К вопросу о выборе рациональных средств повышения производительности труда посредством эргономического сопровождения в ходе комплексной подготовки производства

On the Issue of Choosing Rational Means of Increasing Labor Productivity Through Ergonomic Support During Complex Production Preparation

DOI 10.12737/2587-9111-2022-10-4-32-37 Получено: 12 июня 2022 г. / Одобрено: 1 июля 2022 г. / Опубликовано: 29 августа 2022 г.

Логвинов С.И.
Д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»
Россия, 300026, г. Тула, проспект Ленина, д. 125
e-mail: logvinovSI6@rambler.ru

Logvinov S.I.
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tolstoy Tula State Pedagogical University,
125, Lenina Prospekt, Tula, 300026, Russia
e-mail: logvinovSI6@rambler.ru

Логвинов С.С.
Д-р техн. наук,
АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»
Россия, 300034, г. Тула, улица Демонстрации, д. 36
e-mail: logwinovss@icloud.com

Logvinov S.S.
Doctor of Technical Sciences,
Joint Stock Company "Central Design Bureau of Hardware Engineering"
36, Demonstratsii St., 36, Tula, 300034, Russia
e-mail: logwinovss@icloud.com

Аннотация
Работа посвящена разработке методических подходов к выбору путей повышения производительности труда за счет эргономического сопровождения в ходе комплексной подготовки производства. Рассмотрены отдельные мероприятия по организации труда на предприятии с возможным совершенствованием нормирования труда, оценке и подготовки кадров, выбора направлений автоматизации отдельных операций. Проанализированы подлежащие оценке характеристики исполнителей (операторов) при профотборе и их использованию при моделировании процессов взаимодействия операторов с объектом управления в определенных условиях производственной среды, требований к качеству выполняемых операций. Субъективная и физическая среда снижает или повышает показатели качества деятельности оператора, и их учет совместно с индивидуальными особенностями операторов требует методики на основе системного анализа всех факторов, влияющих на производительность труда. Приведены результаты математического моделирования на основе экспериментальных данных, учитывающих комплексный характер факторов, действующих в производственной системе.

Ключевые слова: производительность труда, эргономическое сопровождение, профессионально важные качества операторов, факторы среды, рабочее место, системный анализ, моделирование взаимодействия в эргатической системе, нормирование труда, профотбор, утомляемость оператора, автоматизация операций.

Abstract
The work is devoted to the development of methodological approaches to the choice of ways to increase labor productivity through ergonomic support during complex production preparation. Separate measures for the organization of labor at the enterprise with possible improvement of labor rationing, assessment and training of personnel, the choice of directions for automation of individual operations are considered. The characteristics of performers (operators) to be evaluated during professional selection and their use in modeling the processes of interaction of operators with the control object under certain conditions of the production environment, requirements for the quality of operations performed are analyzed. The subjective and physical environment reduces or increases the quality indicators of the operator's activity and their accounting together with the individual characteristics of the operators requires a methodology based on a systematic analysis of all factors affecting labor productivity. The results of mathematical modeling based on experimental data, taking into account the complex nature of factors operating in the production system, are presented

Keywords: labor productivity, ergonomic support, professionally important qualities of operators, environmental factors, workplace, system analysis, modeling of interaction in an ergatic system, labor rationing, professional selection, operator fatigue, automation of operations.

Повышение производительности труда в современной экономике связано необходимостью повышения экономической эффективности производства при сокращении трудовых ресурсов, внедрении новых технологий и современного оборудования, повышении требований к качеству человеческого капитала. Для реализации возникающих проблем решаются такие задачи организации труда, как нормирование труда, внедрение научной организации труда, совмещение профессий, специальностей, функций, организация рабочих мест и их обслуживание с обеспечением ресурсами для выполнения производственного задания, совершенствование соответствующих режимов труда, подбор и подготовка кадров, наделение их конкретными функциональными обязанностями и ряд других [1].

Повышение эффективности организации труда предполагает необходимость при комплексной подготовке производства учитывать разработанную технологом последовательность выполнения операций, возможности оборудования, оснастки, инструмента на данном предприятии, необходимые квалификационные требования к исполнителю операций. Кроме того, необходимо учитывать и временные параметры исполнения отдельных операций для выполнения всего технологического процесса в заданный срок.

