

С.А. Багрецов,
Е.В. Шалонов,
Л.В. Розанова

Иерархия механизмов гомеостаза человеко-машинных комплексов: проблемы их анализа и реализации

Рассматривается структура взаимосвязей гомеостатических механизмов сложных систем управления (ССУ). В частности определены условия реализации параметрического и функционального механизмов гомеостаза ССУ на основе анализа статико-динамических, энтропийно-организационных и системно-иерархических механизмов гомеостаза, обеспечивающих целостность системы управления в условиях динамично изменяющейся внешней среды.

Ключевые слова: гомеостаз, человеко-машинный комплекс, адаптация, групповая деятельность организационная структура, координация, мотивация.

S.A. Bagretsov,
E.V. Shalov,
L.V. Rozanova

Hierarchy of homeostasis mechanisms of human-machine complexes: problems of their analysis and Implementation

Developing control systems for regional socio-economic and large technical systems is inevitably associated with the concept of human-machine complexes (HMC). They are considered as a set of a large number of hierarchically dependent complex subsystems, including staffs and machines, possessing a certain degree of organization and autonomy, interconnected by mechanisms and means of organization (i.e. material and informational links) to ensure the purposeful functioning of the entire system as a single whole in conditions of tense internal resource close to the limiting ones.

The article discusses the hierarchy of interrelated homeostasis mechanisms of the HMC, ensuring both its parameter constancy and the performance of systemic functions at all hierarchy levels. In particular, the following types of homeostasis are considered: a parametric type (the internal circuit of homeostasis), designed to maintain the parameter constancy of HMC active elements and a functional type (the external circuit of homeostasis), ensuring the constancy of its functioning. At the same time, the functional integrity of the system is ensured by the work of the interrelated static-dynamic and entropy-organizational homeostasis mechanisms, which, in turn, in practical activity are implemented through coordination-motivational (CMR), organizational-motivational (OMP) and functional (FMR) mechanisms of regulation. The need for an integrated application of all entropy-organizational regulation mechanisms (CMR, OMR, FMR) in the operators' activities determines the necessity to use multivariate methods to determine their composition and application.

To solve this problem, the article examines the supersystem elements of the activity regulation, which are formed as a result of the operators' psychological interaction in the process of their activity, as a kind of an abstract system of a higher order, which has its own supersystem properties, its own autonomous metric and conservation laws, and most importantly, its situation reflection which is different from the system one. In this case, homeostatic hierarchical networks, the elements of which are homeostatic mechanisms of HMC operators at various levels, become the basis of HMC structural-hierarchical homeostasis.

Thus, being complex systems, HMC synergistically change (adapt) their internal characteristics, thereby ensure the integrity of the entire system functioning, which allows speaking, on the one hand, of their homeostaticity as the HMC most important characteristic, and on the other hand, determining the need to search for new approaches to their methodological description, and, consequently, to organizing their management and design.

Keywords: homeostasis, human-machine complex, adaptation, group activities, organizational structure, coordination, motivation.

Введение

Управление современными человеко-машинными комплексами (ЧМК) строится по иерархическому принципу. В этом проявляется одно из общих свойств организации больших систем, при котором функция одного уровня системы управления не просто подчинена функции другого, а является условием ее выполнения. Опираясь на классическое определение больших систем [2, 3, 6, 7], можно сказать, что ЧМК – это совокупность большого числа иерархически зависимых сложных подсистем, содержащих коллективы людей и машин, обладающих определенной степенью организованности и автономности, объединенных между собой механизмами и средствами организации (т.е. вещественными и информационными связями) для обеспечения целенаправленного функционирования всей системы как единого целого в условиях напряжения внутренних ресурсов, близких к предельным. Представляя собой сложные системы, ЧМК изменяют (адаптируют) свои внутренние характеристики не только в силу аддитивной свертки параметров большого числа их взаимозависимых элементов (т.е. операторов, а также других элементов ЧМК, обладающих способностью к целеполаганию), но и в результате синергии результатов их деятельности.

Вопросы методологии анализа и синтеза таких систем рассматривались в работах [1, 4, 5, 6, 8, 9, 10]. Значительная часть работ этого плана посвящена вопросам математической формализации принципов работы иерархических систем. Вместе с тем, развитие в последнее время новых направлений исследования ЧМК, связанных, прежде всего с адаптацией процессов их функционирования к неблагоприятному воздействию внешней среды, определяет необходимость поиска новых подходов к их методологическому описанию, а, следовательно, и к их проектированию. Рассматривая адаптивность организационных структур ЧМК как их функцию, действия которой наблюдаются во всем диапазоне изменения параметров внешней среды и обеспечивает целостность функционирования системы, следует говорить уже не просто об адаптируемости, а о гомеостатичности их организационных структур [6, 7, 11, 12].

В работах [9, 12, 13] подчеркивается, что гомеостаз иерархии системы есть поддержание не только постоянства ее параметров, но и выполнения системных функций на всех ступенях иерархии.

В связи с этим рассматривают два уровня гомеостаза: параметрический – для поддержания постоянства параметров активных элементов ЧМК (внутренний контур гомеостаза) и функциональный, обеспечивающий поддержание постоянства функционирования ЧМК (внешний контур гомеостаза системы) при изменении условий внешней среды [12]. При этом функциональный гомеостаз отдельных элементов структуры и в целом ЧМК является результатом и следствием параметрического гомеостаза. Для обеспечения жизнедеятельности системы управления необходимо взаимодействие двух уровней гомеостаза. И тот и другой виды гомеостаза имеют собственные механизмы его реализации, которые в свою очередь разделяются на общие и специфические. В современных исследованиях [7] рассматриваются два уровня таких механизмов: статико-динамические и энтропийно-организационные механизмы, обеспечивающие целостное проявление гомеостатических свойств сложно организованных систем управления. Анализ гомеостатических свойств таких систем управления показывает, что активные элементы системы нижележащего уровня иерархии, объединяясь в системы вышележащего уровня, формируют качественно новую, более сложную системную функцию. Постоянство усложнения системных функций от уровня к уровню представляет еще один вид гомеостаза со своими механизмами его реализации. Этот вид гомеостаза можно определить как системно-иерархический. Нарушение системно-иерархического гомеостаза ведет к дезинтеграции целостности системы управления.

В общем виде в основу анализа гомеостатических свойств поведения активных элементов ЧМК может быть положена качественная схема, представленная на рисунке 1. В соответствии с ней поведение оператора определяется стремлением к реализации им своих целей, которые в свою очередь определяются потребностями оператора и параметрами окружающей его внешней среды. Схема отражает общий закон взаимной адаптации элементов любых систем ЧМК.

