности это время, как правило, больше. Причина этих потерь лежит в несовершенстве управления машиной. Машинист вынужден снижать рабочие скорости, а также совершать многоэтапное позиционирование режущей кромки ковша для обеспечения заданных траекторий движения. Таким образом, влияние факторов эргономики на время рабочего цикла машины можно представить состоящим из двух факторов: снижение скоростей движения рабочего оборудования; потери на переключение рычагов управления при перемене действия, в течение которого оборудование неподвижно.

Снижение скоростей можно создать двумя способами. В одном случае имеет место непосредственное снижение скорости без простоев. Во втором случае скорость может быть высокой, но с простоями. Второй способ вытекает непосредственно

из неудобства управления, поэтому может использоваться чаще.

Поскольку у каждой машины свой уровень эргономики, то для обеспечения одной и той же рабочей средней скорости может потребоваться различное число переключений рычагов. У каждой машины своя обзорность, поэтому машинисту будет комфортно управлять машиной со средним значением скорости, присущей именно этой машине. Исходя из сказанного, можно предположить, что в реальности есть комбинации потребных средних скоростей движения и соответствующих им потерь времени на переключение рычагов, соответствующие конкретной машине.

В связи с этим можно осуществить варьирование затрат времени на выполнение элементов цикла работы и времени на переключение рычагов управления в комбинации.

Изменение скоростей движения задается коэффициентом  $k_{с.с.}$ , а время на переключение органов управления - при помощи  $t_{пер}$  в формуле времени цикла оператора  $t_{цоп}$  [13]:

$$t_{цоп} = k_{с.с.} \cdot t_{цмтех} + t_{пер},$$

где  $t_{цмтех}$  – время цикла при реализации технической производительности.

### Потери времени на осуществление управления и расчётная оценка эффективности экскаваторов

Из наблюдений можно установить, что время цикла экскаватора массой 20 т изменяется в интервале от 20 до 60 секунд. Разница в 40 секунд зависит от дополнительных элементов рабочего цикла, свя-

занных с повышенными требованиями к качеству (например, зачистки откосов и т.п.). Можно предположить, что продолжительность цикла без дополнительных элементов составит около 20 секунд.

Выше было отмечено, что по результатам расчётов время цикла при реализации технической производительности составит 6–10 секунд. Из этого видно, что потери времени составят около 15 секунд на один рабочий цикл. Эта величина будет принята за предел варьирования суммарных потерь времени на снижение скоростей и переключение органов управления.

При помощи специальных математических моделей [13] будет осуществлено варьирование потерь времени для обоих факторов в их комбинации. В качестве рассматриваемых прототипов выберем машины, представленные в табл. 1 (составлена по работе автора [13], с изменениями).

Таблица 1

## Модели одноковшовых универсальных экскаваторов

№	Модель	$G_{\text{экс}}$ , т	$N_{\text{дв}}$ , кВт	$P_{\text{max}}$ , кН	$R_{\text{max}}$ , м	$H_{\text{max}}$ , м	$L_{\text{р}}$ , м	$L_{\text{стр}}$ , м	$B$ , м
1	М1	18,5	91	10,8	9,23	6	2,2	5,8	1,915
2	М2	23	127	15,1	10	6,9	9	5,9	1,925
3	М3	20,69	95	12,46	9,16	6,02	2,4	5,68	2,39
4	М4	20,43	107	12,95	9,23	6,13	2,3	5,7	2,39
5	М5	20,98	97	12,55	9,3	6,22	2,4	5,68	2,39
6	М6	23,11	113	14,9	9,45	6,15	2,5	5,4	2,37

*Примечание.*  $G_{\text{экс}}$  – масса экскаватора;  $N_{\text{дв}}$  – мощность силовой установки;  $P_{\text{max}}$  – максимальное усилие, развиваемое при копании;  $R_{\text{max}}$  – максимальный радиус действия;  $H_{\text{max}}$  – максимальная глубина копания;  $L_{\text{р}}$  – длина рукояти;  $L_{\text{стр}}$  – длина стрелы;  $B$  – половина поперечной базы.

