

М.Ю. Рытов
В.В. Спасенников

Теоретико-прикладные вопросы отбора и подготовки операторов человеко-машинных комплексов в отечественной эргономике

Раскрыты основные критерии, этапы и направления профессионального отбора операторов систем «человек-машина-среда». Представлены математические модели оценки профессиональной пригодности, основанные на использовании последовательного отношения вероятностей и теории распознавания образов. Приведен подход к оценке эффективности профотбора с учетом точности, надежности и достоверности прогноза профпригодности операторов, обоснована возможность оценки профпригодности операторов и качества деятельности на рабочих местах по временным, точностным и вероятностным показателям. Рассмотрены современные тренажерные технологии, используемые в человеко-машинных комплексах военного и гражданского назначения.

Ключевые слова: человеко-машинные комплексы, эргономика, профотбор, профпригодность, тренажеры, математические модели, качество деятельности.

M.Yu. Rytov
V.V. Spasennikov

Theoretical and applied issues of selection and training of operators of human-machine complexes in domestic ergonomics

The main criteria, stages and directions of professional selection of operators of the "man-machine-environment" systems are revealed. Mathematical models of professional aptitude assessment based on the use of a sequential probability ratio and the theory of pattern recognition are presented. Given the approach to assessment of efficiency of professional selection, taking into account the accuracy, reliability and validity of the forecast of professional suitability of operators and the possibility of assessing the professional suitability of operators and the quality of the workplace for temporary tochnostyu and probabilistic indicators. Modern training technologies used in military and civil man-machine complexes are considered.

Keywords: human-machine complexes, ergonomics, professional selection, professional aptitude, simulators, mathematical models, quality of activity.

Введение

Проблема профессионального отбора и обучения операторов современных эргатических систем (человеко-машинных комплексов) связана с необходимостью решения целого ряда научно-практических задач обеспечения эргономической эффективности труда. Однако исследованиям эффективности деятельности профессионала как функции психофизиологических возможностей оператора для реализации безопасной, качественной и надежной работы в конкретных условиях эксплуатации систем «человек-машина-среда» уделяется явно недостаточное внимание (С.А. Багрецов, 1987, [5], Б.И. Беспалов, 2014, [7], В.А. Бодров, 2005, [9], И.М. Жданько, М.В. Найченко, В.Р. Осипов, Д.А. Абрашкин, 2018,

[16], В.В. Кобзев, 2005, [19], П.А. Корчемный, 2017, [22], Л.В. Маришук, 2016, [27], С.Ф. Сергеев, 2008, [29], А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, А.В. Пономарев, 2020, [31] и др.).

Эргономическая эффективность труда в процессе эксплуатации систем «человек-машина-среда» определяется внедрением комплекса научно-практических мероприятий профессионального отбора на основе критериев пригодности операторов по психофизиологическим показателям и обеспечением эффективного контроля качества подготовки операторов при работе на специальных тренажерах и в реальных условиях операторской деятельности. Рассмотрим результаты исследования отечественных эргономистов в сфере профессионального отбора и подготовки операторов с использованием тренажерно-имитационных

средств в человеко-машинных системах различного целевого назначения.

1. Принципы профессионального отбора и критерии профессиональной пригодности операторов по психофизиологическим показателям

Профессиональный отбор – это научно обоснованный допуск людей к определенному виду профессионального обучения и деятельности. Профотбор зависит от лимита времени, отпускаемого на обучение и адаптацию к деятельности, от наличия достаточного количества претендентов на рассматриваемую профессию, от уровня требований к надежности работы, от вероятности аварий и катастроф, от стоимости обучения. (В.А. Бодров, 2005, [9], П.А. Корчемный, 2017, [23], и др.)

В основе принятия экспертного решения в профотборе лежит оценка профессиональной пригодности. Профессиональная пригодность - это вероятностная характеристика, отражающая возможности человека в овладении какой-либо профессиональной деятельностью. В профотборе профессиональная пригодность может оцениваться по нескольким критериям: по медицинским показателям, в том числе по показателям физической подготовленности; по данным образовательного ценза или конкурсным экзаменам; с помощью психологического обследования (психологический отбор); с учетом некоторых показателей, отражающих социальное лицо претендента (социальный

отбор); с учетом достигнутого уровня профессиональной адаптации и др. (Л.В. Марищук, 2016, [27]).

Существует две классические задачи профотбора - отбор кандидатов из неограниченного контингента претендентов на ограниченное число специальностей (например, отбор в отряд космонавтов) и задача рационального распределения («профдифференциация») ограниченного контингента претендентов на ряд специальностей (например, распределение по профессиям молодых солдат в воинских подразделениях). [17, 24, 26, 28, 32 и др.]

Указанные задачи решаются путем применения процедур психологического тестирования и определения соответствия психологического профиля претендента профилю профессии. Степень соответствия определяет уровень профессиональной пригодности кандидата. [5, 13, 28, 36 и др.]

Эффективность профессионального отбора зависит от *трудности профессии* и от *цены ошибки* в случае неправильных действий оператора. Поэтому отбор эффективен при работе человека в экстремальных условиях. Это авиационно-космические системы, системы объектов военной техники и вооружений, системы управления динамическими объектами с быстротекущими процессами и т.д. [1, 2, 3, 11, 28 и др.]

В эргономической литературе выделяют четыре компонента (направления) профессионального отбора, представленные в табл.1 [2].

Таблица 1. Компоненты профессионального отбора в операторской и водительской деятельности

№ п/п	Компонент	Цель
1	Медицинский	Определение состояния здоровья на основе медицинских процедур – измерение уровня развития и сформированности организма человека и его отдельных функциональных систем
2	Психофизиологический	Учет конкретного функционального состояния оператора: -степень его усталости и работоспособности; -уровень подверженности стрессогенным факторам.
3	Педагогический	Оценка сформированности специальных знаний у оператора, развитости его конкретных умений и практических профессиональных навыков
4	Психологический	Выявление и оценка задатков и способностей оператора, его профессиональной направленности, интеллекта, надежности.

Как отмечает В.А. Толочек, количество видов (направлений) профессионального отбора может быть различным и определяется спецификой предстоящей деятельности [16].

В современных системах «человек-машина-среда» требуются повышенное внимание, быстрота и точность двигательных реакций и ряд других психофизиологических качеств. В

связи с этим особую актуальность приобретает специальный подбор людей, обладающих необходимым уровнем адаптационных возможностей организма к специфическим факторам среды [2, 5, 7, 23, 38 и др.].

Психофизиологический отбор является составной частью профессионального отбора, он направлен в первую очередь на выявление лиц, которые по профессиональным способностям и индивидуальным психофизиологическим качествам соответствуют конкретным требованиям их будущей профессиональной деятельности.

В целом ряде исследований показано, что эффективность отбора по психофизиологическим показателям требует высоких затрат, при

этом их окупаемость определяется точностью, надежностью и достоверностью прогноза профпригодности оператора. (К.Ю. Андросов, А.Н. Сударик, С.Н. Федотов, 2018, [2], Б.Н. Беспалов, 2014, [7], Л.В. Марищук, 2016, [27], В.А. Толочек, 2018, [36] и др.).

В наших и других исследованиях показано, что в процессе определения профессиональной пригодности к освоению большинства водительских и операторских специальностей используется трехэтапная процедура профессионального отбора. (С.А. Багрецов, 1987, [5], В.А. Бодров, 2005, [9], В.М. Герасимов, 1982, [13], И.М. Жданько, 2018,[16],В.В. Спасенников, 1992, [32] и др.).



Рис.1. Основные этапы профессионального отбора операторов

Первый этап – отбор по медицинским показателям, который проводится медицинскими учреждениями.

Второй этап - отбор по степени пригодности. В этом случае возможно формирование контингента трех групп: безусловно пригоден, условно пригоден и непригоден.

Третий этап - контрольный. На этом этапе

решаются вопросы планового контроля, проводимого с целью оценки психофизиологических показателей в динамике работоспособности, а также подтверждается правильность решения вопросов на первых двух этапах.

На рис. 1 видно, что профотбор вначале реализуется на первом этапе и продолжается на втором этапе. Второй этап, учитывая ком-

плексные свойства индивида, рассматривает его как специалиста.

При профотборе используются разные методы исследования: беседа, самоотчет, наблюдение, тестирование. Каждый из этих методов имеет преимущества и недостатки. Первые три метода требуют привлечения квалифицированных экспертов. С целью уменьшения влияния субъективного фактора при оценке специалиста (оператора) наиболее приемлемым является метод тестов, при этом валидные и надежные тестовые методики должны разрабатываться эргономистами и психологами, имеющими практический опыт профессиональной деятельности. (В.В. Спасенников, 1994, [33]).

С позиций макроэргономики, безопасности и охраны труда основными направлениями профотбора операторов являются физиологи-

ческое, психофизиологическое и профессиональное, которые представлены на рисунке 2.

Каждое из направлений можно представить рядом свойств, позволяющих оценить оператора в каждой конкретной ситуации. Физиологическую характеристику возможно наделить следующими свойствами: оценка чувствительности анализаторов оператора, оценка быстродействия, оценка выносливости, оценка утомляемости, оценка точности действий, оценка координации движений. Для психофизиологической оценки используется оценка памяти, оценка мышления, оценка скорости обработки информации, оценка психологической совместимости. Профессиональная оценка базируется на оценке профессиональных знаний и оценке рисков. [2, 14, 18, 21, 33 и др.].



Рис. 2. Основные направления профотбора с позиций макроэргономики, безопасности и охраны труда

Современные исследования в профотборе базируются на разработках в области когнитивных и личностных тестов. Главными

направлениями совершенствования отбора являются тестирование и обучение на тренажерах. В процессе тестирования внимание

уделяется в большей степени таким профессионально-важным качествам, как: переключение внимания, координация, эмоциональная устойчивость. Новыми являются исследования в области отбора для разрабатываемых перспективных систем, а также компьютерное адаптивное тестирование. Эргономические исследования базируются не только на расширении общих знаний о человеческих способностях и компетенциях и их влиянии на успешность деятельности операторов, но и на исследованиях новых путей измерения профессионально-важных качеств.