В воздействиях внешней среды на процесс целеполагания активных элементов ЧМК могут быть выделены два аспекта. Во-первых, это все основные воздействия физической природы окружающей среды и в первую очередь информационного поля ЧМК. Во-вторых, это воздействия, оказываемые на оператора социально-функциональной средой.



Рис.1. Структурная схема классификации механизмов гомеостаза ЧМК

Характеристики физических параметров внешней среды определяют условия поступления веществ и энергии в биосистему (организм) человека, одной из важнейших функций которой является самосохранение, достигаемое на основе поддержания постоянства внутренней среды его организма.

Представляя структуру организма человека как единство его метаболической и информационно-кибернетической частей, обеспечивающей его сознательное взаимодействие с внешней средой (в первую очередь с ее информационным содержанием), можно говорить о наличии информационно-кибернетических механизмов гомеостаза человека, как активного элемента ЧМК, обеспечивающих его стационарное неравновесное состояние в информационной среде системы.

В этом случае постоянное, в процессе эксплуатации ЧМК, расширение информационно-кибернетических механизмов освоения окружающей среды и их совершенствование следует рассматривать как важнейшее условие профессионального развития оператора, определяемое его потребностями.

В целом механизмы, обеспечивающие поддержание постоянства параметров внутренней среды объекта и возможности осуществления

им своих системных функций, связаны в основном со статико-динамическими механизмами гомеостаза. Социально-функциональные воздействия на оператора ЧМК основаны на выделении, с одной стороны, директивного прямого (функционального) воздействия, реализуемого через предписываемые цели, нормы, ограничения, алгоритмы поведения отдельных операторов и их структурных общностей,

а с другой – опосредованного (социального) воздействия, реализуемого через систему стимулирования мотивации активных элементов ЧМК [15]. Методы опосредованного воздействия разделяются на мотивационные комплексы субъектов управления ЧМК обычно на основе классификации внутренних факторов – потребностей (мотивов, интересов и т.д.). Эти методы обеспечивают следование прямым воздействиям (нормам, ограничениям, требованиям, эталонам поведения специалистов и т.д.) и связаны с социальными аспектами деятельности операторов.

Простейшая классификация методов опосредованного воздействия, реализуемых через стимулирование деятельности специалистов ЧМК, выделяет методы материального и морального (социального) стимулирования [16].

Применительно к организационным системам ЧМК, на рассмотрение которых в первую очередь направлены современные исследования по теории активных систем, прямым формам воздействия отвечают декларируемые операторам группы управления цели, планы, нормативы, ограничения механизма функционирования, а опосредованным формам – оценки эффективности деятельности операторов в ЧМК, формы их материального и морального стимулирования. Кроме того, в анализе механизмов и форм этих воздействий необходимо учитывать внутренние противоречия отдельных операторов групп управления. В этом случае функциональная целостность системы

обеспечивается работой энтропийно-организационных и системно-иерархических механизмов гомеостаза, содержание которых подробно будет рассмотрено ниже. На рисунке 2 приведена структурная схема иерархии целей деятельности операторов в ЧМК и связанных с ними механизмов гомеостаза индивидуальной и групповой деятельности операторов ЧМК в системе управления. Учет структурных особенностей механизмов гомеостаза ЧМК дает возможность разработать единую концепцию функционального гомеостаза системы в целом. Рассмотрим структуру указанных механизмов гомеостаза ЧМК более подробно.



Рис. 2. Структура целей ЧМК, связанных с зависимостью результатов функционирования от параметров внешней среды

Статико-динамические механизмы гомеостаза человеко-машинных комплексов

Как уже указывалось, статико-динамические механизмы обеспечивают выполнение двух видов гомеостаза: поддержание постоянства параметров и возможности осуществления системной функции ЧМК. Объек-

тами воздействия статико-динамических механизмов гомеостаза в ЧМК могут быть как система в целом, так и ее отдельные операторы. Рассмотрим действие статико-динамических механизмов гомеостаза на примере гомеостаза индивидуальной деятельности оператора ЧМК. С точки зрения обеспечения индивидуальной деятельности операторов ЧМК важнейшей их целью является стремле-

ние к самосохранению (хотя бы на период выполнения задачи). Достижение цели самосохранения определяется, во-первых, способностью ЧМК обеспечить жизнь людей, составляющих его интеллектуальный потенциал, необходимыми для этого средствами и, во-вторых, защитой выполняемых ими жизненных функций от неблагоприятных внешних воздействий. Эти две стороны тесно связаны между собой и лежат в основе всех классических представлений о самосохранении биосистемы. Первая сторона обычно связывается с представлениями Клода Беркара, в которых подчеркивается, что все жизненные механизмы, как бы разнообразны они не были, имеют только одну цель – сохранение постоянства условий жизни во внутренней среде [13]. Другая сторона связана с необходимостью обеспечения адекватного притока веществ и энергии в биосистему (организм человека) извне, чтобы уравновесить ее расход внутри системы, обеспечивая тем самым стационарное неравновесное состояние.

Рассматривая оператора как биосистему, наделенную сознанием и включенную в предметную деятельность, следует полагать наличие определенного порядка достижения указанных выше целей гомеостаза в биологической сфере и сфере предметных отношений (рисунок 3.). Анализируя все взаимосвязи, можно отметить ряд уровней в процессах внутренней и внешней адаптации операторов: физиологический, предметный, функциональный, социальный и психологический.

Вначале обеспечивается выполнение стационарного неравновесного состояния между притоком и расходом в организме человека вещества и энергии (цель первого порядка). На втором этапе, когда баланс темпов притока и расхода веществ обеспечен, появляется возможность достижения цели второго порядка – создания таких условий функционирования внутри биосистемы, которые не зависели бы от изменения условий внешней среды, т.е. внутреннего гомеостаза. Цели первого и второго порядков в деятельности оператора достигаются за счет действия особых механизмов регуляции, относящихся к контуру внутреннего физиологического гомеостаза. Нарушение физиологического гомеостаза автоматически влечет за собой изменение режимов работы внутренних органов и систем, а возможно, и характеристик их функционирования.

Предметную операторскую деятельность можно рассматривать с разных взаимосвязан-

ных позиций – профессиональной готовности, активности личности, с позиций общей теории систем и др. Целостность предметной операторской деятельности обеспечивается особыми механизмами гомеостаза [7, 9], относящимися к механизмам внешнего контура гомеостаза деятельности оператора. С точки зрения профессиональной готовности операторов интерес представляют особенности их взаимодействия с информационной средой. Целевым назначением действующих здесь механизмов гомеостаза является достижение стационарного неравновесного состояния между выходным и входным потоками информации (т.е. операционального гомеостаза деятельности оператора). Принцип их функционирования основан на зависимости эмоциональных реакций человека от напряженности его работы, которые в сочетании с мотивацией способны изменять параметры деятельности оператора (время, вероятность безошибочной обработки информации).

