

УДК 622: 331.4

ВОЗМОЖНОСТИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ЭРГОНОМИЧЕСКОМ РЕИНЖИНИРИНГЕ РАБОЧИХ МЕСТ ГОРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Великанов В.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: rizhik_00@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию возможностей виртуального прототипирования в эргономическом реинжиниринге рабочих мест горных и строительных машин. Установлено, что эффективность и качество трудовых операций напрямую зависит от уровня эргономического обеспечения рабочего места. Приведена классификация кабин горных, строительных и транспортных машин по критериям безопасности в соответствии с мировыми стандартами. Рассмотрена структура эргономического реинжиниринга кабин карьерных экскаваторов – одного из наиболее эффективных и экономически выгодных способов оптимизации объектов, формализована модель управления эргономическим реинжинирингом. В САПР Autodesk Inventor разработан параметрический 3D-прототип кабины карьерного экскаватора, за основу принята типовая модульная кабина экскаватора типа ЭКГ – 5А. Обосновано использование теории нечеткой логики и нечетких множеств в проведении оценки результатов перепроектирования кабины карьерного экскаватора. Разработана нечеткая модель, позволяющая решать задачи качественной оценки показателей обитаемости и управляемости карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: эргономика, реинжиниринг, кабина, прототип, экскаватор, антропометрические характеристики

POSSIBILITIES OF VIRTUAL PROTOTYPING IN ERGONOMIC REENGINEERING OF WORKING PLACES OF MINING AND CONSTRUCTION MACHINES

Velikanov V.S.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: rizhik_00@mail.ru

This article is devoted to the study of the possibilities of virtual prototyping in the ergonomic reengineering of working places of mining and construction machines. It is established that the efficiency and quality of labor operations directly depends on the level of ergonomic provision of the workplace. The classification of the cabins of mining, construction and transport vehicles is given according to the safety criteria in accordance with world standards. The structure of ergonomic reengineering of booths of mining excavators is considered – one of the most effective and economically advantageous methods of object optimization, the management model of ergonomic reengineering is formalized. Autodesk Inventor CAD developed a parametric 3D prototype of a quarry excavator cab, based on a typical modular ECG-5A excavator cab. The use of the theory of fuzzy logic and fuzzy sets in the evaluation of the results of the redesign of the cabin of a quarry excavator is substantiated. A fuzzy model has been developed that allows to take into account the tasks of qualitative assessment of habitability and controllability of mining excavators.

Keywords: ergonomics, reengineering, cabin, prototype, excavator, anthropometric characteristics

Исследованиями [1] установлено, что эффективность труда напрямую зависит от эргономичности и удобства рабочего места. Для наглядного представления о повышении эффективности работы в целом при использовании эргономичных рабочих мест, имеется следующая статистика (рис. 1) [2].

Как отмечается в работах [3, 4] проектирование эргономичных рабочих мест (РМ) «с нуля» уже является достаточно изученной областью. Поэтому перед специалистами в области человеческого фактора и эргономики стоит более сложная задача – формализовать, смоделировать и математически описать процесс эргономического реинжиниринга (ЭР), то есть перепроектирования уже существующих рабочих мест при установленных ресурсах и определенных условиях (рис. 2).

Значительная часть технических средств, используемых в горнодобывающей промышленности требуют присутствия человека (оператора), поэтому совершенствование конструкций РМ, для обеспечения максимальной безопасности условий труда, несомненно, актуальная задача.

Функции по управлению техническим средством осуществляются с его определенной части, а именно из кабины, поэтому в работе реализован один из подходов в эргономическом реинжиниринге кабин горных машин (на примере карьерных экскаваторов).

В мировой практике имеется следующая классификация кабин [5]:

1. Falling Object Protective Structures (FOPSS) – структура кабины защищает от падающих объектов.

а. Уровень I – структура кабины защищает от ударов с энергией, не превышающей 1365 Дж, что соответствует ударам кирпичей, мелких кусков породы или ручного инструмента.

б. Уровень II – структура кабины обеспечивает защиту от ударов с энергией до 11600 Дж, защищает от обрушения деревьев или средних кусков породы.