Профессиональную пригодность лиц, проходящих психофизиологический отбор, оценивают в соответствии с разработанными заранее критериями.

Наибольшее распространение получили четыре типа критериев, основанных на использовании следующих методов [2, 5, 13, 21, 32 и др.]:

- последовательного статистического отношения вероятностей;
- теории распознавания образов;
- корреляционного и регрессионного анализа;
- оценки профессиональных возможностей по результатам их деятельности непосредственно на рабочих местах.

Рассмотрим более подробно основные из упомянутых типов критериев [32].

Использование первого из них предполагает предварительное накопление информации о значениях показателей $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, характеризующих возможности индивидуумов. Для этого необходимо иметь две экспериментальные группы индивидуумов, которые соответствовали бы нашему пониманию пригодности (группа А) и непригодности (группа Б) их к данной деятельности. Накопление информации заключается в получении одномерных распределений вероятностей показателей для группы А

$$f_A^{(1)}(q_1), f_A^{(2)}(q_2), \dots, f_A^{(n)}(q_n),$$

и группы Б

$$f_B^{(1)}(q_1), f_B^{(2)}(q_2), \dots, f_B^{(n)}(q_n).$$

Информативность показателей можно оценить по критерию Пирсона χ^2 , а затем с помощью корреляционных матриц выявить взаимозависимость этих показателей и в случае ее наличия выбрать один из них, обладающий

наибольшей информативностью.

Дальнейшая процедура заключается в расчете диагностических коэффициентов (баллов), которые можно рассматривать как весовые коэффициенты показателей.

Диагностический коэффициент i -го показателя j -й градации вычисляют по формуле

$$D_j^i = l_g \frac{A_j^i N_B^i}{B_j^i N_A^i}$$

где A_j^i и B_j^i - частоты появления i -го показателя в j -й градации для групп А. и Б соответственно; N_B^i и N_A^i - общее число субъектов в каждой из групп, данные которых использовались при построении распределений для i -го показателя.

Подобный расчет проводят для всех градаций выбранных информативных показателей и составляют таблицу значений в зависимости от этих градаций [2].

Для определения порога пригодности (непригодности) необходимо заранее задаться допустимыми значениями ошибок 1-го и 2-го рода, которые численно могут быть представлены в виде вероятностей отбора «непригодного» кандидата (α) и отсева «пригодного» (β). В этом случае порог пригодности

$$P_A = \ln(1 - \beta) / \alpha,$$

а порог непригодности

$$P_B = \ln \beta / (1 - \alpha).$$

При установлении допустимых значений α и β следует учитывать возможные последствия участия непригодных лиц в работе, а также имеющее место соотношение между потребностью в специалистах и людскими ресурсами, из которых осуществляется выбор. Если из большого контингента требуется отобрать небольшое число лиц для дальнейшей работы, то можно принять $\alpha = \beta = 0,1$ или $0,05$.

Если окажется, что допуск «непригодного» кандидата к работе принесет больше вреда, чем отсев способного индивидуума выбирают разные значения для α и β (т. е. $\alpha \neq \beta$).

Полученные для каждой специальности критерии вместе с изложением организационно-методических форм проведения психофизиологического отбора приводятся в специальных инструкциях. В общих чертах методи-

ка определения профессиональной пригодности состоит в следующем. Для каждого индивидуума, проходящего психофизиологический отбор, находят количественные значения установленных заранее показателей. В соответствии со значениями этих показателей по таблице определяют значения диагностических коэффициентов, после чего для каждого индивидуума вычисляют алгебраическую сумму этих коэффициентов Π .

Если $\Pi > \Pi_A$, принимается решение о пригодности кандидата; если $\Pi < \Pi_B$, то кандидат непригоден к работе по данной операторской специальности, если $\Pi_B < \Pi < \Pi_A$, то для выбранных порогов для принятия решения о пригодности информации недостаточно.

Вторая группа критериев профессиональной пригодности, основанная на теории распознавания образов, отличается от других более строгим научным обоснованием системы оценок качества выполнения кандидатами заданий (тестов) в процессе психофизиологического отбора и порогов пригодности (непригодности) этих кандидатов к работе по данной специальности [32, 33, 34].

Использование этих критериев также требует предварительного накопления диагностической информации в соответствии с рекомендациями, изложенными выше.

Исходя из теории статистической проверки гипотез можно считать, что способности индивидуума характеризуются некоторой совокупностью значений показателей $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ в зависимости от того, превышает или не превышает рассчитываемый по этим показателям логарифм отношения правдоподобия

$$L(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) = \ln \frac{f_A(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)}{f_B(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)} \quad (1)$$

некоторую постоянную величину L_0 , выбираемую из условия обеспечения требуемых значений ошибок.

В выражении (1) $f_A(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ и $f_B(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ представляют условные плотности распределения совокупности показателей тестов $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ в каждой из групп. Если каждый из тестов имеет один показатель и показатели независимы, то

$$L(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n L_i(q_i) = \sum_{i=1}^n \frac{f_A^{(i)}(q_i)}{f_B^{(i)}(q_i)} \quad (2)$$

Где $L(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ алгебраическая сумма баллов, полученная кандидатом по результатам его работы с тестами; $f_A^{(i)}(q_i)$ и $f_B^{(i)}(q_i)$ - плотности распределения i -го показателя.

По аналогии с первым типом критериев логарифм отношения $f_A^{(i)}(q_i) / f_B^{(i)}(q_i)$ может быть назван диагностическим коэффициентом, или баллом i -го показателя.

Таким образом, кандидат считается пригодным для работы по данной специальности, если рассчитанный по результатам его работы суммарный балл $L \geq L_0$. Кандидат считается непригодным для работы по данной специальности, если $L \leq L_0$, где L_0 - пороговое значение суммарного балла для данной специальности.

Для получения значения L_0 необходимо по известным значениям $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ определить значения L для каждого испытуемого экспериментальных групп А и Б и построить эмпирические функции распределения значений суммарного балла в каждой группе. Эти функции используются для установления порогового значения L_0 из условий обеспечения

допустимых значений α и β .

Деление испытуемых на способных и неспособных к высокоэффективной работе по данной операторской специальности показано на рисунке 3.

При обосновании допустимых значений ошибок первого и второго рода необходимо в первую очередь установить допустимое значение наиболее критичной из них.

Например, если необходимо отобрать небольшое число лиц из большого контингента кандидатов и назначение на какую-либо должность недостойного кандидата может привести к существенному снижению эффективности системы, а отсеив подходящего кандидата не принесет большого ущерба, то наиболее критичной окажется ошибка первого рода. В этом случае в первую очередь следует выбирать значение α , которое должно быть достаточно малым. По значению α графическим путем определяют значения β и L_0 . Если полученные значения β и L_0 не удовлетворяют поставленной задаче, необходимо уточнить принятое ранее значение α .

В процессе отбора при обследовании больших контингентов лиц, могут быть установле-

ны два порога $L_0^{\dot{}}$ и $L_0^{\ddot{}}$, первый из которых соответствует минимальной вероятности отбора непригодного кандидата, а второй – минимальной вероятности отсева пригодного кандидата. Графически эти случаи представлены на рис. 3. Принимая α_{min} и β_{min} близкими к нулю, всех кандидатов, проходящих отбор, можно разделить на 3 группы:

лица, для которых $L \geq L_0^{\dot{}}$, относятся к кате-

гории пригодных к работе по данной специальности (область 1);

лица, для которых $L \leq L_0^{\ddot{}}$, относятся к категории непригодных к работе по данной специальности (область 2);

лица, для которых $L_0^{\ddot{}} < L < L_0^{\dot{}}$, могут рассматриваться в качестве резерва для пополнения группы пригодных кандидатов (область 3).

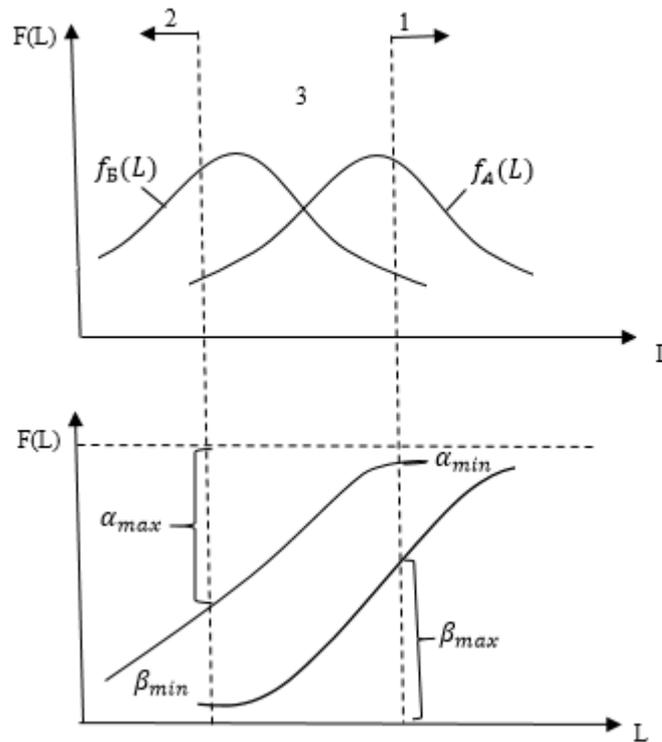


Рис. 3. Выбор пороговых значений при профотборе

Значения диагностических коэффициентов (баллов) находят в определенной последовательности. По результатам выполнения тестов лицами, явно пригодными и явно непригодными к работе по данной специальности, строят гистограммы плотности распределения, после чего проводят их сглаживание. Полученные плотности распределения i -го показателя теста в каждой из групп $f_A^{(i)}(q_i)$ и $f_B^{(i)}(q_i)$ являются исходными для вычисления значения баллов:

$$L_i(q_i) = \ln \left[f_A^{(i)}(q_i) / f_B^{(i)}(q_i) \right].$$

Значения функции $L_i(q_i)$ могут быть табулированы с любым шагом квантования, в результате чего получаются таблицы баллов для разных тестов. При сглаживании функций плотности распределения, построенных по

ограниченному статистическому материалу, когда возможны неточности, целесообразно исключать выпадающие точки как наиболее неточные части, чтобы не допускать необоснованного превышения (принижения) веса некоторых тестов над другими [32].