Особый интерес представляют технологические процессы (ТП), связанные с выполнением ряда взаимосвязанных операций, выполняемых группой исполнителей (коллективное рабочее место), например, наладочных или контрольных работ, а также при поточном методе организации работ.

Для повышения эффективности организации ТП одним из направлений может быть применение эргономического сопровождения организации труда (ЭСОТ) в ходе комплексной подготовки производства. Компоненты ЭСОТ могут содержать следующие направления: эргономическую оценку технологического оборудования, применяемого при выполнении ТП, алгоритмический анализ выполняемых действий как отдельным исполнителем операций, так и совместными при организации коллективного рабочего места, профессиональный отбор при выявлении проблем по безошибочности выполнения операций или их временных параметров при наличии жестких ограничений, научную организацию труда. Кроме того, надо учитывать, что реализация производственного процесса осуществляется в конкретных организационно-технических условиях, связанных с особенностями рабочей среды, в которых осуществляется данный технологический процесс.

Учитывая, что перечисленные направления ЭСОТ преследуют одну и те же цель — повышение производительности труда за счет сокращения времени на операции, обеспечение безошибочности их выполнения, появляется необходимость объединить их в один комплекс, подлежащий анализу. В связи с вышеуказанными направлениями анализа, рассмотрение мероприятий по ЭСОТ и поиска путей повышения производительности труда, требует системного подхода.

С этих позиций необходимо рассматривать эргатическую систему «Оператор-техника-рабочая среда» (ЭСОТРС), в которой центральное место занимает операционная деятельность оператора и которой присущи важные свойства:

- характеристики эргатического элемента ЭС ОТРС $a = \{a_i\}$, $i = 1, k$ определяются профессионально-значимыми качествами (ПВК) оператора в виде входных переменных системы:

$$\{a_i\} = (x_1, x_2, ..., x_{k1}) \quad x_{k1} \in X_{k1}, \qquad (1)$$

где X_{k1} — множество ПВК оператора характерных для данной системы.

- характеристики рабочей среды $b = \{b_i\}$, $i = 1, k_2$ определяются вектором переменных, характеризующих рабочую среду:

$$\{b_i\} = (x_1, x_2, ..., x_{k2}) \quad x_{k2} \in X_{k2}, \qquad (2)$$

где X_{k2} — множество параметров, определяющих состояние рабочей среды, применительно к данным организационно-техническим условиям.

- характеристики конструкции рабочего места (РМ) $g = \{g_i\}$, $i = 1, k_3$ определяются вектором измеряемых переменных:

$$\{g_i\} = (x_1, x_2, ..., x_{k3}) \quad x_{k3} \in X_{k3}, \qquad (3)$$

где X_{k3} — множество параметров, определяющих параметры РМ.

Надо отметить, что множества X_{k1}, X_{k2}, X_{k3} в зависимостях (1, 2, 3) обладают важными свойствами пересечения:

$X_{k1} \cap X_{k3}$ — по некоторым элементам, являющимся совместными характеристиками психофизических, антропометрических особенностей оператора и соответствующих параметров РМ;

$X_{k1} \cap X_{k2}$ — по элементам множеств, характеризующих переносимость оператором воздействия факторов рабочей среды и соответствующего уровня параметров рабочей среды;

$X_{k2} \cap X_{k3}$ — по элементам множеств, характеризующих рабочую среду и изменение факторов среды (температуры, влажности, загазованности и т.п.) вследствие функционирования системы при выполнении различных задач в соответствии с предназначением.

Эти свойства позволяют при анализе совместного влияния указанных факторов системы связывать ПВК операторов, особенности конструкции РМ, характеристик рабочей среды между собой и по их значимости принимать решения по повышению производительности и качества ЭСОТРС.

Для совместного влияния указанных факторов на показатели качества деятельности (ПКД) исполнителей целесообразно применять методы математического моделирования для получения зависимостей совместного влияния факторов в виде функционала (4):

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_{k1}, x_{k+1}, ..., x_{k2}, x_{k2+1}, ..., x_{k3}), \quad (4)$$

где $x_1, x_2, ..., x_{k3}$ — те же факторы, что в зависимостях (1–3).

Оценка условий моделирования ЭСОТРС показала, что основными трудностями являются: большое количество воздействующих факторов на эффективность системы в целом, синергизм и реципрокность факторов рабочей среды при комплексном их воздействии на систему, возможная нелинейность модели, необходимость исключения субъективизма при выборе параметров модели, ограниченные возможности получения большого объема экспериментальных данных для последующего моделирования.

