

**Определение рационального соотношения затрат между теоретическими
и практическими видами подготовки специалистов в автоматизированных
обучающих системах с учетом имеющихся ресурсов**

**Сергей Алексеевич Багрецов^{1✉}, Илья Олегович Шарапов²,
Николай Михайлович Епанишников³, Анатолий Владимирович Костюк⁴,
Сергей Александрович Зырин⁵**

¹Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
Санкт-Петербург, Россия,
[✉]sergeibagrecov@bk.ru

²Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны,
Ярославль, Россия,

^{3,4}Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной
гвардии Российской Федерации,
Санкт-Петербург, Россия,

⁵Военный ордена Жукова университет радиоэлектроники,
Череповец, Россия,
[✉]cvviur6@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается распределение временных ресурсов на индивидуальную подготовку операторов (с учетом их индивидуальных характеристик) с целью оптимизации эффективности их групповой деятельности при эксплуатации сложных технических систем. Задача исследования – разработать оптимальный вариант распределения ресурсов на подготовку оператора, входящего в группу управления. Авторами приводятся расчеты, свидетельствующие о решении задачи оптимизации процесса и подтверждающие тот факт, что применяемый подход позволяет повысить эффективность всей системы в целом. Отмечается, что реализация подобного решения возможна на любом этапе работы системы.

Ключевые слова: эксплуатация, подготовка, затраты, модель обучения, линейное программирование

Для цитирования: Багрецов С. А., Шарапов И. О., Епанишников Н. М., Костюк А. В., Зырин С. А. Определение рационального соотношения затрат между теоретическими и практическими видами подготовки специалистов в автоматизированных обучающих системах с учетом имеющихся ресурсов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 2 (107). С. 7–15. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-2-107-1>.

Determining appropriate cost relations between theoretical and practical types of specialists' preparation in automated training systems due to available resources

**Sergey A. Bagretsov^{1✉}, Ilya O. Sharapov², Nikolai M. Epanishnikov³,
Anatolii V. Kostiuik⁴, Sergey A. Zyrin⁵**

¹ A. F. Mozhaysky's Military-Space Academy,
St Petersburg, Russia,

¹sergeibagrecov@bk.ru✉

² Yaroslavl Higher Military School of Air Defense,
Yaroslavl, Russia,

^{3, 4} St Petersburg Military Order of Zhukov Institute of National Guard Troops
of the Russian Federation,
St Petersburg, Russia,

⁵ Military Order of Zhukov University of Radio Electronics,
Cherepovets, Russia,
cvviur6@mail.ru

Abstract. The article discusses the allocation of time resources for operators' individual training (taking into account their individual characteristics) in order to enhance efficiency of their group activities while operating complex technical systems (CTS). The task of the study is to develop an optimal variant for allocating resources for training an operator in the management group. The authors provide calculations showing the solution of the process optimization problem and demonstrating the effectiveness of the approach taken that allows increasing the efficiency of the whole system. It is also noted that the implementation of such a solution is possible at any work stage of the system.

Keywords: operation, preparation, costs, training model, linear programming

For citation: Bagretsov S. A., Sharapov I. O., Epanishnikov N. M., Kostiuik A. V., Zyrin S. A. Determining appropriate cost relations between theoretical and practical types of specialists' preparation in automated training systems due to available resources. *Cherepovets State University Bulletin*, 2022, no. 2 (107), pp. 7–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-2-107-1>.

Введение

Подготовка операторов рассматривается в современных исследованиях как важнейший элемент этапа эксплуатации систем управления. Это, в свою очередь, определяет необходимость комплексной организации планирования подготовки операторов и ее учета на этапе проектирования современных человеко-машинных комплексов. В рамках решения данной проблемы возникает задача рационального распределения ресурсов на подготовку каждого оператора, входящего в состав группы управления. Трудность ее реализации прежде всего связана с необходимостью учета факторов, определяющих эксплуатационные характеристики системы, требующих как теоретических, так и практических знаний, а также факторов, обуславливающих уровень допустимых затрат на обучение специалистов.