Оценка влияния эмоционального напряжения на показатели работы оператора проводилась в работах [4, 5, 9, 12, 13], а в работе [14] дополнительно проведен анализ влияния на этот процесс личностных характеристик оператора. Вместе с тем, в литературе отсутствуют данные о влиянии на эффективность функционирования современных ЧМК психологических и физиологических возможностей оператора с учетом полифакторного характера влияния среды обитания. Решение данной исследовательской задачи частично раскрывается в работе [10], а пример ее реализации приведен в [14].

Рассмотрение оператора с позиций активного элемента ЧМК как системного образования связано с необходимым расширением круга внешних факторов, характеризующих различные формы профессиональной активности оператора, направленных на формирование им благоприятной внешней среды и его самого как субъекта деятельности. Эта активность в работе [13] трактуется, как способность профессионала привести соответствующие функциональные системы в адекватные определенной ситуации состояния с помощью соответствующих гомеостатических механизмов саморегуляции. Важной проблемой в оценке эффективности воздействия гомеостатических активационных механизмов саморегуляции на эффективность деятельности оператора является учет в этом процессе его личностных характеристик. Подобного рода модели рассматриваются в исследовани-

ях [13]. Реализуемый в них подход предполагает целостное рассмотрение операторской деятельности, т.е. единства ее объектной и субъектной подсистем. Объектная подсистема включает не только указанные выше объект управления, физическую сферу, технические

средства деятельности, но и социальную среду, а также средства психологической и психофизиологической поддержки. Указанные модели составляют основу квалиметрии индивидуальной деятельности операторов.

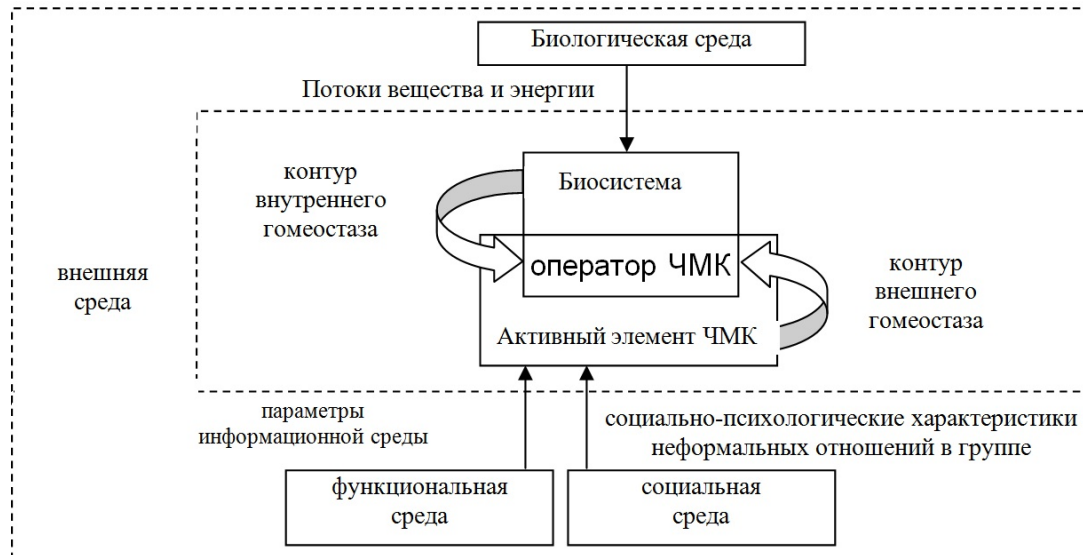


Рис.3. Структура внешних воздействий на оператора ЧМК

Если первая часть объектной подсистемы характеризует предметную среду, в которой функционирует оператор, а действующие в ней механизмы гомеостаза связаны с обеспечением стационарного неравновесного состояния входных и выходных потоков информации на основе адаптационной перестройки параметров работы оператора, то вторая часть подсистемы определяет характер взаимодействия субъекта управления в сфере неформальных отношений. Действующие здесь механизмы гомеостаза направлены на раскрытие психофизиологических резервов, активизацию компенсаторных и защитных механизмов оператора, работа которых обеспечивается соответствующими средствами психофизиологической и психологической поддержки. При этом объектная подсистема изменяет условия физической среды и общественного окружения; диктует социальные требования; определяет установки, цели, мотивы, ценности; генерирует функциональные задачи контроля и управления; выдвигает соответствующие требования к знаниям, умениям и навыкам специалиста; проверяет устойчивость его организма к изменениям физической среды, к личностям взаимодействующих субъектов деятельности и к их профессионально значимым качествам. В различных формах организации

взаимодействия операторов в группе степень влияния характеристик сферы неформальных отношений операторов на эффективность работы группы различна [15]. Однако, в указанных исследованиях, посвященных анализу статико-динамических механизмов гомеостаза, эти вопросы рассматривались лишь на качественном уровне. Необходимость строгого количественного анализа этого взаимодействия в рамках решения задач квалиметрии групповой деятельности операторов определила актуальность исследований этой проблемы, выполненных в [12].

Субъект деятельности при таком подходе должен иметь способность и возможность мгновенно реагировать на требования объектной подсистемы, непротиворечиво соединять все гомеостатические механизмы саморегуляции, приводящие в действие соответствующие формы активности. Системная активность (т.е. системный гомеостаз) должна обеспечивать централизующую, направляющую и активизирующую позицию субъекта деятельности; оптимизировать психические возможности, компенсировать недостатки личности, регулировать индивидуальные состояния в соответствии с конкретной ситуацией; обеспечивать своевременность и пропорциональность действий профессионала. Наиболее значимой об-

ластью воздействия механизмов системного гомеостаза является система знаний. Возникающие здесь противоречия между необходимостью обработки и сохранения в памяти возрастающего потока информации и ограниченным объемом памяти человека разрешаются механизмами перегруппировки (структуризации) знаний. Это позволяет говорить о гомеостатичности знаний, как об их важнейшем свойстве.