Для преодоления этих трудностей и расчета параметров функционала (4) была использована модернизированная программа моделирования сложных систем, основанная на многорядных алгоритмах метода группового учета аргументов (МГУА) с участием исходных данных на каждом ряду селекции, перебором квадратичных опорных функций для конструирования полиномиальной функции Колмогорова — Габора [2].

Получение таких моделей для проектируемой или исследуемой производственной системы позволяет определять нормы труда при их нормировании с учетом указанного комплекса факторов и параллельно выявлять те ПВК, которые ограничивают эффективность системы ОТРС, формировать требования к профотбору, прогнозировать изменение показателей производительности во времени, формировать рекомендации к организации ТП, РМ.

Методика системного анализа ЭСОТРС отрабатывалась в ходе экспериментальных исследований [3, 4]. Для получения экспериментальных данных по оценке системы ОТРС привлекалась группа, обученная выполнению алгоритма и являющаяся по своему составу социально-однородной, особенности операторов оценивались на основе соответствующих бланковых и инструментальных тестов. Оценка ПВК операторов определила интервалы варьирования их индивидуальных особенностей, к которым были отнесены: сила нервной системы со стороны возбуждения и торможения, уравновешенность, подвижность нервных процессов, тревожность, эмоциональная устойчивость, показатели тремора, физической компоненты волевых свойств, помехоустойчивости к звуковым раздражителям, переключаемости внимания, начальной утомляемости и антропометрические характеристики [5, 6, 7, 8]. Выбор ПВК операторов обосновывался с точки зрения пересечения свойств управляемого объекта и самих операторов. В связи с тем, что параметры технической части в ходе эксперимента оставались по известным причинам неизменными, их изменение оценивалось по сопряженным характеристикам операторов, т.е. по их антропометрическим различиям. Также взаимодействие с технической части системы и их вариабельность может быть связано также с условиями исполнения операционных алгоритмов и изменением параметров рабочей среды. Надо учитывать также, что неблагоприятные факторы рабочей среды воздействуют на ПКД оператора снижая их, однако это воздействие носит сложный характер из-за стабилизирующей и компенсирующей физико-гигиенических функций оператора, кроме того, может наблюдаться инерционность их воздействия [9, 10].

Условия проведения эксперимента характеризовались:

- в ходе эксперимента неизменными факторами рабочей среды являлись: освещенность, движение воздуха, шумовое воздействие;
- изменяемыми факторами рабочей среды являлись: температура воздуха (16...40° С), влажность воздуха (20...96%), загазованность вдыхаемой воздушной смеси (0...122 мг/м^3 по СО), барометрическое давление воздуха (739...750 мм рт. ст.).

Коэффициент загруженности операторов в ходе эксперимента изменялся от 0,75...1,0. В целом, количество учитываемых эргономических факторов для определения функционала (4) на основе применения МГУА, составляло 20.

Эксперимент по оценке показателей деятельности преследовал цель оценки изменения их значений в зависимости от различий испытуемых по таким параметрам, как время выполнения операций и безошибочность их выполнения для различных устройств, требующих считывание показаний, определенной настройки (ручной установки заданных значений). Как показал анализ, разброс времени выполнения операций при различной непрерывной работе 5, 10, 20, 40 и 60 минут составляет соответственно в процентах: 20, 22,7, 31 и 18. Причем отклонения у испытуемых в меньшую сторону от рекомендованного времени в процентах соответственно 4,11, 2, 20, 0, а в большую, т.е. превышение рекомендованного значения времени операции, 16, 11,4, 11, 17. Это позволяет оценить врабатываемость в периоды непрерывной работы, определить группы, которые в заданных производственных условиях изменения температуры, загазованности, влажности при определенном атмосферном давлении могут своевременно выполнять заданные операции. Так как все участники прошли предварительное обучение и в благоприятных условиях укладывались в нормативы, то возможно сделать вывод и о изменении ПКД в зависимости от комплексного влияния факторов рабочей среды, различий ПВК исполнителей. Как указывалось ранее, результаты эксперимента использованы для построения математических моделей на основе МГУА. Отбор в модели существенных факторов проводился по помехоустойчивым алгоритмам МГУА, позволяющего объективно отбирать существенные факторы, влияющие на ПКД исполнителей на малых выборках [2]. Полученные модели позволили оценить влияние различных факторов на своевременность выполнения операций в зави-