При применении критериев профессиональной пригодности, основанных на использовании методов корреляционного и регрессионного анализа, интегральная оценка результатов психологического обследования также определяется суммированием оценок выполнения заданий по отдельным тестам с учетом весовых коэффициентов, присвоенных каждому из них. Однако весовые коэффициенты в этом случае определяются из уравнения множественной регрессии, которое строится по результатам решения системы линейных уравнений на основе матрицы интеркорреляций, включающей в виде переменных по-

казателей наиболее информативных тестов и оценку профессиональной эффективности будущей водительской или операторской деятельности.

Как показано в наших исследованиях высокая достоверность результатов отбора операторов на рабочих местах при оценке профессиональной пригодности испытуемых может быть достигнута за счет использования и регистрации временных и точностных показателей качества деятельности [5, 13, 32].

После краткого разъяснения характера трудовой деятельности на рабочих местах кандидаты начинают выполнять свои функциональ-

ные обязанности. В дальнейшем через каждые 1-2 ч работы осуществляется контрольная запись значений выбранного показателя, характеризующего качество работы.

Полученные данные аппроксимируются экспоненциальными функциями (рис. 4) вида

$$Q = Q_{\text{пр}} - (Q_{\text{пр}} - Q_0)e^{-t/t_0}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – предельное значение этого показателя, характерное для идеально работающего оператора.

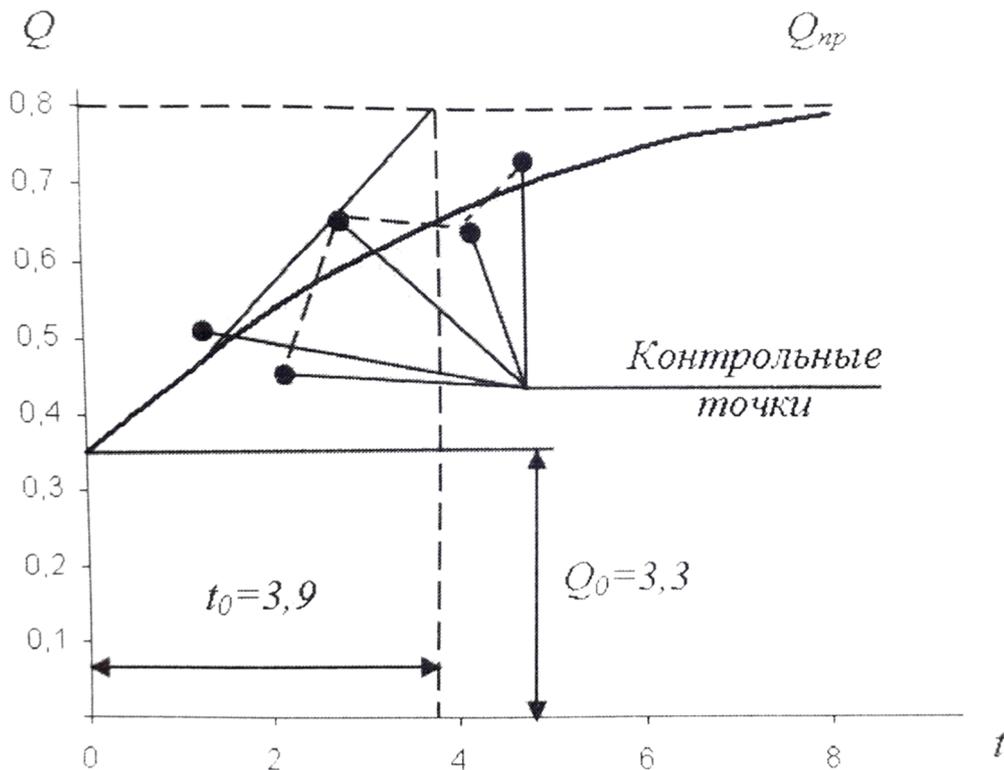


Рис. 4. Аппроксимация экспериментальных данных

После аппроксимации (графически и аналитически) определяют значения t_0 и Q_0 для каждого кандидата, а затем с учетом заранее выбранных значений $Q_{\text{пр}}$ и Q_3 (Q_3 – заданный уровень качества деятельности (подготовки)) – необходимое время для подготовки каждого из них по формуле

$$t_n = t_0 \ln[(Q_{\text{пр}} - Q_0)/(Q_{\text{пр}} - Q_3)]. \quad (4)$$

Профессиональную пригодность (непригодность) кандидата к работе по результатам второго этапа отбора оценивают следующим образом. Кандидат считается пригодным, если

время, необходимое ему для достижения заданного уровня подготовки, не превышает времени $T_{\text{доп}}$, отводимого для этих целей, т.е. для пригодных кандидатов $t_n < T_{\text{доп}}$, для непригодных $t_n > T_{\text{доп}}$.

В психолого-эргономических исследованиях выделяют две группы проблем, которые необходимо решить для внедрения профотбора операторов в практику [34]:

1. Как разработать психодиагностические и психофизиологические методики, которые обладают высокой степенью валидности и надежности для прогнозирования успешности освоения данного вида оперативной деятель-

ности;

2. Каким образом оценить эффективность профотбора.

1. Для определения унифицированного комплекта тестов следует сформулировать комплекс оптимизационных задач:

- Определить минимальное количество тестов для того, чтобы достоверность результатов (по каждому из профессиональных качеств) была не ниже заданного уровня.

- Определить такой набор тестов, затраты на проведение которого были бы не выше определенного уровня.

- Определить такое множество тестов, у которого привлекательность тестов была не ниже заданного уровня, а время проведения было минимально.

2. Для определения эффективности профотбора необходимо установить точность, надежность и достоверность прогноза профпригодности операторов.

- **Точность** прогноза можно определить путем сравнения прогнозируемой пригодности операторов по результатам отбора с тем уровнем, который определили эксперты. Он выявляется посредством оценки показателей абсолютной точности прогноза и погрешностей прогноза в сторону его завыше-

ния/занижения.

Показатель абсолютной точности (АТП) отражает вероятность совпадения результатов отбора с экспертной оценкой деятельности оператора:

$$\text{АТП} = \frac{n_a(A) + n_b(B) + n_b(B)}{N_0} 100\%; \quad (5)$$

где: $n_a(A)$, $n_b(B)$, $n_b(B)$ – количество операторов, у которых совпали категории прогнозируемой и реальной профпригодности; N_0 – общее количество персонала, прошедшего диагностику.

Эффективность диагностики устанавливается при совпадении предварительного прогноза с реальной оценкой профессионализации персонала в 65% и более случаях.

Показатели завышенного (ТПВ) или заниженного (ТПН) прогноза указывают на направление ошибки прогнозирования пригодности. Они дают возможность оценить и провести необходимую коррекцию диагностической модели и приведения ее в соответствие с установленными требованиями. Показатели погрешности, связанные с завышением/занижением категории пригодности (ТПВ/ТПН) рассчитываются по формулам:

$$\text{ТПВ} = \frac{n_a(B,B) + n_b(B)}{N_0} 100\% \quad \text{ТПН} = \frac{n_b(A) + n_b(A,B)}{N_0} 100\%; \quad (6)$$

где: $n_a(B, B)$ – количество операторов, у которых прогнозировалась категория пригодности «А», а экспертиза показала их принадлежность к категориям «Б» и «В»; $n_b(B)$ – количество операторов, у которых прогнозировалась категория пригодности «Б», а экспертиза показала их принадлежность к категории «В»; $n_b(A)$ – количество операторов, у которых прогнозировалась категория пригодности «Б», а экспертиза показала их принадлежность к категории «А»; $n_b(A, B)$ – количество операторов, у которых прогнозировалась категория пригодности «В», а экспертиза показала их принадлежность к категориям «А» и «Б»; N_0 – общее количество обследованных операторов.

Вывод о завышении/занижении прогноза профпригодности персонала осуществляется по соотношению ТПВ и ТПН. Если их разность не превышает 10%, то прогноз профпригодности считается нормальным. Если – более 10%, то принимается, соответственно, завышенным или заниженным.

Учитывая вид фактического распределения категорий профпригодности и тенденцию к

занижению надежности тестов со временем необходимо периодически корректировать модель психодиагностики. Эта задача может выполняться, во-первых, путем проверки достоверности психодиагностических методик, их критериальной валидации, во-вторых, подбора новых адекватных технологий, а также, в-третьих, изменения интерпретационной модели профессиональной диагностики операторов посредством смещения границ категорий пригодности в противоположную сторону рассчитанному завышению/занижению прогноза. При завышенном прогнозе «нижняя» граница категории «А» и «верхняя» граница категории «В» смещаются в сторону больших значений на то количество процентов (от балла, определяющего границу категории), которое определяет это завышение. При заниженном прогнозе профпригодности «нижняя» граница категории «А» и «верхняя» граница категории «В» смещаются в сторону меньших значений на то количество процентов (от балла, определяющего границу категории), которое определяет это занижение.

Например, при завышении прогноза на 15% (ТПВ-ТПР=15) для коррекции границ категорий пригодности, измеренных в 10-ти балльной шкале, нижняя граница категории «А» (8,01) и верхняя граница категории «В» (2,01) смещаются в сторону больших значений на 1,5 балла и составят соответственно 9,51 и 3,51 баллов.

Математическая (теоретическая) коррекция точности модели профотбора должна проверяться эмпирически в ходе реального исследования ежегодно [28].

- **Надежность** диагностического прогноза (НДП) – это стабильность прогноза успешности / не успешности профессиональной деятельности операторов

$$\text{НДП} = \frac{n_{аб}(А,Б) \cdot N_{в.},}{n_{в}(А,Б) \cdot N_{а,б}}, \quad (7)$$

где: $n_{аб}(А, Б)$ – количество операторов, у которых совпадает прогноз с экспертной оценкой их реальной профессиональной деятельности; $n_{в}(А, Б)$ – количество операторов, у которых прогнозировалась категория «В», а фактически эксперты их деятельность оценивают на уровне категорий «А» и «Б»; $N_{а,б}$, $N_{в}$ – общее количество операторов соответственно категории «А», «Б» и «В».