Структуризация знаний осуществляется как в процессе их поступления, так и в процессе их устаревания или эмуляции в результате приобретения, например, отрицательного опыта. Отсюда становится ясна качественная связь между объемом памяти оператора, уровнем его профессиональной подготовки и его способностью оперативно реагировать на изменения характера внешней среды в ходе профессиональной деятельности [14, 15]. Проблема может быть решена при комплексном рассмотрении таких вопросов, как пересмотр существующих подходов к технологии выработки решений, подготовки специалистов и создания экспертных систем нового класса – адаптивных динамических систем, в которых в зависимости от ситуации, характеризующей внешнюю среду, изменяется содержание базы знаний, логика принятия решения, стоящие перед системой цели. Таким образом, физиологический, параметрический и функциональ-

ный виды гомеостаза в предметной деятельности оператора оказываются связанными через единый источник энергетического и вещественного обмена (рисунок 4). Функциональный гомеостаз оператора обеспечивается знаниями, навыками и умениями в соответствующей сфере его профессиональной деятельности. Будучи заложенными в процессе его подготовки в систему навыков и умений, механизмы функционального гомеостаза образуют систему внутреннего управления деятельностью и процессами самосовершенствования оператора, которая функционирует вне его сознания.

Таким образом, внутреннее управление деятельностью является пассивным. Это означает, что в реально существующей системе поддержание стационарного равновесного состояния деятельности оператора или возникновение соответствующих ответов его биосистемы на внешнее возмущение информационной среды не требует от оператора осознаваемой им перестройки функциональных механизмов сбора и обработки информации или выполнения другой функциональной работы. В процессе обучения эти механизмы включаются в контур первичной регуляции его деятельности. Эффективность их работы зависит от уровня подготовки операторов, его психологических характеристик и от физических параметров внешней среды.

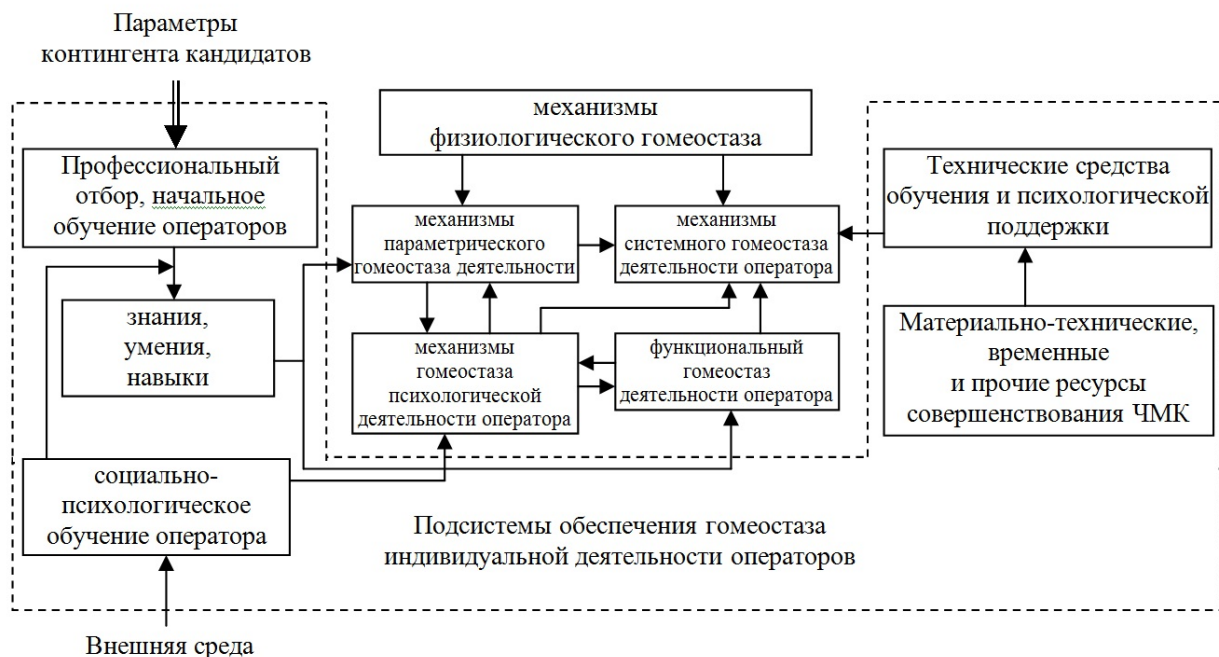


Рис. 4. Структурная схема основных механизмов статико-динамического гомеостаза деятельности оператора ЧМК

При этом статико-динамический механизм параметрического и функционального гомеостаза операторов – активных элементов ЧМК – обеспечивается взаимной зависимостью и взаимным переходом одного вида гомеостаза в другой при изменении внешних условий деятельности, уровня мотивации и профессиональной подготовки. Проблема активизации механизмов функционального гомеостаза оператора является одной из важнейших проблем обеспечения активности человека в деятельности [9, 13]. Внутри этой проблемы можно выделить два направления: а) разработка средств поддержки принятия решения (ИСПР); б) разработка ИСПР, ориентированных не столько на управленческие решения, сколько на поддержку конкретного субъекта управленческой деятельности. Конкретные пути реализации этих направлений в литературе представлены отдельными фрагментами, не составляющими единое целое. Для этого предлагается разработать адаптивные к динамике изменения функционального состояния оператора интеллектуальные системы поддержки принятия решений, базирующиеся на применении методов и средств обучаемой классификации [12, 15]. Механизмы адаптации таких систем фактически отражают установленную связь функционального и параметрического гомеостазов операторов в деятельности.

Энтропийно-организационные механизмы гомеостаза человеко-машинных комплексов

Энтропийно-организационные механизмы действуют внутри организационных структур ЧМК, проявляясь в случайной организации структуры координационных связей между операторами в группе, в вероятностной структурно-функциональной активации операторов, зависящей от их внутреннего состояния и параметров внешней среды.

Рассмотрим двухуровневую структуру организации ЧМК, как ее основной элемент. Подходя к анализу этой структуры с общих позиций обеспечения гомеостаза функционирования ЧМК, можно сказать, что внутри этой структуры существует три уровня функциональных отношений (рисунок 5): между операторами и управляемым объектом (R_1); между операторами группы (R_2); между руководителем группы и операторами (R_3).

Уровень R_1 отражает гомеостаз индивидуальной деятельности операторов. Для этого

уровня профессиональной деятельности операторов характерно комплексное проявление статико-динамических механизмов гомеостаза. Уровень R_2 отражает действие групповых механизмов гомеостаза ЧМК. Уровень R_3 отражает характер координационных взаимоотношений операторов группы. Он содержит детерминированные и вероятностные механизмы управления взаимоотношениями операторов в процессе решения оперативных задач управления [15]. Детерминированные механизмы координации деятельности операторов обеспечиваются работой руководителя группы и специально создаваемого программно-целевого органа управления. Они обеспечивают работу статико-динамических механизмов гомеостаза на уровне групповой деятельности операторов. Вероятностные механизмы координации связаны с внутренней активностью действий операторов в составе группы, с их психологической готовностью к самоорганизации своей деятельности в интересах достижения общей цели [14, 16]. Вероятностные механизмы координации приводят к случайному изменению организационной структуры ЧМК в каждой отдельно взятый момент времени и обеспечиваются работой энтропийно-организационных механизмов гомеостаза. Уровень R_3 определяет характер субординационных отношений в группе.

