

УДК 631.95

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

Липкович Игорь Эдуардович  
 доктор технических наук, доцент  
 РИНЦ: SPIN-код: 1176-1210  
 LipkovichIgor@mail.ru  
*Азово-Черноморский инженерный институт  
 ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде,  
 г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Егорова Ирина Викторовна  
 кандидат технических наук  
 РИНЦ: SPIN-код: 1003-8910  
 OrishenkoIrina@mail.ru  
*Азово-Черноморский инженерный институт  
 ФГБОУ ВО Донской ГАУ в г. Зернограде,  
 г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Петренко Надежда Владимировна  
 кандидат технических наук, доцент  
 РИНЦ: SPIN-код: 5942-7170  
*Азово-Черноморский инженерный институт  
 ФГБОУ ВО Донской ГАУ, в г. Зернограде,  
 г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Человеко-машинные системы (ЧМС) в агропромышленной сфере привлекают все больше внимание специалистов. ЧМС свойственно проходить эволюцию. В статье приведена общая схема ЧМС, в которой выделены пять этапов развития. Рассмотрены некоторые энергетические соотношения в применении к человеку-оператору. Приведена формула расхода энергии организмом оператора. Общая задача эволюции ЧМС приведена в виде двух частей, непосредственно не связанных между собой задач. Также рассмотрена эволюция технического средства в направлении повышения энергонасыщенности и снижения энергозатрат оператора на управления с повышением надежности технологического процесса. В результатах обсуждения в качестве примера приводится развитие конструкции базовой модели зерноуборочных комбайнов, основные параметры которых приведены в таблице 1. Рассуждения, приведенные в статье, позволяют оценить эволюцию и других средств механизации. Однако эволюция этих технических средств идет весьма медленно, за исключением, быть может, машин МТЗ и «Кировского завода», где эволюция за последние 50 лет пока что охватывает внешний вид и условия работы в кабине. Эволюция прицепных сельхозмашин отечественного производства если и имеет место, то, в основном, заключается в адаптации рабочих

UDC 631.95

05.20.01 – Technologies and tools of mechanization of agriculture (technical sciences)

**EVOLUTION OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS IN PLANT PRODUCTION**

Lipkovich Igor Eduardovich  
 Doctor of Technical Sciences, assistant professor  
 RSCI SPIN-code: 1176-1210  
 LipkovichIgor@mail.ru  
*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEE HE «Don  
 State Agrarian University», in Zernograd, Zernograd,  
 the Rostov region, Russia*

Egorova Irina Victorovna  
 Candidate of Technical Sciences  
 RSCI SPIN-code: 1003-8910  
 OrishenkoIrina@mail.ru  
*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEE HE «Don  
 State Agrarian University», in Zernograd, Zernograd,  
 the Rostov region, Russia*

Petrenko Nadezhda Vladimirovna  
 Candidate of Technical Sciences, assistant professor  
 RSCI SPIN-code: 5942-7170  
*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEE HE «Don  
 State Agrarian University», in Zernograd, Zernograd,  
 the Rostov region, Russia*

Human-machine systems (HMS) in the agro-industrial sector are attracting more and more attention of specialists. HMS tends to undergo evolution. The article provides a general scheme of HMS, which identifies five stages of development. Some energy ratios are considered as applied to the human-operator. The formula of energy consumption by the operator's organism is presented. The general issue of HMS evolution is presented in the form of two parts, not directly related issues. The evolution of the technical tools in the direction of increasing energy saturation and reducing the operator's energy costs for controls with increasing the technological process reliability is also considered. In the results of the discussion, as an example, evolution of the design and main parameters of the basic model of combine harvesters are presented. The reasoning given in the article allows to evaluate the evolution of other mechanization tools. However, the evolution of these technical tools is very slow, with the exception of MTZ and the Kirov Plant machines, where evolution over the past 50 years has covered only the appearance and working conditions in the cabin. The evolution of trailed agricultural machines of domestic production, if it takes place, then, basically, consists in the adaptation of working devices

