

УДК 615.471:617-7

ОТ ТЕОРИИ СИНТЕЗА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ К БИОТЕХТОНИКЕ

Попечителей Е.П.

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
e-mail: eugeniy_p@mail.ru*

Дана характеристика относительно нового научно-практического направления «Биотехтоника», связанного с синтезом биотехнических систем различного назначения. Такие системы включают в структуру объекты биологического происхождения или объекты, относящиеся к факторам, обеспечивающим или влияющим на их жизнедеятельность (окружающая среда, биологические материалы и многие небологические материалы, которые могут оказать отрицательное влияние на состояние живых систем). Разработка подобных средств рассматривается как фундаментальная проблема, которая и определяет научное содержание этого направления.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, биологические объекты, подключение к ним технических устройств, биотехническая система, согласование параметров, метод поэтапного моделирования, каналы обмена информацией, биотехтоника

FROM THEORY OF SYNTHESIS BIOTECHNICAL SYSTEMS TO BIOTECHTONIKS

Popechitelev E.P.

Saint-Petersburg State Electrotechnical University "LETI", e-mail: eugeniy_p@mail.ru

The characteristic of a relatively new scientific and practical direction "Biochtonika", associated with the synthesis of biotechnical systems for various applications. Such systems include objects of biological origin or objects relating to the factors, providing or affecting their lives (environment, biological materials and non-biological materials that may have a negative impact on living systems). The development of such tools is seen as a fundamental problem, which defines the scientific content of this direction.

Keywords: automated control systems, biological objects, connecting them to the technical devices, biotechnical system, alignment parameters, phased method of modeling, communication channels, biochtonika

О преимуществах автоматизированных систем управления перед автоматическими написано множество статей и книг, в которых доказано, что управление сложными техническими комплексами должно быть поручено человеку, который определяется как человек-оператор (ЧО). Только человек способен отвечать за постановку задач и анализ результатов, он наделяется большими полномочиями по выбору целей и способов решения прикладных задач, и втянут в эти процессы как активный участник – субъект познания, обладающий специфическими свойствами. Поэтому проблемы синтеза систем типа «человек-машина-среда» (СЧМС) были предметом изучения многих известных научных школ и направлений [например, 1, 2].

Известны также системы, в которые включаются другие объекты представляющие интерес для человека, как объекты исследования или прикладного использования – объекты интереса (ОИ)ЧО, среди которых присутствуют не только живые системы, но и многие искусственные предметы и процессы, разработанные человеком для решения многих прикладных задач. Естественные природные свойства и характеристики человека ограничивают возможности подключения его напрямую к этим объектам. Поэтому в структуру систем независимо

от природы объектов интереса человека приходится включать дополнительные технические элементы, обеспечивающие согласование его параметров с параметрами разнородных ОИЧО при их объединении в единую систему.

В статье проведён анализ причин и методов проектирования систем с ЧО, позволяющих выделять проблему их разработки в самостоятельное направление научных и прикладных исследований, которое получило название – биотехтоника.

Прикладные системы с биологическими элементами в структуре

Разнообразные проблемы жизнеобеспечения, которые ставит перед человеком окружающий его внешний мир Земли, привели к интенсивной разработке огромной совокупности искусственно созданных средств и технологий, предназначенных для избавления человека от выполнения физически тяжёлой или рутинной работы, а также для его защиты от агрессивных факторов внешней среды. Человек живёт в окружении этих средств, которые не только защищают его, но и позволяют ему преобразовывать этот мир, приспособив его к себе. Искусственные объекты помогают развивать ремесло, создавать произведения

искусства, украшать жизнь изделиями, которых природа создать не в состоянии.

Под техникой принято понимать *“совокупность всех искусственно созданных средств и технологий, предназначенная для удовлетворения материальных и духовных потребностей человека и избавления человека от выполнения физически тяжёлой или рутинной (однообразной) работы”* [1, 3, 4]. В это понятие включаются искусственные изделия, ранее не существовавшие в природе и приспособленные для осуществления человека какой-либо деятельности, а также их комплексы – системы взаимосвязанных технических устройств: машин, механизмов, оборудования, аппаратов, приспособлений, инструментов, приборов и других. Таким образом, человечество включило в природу Земли ещё одну составляющую – техносферу.

Всю техносферу условно можно разделить на две части, разделяемые по типу того элемента, который отвечает за управление системой в целом. Первая часть объединяет системы, в которых в качестве управляющего звена выступает человек, определяющий их предназначение, цели и способы решения текущих задач. Вторая часть объединяет чисто технические системы, работающие без непосредственного участия человека, но по программам, которые разработаны человеком. Такие системы часто определяются как автоматические в отличие от систем первого типа – автоматизированных систем.

В технических приложениях широко представлены сложные управленческие и исследовательские задачи, решение которых возможно только группой специалистов за счёт их совместных действий. Эти объединения формируются искусственно по какому-то объективному признаку, а их деятельность может продолжаться значительное время. Они предназначаются для выполнения совместных работ на производстве, управления сложными технологическими комплексами, широко известны их применение в медицинской практике и в практике биологических лабораторий или компьютерных центров.