Вывод о надежности диагностического прогноза осуществляется при повышении значений эмпирически рассчитанного допустимого уровня НДП равного 2. Если НДП больше 2, то прогноз может считаться надежным.

- **Достоверность** диагностического прогноза (ДДП) определяется посредством вычисления доли операторов, прогнозируемая оценка которых не ниже реальной оценки операторской деятельности.

$$\text{ДДП} = \frac{n_{а}(А) + n_{б}(А,Б) + n_{в}(А,Б,В)}{N_0} * 100\%; \quad (8)$$

где: $n_{а}(А)$, $n_{б}(А, Б)$, $n_{в}(А, Б, В)$ – количество операторов, у которых реальная оценка не ниже, чем был ее прогноз; N_0 – общий объем испытуемых.

Результаты диагностического прогноза считаются достоверными, если ДДП более 75%.

По данным экономических исследований экономическая выгода приема наиболее подходящих сотрудников в организацию составляет примерно 6-20% от существующего уровня эффективности производства. Психологический отбор в ВВС США снизил отсе-

курсантов по непригодности с 75% до 36%, при этом было сэкономлено около 1 млн. долл. На каждые 100 успешно окончивших обучение летчиков. В целом отбор персонала снижает: а) текучесть кадров с 30-40% до 5-8%; б) аварийность по вине персонала на 40-70%; в) затраты на его подготовку на 30-40% [28].

После отбора кандидатов наступает этап профессионального обучения, целью которого является создание условий для усвоения обучаемым определенной совокупности знаний, умений и навыков, обеспечивающих его эффективную деятельность в системах «человек-машина-среда».

2. Контроль уровня подготовки операторов с использованием тренажерно-обучающих систем

В современных человеко-машинных комплексах основным техническим средством, обеспечивающим реализацию дидактических задач по формированию элементов профессиональной готовности оператора, является тренажер.

ГОСТ 21036-75 определяет тренажер как «техническое средство профессиональной подготовки человека-оператора, предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых им для управления материальным объектом, путем многократного выполнения обучаемым действий, свойственных управлению реальным объектом».

В данном определении сделан упор на педагогический метод - повторения, что не совсем точно отражает современный уровень развития технических, психологических и педагогических знаний, отражаемых в понятии «тренажер». Более точно можно определить тренажер как техническую систему, реализующую искусственную обучающую среду, деятельность в которой приводит к формированию у обучаемого требуемого уровня профессиональной компетенции [29].

Внедрение в практику разработанных нами изобретений показало, что высокая достоверность результатов отбора операторов на рабочих местах при оценке профессиональной пригодности достигается за счет использования прямых показателей качества операторской деятельности [32].

В наших исследованиях показано, что оценка уровня подготовки оператора должна основываться на анализе параметров, опреде-

ляющих точностные, временные и надежность показатели его деятельности и характеризующих в конечном счете вероятность выполнения им поставленной задачи [32].

Несмотря на то, что аналитические выражения для оценки вероятности выполнения задачи в каждом конкретном случае различные, весьма часто они являются некоторой функцией математического ожидания и дисперсии измеряемой величины.

Пусть $p(m, D)$ - вероятность выполнения задачи при математическом ожидании m и дисперсии контролируемой величины D . В этом случае возможны два варианта оценки.

При первом варианте необходимо знание закона распределения контролируемого параметра. В ряде случаев такие законы заранее известны, и использование первого варианта оценки не вызывает больших трудностей. Например, если предполагается оценить реализуемую оператором точность сопровождения отметки на экране, то в качестве контролируемого параметра можно принять отклонение визира от центра отметки, подчиняющееся нормальному закону распределения.

В этом случае в качестве функции $p(m, D)$ можно принять вероятность того, что отклонение визира оператора по одной из координат от центра отметки не превышает величины l :

$$p = \int_0^{T_0} \frac{\hat{\beta}}{t^2 \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\beta}}{t} - \hat{\alpha}\right)^2\right]} dt = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\frac{\hat{\beta}}{T_0} - \hat{\alpha}\right)\right]. \quad (12)$$

Поскольку определение параметров $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$ по статистическому материалу требует трудоемких вычислений, в работе введена в рассмотрение величина $x=1/t$, распределенная по нормальному закону

$$p(m_x, D_x) = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\frac{\frac{1}{T_0} - m_x}{\sqrt{D_x}}\right)\right], \quad (13)$$

где m_x, D_x - математическое ожидание и дисперсия случайной величины x .

При втором варианте оценки знание законов распределения контролируемой величины необязательно. В этом случае под вероятностью понимают следующее:

- при оценке временных характеристик - вероятность выполнения операции (или всей работы) за время t_i , не превышающее ее заданного значения T_0 ;

$$p(m, D) = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{1-m}{\sqrt{D}}\right) + \Phi\left(\frac{1+m}{\sqrt{D}}\right) \right], \quad (9)$$

где $\Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt$ - табулированная функция Лапласа.

При оценке производительности труда оператора в качестве контролируемого параметра принимают время выполнения им трудовых операций, подчиняющееся альфа-распределению:

$$f(t) = \frac{c\hat{\beta}}{t^2 \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\beta}}{t} - \hat{\alpha}\right)^2\right]}, \quad (10)$$

Где $\hat{\alpha}$ - коэффициент однородности производительности труда исполнителей (относительная средняя производительность труда); $\hat{\beta}$ - относительный объем работы; C - нормирующий множитель.

Параметр $\hat{\beta}$ имеет размерность времени, параметр $\hat{\alpha}$ безразмерен. На практике можно считать $C \approx 1$ и применять альфа-распределение вида

$$f(t) = \frac{\hat{\beta}}{t^2 \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\beta}}{t} - \hat{\alpha}\right)^2\right]}, \quad (11)$$

При использовании (11) в качестве исходной функции для определения $p(m, D)$ можно принять вероятность выполнения задачи за время не более заданного T_0 :

- при оценке точностных характеристик (как например при съеме плоскостных координат при автоматизированном сопровождении оператором воздушной цели) - вероятность выполнения операции с ошибками r_i , не превышающими заданной величины R_0 ;

- при оценке правильности принятия решений - вероятность того, что число безошибочных решений L_i из L , принимаемых в процессе выполнения задачи, не менее заданной величины L_0 .

В соответствии с этими показателями процесс оценки вероятности выполнения задачи заключается в определении отношения числа благоприятных событий, в которых

$$t_i \leq T_0, r_i \leq R_0, L_i \leq L_0 \quad (14)$$

к общему числу измерений.

При оценке точности работы вычисления

осуществляются по формулам:

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; D_y = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - m_y)^2 \quad (15)$$

$$P = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{l - m_y}{\sqrt{D_y}} \right) + \Phi \left(\frac{l + m_y}{\sqrt{D_y}} \right) \right], \quad (16)$$

$$x_i = \frac{1}{t_i}; m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2; \quad (17)$$

$$P = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{\frac{1}{T_0} - m_x}{\sqrt{D_x}} \right) \right] \quad (18)$$

В практических расчетах вероятность P выполнения задачи определяется отношением числа появления благоприятных событий С к общему числу событий n, т.е. по частоте этих событий:

$$P = C/n \quad (19)$$

С точки зрения простоты вычислений наиболее предпочтительным является использование оценки типа зачет-незачет.

Оценку при двухбалльном контроле можно связать с вероятностью выполнения задачи следующим образом:

- оператору выставляется оценка «зачет», если вероятность выполнения задачи $p > p_1$;
- оператору выставляется оценка «незачет», если вероятность выполнения задачи $p < p_0$;
- если $p_0 < p < p_1$, то контроль должен быть продолжен.

При выставлении оператору той или иной оценки могут быть допущены ошибки двух родов: занижение, либо завышение оценки.

При известных практических значениях вероятности для выставления однозначной оценки (p_0 и p_1) задача сводится к выбору та-

где y_i – контролируемый параметр; m_y и D_y – математическое ожидание и дисперсия контролируемого параметра.

При оценке временных характеристик качества деятельности используются следующие зависимости:

кого значения p_* ($p_0 < p_* < p_1$) и такого количества экспериментов n, при которых оператору выставлялась бы оценка «зачет», если $p > p_1$, и «не зачет», если $p < p_0$; причем вероятности завышения и занижения оценки составляли б соответственно α и β .

Приближенное значение вероятности выполнения задачи, определяемое по ограниченному числу измерений можно с достаточной для практики точностью считать распределенным по нормальному закону с дисперсией $p(1-p)/n$, значения p_* и n можно определить из следующей системы уравнений:

$$\int_{-\infty}^{p_*} f(p, p_0, n) dp = 1 - \alpha \quad (20)$$

$$\int_{-\infty}^{p_*} f(p, p_1, n) dp = \beta \quad (21)$$

$$\text{где } f(p, p_i, n) = \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi p_i(1-p_i)}{n}} e^{-\frac{(p-p_i)^2}{\frac{2p_i(1-p_i)}{n}}}}; \quad i=0,1 \quad (22)$$

Выражения для определения p_* и n имеют вид:

$$n = \frac{\psi(1 - \alpha) \sqrt{p_0(1 - p_0)} - \psi(\beta) \sqrt{p_1 - (1 - p_1)^2}}{(p_1 - p_0)^2} \quad (23)$$

$$p_* = p_0 + \psi(1 - \alpha) \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}} \quad (24)$$

$$p_* = p_1 + \psi(\beta) \sqrt{\frac{p_1(1 - p_1)}{n}}, \quad (25)$$

где $\psi(z)$ – функция, обратная функция

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \text{ т.е. } \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\psi(z)} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = z; \quad z = 1 - \alpha; \quad (26)$$

Сокращения числа изменений можно достичь, используя метод последовательного анализа, при котором число наблюдений заранее не фиксируется, а для оценки качества работы оператора по каждому измерению принимается одно из двух решений: выставляется определенная оценка или продолжается проверка. По сравнению с методом однократной выборки, при котором для оценки качества работы оператора берется одна случайная выборка определенного объема (определенного числа измерений) и по характеристикам этой выборки принимается решение о выставлении оператору той или иной оценки, об эффективности применения последовательного анализа обычно судят по значениям среднего числа требуемых измерений.