Системообразующим фактором регуляции групповой деятельности операторов ЧМК является принцип координации их действий, под воздействием которого структуры и функции ЧМК оказываются взаимно согласованными и оптимально соответствующими друг другу. Таким образом, координационно-мотивационные механизмы регуляции (КМР) следует рассматривать как составную часть энтропийно-организационных механизмов гомеостаза групповой деятельности операторов. Их задачей является согласование структур и функций в динамике взаимодействия операторов группы. Решение этой задачи рассмотрено в [7]. Предложенные авторами пути ее теоретической и практической реализации базируются на применении гибридных экспертно-моделирующих систем, сочетающих в себе традиционные методы математического моделирования условий согласования структуры и функций ЧМК и эвристические. Если функциональная деятельность операторов ЧМК мобильна и может существенно изменяться, то структура их взаимных связей более консервативна. Поэтому между структурами и функциями ЧМК возникают противоречия.

Когда прежние структуры организации деятельности операторов ЧМК становятся неадекватны новым функциям, гомеостаз системы нарушается. Нарастающее противоречие (т.е. нарушение гомеостаза) не может быть устранено на уровне индивидуальной деятельности операторов ЧМК. Его устранение возможно благодаря действию гомеостатических механизмов высших (R_2 , R_3 и т.д.) уровней иерархии, связанных с решением задач оптимизации отношений между операторами ЧМК, между операторами и руководителем группы, рационального распределения ресурса, поддержания наилучших условий для обеспече-

ния функциональной деятельности операторов и т.п. Механизмы гомеостаза, действующие на этом этапе согласования структур и функций группы операторов, могут быть определены как организационные и функциональные механизмы регуляции (ОМР, ФМР). Конкретная реализация их управляющих воздействий рассматривается авторами в рамках экспертно-моделирующего комплекса [12, 14]. Задачей гомеостатов нижнего уровня в таких системах является поддержание более простых (с функциональной точки зрения), но жизненно важных для целей индивидуальной деятельности операторов ЧМК функций и параметров.

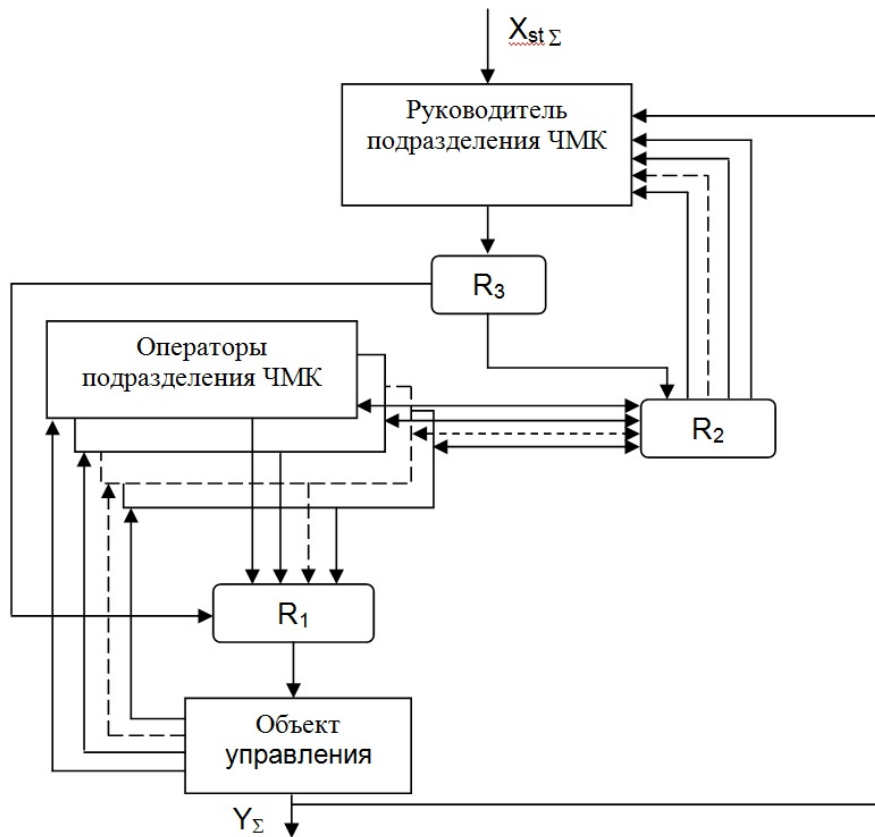


Рис. 5. Блок-схема общего контура гомеостаза в структурном подразделении ЧМК

Эта двойственность целевых задач, характерная для активных систем вообще, приводит к, своего рода, иерархии ценностей: поддержание гомеостаза высшего уровня организации ЧМК может обеспечиваться за счет его нарушения на нижних уровнях. Сложность решения вопросов об интегрированном применении всех энтропийно-организационных механизмов (КМР, ОМР, ФМР) регуляции деятельности группы обусловлена трудностью построения адекватной математической модели поведения группы в различных условиях ее функционирования, а жесткий лимит времени, выделяемого на решение этой задачи, делает

затруднительным реализацию этих механизмов в реальном масштабе времени. Все это определяет необходимость использования многовариантных методов определения состава применяемых механизмов регуляции на основе анализа качественных признаков состояния ЧМК.

В настоящее время вопросы совершенствования организационных форм управления рассматриваются как постоянная функция ЧМК. Ее реализация осуществляется в рамках решения задач специального программно-целевого органа управления. Поэтому становится актуальной разработка методического подхода к

обоснованию принципов ее работы. В литературе по системному анализу считается аксиомой, что более сложные по структуре системы более устойчивы к воздействию внешних факторов [11]. Именно эта аксиома положена в основу действия рассмотренных выше энтропийно-организационных механизмов гомеостаза. Однако исследования реальных технических и социологических систем показывают, что существует определенная грань между реализуемым разнообразием, сложностью активных систем управления и их устойчивостью. В ряде работ [6, 17] эта зависимость дискутируется и признается недостаточно ясной. Вместе с тем, знание этой зависимости для ЧМК, функционирующих в динамично изменяющейся среде, имеет первостепенное значение в оценке устойчивости их функционирования.