Используется следующая модель эксплуатации. Машина последовательно разрабатывает объёмы работ в 50 тыс. куб. м, после чего наступает перебазировка. Прочность грунта составляет 6 ударов плотномера ДорНИИ, ширина разрабатываемых котлованов составляет 2,2 м, глубина – 3 м. От смены по организационным причинам теряется 15% времени, что отражается в величине 0,85 коэффициента использования сменного времени. Ёмкость ковша всех машин составляет 1 куб. м.

На рис. 1 (по работе автора [13], с изменениями) представлен график себестоимости единицы продукции с учётом затрат на владение (СЕПВ) в функции времени на переключение рычагов управления (диапазон от 0,5 до 15 секунд) для трёх значений величины  $k_{\text{с.с.}}$ . При  $k_{\text{с.с.}}=1$  снижения скоростей не происходит, при  $k_{\text{с.с.}}=2$  скорости снижаются в 2 раза относительно скоростей из технических возможностей, при  $k_{\text{с.с.}}=3$  – снижаются в 3 раза.

При  $k_{\text{с.с.}}=1$  уровень факторов эргономики таков, что оператор имеет возможность работать со скоростями из технических возможностей машины, т.е. потери

времени на снижение скоростей движения составляют 0 секунд. В данном случае потери времени имеют место только при переключении режимов движения. При значении  $k_{\text{с.с.}}=2$  потери времени на снижение скоростей по величине равны времени цикла из технических возможностей. При  $k_{\text{с.с.}}=3$  они равны двойной величине времени цикла из технических возможностей. При величине времени цикла из условий технических возможностей в 6 секунд варьирование  $k_{\text{с.с.}}$  в указанном диапазоне даёт изменение потерь времени от 0 до 15 секунд приблизительно.

В табл. 2 (составлена по работе автора [13], с изменениями) приведены расчётные значения затрат времени  $t_{\text{цмтех}}$  на совершение одного рабочего цикла при реализации технической производительности. Также в табл. 2 приведены потери времени  $\Delta t_{\text{кач}}$  (зависят от коэффициента  $k_{\text{с.с.}}$ ) и потери  $t_{\text{пер}}$  на переключение органов управления. Комбинация  $\Delta t_{\text{кач}}$  и  $t_{\text{пер}}$  в совокупности с  $t_{\text{цмтех}}$  определяет суммарное время рабочего цикла машины  $t_{\text{цоп}}=T_{\text{ц}}$ , также представлено в табл. 2.

Изменение величины  $T_{\text{ц}}$  (табл. 2) определяет изменение производительности и,

как следствие, величин СЕПВ и  $T_{вр}$  (рис. 2)

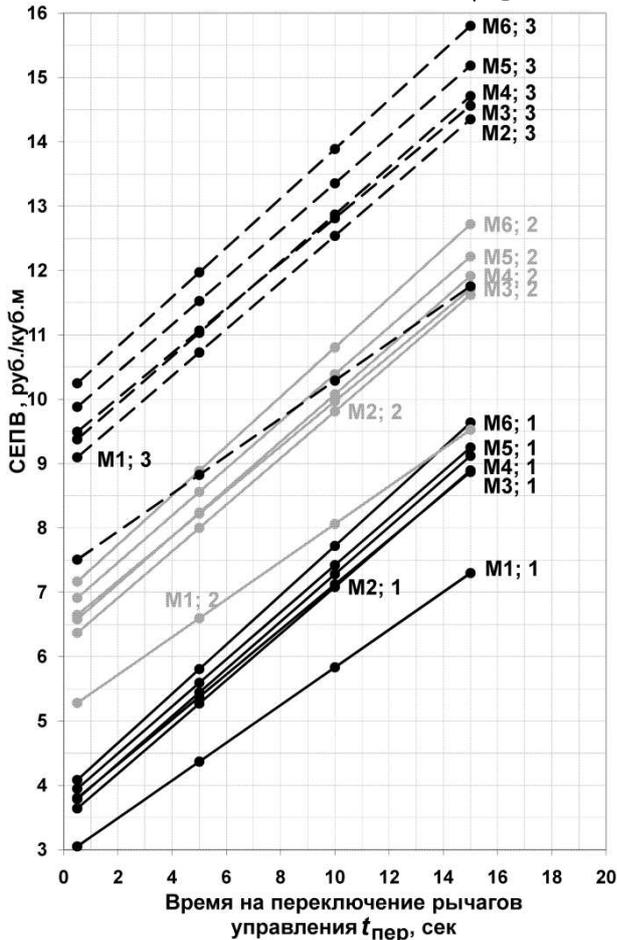


Рис. 1. СЕПВ для различных  $k_{с.с.}$  и  $t_{пер}$

(по работе автора [13], с изменениями).