Эффективность применения последовательного анализа по сравнению с методом однократной выборки, основанным на критерии нормальности распределения выборочных оценок, возрастает при уменьшении α и β , т. е. при увеличении достоверности оценок. Например, для экспоненциального и биномиального законов распределения последовательный анализ довольно эффективен до значений α и β , приблизительно равных 0,2.

При значениях α и β , больших 0,2, применение последовательного анализа дает незначительный выигрыш в числе измерений. Сохраняя принцип определения вероятности выполнения оператором задачи по относительному числу благоприятных исходов, можно получить следующий математический аппарат для целей контроля. Пусть p - вероятность выполнения задачи, свойственная данному оператору, а ξ_i - результат измерения ($\xi_i = 1$, если при i -м наблюдении $t_i \leq T_0$, $r_i \leq R_0$, $L_i \leq L_0$ и т.п., в противном случае $\xi_i = 0$). Тогда можно выбрать таких два значения p_0 и p_1 , чтобы оценка «незачет» выставлялась при $p < p_0$, а «зачет» при $p > p_1$, причем вероятности завышения и занижения оценки в этом случае не должны превышать соответственно α и β . Вероятность получения выборки ($\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$) cd_n благоприятными исходами ($\xi_i = 1$) будет равна $p^{d_n}(1-p)^{n-d_n}$, где d_n означает число благоприятных исходов среди первых n измерений. Если $p = p_0$, то

$$p_{0n} = p^{d_n}(1-p_0)^{n-d_n}; \quad (27)$$

если $p = p_1$, то

$$p_{1n} = p_1^{d_n}(1-p_1)^{n-d_n}. \quad (28)$$

Оценочные границы можно определить в

соответствии с выражениями

$$a_n = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}} + n \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; \quad (29)$$

$$r_n = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}} + n \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (30)$$

Если $d_n < a_n$, (2) то оператор получает «незачет»;

Если $d_n > r_n$, (3) то оператор получает «зачет»;

Если $a_n \leq d_n \leq r_n$, то проверка продолжается.

Так как a_n и r_n зависят только от p_0 , p_1 , α и β , то они могут быть рассчитаны и табулированы заранее. В этом случае возможно использование табличного метода контроля.

Линейная зависимость a_n и r_n позволяет использовать достаточно распространенный метод контроля с помощью оценочных графиков (рис. 5).

В системе координат (d_n, r_n) можно построить две параллельные прямые с общим для них условным коэффициентом

$$S = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; \quad (31)$$

и точками пересечения с вертикальной осью, координаты которых определяются из выражений:

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}; h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (32)$$

Точки d_n , n наносятся на график по ходу контроля, и эксперимент проводится до тех пор, пока очередная точка не выйдет за пределы полосы, заключенной между L_0 и L_1 . Если точка выше L_1 , то оператор получает «зачет», если ниже L_0 , - «незачет».

При оценке по многобалльной системе принцип построения оценочных графиков или таблиц аналогичен изложенному, причем для i -го балла браковочные числа определяются в зависимости от заданных значений p_0 и p_1 , для $(i+1)$ -го балла - в зависимости от p_1 и p_2 ; для $(i+2)$ -го балла в зависимости от p_2 и p_3 и т. д.

Максимум математического ожидания числа измерений при ведении контроля по методу последовательного анализа определяется по формуле

$$E(n) = \frac{-\ln \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}} \quad (33)$$

В процессе последовательной проверки возможны случаи, когда определение оценки требует чрезмерно большого числа наблюдений n . Поэтому в тех случаях, когда условия (2) и (3) оказываются невыполнимыми, а допустимое число измерений уже исчерпано, контроль можно закончить, используя усечен

ный критерий, что соответствует снижению достоверности оценки (увеличению значений α и β). В этом случае при

$$d_n \geq (a_n + r_n)/2$$

оператор получает «зачет», а при

$$d_n < (a_n + r_n)/2$$

он получает «незачет».

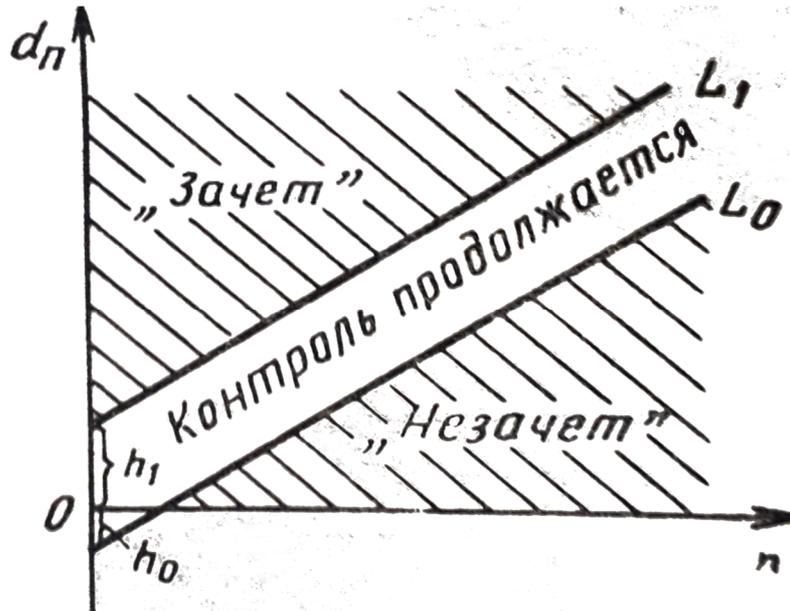


Рис.5 Графический метод контроля при использовании последовательного анализа

Для приближенной оценки новых значений α' (β') при полностью $n \neq E(n)$ можно использовать следующий способ [32].

Принимается, что

$$\alpha' = \begin{cases} \frac{1}{2} \text{ при } n = 0; \\ \alpha + \frac{1}{2} \text{ при } n = E(n); \\ \alpha \text{ при } n \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (34)$$

Следовательно, зависимость $\alpha'(n)$ можно выбрать в виде

$$\alpha'(n) = \alpha + (1/2 - \alpha)e^{-kn^3}. \quad (35)$$

Величина k определяется из условия

$$\alpha + (1/2 - \alpha)e^{-kE^2(n)} = (\alpha + 1/2)/2, \quad (36)$$

откуда

$$k = \frac{\ln 2}{E^2(n)}. \quad (37)$$

Графики зависимостей вероятностей ошибок первого и второго рода при усеченном последовательном анализе от числа измерений для операторов автоматизированных систем сбора и обработки информации приведены в работе [32].

Определенный интерес представляет метод, основанный на использовании информационного критерия, который с точки зрения нужного числа измерений занимает промежуточное место между методом выборки и методом последовательного анализа.

Необходимое число измерений при этом методе определяется формулой

$$n_k \geq \frac{\alpha \ln \frac{\alpha}{1-\beta} + (1-\alpha) \ln \frac{1-\alpha}{\beta}}{p_1 \ln \frac{p_1}{p_0} + (1-p_1) \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (38)$$

На рис. 6 приведена зависимость выигрыша в числе измерений от вероятности выполнения задачи

$$f(p) = [1 - E(n)/n_n]100\% \quad (39)$$

при различных методах контроля для слу-

чая, когда $p_0 = 0,3, p_1 = 0,5, \alpha = 0,1, \beta=0,2$.

Средний выигрыш в числе измерений, получаемый при последовательной проверке, оказывается наибольшим, когда $p < p_0$ и $p > p_1$, т.е. при контроле оператора с очень низким или очень высоким уровнем подготовки.

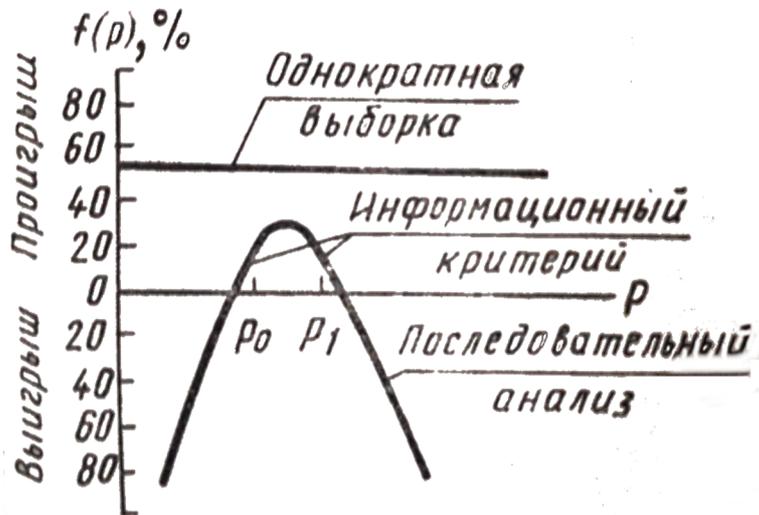


Рис. 6 Средний выигрыш в числе наблюдений при контроле с использованием информационного критерия

Применение информационного критерия дает значительный выигрыш в необходимом числе измерений по сравнению с методом однократной выборки и даже по сравнению с последовательным анализом на участке $p_0 \leq p \leq p_1$, т.е. при контроле операторов со средним уровнем подготовки.

Из рис.6 видно, что число измерений по сравнению с методом последовательного анализа уменьшается примерно на 30%, а по сравнению с методом однократной выборки более чем на 50%.

В работах [5, 13, 32] показано, что число измерений в процессе объективного построения работы оператора ограничено техническими возможностями, при этом используется следующий тип контроля:

- Начало контроля: используется метод последовательного анализа,
- Завершение контроля: используется метод последовательного анализа при условии, что для определения оценки с заданной надежностью число измерений не превышает n_k

Используется метод однократной выборки с использованием информационного критерия при условии, что для определения оценки с заданной надежностью число измерений по методу последовательного анализа превышает n_k .