Системно-иерархические механизмы гомеостаза человеко-машинных комплексов

Под системно-иерархическим гомеостазом будем понимать процесс усложнения системных функций при восхождении по уровням иерархии ЧМК [7, 10, 13]. Совокупность систем нижележащего уровня иерархии, объединяясь на основе действия статико-динамических и энтропийно-организационных механизмов в систему вышележащего уровня, образует качественно новую систему. Конкретной формой проявления этого эффекта является синергетический эффект [7, 13]. Явление синергизма в организационной структуре ЧМК находит свое отражение в квалиметрии групповой деятельности операторов, имеющих многоуровневую иерархическую структуру. Имеющиеся в настоящее время разрозненные публикации [9-11, 12.] по этой проблеме не составляют цельного системного исследования и практически не отражают механизм системно-иерархического гомеостаза группы. Роль этих механизмов в системе могут выполнять элементы специального программно-целевого органа управления ЧМК. Вместе с тем в полиэргатических системах действуют и надсистемные элементы регуляции деятельности, образующиеся как результат психологического взаимодействия операторов в процессе деятельности, как некая абстрактная система более высокого порядка, обладающая собственными надсистемными свойствами, собственной автономной метрикой и законами сохранения, а главное, своим

отображением ситуации, отличающимся от системного.

Надсистема формирует социально-психологический комплекс внутригрупповых отношений, определяющий психологическую готовность операторов к деятельности (ПСД), рассматривая их как групповой субъект деятельности. Важной проблемой здесь является инструментальное обеспечение этого процесса. Данная проблема с системных позиций должна рассматриваться в комплексе проблем квалиметрии групповой деятельности операторов. Диалектика противоречия между системой и надсистемой состоит в том, что они – одна и та же самопротиводействующая сущность. В основе этого тезиса положен факт, что надсистема формируется в результате самоорганизации множества конфликтующих активных элементов ЧМК. Вместе с тем самоорганизация и неустойчивость образуют диалектическое единство. Самоорганизация повышает сложность ЧМК, сложность усиливает влияние многокритериальности, а снижение эффективности, хотя бы по одному из критериев, нарушает процесс самоорганизации.

Таким образом, самоорганизация ЧМК является неперенным условием его развития, а внутренние механизмы поддержания этого процесса и составляют основу системно-иерархического гомеостаза, проявляющегося как в сфере формальных, так и неформальных отношений, отражая тем самым единство объективной и субъективной сфер взаимодействия операторов в группе. Анализ механизмов этого взаимодействия составляют еще одну проблему обеспечения гомеостаза ЧМК. Методы их учета в оценке эффективности деятельности группы рассмотрены в [15, 16].

Иерархическая гомеостатическая структура ЧМК обладает такими важнейшими свойствами, как самосбалансированность, взаимная поддержка между ее активными элементами и подсистемами и "самопожертвование" достижением нижестоящих целей при исчерпании адаптационного ресурса комплекса. Учет структурных особенностей уровней иерархии ЧМК и взаимодействующих механизмов адаптации дает возможность построить единую концепцию построения системно-иерархического гомеостаза ЧМК. Основой структурно-иерархического гомеостаза ЧМК являются гомеостатические иерархические сети, элементами которых являются гомеостатические механизмы операторов ЧМК различных уровней иерархии (рисунок 6).

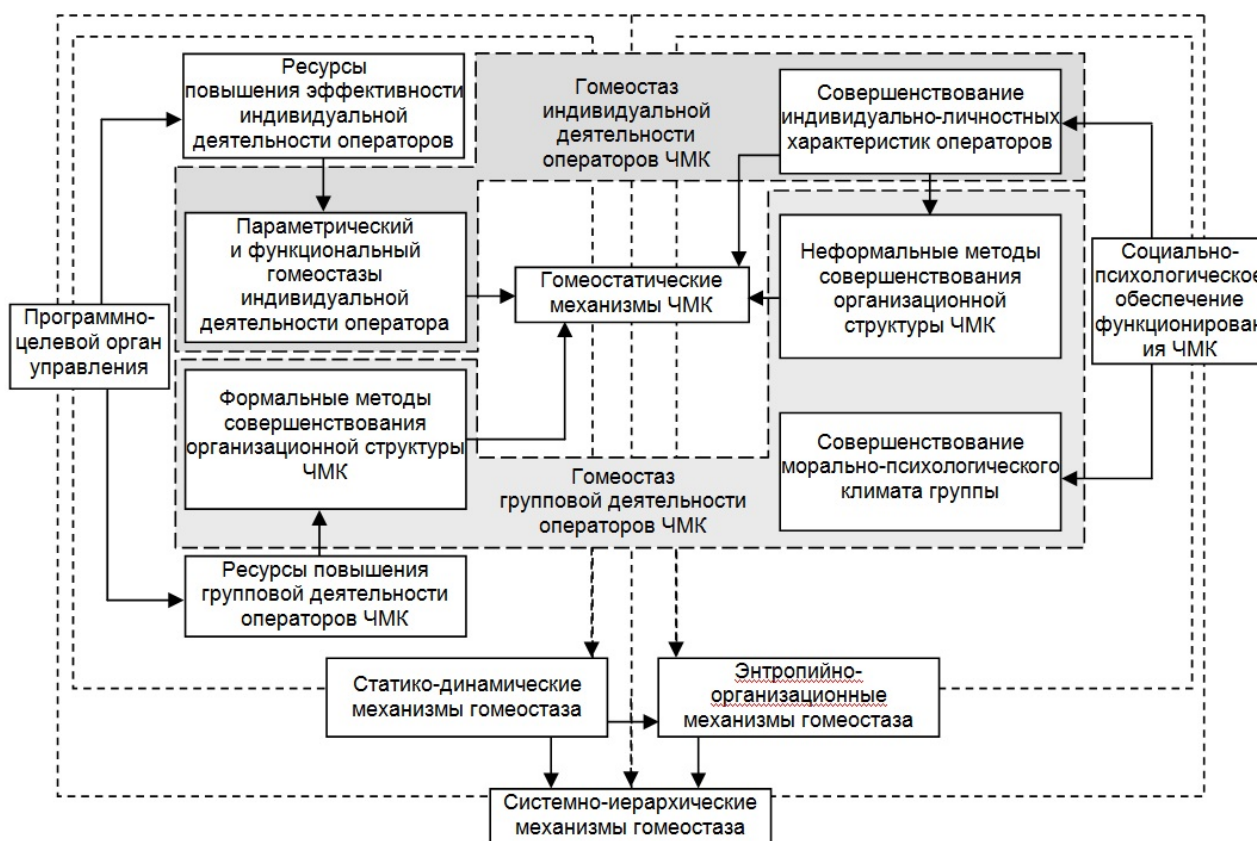


Рис. 6. Структурная схема иерархии взаимных связей механизмов гомеостаза ЧМК

Эти механизмы гомеостаза, базируются на имеющейся функциональной избыточности структуры ЧМК. Их рациональное использование, а, следовательно, и управление процессами адаптации ЧМК, требует решения сложных задач организации взаимодействия механизмов гомеостаза комплекса на всех уровнях иерархии с учетом индивидуальных особенностей операторов. Сложность и многоаспектность решения этой проблемы требует с одной стороны использования достаточно точных математических моделей, а с другой – применения методов качественного анализа. Взаимный учет этих противоречивых требований в рамках единого подхода составляет еще одну нерешенную проблему. Гомеостатические иерархические сети обладают высшим свойством адаптации к изменениям внешней и внутренней среды. Однако эти перестройки не могут осуществляться мгновенно. Поэтому, если операторы системы управления ЧМК подвергаются воздействию стрессовых нагрузок, то при соответствующей мотивации деятельности достижение целей оптимизационного характера теряет для них актуальность. Учитывая неоднородный характер личностных свойств, профессиональных качеств и связей операторов в структуре ЧМК, особый