органов

Ключевые слова: ЧЕЛОВЕКО-МАШИННАЯ СИСТЕМА, ЭВОЛЮЦИЯ, ОПЕРАТОР, ОРГАНИЗМ, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, РАСТЕНИЕВОДСТВО, МАШИННО-ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ, РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Keywords: HUMAN-MACHINE SYSTEM, EVOLUTION, OPERATOR, ORGANISM, ENERGY CONSUMPTION, ACTIVITY, TECHNICAL TOOLS, TECHNOLOGICAL PROCESS, CROP PRODUCTION, MACHINE-TRACTOR UNIT, WORKING CAPACITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-181-016>

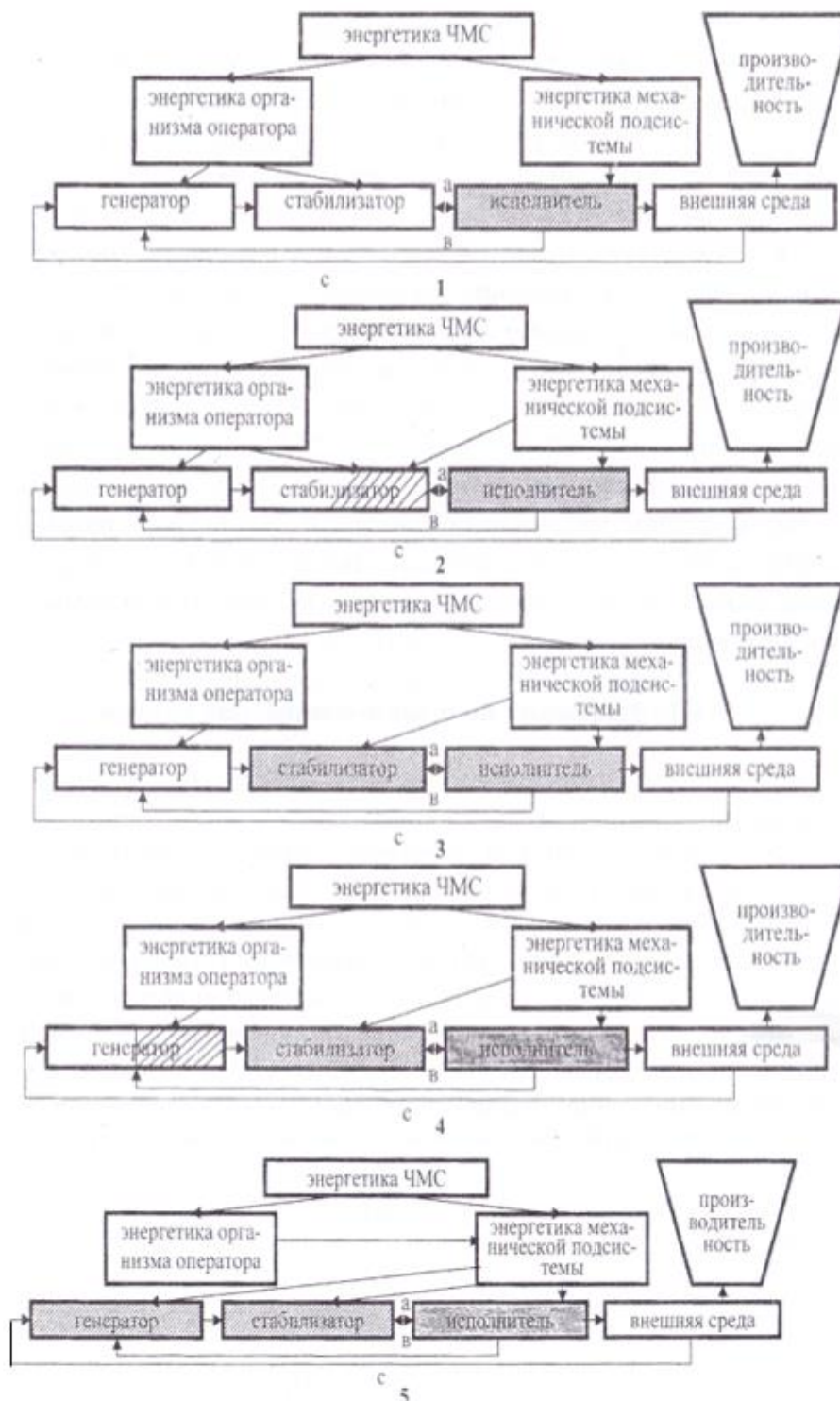
Человеко-машинные система (ЧМС) в агропромышленной сфере привлекают все больше внимание специалистов. Рациональные условия их использования, даже на стадии формирования, уже сейчас – один из наиболее существенных факторов повышения эффективности отечественного АПК [1, 2, 3].