Современные средства контроля уровня подготовки операторов различных систем «человек-машина-среда» военного и гражданского назначения связаны с разработкой адаптивных обучающих моделей и алгоритмов для компьютерных тренажеров, представляющих собой автоматизированные аппаратно-программные функциональные ориентированные комплексы обучения операторов.

Индустрия отечественных тренажерных технологий представляет собой системы моделирования и стимуляции, компьютерные программы и физические модели, специальные методики поддержки принятия качественных и быстрых решений.

В работе [14] приведен обзор проблематики построения применения компьютерных тренажеров для обучения операторов технологических процессов в рамках периодизации научной рациональности от классической и неклассической к постнеклассической. Представлены ключевые постнеклассические характеристики современных тренажеров саморазвитие, междисциплинарность, антропоцентрический фактор, ориентация на практику. Особое внимание уделено технике имитационного моделирования как принципиально новому способу определения отклика сложной технической системы на произвольные вмешательства пользователей, а также иммерсив-

ным инструментам воспроизведения рабочей среды обучаемого оператора. Исследована постнеклассическая роль инструктора, сочетающая функции организатора тренинга, агента развития, иницилирующего перенастройку компонентов тренажера и совершенствование методик обучения, а также ключевого звена капитализации знаний лучших профессионалов. Показаны принципиальные изменения в организации и реализации тренажёрного проекта, охватывающего теперь не только стадии исследования и разработки, но и сопровождение, и развитие тренажерных систем.

Тренажерные технологии возникли и получили наибольшее развитие там, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам: в военном деле, медицине, ликвидации последствий стихийных бедствий, в атомной энергетике, авиации и космосе. [1, 3, 4, 15, 16, 35, 40].

В общем случае тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс, имеющий структуру, представленную на рисунке 7.



Рис. 7 Структура автоматизированного тренажерно-обучающего комплекса

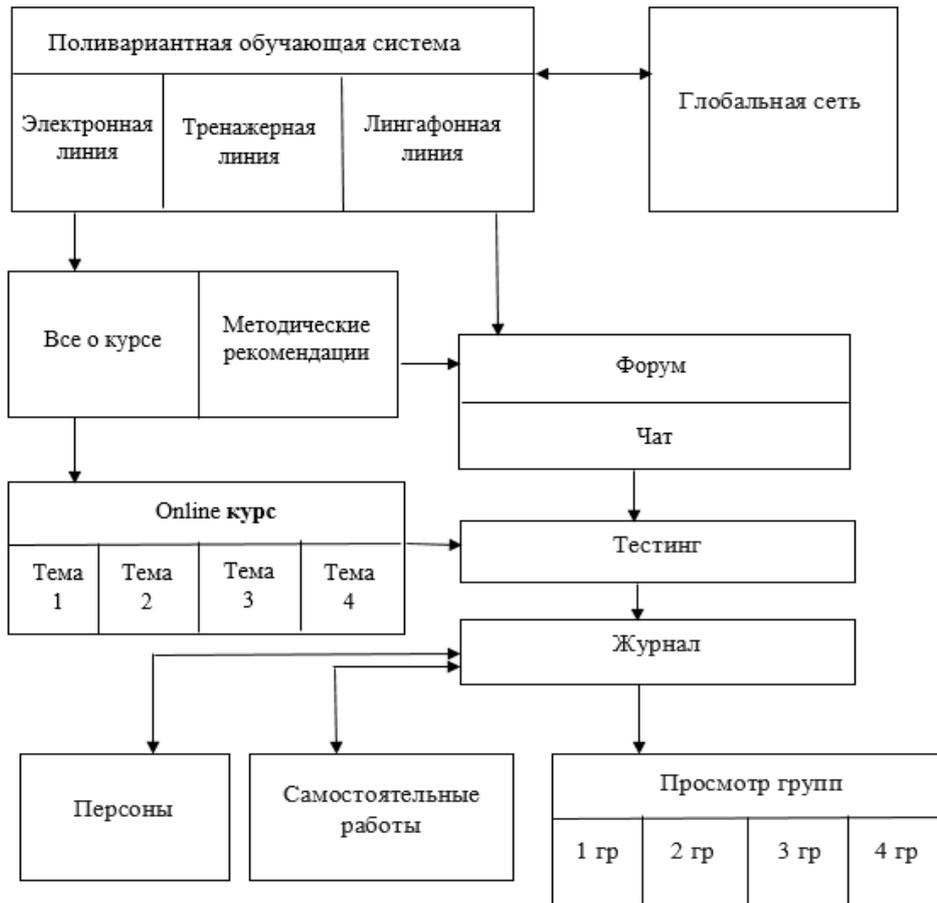


Рис. 8 Поливариантная обучающая система, патент RU 2 414 754, МПК G09B19/00

В настоящее время имеется целый ряд запатентованных тренажеров военного и гражданского назначения в подклассах МПК А61В5/16 и G09В9/00, которые в случае их внедрения в практику могут дать значительный экономический эффект. [5, 13, 33, 39 и др.].

Целый ряд обучающих устройств и систем может быть использован в образовательных учреждениях, как например устройство, описанное в [8].

Устройство позволяет координировать одновременные действия оперирования обучающими блоками данных учебного материала в индивидуальном, групповом и полигрупповом режимах восприятия, управление их самостоятельной работой.

В рамках электронной сети поливариантной обучающей системы имеет выделенную тренажерную линию с программными симуляторами на сетевых компьютерах, выполняющую функцию обучающихся.

Структура патента, описанного в [8] представлена на рис.8.

Большинство современных тренажерных систем является сложными программно-аппаратными комплексами. Именно такой вариант реализации обеспечивает максимальную эффективность подготовки операторов. Преимуществами компьютерных тренажеров является их невысокая стоимость, компактность, возможность расположения практически в любом помещении. Недостатки проявляются в невозможности обеспечения высокой степени приближенности к реальной обстановке моделируемого объекта. В ряде областей применение компьютерных тренажеров ограничено и возможно только на начальных этапах обучения. В большинстве случаев требования к тренажерным системам и комплексам достаточно жесткие, особенно это касается эргономических требований для подготовки космонавтов, летчиков, операторов различных систем военного назначения, операторов АЭС, систем управления воздушным движением и некоторых других специальностей, связанных с потенциально опасными технологиями.

Заключение

Приведенный обзор теоретико-прикладных отечественных эргономических исследований по вопросам отбора и подготовки операторов современных систем «человек-машина-среда» позволяет сделать целый ряд выводов.

1. Профессиональный отбор на операторские специальности связан с вероятной оценкой профессиональной пригодности человека в процессе изучения возможностей овладения и определенной специальностью для достижения требуемого уровня подготовки и эффективного выполнения операторской деятельности.

2. Использование психодиагностических тестов с целью прогнозирования профессиональной пригодности может осуществляться на основании аналитического и синтетического подходов. Аналитический подход предусматривает изучение и оценку отдельных психологических показателей (внимания, памяти, двигательной координации и др.), необходимых для успешности обучения и деятельности. Синтетический подход предусматривает изучение целостной деятельности или важных ее элементов, и потому в рамках этого метода применяются различные тренажеры, с помощью которых моделируются такие элементы и профессиональные действия.

3. Наибольшее распространение для определения профессиональной пригодности на водительские и операторские специальности получили математические модели, основанные на последовательном статистическом отношении вероятностей, теории распознавания образов, корреляционном и регрессионном анализе, оценке качества деятельности непосредственно на рабочих местах ко временным, точностным и вероятностным характеристикам.

4. Эффективность профессионального отбора можно определить на основе оценки точности, надежности и достоверности прогноза профпригодности операторов.

Точность прогноза определяется путем сравнения прогнозируемой пригодности операторов по результатам отбора с уровнем, установленным на основе экспертного оценивания.

Надежность прогноза определяется стабильностью прогноза успешности или не успешности операторской деятельности.

Достоверность прогноза определяется посредством вычисления доли операторов, прогнозируемость оценки которых не ниже реальной оценки деятельности операторов.

5. Современный тренажер оператора состоит из подсистемы сенсорного моделирования (визуальных, слуховых, тактильных воздействий), подсистемы моделирования органов управления и рабочего места оператора, подсистемы объективного контроля, подси-

стемы моделирования учебных задач и создания обратной связи, подсистемы обеспечения деятельности инструктора, подсистемы документирования результатов обучения, подсистемы оперативной диагностики состояния оператора. Данные элементы структуры в некоторых тренажерах могут отсутствовать или заменяться организационно методическими мероприятиями и приемами исходя из технической и экономической целесообразности.

6. Высокая сложность и цена реальных объектов управления ведут к низкой пропуск-

ной способности систем подготовки с тренажерами высокой степени подобия. Вместе с тем низкая степень имитации, особенно динамических свойств реального объекта управления, ведет к появлению проблемы переноса навыков, полученных на тренажере, на деятельность в реальном объекте. В процессе обучения на компьютерных тренажерах существует опасность подготовки не реальных, а «виртуальных операторов», которые на реальных объектах не смогут выполнить функции операторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков, В.И. Математическое моделирование профессионального тестирования с использованием шкалы цветовых предпочтений [Текст] / В.И. Аверченков, С.В. Кондратенко, В.В. Спасенников // Информационные системы и технологии. – 2016. - №2(94). – С.5-13.
2. Андросов, К.Ю. Разработка унифицированного комплекта тестов и его программная апробация при решении задач профессионального отбора в операторской и водительской деятельности [Текст] / К.Ю. Андросов, А.Н. Сударник, С.Н. Федотов // Эргодизайн, 2018. - №1(01). – С.28-35. – doi:10.30987/article_5bbf0a8fec8106.43951726.
3. Арепин, Ю.И. Тренажер для подразделений радиотехнических войск [Текст] / Ю.И. Арепин, Н.Б. Момот, В.А. Долгий, А.И. Коваленко // Программные продукты и системы. – 2013. - №1. –С. 6.
4. Афанасьев, А.Н. Модель и метод разработки и анализа компьютерных тренажеров [Текст] / А.Н. Афанасьев, Н.Н. Войт, Д.С. Кинев // Автоматизация процессов управления. – 2015. - №2(40). – С.65-70.
5. Багрецов, С.А. Устройство для оценки профессиональной пригодности операторов автоматизированных систем управления [Текст] / С.А. Багрецов, В.Л. Гайдуков, В.В. Спасенников, А.А. Филимонов // А.С. SU 1437898, МПК G09B 9/00, Заявка №4249640, Дата регистрации 26.05.1987.
6. Бартош, В.С. Информационное пространство оператора в тренажерных и обучающих системах [Текст] / В.С. Бартош, И.В. Беисло, С.А. Кузиковский, М.М. Лаврентьев // Вестник кибернетики. – 2017. - №1(25). – С.136-148.
7. Беспалов, Б.И. Профессионально-важные компоненты деятельности человека и подходы к их психодиагностике [Текст] / Б.И. Беспалов // Организационная психология. – 2014. – том 4. - №4. – С.12-50.
8. Бобрышева, И.Е. Поливариантная обучающая система синергетического тренингового устройства [Текст] / И.Е. Бобрышева, М.В. Бобрышев. Патент RU 2 414 754, МПК G09B 19/00, Заявка 20101151 74/12, 16.04.2010.
9. Бодров, В.А. Психология профессиональной пригодности [Текст] / В.А. Бодров. – М.: PerSe, 2005. – 349 с.
10. Войтович, Н.К. Критерии эффективности электронного обучения и качества электронных образовательных