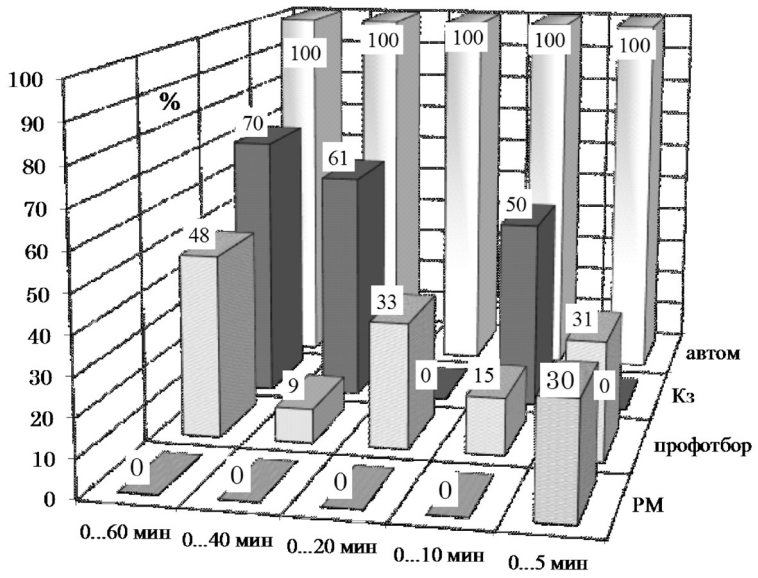

Рис. 1. Изменение своевременности выполнения алгоритма за счет эргономических мероприятий

симости от времени непрерывной работы, максимальные значения которых для отдельных операторов, представлены на рис. 1.

Как видно из диаграммы, антропометрические характеристики исполнителей значительно влияют на первом этапе, затем происходит адаптация и влияние их несущественно. Возможности изменения ПКД за счет профотбора для различных периодов работы может достигать 48%. Темповая напряженность и связанный с ней коэффициент загруженности операций в заданных конкретных организационно-технических условиях и рабочей среде может достигать 70%, что, как приводилось ранее, вызвано изменением времени выполнения операций у конкретных испытуемых. Автоматизация операций, позволяющая решить проблему своевременности выполнения различных участков алгоритмов операций связана естественно, с техническими возможностями предприятия и соответствующими материальными затратами. Кроме того, при автоматизации отдельных участков алгоритмов деятельности надо учитывать и надежность внедренных в ТП устройств.

Профотбор позволяет повысить своевременность выполнения операций в заданные промежутки времени. Конкретные значения наиболее значимого влияния отдельных факторов по результатам исследования математических моделей приведены на рис. 2, 3. В качестве существенных представлены показатели уровня возбуждения, торможения, их уравновешенности, подвижности нервных процессов, помехоустойчивости, тревожности, эмоциональной устойчивости, волевые свойства.

Осуществляя отбор исполнителей операций можно руководствоваться рекомендованными зна-

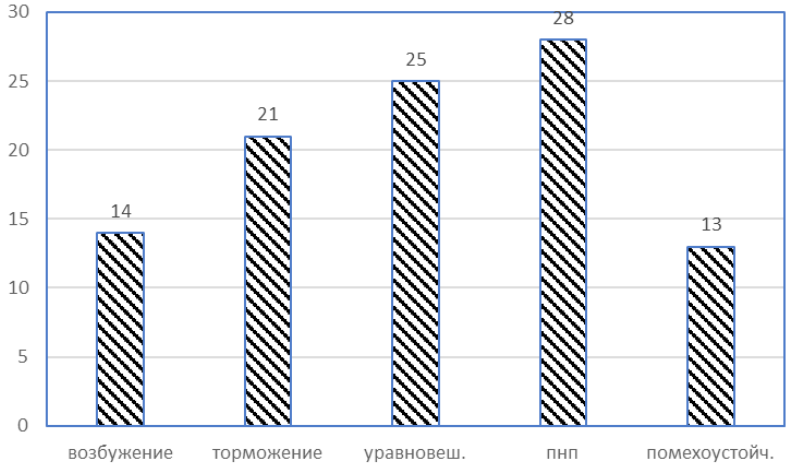

Рис. 2. Сравнительные возможности повышения эффективности ЭС ОТРС за счет профессионального отбора