2. Rock Slide Protective Structures (RSPSs) – структура кабины защищает от

ударов с энергией, по крайней мере 60 кДж. Это значение соответствует падению крупных кусков породы.

3. Roll Over Protective Structures (ROPSs) – проходные защитные конструкции (ROPS) – защищают при опрокидывании машины.

4. Tip Over Protective Structures (TOPSs) – имеют структуру, эквивалентную ROPS и выделенную к меньшим, так называемым компактным экскаваторам.

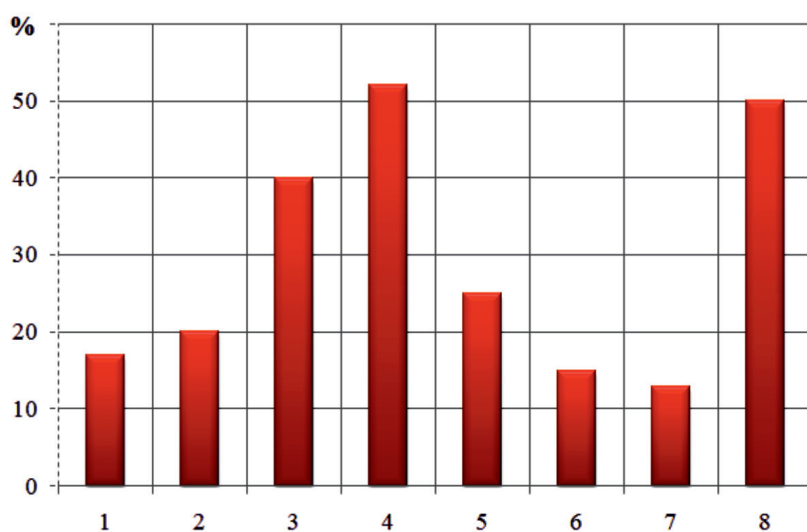


Рис. 1. Влияние эргономичности на эффективность работ: 1 – повышение общей эффективности работы; 2 – повышение производительности труда; 3 – повышение работоспособности; 4 – повышение точности и безошибочности работы; 5 – сокращение времени выполнения рабочих функций; 6 – сокращение трудозатрат на разработку средств взаимодействия человека с рабочим местом; 7 – сокращение уровня заболеваемости; 8 – сокращение числа аварий и катастроф



Рис. 2. Процесс эргономического реинжиниринга

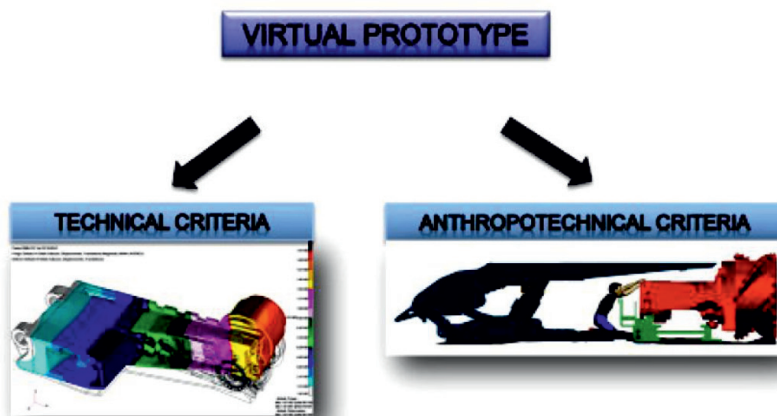


Рис. 3. Основные группы критериев оценки виртуального прототипа горной машины (Tokarczyk, 2012 г.)