REFERENCES

1. Averchenkov, V.I. Mathematical modeling of professional testing using the color preference scale [Text] / V.I. Averchenkov, S.V. Kondratenko, V.V. Spasennikov // Information systems and technologies. – 2016.- No. 2(94). – P. 5-13.
2. Androsov, K.Yu. Development of a unified set of tests and its software approbation in solving problems of professional selection in operator and driver activities [Text] / K.Yu. Androsov, A.N. Sudarnik, S.N. Fedotov // Ergodesign, 2018. - №1(01). – P. 28-35. – doi:10.30987/article_5bbf0a8fec8106.43951726.
3. Arepin, Yu.I. Simulator for divisions of radio engineering troops [Text] / Yu. I. Arepin, N.B. Momot, V.A. Dolgiy, A.I. Kovalenko // Software products and systems. – 2013.- No. 1. – P. 6.
4. Afanasyev, A.N. Model and method of development and analysis of computer simulators [Text] / A.N. Afanasyev, N.N. Voit, D.S. Kinev // Automation of management processes. – 2015. - No. 2(40). – P. 65-70.
5. Bagretsov, S.A. Device for assessing the professional suitability of operators of automated control systems [Text] / S.A. Bagretsov, V.L. Gaidukov, V.V. Spasennikov, A.A. Filimonov // A. S. SU 1437898, IPC G09B 9/00, Application no. 4249640, registration date 26.05.1987.
6. Bartosh, V.S. Information space of the operator in training and training systems [Text] / V.S. Bartosh, I.V. Beislo, S.A. Kuzikovskiy, M.M. Lavrentiev // Bulletin of Cybernetics. – 2017.- No. 1(25). – P. 136-148.
7. Bepalov, B.I. Professionally important components of human activity and approaches to their psychodiagnostics [Text] / B.I. Bepalov // Organizational psychology. – 2014. – volume 4.- No. 4. – P. 12-50.
8. Bobrysheva, I.E. Polyvariant training system of synergetic training device [Text] / I.E. Bobrysheva, M.V. Bobryshev. Patent RU 2 414 754, IPC G09B 19/00, application 20101151 74/12, 16.04.2010.
9. Bodrov, V.A. Psychology of professional fitness [Text] / V.A. Bodrov. – М.: PerSe, 2005. – 349p.
10. Voitovich, N.K. Criteria for the effectiveness of e-learning and the quality of electronic educational programs in

- программ в вузе [Текст] / Н.К. Войтович // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2014. - №4(145). – С.152-153.
11. Галактионов, А.И. Особенности формулирования психического образа аварийных ситуаций при обучении оператора АСУ [Текст] / А.И. Галактионов, И.В. Грошев // Психологический журнал. - 1996. - Том. 17. - № 2. - С. 46-55.
12. Герасимов, Б.М. Имитационная модель для оценки комплексного влияния инженерно-психологических факторов на эффективность эргатической системы [Текст] / Б.М. Герасимов, Г.В. Ложкин, С.В. Скрыль, В.В. Спасенников // Кибернетика и вычислительная техника. - 1984/ – вып.61. – С.88-95.
13. Герасимов, Б.М. Устройство для оценки пригодности оператора автоматизированной системы управления [Текст] / Б.М. Герасимов, Г.В. Ложкин, В.В. Спасенников, В.Н. Немтинов // А.С. SU 1068975, МПК GG09B9/00, №3508259, Дата регистрации 29.10.1982, Дата публикации 23.01.1984.
14. Дозорцев, В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов [Текст] / В.М. Дозорцев. – М.: Синтег, 2009. – 372с.
15. Дозорцев, В.М. От неклассической к постнеклассической науке: пример компьютерных тренажеров для обучения операторов технологических процессов [Текст] / В.М. Дозорцев // Проблемы управления. – 2020. - №2. – С.69-82.
16. Жданько, И.М. Направления развития эргономического обеспечения создания авиационной техники военного назначения [Текст] / И.М. Жданько, М.В. Найченко, В.Р. Осипов, Д.А. Абрашкин // Военно-медицинский журнал. – 2018. – №2. – С.37-44.
17. Кадневский, В.М. Тесты в системе профессионального отбора и профессионального образования: история и современность [Текст] / В.М. Кадневский, О.В. Могиль, Т.А. Ширшова // Вестник Омского университета. – 2014. - №2. – С.185-190.
18. Климов, С.А. С помощью виртуальной реальности [Текст] / С.А. Климов, П.В. Краснов, С.М. Сергеев // Вестник военного образования. – 2018. - №3(12). – С.68-73.
19. Кобзев, В.В. Методы создания технических средств обучения корабельных операторов [Текст] / В.В. Кобзев, К.Ю. Шилов. – СПб.: Наука, 2005. – 156 с.
20. Кобзев, В.В. Автоматизированный контроль работы оператора в комплексной обучающей системе [Текст] / В.В. Кобзев, А.Д. Лямкин, В.К. Позняк, Д.К. Шилов // Морской вестник – 2013. - №1(45). – С.66-68.
21. Кондратенко, С.В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человеко-машинных комплексов [Текст] / С.В. Кондратенко, В.В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. - №1(45). – С.87-94.
22. Корчемный, П.А. Компетентность как психологическая система [Текст] / П.А. Корчемный // Человеческий капитал. – 2017. - №5(101). – С.90-94.
23. Корчемный, П.А. Психологические механизмы формирования и проявления компетенций [Текст] / П.А. Кор-
- higher education [Text] / N.K. Voitovich // Bulletin of Tomsk state pedagogical University. – 2014. - no. 4(145). – P. 152-153.
11. Galaktionov, A.I. Features of formulating the mental image of emergency situations when training an automated control system operator [Text] / A.I. Galaktionov, I.V. Groshev // Psychological journal, 1996, vol. 17, no. 2, P. 46-55.
12. Gerasimov, B.M. Simulation model for evaluating the complex influence of engineering and psychological factors on the effectiveness of the ergatic system [Text] / B.M. Gerasimov, G.V. Lozhkin, S.V. Skryl, V.V. Spasennikov // Cybernetics and computer engineering. – 1984. – issue 61. – P. 88-95.
13. Gerasimov, B.M. Device for evaluating the suitability of an automated control system operator [Text] / B.M. Gerasimov, G.V. Lozhkin, V.V. Spasennikov, V.N. Nemtinov // A. S. SU 1068975, IPC GG09B9/00, No. 3508259, registration date 29.10.1982, publication date 23.01.1984.
14. Dozortsev V.M. Computer simulators for training operators of technological processes [Text] / V.M. Dozortsev. – M.: Sinteg, 2009. – 372 p.
15. Dozortsev, V.M. From non-classical to post-non-classical science: an example of computer simulators for training operators of technological processes [Text] / V.M. Dozortsev // Management problems. – 2020.- No. 2. – P. 69-82.
16. Zhdanko, I.M. Directions of development of ergonomic support for the creation of military aviation equipment [Text] / I.M. Zhdanko, M.V. Naichenko, V.R. Osipov, D.A. Abrashkin // Military medical journal. – 2018.– No. 2. – P. 37-44.
17. Kanevskii, V.M. Tests in vocational selection and vocational education: history and modernity [Text] / V.M. Kanevskii, Grave O.V., Shirshova T.A. // Bulletin of Omsk University. - 2014. - no. 2. – P. 185-190.
18. Klimov, S.A. Using virtual reality [Text] / S.A. Klimov, P.V. Krasnov, S.M. Sergeev // Bulletin of military education. – 2018.- No. 3(12). – P. 68-73.
19. Kobzev, V.V. Methods for creating technical training tools for ship operators [Text] / V.V. Kobzev, K.Yu. Shilov. – St. Petersburg: Nauka, 2005. – 156p.
20. Kobzev, V.V. Automated control of the operator's work in a complex training system [Text] / V.V. Kobzev, A.D. Lyamkin, V.K. Poznyak, D.K. Shilov // Marine Bulletin. – 2013.- No. 1(45). – P. 66-68.
21. Kondratenko, S.V. Methods of analysis and modeling of operators ' Activities in the process of ergonomic support for the development and operation of human-machine complexes [Text] / S.V. Kondratenko, V.V. Spasennikov // Bulletin of Bryansk state technical University. – 2015. - no. 1(45). – P. 87-94.
22. Korchemny, P.A. Competence as a psychological system [Text] / P.A. Korchemny // Human capital. – 2017. - №5(101). – P. 90-94.
23. Korchemny, P.A. Psychological mechanisms of formation and manifestation of competencies [Text] / P. A. Kor-

чемный // Человеческий капитал. – 2017. - №6(102). – С.24-31.

24. Кротенко, Т.Н. Соотношение понятий профессия, специальность, рабочее место с позиций профориентологии и эргономики [Текст] / Т.Н. Кротенко // Эргодизайн. – 2019. - №4(06). – С.162-172.–doi:10.30987/2619-1512-2019-2019-4-162-172.