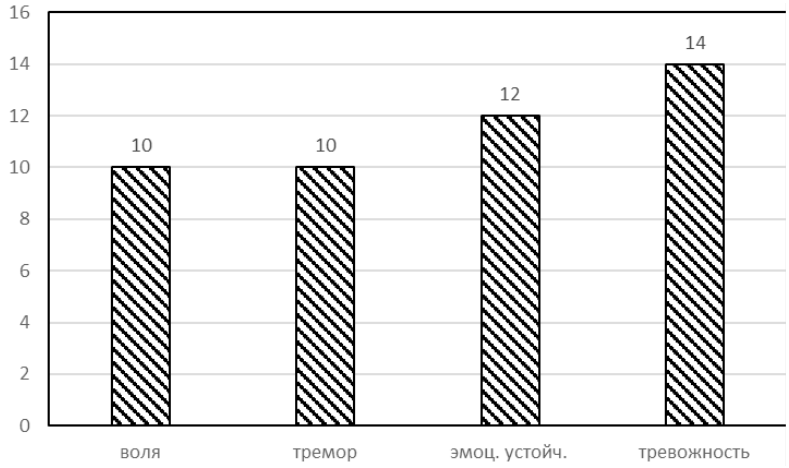

Рис. 3. Сравнительные возможности повышения эффективности ЭС ОТРС за счет профессионального отбора

чениями ПВК по результатам исследований функционала (4), тем самым повысить качество ЭСОТРС.

Отдельную задачу при подобных исследованиях необходимо решать об оценке влияния условий выполнения заданных операций на здоровье, физическую, умственную, эмоциональную утомляемости операторов, необходимости определения времени на отдых для достижения устойчивой работоспособности. Одним из путей анализа утомляемости является использование изменения резерва выносливости сердечно-сосудистой системы [10].

С позиций миди-эргономики возможен также учет особенностей работы исполнителей в коллективе (бригаде) и оценка «узких мест» на основе структурно-логического анализа, что особенно актуально в системах циклического типа. В этом случае для анализа деятельности операторов в составе бригады (экипажа, коллектива) необходимо предварительно провести структурно-логический анализ для определения сложности алгоритмов работы каждого члена бригады. Алгоритмы каждого участника оцениваются по количеству афферентных, эфферентных и логических условий, с оценкой сложности алгоритмов по показателям: стереотипности, логической сложности, эмоциональной напряженности, скорости переработки информации и др. При этом определяется «узкое место», или наиболее загруженное рабочее место, которое будет в основном определять временные и надежностные ПКД коллектива [11, 12].

Литература

1. *Переверзев М.П., Логвинов С.И., Логвинов С.С.* Организация производства на промышленных предприятиях. М.: ИНФРА-М, 2006. 331 с
2. *Ивахненко А.Г., Степашко В.С.* Помехоустойчивость моделирования. Киев: «Наукова думка», 1985. 216 с.
3. *Шибанов Г.П.* Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. М.: Машиностроение, 1983. 263 с.
4. *Логвинов С.И., Логвинов С.С.* Проблемы оценки эффективности рабочих систем с учетом эргатического элемента Научная конференция научно-педагогических работников, аспирантов, магистрантов ТГПУ им. Л.Н. Толстого «Университет XXI века: научное измерение». 14–29 июня 2018 г. С. 288–291
5. *Логвинов С.И., Савина И.В.* Комплексный анализ формирования профессиональных качеств человеческого капитала // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2012. № 2–1. С. 311–316.
6. Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. Ч. 2 / Под ред. А.А. Крылова. Л.: ЛГУ, 1976. 160с.
7. *Дмитриева М.А., Крылов А.А., Нафтульев А.И.* Психология труда и инженерная психология. / Под ред. А.А. Крылова. Л.: ЛГУ, 1979. 224 с
8. *Елисеев О.П.* Практикум по психологии личности. изд. СПб.: Питер, 2002. 512 с.
9. *Голиков Ю.Я.* Концепции адаптивной автоматизации и подходы к человеку и технике для современных человеко-машинных комплексов / Ю.Я. Голиков // Психология адаптации и социальная среда: современные подходы, проблемы перспективы. 2007. С. 392–408.
10. *Логвинов С.И., Логвинов С.С., Лапин А.В., Покровский Ю.Ю.* Оценка надежности эргатического элемента в сложной системе, функционирующей в экстремальных условиях // Известия Тул ГУ. Технические науки. Вып. 1. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. С. 244–251.
11. *Зараковский Г.М.* Психофизиологический анализ трудовой деятельности. М.: Наука, 1966. 114 с.
12. *Суходольский Г.В.* Структурно-алгоритмический анализ и синтез деятельности. Л.: ЛГУ, 1976. 120 с.