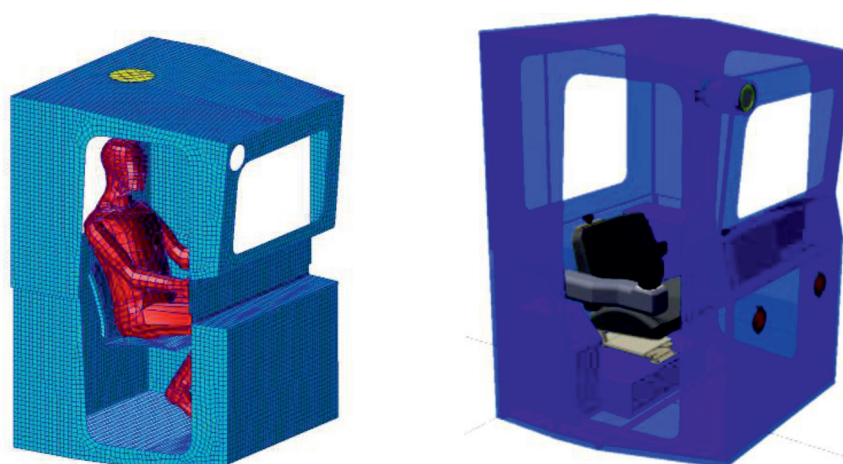


Рис. 4. Модель кабины подземного локомотива для оценки антропотехнических критериев [5]

В работах [5-8] обосновано использование метода виртуальных прототипов при создании и модернизации кабин горных машин, которые производятся малыми сериями или в виде отдельных экземпляров. Метод позволяет с одной стороны оценить технические разработки до их воплощения в действующие конструкции, а с другой проводить модернизацию и оценку кабин-прототипов на основе антропотехнических критериев с использованием аппаратных и программных возможностей.

Критериями оценки виртуального прототипа служат две основные группы: технические и антропотехнические (рис. 3).

Технические критерии относятся только к оценке технических характеристик и позволяют оценить его особенности, такие как: функциональность, прочность, надежность и др. Антропотехнические критерии

обусловлены наличием человека внутри машины или оборудования. В этой группе можно выделить эргономические критерии: диапазоны конечностей – идентификация зон диапазона и зон комфорта, включая необходимость работы в неудобных позах тела; поле зрения; нагрузки в мышечно-скелетной системе – способность воздействовать силами и крутящими моментами на конечности; критерии безопасности – защита от механических опасностей; критерий травмы головы; шум; вибрация; риск проскальзывания, спотыкания, падения; правильное освещение – отсутствие затененных областей, блики и стробоскопический эффект (рис. 4).

В САПР Autodesk Inventor нами создан параметрический 3D-прототип кабины карьерного экскаватора, за основу принята типовая модульная кабина экскаватора

типа ЭКГ – 5А. Нами проанализирован процесс выполнения задач по экскавации горной массы, рабочие операции выполняемые оператором и его взаимодействие с органами управления и средствами визуализации, использован опыт и знания мировых и отечественных разработчиков горной техники. Учтена дополнительная информация: жесткое соединение сиденья с кабиной, толщина листов обшивки каркаса, площадь остекления.

В силу специфики компоновки карьерного экскаватора и габаритных размеров кабины необходимо, чтобы 3D-прототип кабины соответствовал не только всем заданным геометрическим размерам, но и был оптимальным по пространственным характеристикам и максимально удобными и безопасными по эксплуатационным качествам.

Созданный виртуальный 3D-прототип кабины карьерного экскаватора позволяет моделировать обзорность с РМ оператора, оценку визуальной информативности производственной зоны и рабочего пространства оператора. Модель кабины была дополнена виртуальной моделью оператора. Антропометрические характеристики оператора экскаватора определяют соответствие размеров кабины к форме тела чело-

века, к распределению массы его тела, при этом учитываются не только собственно анатомические особенности, но и возможность движений с учетом рабочего положения во время активного использования оборудования кабины экскаватора (рис. 5) [9-13].

Конечным результатом эргономического реинжиниринга является соответствие требованиям потребителя. Поэтому для определения достигнутого уровня перепроектирования нами использован математический аппарат теории нечетких множеств и разработана на его основе математическая модель, позволяющая актуализировать качественные критерии оценки эргономичности кабин карьерных экскаваторов [14-16]. Эргономичность является целостной характеристикой и определяется совокупностью эргономических свойств: управляемости, обслуживаемости, осваиваемости, обитаемости и технологичности. Представляет собой предметную область, которая характеризуется качественным и количественным описанием критериев с преобладанием качественных характеристик. В современной теории идентификации важная роль отводится методам, использующим лингвистическую информацию для построения математических моделей.