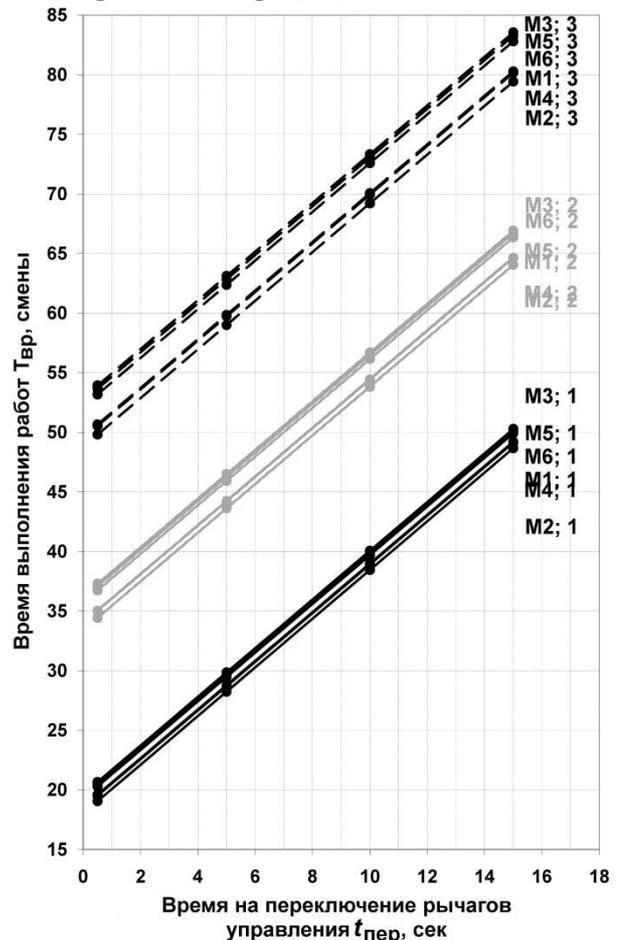


Рис. 2.  $T_{вр}$  для различных  $k_{с.с.}$  и  $t_{пер}$

Из рис. 1 и 2 видно, что с изменением  $t_{пер}$  и  $k_{с.с.}$  происходит соизмеримое изменение СЕПВ и  $T_{вр}$  (линии графиков практически не пересекаются), СЕПВ и  $T_{вр}$  однообразно изменяются для всех машин.

Для моделей 3 и 4 это условие нарушается: с изменением  $t_{пер}$  меньшее значение СЕПВ переходит от модели 4 к модели 3. Этот факт имеет место для всех трёх рассматриваемых значений коэффициента  $k_{с.с.}$ .

Из этого следует, что модель 3 менее чувствительна к изменению факторов эргономики в сравнении с моделью 4. Последнее означает, что модель 3 может иметь более низкий уровень факторов эргономики в сравнении с моделью 4 и при этом сохранит относительную конкурентоспособность.

В реальности уровень эргономики переменен для каждой из машин, поэтому приведённые графики целесообразно рассматривать в контексте не одинаковых, а

различных значений потерь времени  $t_{пер}$ . При этом реалистичные значения времени цикла  $T_{ц}$  имеют место при  $k_{с.с.}=2$  (табл. 2).

Из рис. 1 видно, что модель 1 для значения  $k_{с.с.}=3$  имеет показатель СЕПВ, сходный с одноименным показателем для импортных машин при  $k_{с.с.}=2$ . Из этого следует, что для модели 1 допустим уровень эргономики, соответствующий повышению потерь времени в 1,5 раза в сравнении с зарубежными моделями без превышения по уровню СЕПВ.