интерес приобретает оценка, возникающей при подобных возмущениях структуры, динамики индивидуальных изменений статико-динамических механизмов адаптации операторов. Решение этой задачи рассматривается в работах [13, 18]. В процессе эргономического обеспечения групповой деятельности в ЧМК в перспективных исследованиях необходимо уделять внимание патентованию возможных технических решений, начиная с ранних стадий проектирования [19,20].

Поскольку гомеостатическая сеть ЧМК в отдельных случаях не может быстро перестроиться, то стратегия выведения ЧМК из рассматриваемого выше критического состояния может быть реализована путем расщепления гомеостатической сети на автономные фрагменты, ответственные за поддержание важнейших функций и параметров ЧМК. В первую очередь в такой ситуации разрушаются системно-иерархические механизмы гомеостаза системы управления. Это приводит к деградации целостности групповой деятельности операторов и нарушению структурно-функциональной организации ЧМК (т.е. к появлению нескольких автономно функционирующих групп управления). Процесс деградации деятельности группы развивается по мере

ухудшения условий ее деятельности. Анализ и количественная оценка динамики этого процесса также представляет самостоятельный интерес, как в теоретическом, так и в практическом планах.

Заключение

Гомеостатичность является важнейшей характеристикой проектируемых или эксплуатируемых сложно структурируемых систем управления. Иерархический многоуровневый характер взаимосвязи механизмов обеспечения гомеостаза таких систем требует применения особых средств их анализа и практической реализации. Идеалом является стратегия

мультипараметрического поддержания гомеостаза, когда гомеостаз на высшем уровне создается одновременным функциональным участием множества операторов низшего уровня. Действующие в этом процессе энтропийно-организационные механизмы регуляции деятельности группы направлены: на обеспечение целостности ее функционирования путем изменения форм и способов координации и мотивации деятельности операторов; на совершенствование групповой структуры путем ввода дополнительных координирующих связей, обеспечивающих направленное резервирование операторов или эмуляцию выполняемых ими функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Венда, В. Ф.** Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В. Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1982. – 344 с.
2. **Венда, В.Ф.** Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика / В. Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
3. **Военная системотехника и системный анализ. Модели и методы подготовки и принятия решений в сложных организационно-технических комплексах в условиях неопределенности и многокритериальности /** Под ред. Соколова Б. В. – СПб.: ВИКУ, 1999. – 496 с.
4. **Голиков, Ю. Я.** Влияние возрастания сложности операторской деятельности на изменение подходов к человеку и технике // Психологические проблемы профессиональной деятельности / Ю. Я. Голиков. – М.: Наука, 1991. – С. 5-14.
5. **Голиков, Ю. Я.** Проблемы актуализации потенциальных свойств сложных технических объектов / Ю. Я. Голиков // Психологический журнал. – 2005. – том 26. – №2. – С.57-67.
6. **Микони, С. В.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: Монография / С. В. Микони, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М.: РАН, 2018. – 314 с.
7. **Багрецов, С. А.** Квалиметрия групповой деятельности операторов сложных систем управления / С. А. Багрецов, А. В. Бондаренко, Б. В. Обносов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 384 с.
8. **Месарович, М.** Общая теория систем: математические основы. / М. Месарович, Я. Токахара. – М.: Мир, 1978 г. – 312 с.
9. **Горский, Ю. М.** Системно-информационный анализ процессов управления / Ю. М. Горский. – Новосибирск: Наука, 1988. – 322 с.
10. **Костюк, В. Н.** Теория эволюции и социально-экономические процессы / В. Н. Костюк. – М.: Эдиториал УРСС, – 2004. – 176 с.
11. **Микони, С. В.** Систематизация свойств сложных технических систем / С. В. Микони // Материалы 9-й кон-

REFERENCES

1. **Venda, V. F.** Engineering Psychology and Synthesis of Information Display Systems. Moscow, Mashinostroenie [Industrial Engineering], 1982, 344 p.
2. **Venda, V. F.** Hybrid Intelligence Systems: Evolution, Psychology, Informatics. Moscow, Mashinostroenie [Industrial Engineering], 1990, 448 p.
3. **Military Systems Engineering and Systems Analysis. Models and Methods of Preparation and Decision-making in Complex Organizational and Technical Complexes in Conditions of Uncertainty and multi-criteria.** Sokolov B.V. (ed). Saint Petersburg, VIKU, 1999, 496 p.
4. **Golikov, Yu. Ya.** Influence of the Increasing Complexity of Operator Activity on Changing Approaches to Man and Technology. Psikhologicheskiye problemy professional'noy deyatel'nosti [Psychological Problems of Professional Activity]. Moscow, Nauka, 1991. pp. 5-14.
5. **Golikov, Yu. Ya.** Problems of Actualization of Potential Properties of Complex Technical Objects. Psikhologicheskii zhurnal [Psychological Journal]. 2005, vol. 26, no 2, pp. 57-67.
6. **Mikoni, S. V., Sokolov B. V., Yusupov R. M.** Qualimetry of Models and Polymodel Complexes. Moscow, RAS, 2018, 314 p.
7. **Bagretsov, S. A., Bondarenko A. V., Обносов B. V.** Qualimetry of Group Activity of Operators of Complex Control Systems. Moscow, FIZMATLIT, 2006, 384 p.
8. **Mesarovich, M., Tokahara J.** General Systems Theory: Mathematical Foundations. Moscow, Mir, 1978, 312 p.
9. **Gorskiy, Yu. M.** System-information Analysis of Management Processes. Novosibirsk, Nauka, 1988, 322 p.
10. **Kostyuk, V. N.** The Theory of Evolution and Socio-economic Processes. Moscow, Editorial URSS, 2004, 176 p.
11. **Mikoni, S. V.** Systematization of the Properties of Complex Technical Systems. Proceedings of the 9th confe-

ференции «Информационные технологии в управлении (ИТУ -2016)».- СПб.: Изд-во: Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016.–С. 84-95.