Сегодня можно утвердить, что в основе решения технических проблем лежит не отдельный машинно-тракторный агрегат и не группа этих агрегатов в виде механизированных звеньев, бригад и т.д., а новое сформированное наукой образование – ЧМС, в которых человек-оператор, обладающий определенными свойствами субъекта трудовой деятельности, играет роль не меньшую, чем машина [4, 5].

Человеко-машинной системе, как и любой системе, свойственно проходить стадии эволюции [6].

Рассмотрим эволюцию человеко-машинных систем от применения машин и орудий ручного труда, когда энергетика человека является основой энергетика ЧМС, до ЧМС-автомата. Общая схема эволюции представлена на рисунке 1. Можно выделить, по крайней мере, четыре этапа развития ЧМС с последовательным сдвигом энергетика в сторону механической подсистемы, где человек-оператор ведет управление механической подсистемой. Здесь же приведен и пятый этап эволюции, когда ЧМС представляет собой автомат (конечный автомат), и функции оператора сводятся к сервисным работам. Строго говоря, последний вариант может быть разделен на

два подварианта: при первом подварианте человек-оператор не участвует в производственной работе, но присутствует в составе ЧМС на рабочем месте на случай сбоев в технологическом процессе (автоматизированная ЧМС); второй подвариант не предусматривает присутствия человека-оператора на рабочем месте в ЧМС, функции его сводятся к периодическому сервису (ЧМС – конечный автомат).



варианты 1-4- ЧМС с управляемой механической подсистемой;  
 вариант 5 - ЧМС-автомат (оператор обслуживает механическую систему)

Рисунок 1 – Эволюция ЧМС

Рассмотрим теперь некоторые энергетические соотношения в применении к человеку-оператору в ЧМС [5].

Общий расход энергии  $a$  организма оператора можно представить в

виде следующей суммы:

$$\overline{a} = a_{c.o} + a_{akt} = a_{c.o} + a_{\Gamma} + a_c + a_u = a_y + a_u \quad (1)$$

где  $\overline{a_y} = a_{c.o} + a_{\Gamma} + a_c$  – энергозатраты организма на функции управления исполнителем;

$\overline{a_{c.o}}$  – энергозатраты на самообслуживание организма;

$\overline{a_{akt}}$  – энергозатраты на активную деятельность оператора;

$\overline{a_{\Gamma}, a_c, a_u}$  – энергозатраты организма на выполнение функций генератора, стабилизатора и исполнителя сигналов управления соответственно.

Можно ввести коэффициент, характеризующий работоспособность оператора по энергетическому критерию:

$$C_p = \frac{a_{akt}}{a_{c.o}} \quad (2)$$

Если  $\overline{a_{доп}}$  – допустимая по условиям сохранения необходимых функциональных данных величина расхода энергии оператором, то можно записать:

$$\overline{a} = a_{c.o} + a_{akt} = a_{c.o}(1 + C_p) \leq a_{доп} \quad (3)$$

или в безразмерной форме:

$$\overline{\bar{a}} = \overline{\bar{a}_{c.o}} + \overline{\bar{a}_{акт}} = \overline{\bar{a}_{c.o}}(1 + C_p) \leq 1,$$

где

$$\overline{\bar{a}_{c.o}} = \frac{a_{c.o}}{a_{доп}},$$

$$\overline{\bar{a}_{акт}} = \frac{a_{akt}}{a_{доп}}$$

Далее, если  $W$  - выходной результат работы ЧМС за время  $t$ ,  $\omega$  – полученный в единицу времени результат воздействия на окружающую среду (в условных единицах, определяемых характером воздействия), то

$$\overline{\omega} = \frac{W}{t} \quad (4)$$

Функции управления в общем виде складываются из операций получения информации по каналам обратной связи, ее переработки в сигналы воздействия на исполнителя (другая форма информации) и передачи этих сиг-

налов на вход исполнителя. Тогда, если предположить, что результат *co* работы человека пропорционален общему количеству переработанной информации *i*, то

$$\overline{\omega} = C_1 i,$$

где  $\overline{C_1}$  – коэффициент пропорциональности.