Однако из рис. 2 видно, что при таком отставании модель 1 позволит выполнить работу (разработать 50 тыс.куб.м) примерно на 15 смен позже, что существенно при ограничениях на сроки выполнения работ. При наличии штрафных санкций это приведёт к затратам по этой статье.

Для того чтобы модель 6, обладающая максимумом СЕПВ (рис. 1), имела минимум данного показателя за счёт фак-

торов эргономики, необходимо при  $k_{c.c.}=1$  снизить время на переключение органов управления в среднем на 5 секунд относительно конкурентов, при  $k_{c.c.}=2$  – в среднем на 7,5 секунды, при  $k_{c.c.}=3$  – на 10 секунд. Если для модели 6 выполнить это условие, то показатель СЕПВ для неё будет ниже одноименной величины для модели 1.

Для выбранной модели эксплуатации максимумом величины  $T_{вр}$  обладает модель 3 (рис. 2), минимальным значением – модель 2. Данное соотношение справедливо для одинаковых значений потерь времени  $t_{пер}$ .

Таблица 2

Зависимость времени цикла  $T_{ц}$  от затрат времени

Модели экскаваторов	Время цикла технической производительности $t_{цтех}, c$	Время за счёт снижения скоростей $\Delta t_{кач}, c$	Время на переключение рычагов управления $t_{пер}, сек$			
			0,5	5	10	15
			Время цикла работы экскаватора $T_{ц}, c$			
$k_{c.c.}=1$						
M1	7,61	0	8,10	12,61	17,61	22,61
M2	7,53	0	8,03	12,53	17,53	22,53
M3	8,14	0	8,64	13,14	18,14	23,14
M4	7,60	0	8,10	12,60	17,60	22,60
M5	8,11	0	8,61	13,11	18,11	23,11
M6	8,05	0	8,55	13,05	18,05	23,05
$k_{c.c.}=2$						
M1	7,61	7,61	15,71	20,21	25,21	30,21
M2	7,53	7,53	15,56	20,06	25,06	30,06
M3	8,14	8,14	16,79	21,29	26,29	31,29
M4	7,60	7,60	15,70	20,19	25,19	30,19
M5	8,11	8,11	16,73	21,23	26,23	31,23
M6	8,05	8,05	16,60	21,10	26,10	31,10
$k_{c.c.}=3$						
M1	7,61	15,21	23,32	27,82	32,82	37,82
M2	7,53	15,06	23,09	27,59	32,59	37,59
M3	8,14	16,29	24,93	29,43	34,43	39,43
M4	7,60	15,19	23,29	27,79	32,79	37,79
M5	8,11	16,23	24,84	29,34	34,34	39,34
M6	8,05	16,10	24,65	29,15	34,15	39,15

Для того чтобы превзойти конкурентов по времени производства работ  $T_{вр}$ , модели 3 необходимо сократить время на переключение органов управления: при  $k_{c.c.}=3$  – в среднем на 2 секунды, при  $k_{c.c.}=2$

– на 1,5 секунды, при  $k_{c.c.}=1$  – на 1 секунду. В таком случае работа будет выполнена за минимальное среди всех рассматриваемых моделей время.

### Заключение

Для оценки СЕПВ необходим широкий перечень исходных данных, получить который практически невозможно без использования специальных систем сбора и обработки информации – мониторинговых систем [11; 14; 15]. Уровень факторов эргономики стабилен, но каждый оператор

может по-разному реализовать их. Если иметь возможность контроля скоростей движения рабочего оборудования и затрат времени на переключение органов управления, что вполне возможно с развитием систем автоматизированного управления машин, то можно оценить, насколько по-

тери времени на управление оказывают влияние на технико-экономические показатели.