25. Ложкин, Г.В. Оценка качества функционирования эргатических систем при бимодальном и мономодальном предъявлении информации [Текст] / Г.В. Ложкин, В.В. Спасенников // Кибернетика и вычислительная техника. – 1986. – вып.72. – С.33-38. - EID: 2-s2.0-0022947054.

26. Львов, В.М. Инженерно-психологические вопросы проектирования деятельности операторов [Текст] / В.М. Львов, В.В. Павлюченко, В.В. Спасенников // Психологический журнал. – 1989. – том 10. - №5. – С.66-74.

27. Маришук, Л.В. К вопросу о способностях, профпригодности и профессиональном психологическом отборе [Текст] / Л.В. Маришук // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. – 2016. - №4. – С.26-38.-

28. Носс, И.Н. Профессиональная психодиагностика: психологический отбор персонала [Текст] / И.Н. Носс. – М.: Психотерапия. – 2009. – 464 с. - ISBN 978-5-903182-57-2.

29. Сергеев, С.Ф. Курс лекций по инженерной психологии и эргономике [Текст] / С.Ф. Сергеев – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. – 184с. - ISBN 978-5-288-04640-7.

30. Сергеев, С.Ф. Эргономика сложных систем: типы научной рациональности и энактивизм [Текст] / С.Ф. Сергеев // Эргодизайн. – 2019. - №4(06). – С.156-161. – doi:10.30987/2619-1512-2019-2019-4-156-161.

31. Смирнов, А.В. Поддержка принятия решений на основе человеческого коллективного интеллекта: современное состояние и концептуальная модель [Текст] / А.В. Смирнов, Т.В. Левашова, А.В. Пономарев // Информационно-управляющие системы. – 2020. - №2. – С. 60-70.

32. Спасенников, В.В. Анализ и проектирование групповой деятельности в прикладных психологических исследованиях [Текст] / В.В. Спасенников. – М.: Институт психологии. – 1992. – 202 с.

33. Спасенников, В.В. Критерии охраны авторских прав создателей психодиагностических тестовых методик [Текст] / В.В. Спасенников // Психологический журнал. – 1994. – том 15. - №3. – С.123-127.

34. Спасенников, В.В. Анализ динамики патентования изобретений в сфере удовлетворения жизненных потребностей человека [Текст] / В.В. Спасенников, С.В. Кондратенко, А.А. Кузьменко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - №4(57). – С.183-191.

35. Спасенников, В.В. Феномен цветовосприятия в эргономических исследованиях и цветоконсультировании [Текст] / В.В. Спасенников // Эргодизайн. – 2019. - №2(04) – С.51-60. – doi:10.30987/article_5cb22163c8b6b7.59336480.

36. Толочек, В.А. Профессиональный отбор: история и перспектива постановки задач [Текст] / В.А. Толочек //

chemny // Human capital. – 2017. - №6(102). – P. 24-31.

24. Krotenko, T.N. Correlation of the concepts of profession, specialty, workplace from the positions of vocational guidance and ergonomics [Text] / T.N. Krotenko // Ergodesign. – 2019. - №4(06). – P. 162-172. – doi: 10.30987/2619-1512-2019-2019-4-162-172.

25. Lozhkin, G.V. Evaluation of the quality of functioning of ergatic systems in bimodal and monomodal presentation of information [Text] / G.V. Lozhkin, V.V. Spasennikov // Cybernetics and computer engineering. – 1986.– issue 72. – P. 33-38. - EID: 2-s2.0-0022947054.

26. Lvov, V.M. Engineering and psychological issues of designing operators ' activities [Text] / V.M. Lvov, V.V. Pavlyuchenko, V.V. Spasennikov // Psychological journal. – 1989. – volume 10.- No. 5. – P. 66-74.

27. Marishchuk, L.V. On the question of abilities, professional aptitude and professional psychological selection [Text] / L.V. Marishchuk // Bulletin of the Moscow University. Series 14. Psychology. – 2016. - №4. – C.26-38.

28. Noss, I.N. Professional psychodiagnostics: psychological selection of personnel [Text] / I.N. Noss. – M.: Psychotherapy. – 2009. – 464 p. - ISBN 978-5-903182-57-2.

29. Sergeev, S.F. Course of lectures on engineering psychology and ergonomics [Text] / S.F. Sergeev – St. Petersburg: publishing house of St. Petersburg. UN-TA, 2008. – 184p. - ISBN 978-5-288-04640-7.

30. Sergeev, S.F. Ergonomics of complex systems: types of scientific rationality and enactivism [Text] / S.F. Sergeev // Ergodesign. – 2019. - №4(06). – P. 156-161. – doi: 10.30987/2619-1512-2019-2019-4-156-161.

31. Smirnov, A.V. Support for decision-making based on human collective intelligence: current state and conceptual model [Text] / A.V. Smirnov, T.V. Levashova, A.V. Ponomarev // Information and control systems. – 2020.- No. 2. – P. 60-70.

32. Spasennikov, V.V. Analysis and design of group activity in applied psychological research [Text] / V.V. Spasennikov. – M.: Institute of psychology. – 1992. – 202p.

33. Spasennikov, V.V. Criteria for copyright protection of creators of psychodiagnostic test methods [Text] / V.V. Spasennikov // Psychological journal. – 1994. – volume 15. - no. 3. – P. 123-127.

34. Spasennikov, V.V. Analysis of the dynamics of patenting of inventions in the field meet vital human needs [Text] / V.V. Spasennikov, S.V. Kondratenko, A.A. Kuzmenko // Bulletin of the Bryansk state technical University. – 2017. - №4(57). – P. 183-191.

35. Spasennikov, V.V. The phenomenon of color perception in ergonomic research and color consulting [Text] / V.V. Spasennikov // Ergodesign. – 2019.- No. 2(04). – P. 51-60. – doi: 10.30987/article_5cb22163c8b6b7.59336480.

36. Tolochek, V.A. Professional selection: history and perspective of problem setting [Text] / V. A. Tolochek // Izvestiya

Известия Саратовского университета. Новая серия: акмеология образования, психология развития. – 2018 – том 7, вып. 2(26). – С.118-128.

37. Усков, Д.А. Обучение студентов и подготовка работников теплоэлектроцентрали с использованием компьютерного тренажера [Текст] / Д.А. Усков, А.С. Шубина, Д.И. Менделеев, Г.Е. Марьин, А.Р. Хаертдинова // Вестник КГЭУ. – 2017. - №2(34) – С.131-141.

38. Харина, Н.П. Тестирование особенностей мышления и прогнозирование успешности обучения будущих автоводителей [Текст] / Н.П. Харина, А.Ю. Терешченко, В.Е. Хапалова // Эргодизайн, 2018. - №2(02). – С.29-32. – doi:10.30987/article_5bf98b671a4036.32038415.

39. Шевченко, В.Ф. Автоматизированное рабочее место оператора РЛС [Текст] / В.Ф. Шевченко, А.В. Прокоченко, Г.С. Дементьев // Патент RU 2334 245, МПК G01S 7/00 – 09.01.2007.

40. Яцков, Р.В. Морфологический синтез комплекса имитационных моделей с учетом адаптивного информационного взаимодействия операторов с объектом управления [Текст] / Р.В. Яцков // Эргодизайн. – 2018 -№2(02). – С.29-32. – doi:10.30987/article_5bf98b6402c571.26314373.

Saratovskogo universiteta. New series: psychology of education, developmental and educational psychology. – 2018. – volume 7, issue 2(26). – P. 118-128.

37. Uskov, D.A. Training of students and training of heat and power plant employees using a computer simulator [Text] / D.A. Uskov, A.S. Shubina, D.I. Mendeleev, G.E. Maryin, A.R. Khaertdinova // Bulletin of the Kazan state power engineering University. – 2017. - №2(34) – P. 131-141.

38. Kharina, N.P. Testing the features of thinking and predicting the success of training future drivers [Text] / N.P. Kharina, A.Yu.Tereshchenko, V.E. Khapalova // Ergodesign, 2018.- No. 2(02). – P. 29-32. – doi: 10.30987/article_5bf98b671a4036.32038415.

39. Shevchenko, V.F. Automated workplace of the radar operator [Text] / V.F. Shevchenko, A.V. Prokopchenko, G.S. Deментiev // Patent RU 2334 245, IPC G01S 7/00 – 09.01.2007.

40. Yatskov, R.V. Morphological synthesis of a complex of simulation models taking into account adaptive information interaction of operators with the control object [Text] / R.V. Yatskov // Ergodesign. – 2018. -№2(02). – P. 29-32. – doi: 10.30987/article_5bf98b6402c571.26314373.

Ссылка для цитирования:

Рытов М.Ю. Теоретико-прикладные вопросы отбора и подготовки операторов человеко-машинных комплексов в отечественной эргономике / М.Ю. Рытов, В.В. Спасенников // Эргодизайн. – 2020 - №4 (10). – С. 203-224. - DOI: 10.30987/2658-4026-2020-4-203-223.

Сведения об авторах:

Рытов Михаил Юрьевич

Брянский государственный технический университет
Кандидат технических наук, доцент
Тел.: +7 (4832) 51-13-77
E-mail: rmy@tu-bryansk.ru
ORCID

Спасенников Валерий Валентинович

Брянский государственный технический университет
Доктор психологических наук, профессор
Тел.: +7 (4832) 58-82-80
E-mail: spas1956@mail.ru
ORCID 0000-0002-4378-3426

Abstracts:

M. Yu. Rytov

Bryansk State Technical University,
Can. Sc. Tech., Ass.Prof.
Тел.: +7 (4832) 51-13-77
E-mail: rmy@tu-bryansk.ru
ORCID

V.V. Spasennikov

Bryansk State Technical University,
D. Psychol., Prof.
Тел.: +7 (4832) 58-82-80
E-mail: spas1956@mail.ru
ORCID 0000-0002-4378-3426

Статья поступила в редколлегию 25.09.2020 г.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
член редакционного совета журнала «Эргодизайн»

Киричек А.В.

Статья принята к публикации 05.10.2020 г.