12. **Багрецов, С. А.** Технология синтеза организационных структур сложных систем управления / С. А. Багрецов, В. Н. Везиров, В. М. Львов и др. – М.: ГУП "ВИМИ", АООП, ГУП "Эргоцентр", 1998.– 224 с.

13. **Горский, Ю. М.** Философское осмысливание гомеостаза как структурной единицы управления всего живого и роли заложенного в нем противоречия / Ю. М. Горский // Класс управления, использующий принцип противоречия, его проявления в живых системах и возможности применения в технике. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1984.

14. **Багрецов, С. А.** Диагностика и прогнозирование функциональных состояний операторов в деятельности. Вопросы проектирования и применения / С. А. Багрецов, С. К. Колганов, В. М. Львов. – М.: Радио и связь, 2000. – 191 с.

15. **Багрецов, С. А.** Диагностика социально-психологических характеристик малых групп с внешним статусом. Серия «Учебники для Вузов. Специальная литература» / С. А. Багрецов, К. М. Оганян, В. М. Львов и др. – СПб.: Издательство «Лань», Издательство Санкт-Петербургского университета МВД России, 1999. – 640 с.

16. **Львов, В. М.** Управление человеческими ресурсами в эргатических системах : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Эргономика"; Образоват. науч. центр "Ин-т эргономики и соц.-экон. технологий" (ИЭСЭТ) / В. М. Львов, С. А. Багрецов, Н. Л. Шлыкова. – Тверь: Изд-во "Триада", 2004 (ООО Троянда-Сервис). – 227 с.

17. **Магазинник, В. Д.** Человеко-компьютерное взаимодействие : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Эргономика"; Образоват. науч. центр "Ин-т эргономики и соц.-экон. технологий" (ИЭСЭТ) / В. Д. Магазинник, В. М. Львов. – Тверь: Изд-во "Триада", 2005. – 199 с.

18. **Шашлюк, Ю. А.** Управление безопасностью эксплуатации железнодорожных транспортных систем: Монография / Ю. А. Шашлюк, С.А. Багрецов, В. Н. Добрынин. – М.: ВНИИгеосистем, 2018. – 390 с.

19. **Kuzmenko, A.** Ergonomic support for logo development based on deep learning / A. Kuzmenko, S. Kondratenko, K. Dergachev, V. Spasennikov // CEUR Workshop Proceedings. 30. Сер. "GraphiCon 2020. - Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" 2020.

20. **Spasennikov, V.** Ergonomic factors in patenting computer systems for personnel's selection and training / V. Spasennikov, K. Androsov, G. Golubeva // CEUR Workshop Proceedings. 30. Сер. "GraphiCon 2020 - Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision" 2020.

rence "Information technologies in management (ITM – 2016)". Saint Petersburg, Publishing house Concern "Central Research Institute "Elektropribor", 2016, pp. 84-95.

12. **Bagretsov S. A., Vezirov V. N., Lvov, V. M. et al.** Synthesis Technology of Organizational Structures of Complex Control Systems. Moscow, SUE "VIMI", ABGEP, SUE "Ergocentre", 1998, 224 p.

13. **Gorskiy, Yu. M.** Philosophical Comprehension of Homeostasis as a Structural Unit of Controlling All Living Things and the Contradiction Role Inherent in it. Management Class Using the Principle of Contradiction, its Manifestation in Living Systems and the Possibility of Application in Technology. Irkutsk, Publishing house of Irkutsk University, 1984.

14. **Bagretsov, S.A., Kolganov S. K, Lvov V. M.** Diagnostics and Forecasting of the Operators' Functional States in their Activities. Design and Application Issues. Moscow, Radio i svyaz', 2000, 191 p.

15. **Bagretsov, S. A., Ohanyan, K. M., Lvov, V. M. et al.** Diagnostics of Social and Psychological Characteristics of Small Groups with External Status. Series "Textbooks for Universities. Special literature". St. Petersburg, Publishing house "Lan", Publishing house of St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1999, 640 p.

16. **Lvov, V. M., Bagretsov, S. A., Shlykova, N. L.** Human Resource Management in Ergatic Systems: manual for university students studying in the specialty "Ergonomics"; Educational-scientific Centre "Institute of Ergonomics and Social and Economic Technologies" (IESET). Tver, Publishing House "Triada" (Troyanda-Service LLC), 2004, 227 p.

17. **Magazinnik, V. D., Lvov V. M.** Human-computer Interaction: manual for university students studying in the specialty "Ergonomics"; Educational-scientific Centre "Institute of Ergonomics and Social and Economic Technologies" (IESET). Tver, Publishing house "Triada", 2005, 199 p.

18. **Shashlyuk, Yu. A., Bagretsov S. A., Dobrynin V. N.** Safety Management of Railway Transport Systems Operation. Moscow, AUSRIGeosystem, 2018, 390 p.

19. **Kuzmenko, A., Kondratenko, S., Spasennikov K. V.** Ergonomic Support for Logo Development Based on Deep Learning, CEUR Workshop Proceedings. 30. Ser. "GraphiCon 2020. Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision", 2020.

20. **Spasennikov, V., Androsov, K., Golubeva, G.** Ergonomic Factors in Patenting Computer Systems for Personnel's Selection and Training, CEUR Workshop Proceedings. 30. Ser. "GraphiCon 2020. Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision", 2020.

Ссылка для цитирования:

Багрецов, С.А. Иерархия механизмов гомеостаза человеко-машинных комплексов: проблемы их анализа и реализации / С.А. Багрецов, Е. В. Шалонов, Л. В. Розанова // Эргодизайн. – 2021 - №3 (13). – С. 155-168. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-3-155-168.

Сведения об авторах:

Багрецов Сергей Алексеевич

доктор технических наук, профессор
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
профессор кафедры ракетно-космической обороны
E-mail: vka@mail.ru

Шалонов Евгений Владимирович

кандидат военных наук, профессор
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского
E-mail: vka@mail.ru

Розанова Людмила Владимировна

научный сотрудник
Военный институт (научно-исследовательский)
Военно-космическая академия
имени А.Ф. Можайского

Abstracts:

S.A. Bagretsov

Doctor of Technical Sciences, Professor
Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky
Professor of the Department of Rocket and Space Defense
E-mail: vka@mail.ru

E.V Shalovov.

Candidate of Military Sciences, Professor
Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky
E-mail: vka@mail.ru

L.V. Rozanova

Researcher
Military Institute (research institution)
Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky

Статья поступила в редколлегию 22.06.2021 г.

Рецензент:

д.пс.н., профессор

Московского университета МВД России

имени В.Я. Кикотя

председатель редакционного совета

Федотов С.Н.

Статья принята к публикации 30.06.2021 г.