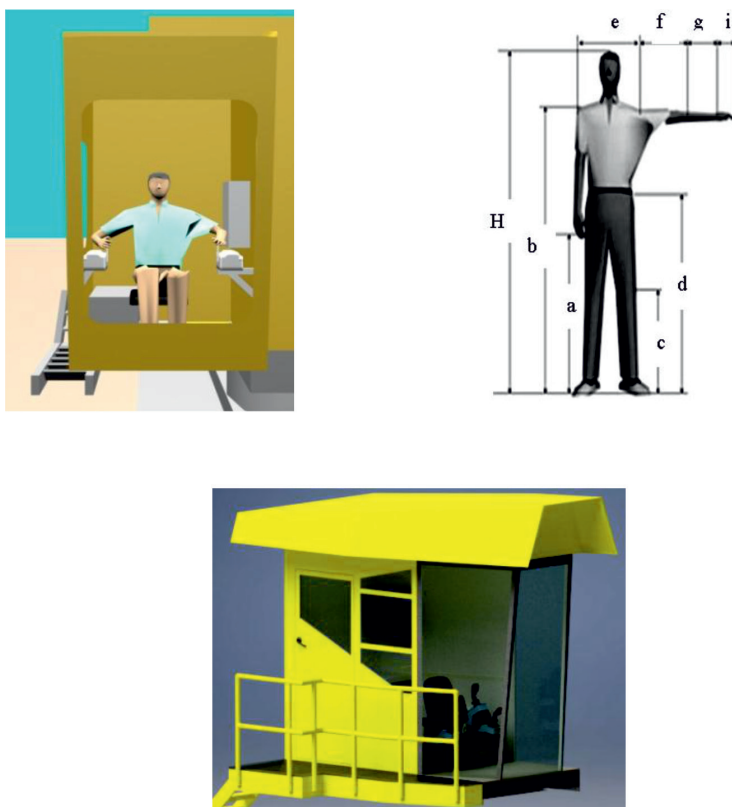


Рис. 5. 3D-прототип кабины карьерного экскаватора (ЭКГ-5А) в соответствии RSPSs

Таблица 1

Входные и выходные переменные модели на основе ТНМ

Обозначение	Эргономические показатели	Одиночные эргономические показатели	Область определения (универсум)
Входные			
A_1	Управляемость	Качественные показатели	0÷5 балл
A_2	Обитаемость	Запыленность кабины; Уровень вибрации; Уровень шума; Освещенность забоя	0÷1,5 мг/м ³ 0÷30 дБ 0÷110 дБА 10÷80 люкс
A_3	Обслуживаемость	Качественные показатели	0÷5 балл
A_4	Осваиваемость	Качественные показатели	0÷5 балл
A_5	Технологичность	Качественные показатели	0÷5 балл
Выходные			
B	Эргономичность экскаватора	Качественные показатели	0÷100 % (0÷5 балл)

Таблица 2

Фрагмент базы логических правил системы нечеткого вывода по оценке эргономического реинжиниринга

№	Входные переменные					Выход системы	F_i
	Управляемость	Обитаемость	Обслуживаемость	Осваиваемость	Технологичность	Эргономичность	1
1	Плохая	Плохая	Плохая	Плохая	Плохая	Неблагоприятная	1
2	Хорошая	Плохая	Плохая	Плохая	Плохая	Удовлетворительная	1
n	...	...	...	...	...	...	...
50	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Предпочтительная	1

Разработка нечеткой модели включает несколько этапов: структурная идентификация модели; параметрическая идентификация; апробация и корректировка модели. Модель содержит пять входных лингвистических переменных (A_i), базу логических правил управления и одну выходную лингвистическую переменную (B) (табл. 1, 2). Обоснован выбор вида функции принадлежности для термов лингвистических переменных на их универсумах, процесс построения функций принадлежности термов лингвистических переменных основан на их количественных значениях, определенных нормативной документацией, а также статистических данных, опубликованных в периодических изданиях, отчетах о деятельности отечественных горнодобывающих предприятий и других аналитических материалах.