Кроме того, возникает задача рационального распределения имеющихся временных ресурсов между теоретическим и практическим видами подготовки операторов с учетом их начального уровня и технических возможностей автоматизированной обучающей системы (далее – АОС). Характер данного распределения влияет на внутреннее содержание учебного материала АОС, его структуру, а также на выбор методов, средств и организацию контроля деятельности обучаемых. Таким образом, успешное решение указанной задачи непосредственно влияет на эффективность АОС.

Основная часть

Проблема рационального распределения ресурсов решается как при установлении глобального дифференцирования затрат в начальный период подготовки операторов, так и в процессе реализации отдельных циклов их обучения в АОС для уточнения полученных результатов и корректировки расхода средств.

Выполнение поставленной задачи рассматривается с позиции теории иерархических систем, в соответствии с которой представляется, что система рационального распределения ресурсов состоит из некоторого центра и связанных с ним подсистем подготовки операторов. При этом цель центра в такой иерархической системе включает следующие группы задач:

- 1) координация подготовки операторов таким образом, чтобы обобщенные параметры системы управления, характеризующие устойчивость ее работы в целом, удовлетворяли определенным ограничениям, описывающим область гомеостаза;
- 2) оптимизация (по возможности) одного или нескольких критериев эффективности функционирования системы управления (далее – СУ).

Процедура распределения средств на подготовку операторов в такой иерархической системе представляет собой процесс взаимодействия ряда активных элементов, действующих в соответствии со своими собственными интересами. В исследуемой модели она определяется способом управления центром, заключающимся в выборе конкретного объема средств, отпускаемых на подготовку каждого оператора, предположениями об особенностях процесса их индивидуального и практического обучения.

В эргатических системах в качестве критериев эффективности групповой деятельности операторов рассматриваются, как правило, функционалы вероятностных и временных характеристик работы отдельных операторов, входящих в состав группы, а ограничения представляют собой требования по уровню допустимых ошибочных решений, отражающих устойчивость функционирования СУ в данных условиях.

Будем считать, что состояние (т. е. уровень подготовки) коллектива операторов ($i = \overline{1, n}$) определяется совокупностью уровней подготовки отдельных специалистов, т. е. $X \in \{x_i; i = \overline{1, n}\}$, и однозначно обуславливается, с одной стороны, управлением центра $U \in U^0$, а с другой – вектором управлений отдельных операторов $\vartheta = \{\vartheta_i; i = \overline{1, n}\}$, отражающим желаемый характер индивидуального распределения имеющегося ресурса на виды их подготовки.

Пусть X – область гомеостаза системы, тогда задача центра по координации подготовки операторов состоит в достижении любого устойчивого состояния $x_i \in X$, $\forall i \in \{1, n\}$.

Обозначим через $M_i \left(U_i, \vartheta_i \right)$ критерий, оценивающий эффективность подготовки i -го оператора, а через M_0 – критерий деятельности всей группы управления. С учетом введенных обозначений оптимальным гарантирующим управлением будет такое $U \in U^0$, что

$$M_0 = \sup_{U \in U^0} \inf_{\vartheta \in R(U)} M_0(U, \vartheta),$$

где $R_i(U) = \text{Arg} \max_{\vartheta_i \in V_i(U)} M_i(U_i, \vartheta_i)$; $U^0 = \{u \in UR(u) \neq 0, R(u) = \Omega(u)\}$, где Ω –

множество таких управлений, которые переводят систему в одно из состояний множества X .

Множество U^0 может быть пустым. Это означает, что данный контингент операторов нельзя подготовить с требуемой эффективностью, определяемой областью гомеостаза системы, при имеющихся ресурсах центра и исходных характеристиках контингента операторов. Ограничения центра в таком случае могут быть представлены допустимыми временными или материальными ресурсами.

Будем считать, что центр распределяет однородный ресурс R между отдельными операторами контингента для их начальной подготовки. Пусть r_i – количество ресурсов, выделяемое для подготовки i -го оператора. Данный ресурс используется следующим образом: $\frac{0}{\vartheta_i}$ – для практической подготовки и $\left(r_i - \frac{0}{\vartheta_i} \right)$ – для начальной теоретической подготовки. В результате освоения ресурса r_i оператор i получает начальные навыки по управлению системой. Определяющим этапом их формирования является стадия практической подготовки, а степень теоретической подготовки позволяет дать оператору лишь общие представления о характере работы системы и порядке ее использования. В целом грамотное распределение средств на этапы теоретического и практического обучения оператора способствует снижению уровня ошибок, совершаемых им, и повышению его производительности.