В случае предельно правильных безошибочных действий оператора за единицу времени может быть переработан некоторый максимум информации  $\overline{i_o}$  и получен максимально возможный для организма результат  $\overline{\omega_o}$ :

$$\overline{\omega_o} = C_1 \overline{i_o} \tag{5}$$

откуда

$$\overline{C_1} = \frac{\overline{\omega_o}}{\overline{i_o}}, \quad \text{и} \quad \overline{\omega} = \overline{\omega_o} \overline{i} \tag{6}$$

где  $\overline{i} = \frac{i}{i_o}$  – коэффициент выполнения функций управления, характеризующий степень правильности действий человека-оператора по отношению к предельно возможным для его организма.

В зависимости от квалификации оператора получаем неравенство

$$\overline{0} < \overline{i} < \overline{1} \tag{7}$$

Из приведенных простых построений можно сделать следующий вывод. В случае управляемого человеком-оператором технического средства общая задача эволюции системы представляется в форме двух частных, непосредственно не связанных между собой задач: технической задачи – расширения функциональных возможностей и повышения энерговооруженности  $\overline{N_o}$  технической подсистемы как звена-исполнителя и технико-физиологической задачи – придания технической подсистеме – машине комплекса свойств, обеспечивающих выполнение человеком-оператором расчетных функций управления (переработки информации  $\overline{i_o}$ ) ценой минимально возможных энергозатрат на управление  $\overline{a_y}$ . Поскольку пределом снижения  $\overline{a_y}$  является энергия самообслуживания организма  $\overline{a_{c.o}}$ , т.е. когда

$\overline{a_r = a_c = 0}$  и  $\overline{a_y = a_{c.o}}$  обе частные задачи можно представить в виде двух требований:

$$\overline{N_o \rightarrow \infty} \text{ и } \overline{a_y \rightarrow a_{c.o}} \text{ при } \overline{\bar{t} = 1} \quad (8)$$

Рассмотрим, наконец, эволюцию технического средства в направлении повышения энергонасыщенности и снижения энергозатрат оператора на управление с повышением надежности технологического процесса и снижения уровня сбоев.

В качестве примера используем развитие конструкций базовых моделей зерноуборочных комбайнов за последние почти 50 лет. В таблице 1 приведены основные параметры отечественных зерноуборочных комбайнов СК-3, СК-4, СК-4М, СК-5 «Нива», «Дон-1500» (без разновидностей и сопутствующих модификаций) и направления дооборудования последних моделей техническими средствами дальнейшего совершенствования системы управления. В этой же таблице приведено дополнительное оборудование (или его отсутствие), устанавливаемое на комбайне, которое позволяет сократить энергозатраты оператора и тем повысить технологическую надежность процесса уборки. Величина примерного уровня надежности технологического процесса получена на основании обобщения результатов испытаний на зональных МИС, многочисленных литературных источников, длительных наблюдений работы комбайнов в производственных условиях [7, 8].

Таблица 1 – Основные параметры базовых моделей отечественных зерноуборочных комбайнов и оценка надежности технологического процесса

№ вар.	Марка комбайна	Год выпуска	Основные параметры комбайна и направления их изменения в отношении предшествующей модели				Дополнительное оборудование по управлению технологическим процессом	Управление технологическим процессом	Примерный уровень нарушений в технологическом процессе
			мощность двигателя, л.с.	диаметр молотильного барабана, мм	угол обхвата деки, град.	длина соломотряса, мм			
1	СК-3	1956-1963	65	550	115	2660	Нет	Оператор, 100%	0,30-0,35
2	СК-4	1963-1965	75 Увеличена	550	115	3440 Увеличена	То же	То же	0,30
3	СК-4М	1965-1971	87 Увеличена	550	146 Увеличен	3400	«-«	«-«	0,30
4	СК-5 «Нива»	С 1971 по настоящее время	100 Увеличена	650 Увеличен	146 Увеличен	3400	Указатель потерь зерна (УПЗ), регулируемый вариатор	Оператор + УПЗ	0,20 (возможный)
5	«Дон 1500»	С 1982 по настоящее время	220 Увеличена	800 Увеличен	126	4050 Увеличен	УПЗ, система сигнализации рабочих органов	Оператор + УПЗ + система сигнализации	0,10-0,15 (возможный)
6	«Дон»	Перспектива 2002-2003	220	800	126	4050	УПЗ, система сигнализации, бортовой процессор	Оператор + бортовой процессор	0,08-0,1 (расчетный)
7	«Дон»	Перспектива 2005	250 Увеличена	800	126	4050	Система автоматизации	Бортовой процессор, оператор	0,05 (расчетный)