Таким образом, использование современных программных средств и возможностей теории нечетких множеств позволит

оптимизировать процесс эргономического реинжиниринга и обеспечить минимальные ресурсные затраты.

Список литературы

1. Падерно П.И. Реинжиниринг офисных рабочих мест: социальные, организационные и эргономические аспекты [Текст] / П.И. Падерно, И.В. Гончар, А.С. Головина // Государство и бизнес. Вопросы теории и практики: Моделирование, менеджмент, финансы: Матер. III Междунар. конф. – СПб.: Изд-во СЗАГС, 2011.
2. Львов В.М. Эргономика для инженеров [Текст] / В.М. Львов, П.Я. Шлаен. – Тверь: Изд-во ТвГУ, 2004.
3. Смирнов Б.А. Инженерно-психологическое и эргономическое проектирование [Текст] / Б.А. Смирнов, Ю.И. Гулый. – Х.: Изд-во «Гуманитарный центр», 2010.
4. Гончар И.В. Управление эргономическим реинжинирингом рабочих мест / И.В. Гончар, П.И. Падерно // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. № 1. 2013. С. 75-80.
5. Tokarczyk J. Method for virtual prototyping of cabins of mining machines operators // Archives of mining sciences. – 2015. – vol.:60, ed.:1. – p. 329-340.
6. Aromaa S., Vaananen K. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design // Applied ergonomics. – 2016. – Vol.: 56. – P. 11-18.

7. Du Y., Dorneich M.C., Steward B. Virtual operator modeling method for excavator trenching // *Automation in construction*. – 2016. – Vol. 70. – P. 14-25.
8. Chakraborty PR; Bise CJ A virtual-reality-based model for task-training of equipment operators in the mining industry // *Mineral resources engineering*. – 2000. – Vol. 9, Ed.:4. – P. 437-449.
9. Сафин Г.Г. Определение показателей надежности системы «оператор-горная машина-среда» методом функциональных сетей / Г.Г. Сафин, А.А. Абдрахманов, В.С. Великанов // *Инженерный вестник Дона (электронный журнал)*. 2014. № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2673.
10. Исмагилов К.В. Проектирование отечественных мехлопат с учетом требований рынка горной техники и эргономических показателей / К.В. Исмагилов, В.С. Великанов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. М.: Изд-во «Горная книга», 2009. № 2. С. 30-32.
11. Шабанов А.А. О перспективах исследований в области эргономического обеспечения отечественных карьерных экскаваторов / А.А. Шабанов, В.С. Великанов // *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 19-29.
12. Великанов В.С. Метод анализа иерархий в установлении значений весовых коэффициентов эргономических показателей карьерных экскаваторов / В.С. Великанов, А.А. Шабанов // *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики*: сб. науч. тр. Тула: ГОУ ВПО «ТулГУ», 2012. Т. 1. С. 238-244.
13. Олизаренко В.В. Определение производительности одноковшового гусеничного экскаватора с учетом профессиональных навыков машиниста / В.В. Олизаренко, В.С. Великанов // *Добыча, обработка и применение природного камня*: Сб. науч. тр. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2009. С. 85-91.
14. Великанов В.С. Разработка алгоритмов нечеткого моделирования для интеллектуальной поддержки принятия решений по определению уровня эргономичности карьерных экскаваторов / В.С. Великанов // *Горная промышленность*. 2011. № 5. С. 64-68.
15. Великанов В.С. Возможности метода парных сравнений в установлении значимости показателей горных машин и комплексов по критерию эргономичности / В.С. Великанов // *Вестник КузГТУ*. 2013. № 4. С. 43-46.
16. Великанов В.С. Развитие метод оценки и управления эргономичностью горных машин и комплексов на основе нечетко-множественного подхода / В.С. Великанов // *European Science and Technology: 4th International scientific conference*. Munich. 2013. С. 370-377.