Обозначим через $x_1 = f(\vartheta_1)$ производительность оператора, которую он набирает в результате выполнения заданий, предлагаемых в рамках обучающего курса, а через $Y_i = g_i \left(x_i, r_i - \frac{0}{\vartheta_i} \right) = \tilde{g}_i \left(\frac{0}{\vartheta_i} \right)$ – интенсивность совершаемых им ошибок после прохождения курса обучения.

Использование оценки качества деятельности оператора производительности, определяемой, например, по числу введенных в систему символов, количеству ре-

шенных в единицу времени оперативных задач управления и т. п., как основного параметра, отражает важнейший аспект методики подготовки операторов любого профиля, согласно которому специалист учится вначале выполнять операции управления точно, без ошибок, и лишь затем – быстро. Таким образом, производительность его работы является интегральной характеристикой.

Цель обучения i -го оператора заключается в максимизации его производительности, которая определяется выражением вида

$$M_i \left(r_i, \frac{0}{g_i}, \bar{Y}_i, z \right) = f_i \left(\frac{0}{g_i} \right) - Z_{\max} (0, Y_i - \bar{Y}_i),$$

где $\bar{Y}_i$ – допустимый уровень ошибок i -го оператора, работающего в составе группы управления; z – коэффициент, определяющий уровень снижения производительности оператора при наличии недопустимого уровня ошибок $Y_i > \bar{Y}_i$.

Коэффициент z может рассматриваться как штраф за единицу превышения допустимого уровня ошибок. Критерием центра, распределяющего ресурс, является максимизация взвешенной суммы производительностей обучаемых операторов:

$$M_0 \left(r, \frac{0}{g_i} \right) = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i \left(\frac{0}{g_i} \right),$$

где α_i – коэффициент важности информации i -го оператора для группового решения задач.

Допустимые уровни ошибок устанавливаются так, чтобы выполнялось следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n \beta_i Y_i = \sum_{i=1}^n \beta_i \tilde{g}_i \left(\frac{0}{g_i} \right) \leq Y,$$

где Y – общий допустимый уровень ошибок группы управления СУ, обеспечивающий ее устойчивую работу; β_i – важность ошибок i -го оператора.

На различных этапах жизненного цикла СУ параметр Y , коэффициенты α_i , β_i , z могут меняться в зависимости от целей и задач, решаемых системой.

Если рассматривать процесс обучения операторов в виде отдельных циклов, то справедлива кусочно-линейная аппроксимация функций $f_i \left(\frac{0}{g_i} \right)$ и $\tilde{g}_i \left(\frac{0}{g_i} \right)$, т. е.

$$x_i \approx k_i \frac{0}{g_i}; \quad Y_i = \max_{i=1, n} \left(0; x_i, x_i - \gamma_i \left(r_i - \frac{0}{g_i} \right) \right),$$

где x_i , k_i , γ_i – соответствующие коэффициенты аппроксимации.

Заметим, что предположение о возможности кусочно-линейной аппроксимации не нарушается при использовании широко распространенной в настоящее время экспоненциальной модели обучения¹.

Действительно, если $x_i = A_{0i} \left(1 - e^{-k_i \frac{0}{\vartheta_i}}\right)$, то $k_i \vartheta_i = \frac{\ln(1 - x_i)}{A_{0i}} = x_i$.