В частности, можно анализировать направления развития технических свойств машин. Так, для обеспечения минимума СЕПВ для машины с максимальным значением этого показателя (модель б) необходим уровень эргономики, позволяющий снизить затраты времени на переключение

органов управления в сравнении с конкурентами (например, относительно модели 1 с минимумом СЕПВ): при  $k_{с.с.}=1$  – в среднем на 5 секунд, при  $k_{с.с.}=2$  – на 7,5 секунды, при  $k_{с.с.}=3$  – на 10 секунд. Такой вариант анализа соответствует задаче технического аудита на базе технико-экономических показателей, являющегося логическим блоком системы мониторинга эффективности машин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каран, Е.Д. Основы создания и методология применения модели управления машинами автомобильно-дорожного комплекса (для повышения эффективности их использования): дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.04 / Е.Д.Каран. - М., 1989. - 360 с.
2. Мухин, В.Д. Исследование системы «машинист - экскаватор» в режиме транспортных перемещений ковша: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / В.Д.Мухин. - Пермь, 1972. - 199 с.
3. Burov, O.Yu. Educationalnetworking: humanview-tocyberdefense / O.Yu.Burov // Информационные технологии и средства обучения. - 2016. - Т. 52. - № 2. - С. 144-156.
4. Вайнштейн, Л. Научное обеспечение человеческого фактора в различных технологических укладах / Л.Вайнштейн // Наука и инновации. - 2014. - Т.7. - № 137. - С. 8-12.
5. Устинов, Д.Б. Аспект эргономики при проектировании и эксплуатации машин для разборки кровельных покрытий / Д.Б.Устинов // Механизация строительства. - 2013. - №2 (824). - С. 12-16.
6. Соколов, А.П. Эргономика лесосечных машин / А.П.Соколов, А.А.Селивёрстов, Ю.Ю.Герасимов // Resourcesand Technology. - 2012. - Т.9. - № 2. - С. 106-116.
7. Meskhi, V.Ch. Human factor in solving engineering problems of safety / V.Ch.Meskhi, A.E.Astvatsaturov // Научный альманах стран Причерноморья. - 2015. - №1 (1). - С. 15-18.
8. Самойлов, К.И. Методика обоснования численности обслуживающего персонала (расчетов) образцов аварийно-спасательной техники / К.И.Самойлов, С.П.Тодосейчук, Н.Г.Климачева // Технологии гражданской безопасности. - 2010. - Т.7. - №4. - С. 74-81.
9. Герасимов, Ю.Ю. Эргономика лесных машин как фактор при выборе применяемых технологий лесозаготовок / Ю.Ю.Герасимов, В.С.Сюнёв, С.Карвинен, А.П.Соколов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2008. - № 21. - С. 183-186.
10. Сюнёв, В.С. Предварительная оценка эргономических показателей тракторов Онежского тракторного завода / В.С.Сюнёв, Ю.Ю.Герасимов // Resourcesand Technology. - 2005. - № 6. - С. 76-78.
11. Кустарёв, Г.В. Оценка эффективности дорожных машин как инструмент технического аудита / Г.В.Кустарёв, К.П.Мандровский, Я.И.Тюрин // Механизация строительства. - 2016. - № 5. - С. 18-23.
12. Плотников, А.С. Разработка рекомендаций на определение исходных параметров к расчёту одноковшовых экскаваторов с гидравлическим приводом: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.С.Плотников. - М., 1974. - 195 с.
13. Мандровский, К.П. Оценка конкурентоспособности дорожно-строительных машин (на примере одноковшового гусеничного экскаватора): дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / К.П.Мандровский. - М., 2008. - 190 с.
14. Мандровский, К.П. Анализ систем мониторинга дорожно-строительных машин и концепция системы управления эффективностью / К.П.Мандровский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). - 2016. - №1 (44). - С. 26-33.
15. Мандровский, К.П. Технический аудит и мониторинг эффективности эксплуатации дорожно-строительных машин / К.П.Мандровский // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. (г.Красноярск, 7-8 апр. 2016 г.). - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. - Ч. 2. - С. 138-142.
1. Karan, E.D. *Creation Fundamentals and Methodology of Use of Road Vehicle Control Model (for efficiency increase of machine use)*: Thesis for D. Eng. degree: 05.05.04 / E.D.Karan. - M., 1989. - pp. 360.
2. Mukhin, V.D. *Investigation of "Operator-Excavator" System in Mode of Bucket Transport Motions*: Thesis for Can. Eng. degree: 05.05.04 / V.D.Mukhin. - Perm, 1972. - pp. 199.
3. Burov, O.Yu. Educationalnetworking: humanview-tocyberdefense / O.Yu.Burov // *Information Tech-*