Из таблицы 1 видно, что в комбайнах, выпускаемых в недалеком прошлом, при отсутствии каких бы то ни было приборов и оборудования по управлению качественными параметрами технологического процесса (это основные параметры технологического процесса, но не весь процесс уборки хлебов) оператор-комбайнер только своим опытом и своей квалификацией обеспечивал надежность технологического процесса и отвечал за все его параметры. В сочетании с неразвитостью параметров технической структуры механической подсистемы (короткий соломотряс, относительно маломощный двигатель) не удавалось обеспечить высокую надежность технологического процесса. При этом затраты энергии оператора-комбайнера (по современным представлениям и определениям, в те времена, как известно, таких оценок просто не существовало) по управлению первыми тремя моделями машин были значительны и, по-видимому, существенно превосходили величину  $\sqrt{a_{\text{доп}}}$  (на этих машинах к тому же не было сколько-нибудь нормального рабочего места). В последующих моделях, когда за счет интенсификации рабочих органов и повышения энергонасыщенности, а также введения контрольных приборов начала решаться задача повышения устойчивости технологического процесса в механической подсистеме, это привело к высвобождению энергии оператора-комбайнера, переориентации его на решение задачи программирования выполнения задания (схемы 3 и 4 рисунок 1). Варианты 6 и 7 таблицы 1 направлены на повышение уровня автоматизации и, следовательно, приближение реализации схемы 5 в эволюционной системе (рисунок 1) [9, 10].

Таким образом, с помощью приведенных соображений можно было бы оценить эволюцию и других средств механизации, например, тракторов. Однако эволюция этих технических средств идет весьма медленно, за исключением, быть может, машин МТЗ и «Кировского завода», где эволюция за последние 50 лет пока что охватывает внешний вид трактора (МТЗ-1522, К-744) и условия работы в кабине. Эволюция прицепных сельхозма-

шин отечественного производства если и имеет место, то, в основном, заключается в адаптации рабочих органов.

#### Литература

1. Экологизация агроинженерной сферы как результат деятельности технических средств в растениеводстве, отрицательно влияющих на здоровье человека / Липкович И.Э., Никитченко С.Л., Петренко Н.В., Егорова И.В., Жолобова М.В. // Вестник аграрной науки Дона. - 2021. - № 1 (53). - С. 70-77.
2. Безопасность человеко-машинных систем в АПК / Н.И. Шабанов, И.Э. Липкович, А.В. Рамзаев, А.В. Семенихин, Е.А. Таран, А.В. Пикалов, Н.В. Петренко, А.Л. Пonomаренко, С.М. Пятикопов, М.Г. Федорищенко, И.А. Шишина; под ред. Н.И. Шабанова // Сельскохозяйственные машины: теория, расчёт, конструкция, использование. - Т. 11. - Ч. 2. - Зерноград: АЧГАА, 2012. - 452 с.
3. Influence of the human-machine systems (HMS) operation mode on the increase of grain-harvesting aggregates productivity / I.E. Lipkovich, I.V. Egorova, N.V. Petrenko, A.S. Gayda // Journal of mechanical engineering research and developments. - 2019. - № 3. - P. 10-14.
4. Тайкина, И.А. Экологизация производства как фактор, влияющий на здоровье и благополучие людей / И.А. Тайкина // Непрерывное благополучие в мире: сборник науч. тр. Междунар. науч. симпозиума. - Томск, 2016. - С. 130-133.
5. Гарантии и компенсации за условия труда агропромышленного комплекса / Липкович И.Э., Петренко Н.В., Егорова И.В., Пятикопов С.М., Пикалов А.В., Чепурина Е.Л. // Учебное пособие для вузов. – Зерноград, 2020.
6. Курков, А.А. Гигиена окружающей среды. Характер воздействия химического загрязнения на окружающую среду и на здоровье человека / А.А. Курков // Аллея науки. - 2018. - № 9 (25). - С. 326-329.
7. Воробейчик, Е.А. Экологическое нормирование технических загрязнений наземных экосистем / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. - Екатеринбург: УИФ "Наука", 2012. - С. 280.
8. Chaffin, D.V. Occupational Biomechanics / edited by Don B. Chaffin, Gunnar B. J. Andersson, & Bernard J. Martin. - Wiley, New York, 1999. - P. 579-584.
9. Machine units as the objects of technical service / Redreev G.V., Podorvanov S.G., Laskin A.S., Skusanov I.V. // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. T. 2. № 1. С. 33-40.
10. Caplan, R.D., Cobbs, S., French, J.K.P., Harrison, R V., Pinnean, S.R., Job demands and worker health; Washington D<sub>1</sub>C:U.S.Government Printing Office, 1975