Таким образом, при условии принятия экспоненциальной модели обучения в качестве параметра x_i следует рассматривать его модификацию $\bar{x}_i$. В этом случае оптимальная стратегия i -го оператора будет иметь вид:

$$\vartheta_i = \begin{cases} r_i, & \text{если } z \leq (k_i / (x_i k_i + \gamma_i)) \vee (\bar{Y}_i / r_i) \geq x_i k_i; \\ (\bar{Y}_i \div \gamma_i r_i) / (x_i k_i + \gamma_i), & \text{если } ((\bar{Y}_i / r_i) < x_i k_i \wedge z > k_i / (x_i k_i + \gamma_i)). \end{cases}$$

Таким образом, если штраф z связан с общей производительностью операторов соотношением

$$z > \max_{i=1, n} (k_i / (x_i k_i + \gamma_i)), \quad (1)$$

то всем операторам невыгодно превышать допустимый уровень ошибок Y_i , $\bar{Y}_i$, $\forall i = \overline{1, n}$. Таким образом, если центр будет производить оценку операторов с учетом коэффициента z , определяемого выражением (1), то в отмеченном контингенте обучаемых будут созданы объективные условия для такой организации процесса получения новых знаний, при которой ограничение по указанному уровню ошибок будет выполнено. Кроме того, принятие данной оценки деятельности операторов способствует устойчивости мотивации и убежденности в обоснованном выборе направленности их обучения. Для центра задача оптимизации будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^n k_i \min(r_i, (\gamma_i r_i + Y_i) / (x_i k_i + \gamma_i)); \\ & \sum_{i=1}^n r_i \leq R; \quad \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \leq Y. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем дополнительные переменные:

$$t_i = \min(r_i, (\gamma_i r_i + \bar{Y}_i) / (x_i k_i + \gamma_i)).$$

¹ Багрецов С. А. Оценка знаний обучаемых в автоматизированных обучающих системах. Пушкин: ПВУРЭ ПВО, 1991. С. 108.

В этом случае задача (2) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \max_{t, \bar{Y}, z} \sum_{i=1}^n k_i t_i; \\ & \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \leq Y; \sum_{i=1}^n r_i \leq R; \bar{Y}_i \geq 0; r_i \geq 0; r_i - t_i \geq 0; \\ & \gamma_i r_i - \bar{Y}_i - (x_i k_i + \gamma_i) t_i \geq 0, i = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (3)$$

Задача (3) является задачей линейного программирования.

Выводы

Таким образом, представленная методика позволяет на различных этапах эксплуатации системы управления осуществлять рациональное распределение ресурсов на обучение операторов с учетом их индивидуальных характеристик. При этом в рамках рассмотренной методики есть возможность усилить мотивационный аспект получения специалистами новых знаний путем их материального и морального стимулирования.

Задача выявления рационального соотношения затрат на подготовку операторов может решаться как в начале процесса обучения, исходя из априорных данных для работников определенного вида специализации и степени развития профессионально важных качеств, так и в ходе получения специалистами новых знаний с целью уточнения исходного распределения средств и принятия окончательного решения по поводу структуры учебного материала, включаемого в проектируемую АОС.

Список источников

Алексеев А. В., Плащенко В. В., Алексеев А. Е., Чеботарь И. В., Шарапов И. О. Практико-ориентированная методика обучения радиоинженера принципам исследования свойств электромагнитного поля с использованием специализированных лабораторных установок // Электромагнитные волны и электронные системы. 2019. Т. 24, № 8. С. 60–65.

Багрецов С. А. и др. Автоматизированные системы обучения: методы и средства оценки эффективности. Тверь: Триада, 2005. 103 с.

Багрецов С. А. Оценка знаний обучаемых в автоматизированных обучающих системах. Пушкин: ПВУРЭ ПВО, 1991. 391 с.

Военная системотехника и системный анализ. Модели и методы подготовки и принятия решений в сложных организационно-технических комплексах в условиях неопределенности и многокритериальности / под редакцией Б. В. Соколова. Санкт-Петербург: ВИКУ, 1999. 496 с.

Галактионов А. И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ТП. Москва: Энергия, 1978. 208 с.

Ефремов И. В. Проблема обеспечения профессиональной мобильности военных специалистов на основе системного анализа и моделирования системы непрерывной профессиональной подготовки офицерских кадров космических войск. Санкт-Петербург: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2004. 274 с.