- nologies and Training Aids*. - 2016. - Vol. 52. - № 2. - pp. 144-156.
4. Weinstein, L. Scientific support of human factor in different technological ways / L.Weinstein // *Science and Innovations*. - 2014. - Vol.7. - № 137. - pp. 8-12.
  5. Ustinov, D.B. Aspect of ergonomics at design and operation of machines for roofing cover disassembly / D.B.Ustinov // *Mechanization of Building Construction*. - 2013. - №2 (824). - pp. 12-16.
  6. Sokolov, A.P. Ergonomics of forest roadside machinery / A.P.Sokolov, A.A.Seliverstov, Yu.Yu.Gerasimov // *Resources and Technology*. - 2012. - Vol.9. - № 2. - pp. 106-116.
  7. Meskhi, B.Ch. Human factor in solving engineering problems of safety / B.Ch.Meskhi, A.E.Astvatsaturov // *Scientific Anthology of Countries of Black Sea Area*. - 2015. - №1 (1). - pp. 15-18.
  8. Samoilo, K.I. Procedure for substantiation of number of service staff (calculations) of samples of emergency rescue equipment / K.I.Samoilo, S.P.Todoseichuk, N.G.Klimacheva // *Technologies of Civil Security*. - 2010. - Vol.7. - №4. - pp. 74-81.
  9. Gerasimov, Yu.Yu. Ergonomics of forest machinery as a factor at choice of logging used / Yu.Yu.Gerasimov, V.S.Syunyov, S.Karvinen, A.P.Sokolov // *Urgent Problems in Forest Complex*. - 2008. - № 21. - pp. 183-186.
  10. Syunyov, V.S. Preliminary assessment of ergonomic indices of tractors of Onega Tractor Company / V.S.Syunyov, Yu.Yu.Gerasimov // *Resources and Technology*. - 2005. - № 6. - pp. 76-78.
  11. Kustaryov, G.V. Assessment of road machinery efficiency as a tool of engineering audit / G.V.Kustaryov, K.P.Mandrovsky, Ya.I.Tyurin // *Mechanization of Building Construction*. - 2016. - № 5. - pp. 18-23.
  12. Plotnikov, A.S. *Development of Recommendations for Definition of Initial Parameters to Computation of Single-Bucket Excavators with Hydraulic Drive*: thesis for Can. Eng. degree: 05.05.04 / A.S.Plotnikov. - M., 1974. - pp. 195.
  13. Mandrovsky, K.P. *Assessment of Competitive Ability of Road-Building Machinery* (by the example of single-bucket caterpillar excavator): Thesis for Can. Eng. degree: 05.05.04 / K.P.Mandrovsky. - M., 2008. - pp. 190.
  14. Mandrovsky, K.P. Analysis of monitoring systems of road-building machines and concept of efficiency control systems / K.P.Mandrovsky // *Bulletin of Moscow Road State Technical University (MADI)*. - 2016. - №1 (44). - pp. 26-33.
  15. Mandrovsky, K.P. Technical audit and efficiency monitoring of road-building machinery operation / K.P.Mandrovsky // *Transport systems of Siberia. Development of transport system as catalyst of state economy growth: Transactions (Proceedings) of the Inter. Sc.-Pract. Conf. (Krasnoyarsk, April 7–8, 2016)*. - Krasnoyarsk: Sib. Federal University, 2016. - P. 2. - pp. 138-142.

Статья поступила в редколлегию 29.10.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор МАДИ  
Баурова Н.И.

#### Сведения об авторах:

**Мандровский Константин Петрович**, к.т.н., доцент кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного

**Mandrovsky Konstantin Petrovich**, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Road-Building Machinery",

технического университета (МАДИ), e-mail: [effectmash@mail.ru](mailto:effectmash@mail.ru).

Moscow Road State Technical University (MADI), e-mail: [effectmash@mail.ru](mailto:effectmash@mail.ru).