References

1. Pereverzev M.P., Logvinov S.I., Logvinov S.S. *Organizaciya proizvodstva na promihshlennihkh predpriyatiyakh*.. M.: INFRA-M, 2006. — 331 p. (in Russian)
2. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. *Pomexoustojchivost` modelirovaniya. Kiev, «Naukova dumka», 1985* [Noise immunity of modeling. Kiev, “Naukova dumka”, 1985]. — 216 p. (in Russian)

3. Shibanov G.P. *Kolichestvennaya ocenka deyatel`nosti cheloveka v* of man-technology. Moscow: Mashinostroenie, 1983]. — 263 p. (in Russian)
4. Logvinov S.I., Logvinov S.S. *Problemy` ocenki e`ffektivnosti rabochix sistem s uchetom e`rgaticheskogo e`lementa Nauchnaya konferenciya nauchno-pedagogicheskix rabotnikov, aspirantov, magistrantov TGPU im. L.N. Tolstogo «Universitet XXI veka: nauchnoe izmerenie». 14 – 29 iyunya* [Problems of evaluating the effectiveness of working systems taking into account the ergatic element Scientific Conference of scientific and pedagogical workers, postgraduates, undergraduates of Tolstoy TSPU "University of the XXI century: scientific dimension"]. June 14–29, 2018. — pp. 288–291 (in Russian).
5. Logvinov S.I., Savina I.V. Complex analysis of the formation of professional qualities of human capital. "*Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ehkonomicheskie i yuridicheskie nauki*".[Izvestiya of the Tula state University. Economic and legal Sciences]. 2012. no. 2–1. pp. 311–316. (in Russian)
6. *Metodologiya issledovaniyj po inzhenernoyj psikhologii i psikhologii truda* part 2 / Edited by A.A. Krylov. — L.: LSU, 1976. — 160c (in Russian)
7. Dmitrieva M.A., Krylov A.A., Naftulyev A.I. *Psikhologiya truda i inzhenernaya psikhologiya. / Pod red. A.A. Krihlova* / Edited by A.A. Krylov — L.: LSU., 1979. — 224 p. (in Russian)
8. Eliseev O.P. *Praktikum po psikhologii lichnosti*. [Practicum on personality psychology]. ed. SPb.: *Piter* [Peter], Publ., 2002–512 p. (in Russian)
9. Golikov Yu.Ya. *Koncepcii adaptivnoyj avtomatizacii i podkhodih k cheloveku i tekhnike dlya sovremennihkh cheloveko-mashinnihkh kompleksov. /Yu.Ya. Golikov//Psikhologiya adaptacii i socialjnaya sreda: sovremennihe podkhodih, problemih perspektivih* -M.: Publishing House "Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences", 2007. — pp. 392–408 (in Russian)
10. Logvinov S.I., Logvinov S.S., Lapin A.V., Pokrovskij Yu.Yu., *Ocenka nadezhnosti e`rgaticheskogo e`lementa v slozhnoj sisteme, funkcioniruyushhej v e`kstremal`ny`x usloviyax — Izvestiya Tul GU. Texnicheskie nauki. Vy`p. 1 Ch. 2. — Tula: Izd-vo TulGU, 2011* [Evaluation of the reliability of an ergatic element in a complex system functioning under extreme conditions-Izvestiya] Tulgu. Technical sciences. Issue 1 H. 2. — Tula: TulSU Publishing House, 2011. — pp. 244–251 (in Russian)
11. Zarakovsky G.M. *Psikhofiziologicheskiyj analiz trudovoyj deyateljnosti*. — M.: Nauka, 1966. — 114 p. (in Russian)
12. Sukhodolsky G.V. *Strukturno-algoritmicheskiyj analiz i sintez deyateljnosti*. — L.: LSU, 1976. — 120 p. (in Russian)