References

Alekseenko A. V., Plashenkov V. V., Alekseenko A. E., Chebotar' I. V., Sharapov I. O. Praktiko-orientirovannaya metodika obucheniya radioinzhenera printsipam issledovaniya svoystv elektromagnitnogo polya s ispol'zovaniem spetsializirovannykh laboratornykh ustanovok [Implementation of practice-oriented training as a condition of effective professional training of radio engineers]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy* [Journal Electromagnetic Waves and Electronic Systems], 2019, vol. 24, no. 8, pp. 60–65.

Bagretsov S. A. i dr. *Avtomatizirovannyye sistemy obucheniya: metody i sredstva otsenki effektivnosti* [Automated training systems: methods and tools for evaluating effectiveness]. Tver': Triada, 2005. 103 p.

Bagretsov S. A. *Otsenka znaniy obuchaemykh v avtomatizirovannykh obuchaiushchikh sistemakh* [Assessment of student performance in automated training systems]. Pushkin: PVURE PVO, 1991. 391 p.

Voennaya sistemotekhnika i sistemnyi analiz. Modeli i metody podgotovki i prinyatiya reshenii v slozhnykh organizatsionno-tekhnicheskikh kompleksakh v usloviyakh neopredelennosti i mnogokriterial'nosti [Military system engineering and system analysis. Models and methods of drafting and making decisions in complicated organizational and technical complexes under uncertainty and multicriteriality; ed. by B. V. Sokolov]. St Petersburg: VIKU, 1999. 496 p.

Galaktionov A. I. *Osnovy inzhenerno-psikhologicheskogo proektirovaniya ASU TP* [Fundamentals of engineering and psychological design of APCS]. Moscow: Energiya, 1978. 208 p.

Efremov I. V. *Problema obespecheniya professional'noi mobil'nosti voennykh spetsialistov na osnove sistemnogo analiza i modelirovaniya sistemy nepreryvnoi professional'noi podgotovki ofiterskikh kadrov kosmicheskikh voisk* [The problem of ensuring the professional mobility of military specialists based on a systematic analysis and the system of continuous professional training for officers in space troops]. St Petersburg: VKA imeni A. F. Mozhaiskogo, 2004. 274 p.

Сведения об авторах

Сергей Алексеевич Багрецов – доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор; sergeibagretsov@bk.ru, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского (д. 13, ул. Ждановская, 197198 г. Санкт-Петербург, Россия); **Sergey A. Bagretsov** – Doctor of Technical Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor; sergeibagretsov@bk.ru, A. F. Mozhaysky's Military-Space Academy (13, ul. Zhdanovskaya, 197198 St Petersburg, Russia).

Илья Олегович Шарапов – кандидат технических наук, доцент; Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны (д. 28, пр-т Московский, 150001 г. Ярославль, Россия); **Ilya O. Sharapov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Yaroslavl Higher Military School of Air Defense (28, pr. Moskovskii, 150001 Yaroslavl, Russia).

Николай Михайлович Епанишников – кандидат технических наук, доцент; Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации (д. 1, ул. Летчика Пилутова, 198206 г. Санкт-Петербург, Россия); **Nikolai M. Epanishnikov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; St Petersburg Military Order of Zhukov Institute of National Guard Troops of the Russian Federation (1, ul. Letchika Pilyutova, 198206 St Petersburg, Russia).

Анатолий Владимирович Костюк – кандидат технических наук, доцент, профессор; Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации (д. 1, ул. Летчика Пилутова, 198206 г. Санкт-Петербург, Россия); **Anatolii**

V. Kostiuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor; St Petersburg Military Order of Zhukov Institute of National Guard Troops of the Russian Federation (1, ul. Letchika Pilyutova, 198206 St Petersburg, Russia).

Сергей Александрович Зырин – начальник учебной лаборатории, cvviur6@mail.ru; Военный ордена Жукова университет радиоэлектроники (д. 126, пр-т Советский, 162622 г. Череповец, Россия); **Sergey A. Zyryin** – Head of the training laboratory, cvviur6@mail.ru; Military Order of Zhukov University of Radio Electronics (126, pr. Sovetskii, 162622 Cherepovets, Russia).

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.08.2021; одобрена после рецензирования 14.10.2021; принята к публикации 26.10.2021.

The article was submitted 10.08 2021; Approved after reviewing 14.10.2021; Accepted for publication 26.10.2021.