#### References

1. Jekologizacija agroinzhenernoj sfery kak rezul'tat dejatel'nosti tehniceskikh sredstv v rastenievodstve, otricatel'no vlijajushhih na zdorov'e cheloveka / Lipkovich I.Je., Nikitchenko S.L., Petrenko N.V., Egorova I.V., Zholobova M.V. // Vestnik agrarnoj nauki Dona. - 2021. - № 1 (53). - S. 70-77.
2. Bezopasnost' cheloveko-mashinnyh sistem v APK / N.I. Shabanov, I.Je. Lipkovich, A.V. Ramzaev, A.V. Semenihin, E.A. Taran, A.V. Pikalov, N.V. Petrenko, A.L. Ponomarenko, S.M. Pjaticopov, M.G. Fedorishhenko, I.A. Shishina; pod red. N.I. Shabanova // Sel'skoho-zajajstvennye mashiny: teorija, raschjot, konstrukcija, ispol'zovanie. - T. 11. - Ch. 2. - Zernograd: AChGAA, 2012. - 452 s
3. Influence of the human-machine systems (HMS) operation mode on the increase of grain-harvesting aggregates productivity / I.E. Lipkovich, I.V. Egorova, N.V. Petrenko, A.S.

Gayda // Journal of mechanical engineering research and developments. - 2019. - № 3. - R. 10-14.

4. Tajkina, I.A. Jekologizacija proizvodstva kak faktor, vlijajushhij na zdorov'e i blagopoluchie ljudej / I.A. Tajkina // Nepreryvnoe blagopoluchie v mire: sbornik nauch. tr. Mezhdunar. nauch. simpoziuma. - Tomsk, 2016. - S. 130-133.

5. Garantii i kompensacii za uslovija truda agropromyshlennogo kompleksa / Lipkovich I.Je., Petrenko N.V., Egorova I.V., Pjatikopov S.M., Pikalov A.V., Chepurina E.L. // Uchebnoe posobie dlja vuzov. – Zernograd, 2020.

6. Kurkov, A.A. Gigiena okruzhajushhej sredy. Harakter vozdeystvija himicheskogo zagriznenija na okruzhajushhuju sredu i na zdorov'e cheloveka / A.A. Kurkov // Alleja nauki. - 2018. - № 9 (25). - S. 326-329.

7. Vorobejchik, E.A. Jekologicheskoe normirovanie tehniceskikh zagriznenij nazemnyh jekosistem / E.L. Vorobejchik, O.F. Sadykov, M.G. Farafontov. - Ekaterinburg: UIF "Nauka", 2012. - S. 280.

8. Chaffin, D.B. Occupational Biomechanics / edited by Don B. Chaffin, Gunnar B. J. Andersson, & Bernard J. Martin. - Wiley, New York, 1999. - R. 579-584.

9. Machine units as the objects of technical service / Redreev G.V., Podorvanov S.G., Laskin A.S., Skusanov I.V. // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2017. T. 2. № 1. S. 33-40.

10. Caplan, R.D., Cobbs, S., French, J.K.P., Harrison, R V., Pinnean, S.R., Job demands and worker health; Washington D1C:U.S.Government Printing Office, 1975