Конечно, было бы эффективным всегда использовать ТК, работающие без участия человека, но возможности современной техники не позволяют полностью освободить человека от контакта с техническими системами, особенно при решении сложных, новых малоизученных или ещё неизвестных задач. Заменить человека в роли организатора и управленца не удастся, потому что он обладает уникальными способностями – ему свойственны качества, которые на сегодня невозможно воспроизвести

с помощью известных методов и устройств. Кроме того, для создания ТК и технологий их использования нужны знания, получение и накопление которых – долгий и кропотливый процесс поиска и исследования природных явлений и объектов. Наблюдение и эксперимент, анализ и обобщение получаемых результатов составляют суть научных и практических достижений человечества, для получения которых также необходимы специальные ТК, которые также должны подключаться к человеку.

В качестве объектов интереса (ОИ)ЧО могут быть любые внешние объекты и процессы, включающие технические комплексы и технологические линии, обслуживаемые ЧО, природные объекты и процессы, процессы обработки материалов и информации, производства искусства, т. е. всё то, что вызывает его интерес или относится к объектам его интереса. Группа объектов также может представлять объекты интереса – групповые объекты интереса ОИГр. Можно привести много примеров такого исследования, например, в медицине, когда изучается состояние и поведение группы ОИГр, в биологии при исследовании популяций биологических объектов, в спорте команда спортсменов, проходящая медицинское обследование, на производстве во время контроле качества различной продукции и тому подобные задачи.

Объектом интереса человека (или группы) могут выступать и сами технические комплексы (ТК), которыми управляет ЧО, например, в процессе изучения приёмом работы с ними. Такие комплексы позволяют решать многие прикладные задачи, значительно повышая эффективность и производительность труда и рациональнее используя природные ресурсы; они также снижают вероятность ошибки человека при выполнении каких-либо сложных операций и освобождают его от многих видов рутинной работы.

Подключение внешних технических комплексов к любому из перечисленных (ОИ)ЧО /ОИГр и способы согласования их характеристик с техническими средствами существенно отличаются. Если для (ОИ)ЧО необходимо изучить свойства одного конкретного объекта, то для при исследовании ОИГр практический интерес представляют усреднённые характеристики группы, а индивидуальный разброс может быть очень большим. Кроме того, работа в условиях изучения разных типов ОИЧО и ОИГр не проходит для ЧО/МГО бесследно; он (они) может получать негативные воздействия не только со стороны РС, но и со стороны изучаемых объектов. Такие же отрицательные воздей-

ствия может получить и объекты интереса биологического типа.

Существуют естественные ограничения человека как при анализе осведомительной информации человеком, так и при передаче команд в ТК. Объекты интереса являются источниками многих физических полей и физико-химических проявлений, которые не фиксируются его органами чувств. Способы управления объектами интереса, на которые они могут реагировать, не ограничены движениями и звуком. Биологические объекты хорошо приспособлены к естественным видам энергии или имеют защитные механизмы от их вредного влияния, отвечая определёнными реакциями на многие физические поля и химические агенты из окружающей среды. Человек-оператор, как субъект познания, должен иметь возможность для использования всех этих факторов с целью управления состоянием изучаемого объекта.

В общем случае процесс взаимодействия человека-оператора, с другим объектом, который представляет для него объект интереса и на который направлена его деятельность, можно представить в виде своеобразной диалоговой системы «ЧО ↔ ОИ_{ЧО}» [4]. Для отображения взаимосвязи между ЧО и ОИ_{ЧО} использован знак «↔» не случайно; он учитывает, что рабочие связи ЧО с ОИ_{ЧО} и ОИ_{ЧО} са ЧО принципиально отличаются, так как у каждого из этих объектов разные функции в диалоге.

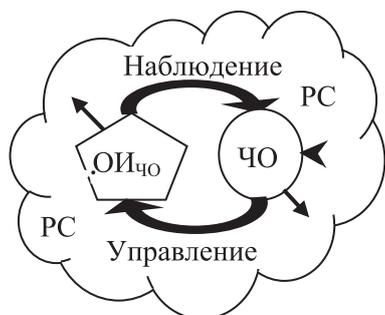


Рис. 1. Система ОИ ↔ СП

Связь ОИ_{ЧО} → ЧО условно определяется как «Наблюдение», хотя её функции не ограничиваются только этой задачей, а связь ЧО → ОИ_{ЧО} – как «Управление», её функции также могут быть более широкими; эти связи отражают сплошные широкие чёрные стрелки на рис. 1. Они необходимы, чтобы взаимодействие между основными элементами оставалось продуктивным, а чтобы сама диалоговая система была результативной.

Немаловажным является представление о том, что взаимодействие ЧО и ОИ_{ЧО} про-

исходит в некоторой рабочей ситуации (РС) [5]. Она охватывает все присутствующие в рабочем пространстве (в пространстве непосредственного контакта участников диалога) объекты, в том числе и не участвующие в диалоге, а также процессы, не включённые в основной диалог, происходящие во внешней окружающей среде (ОС). Изменения, возникающие в РС по многим причинам, могут вызывать изменения состояния элементов основного диалога, но и эти элементы в свою очередь тоже оказывают влияние на РС. На рисунке эти влияния отображают различные типы штриховых стрелок, указывающие на разный характер их влияния со стороны РС на ОИЧО и ЧО и с их стороны на РС.

Состояния ОИ_{ЧО}, ЧО и РС могут изменяться за время работы непредсказуемо, что может повлиять на качество и результаты взаимодействия. Поэтому требуется проводить постоянный контроль их состояния, чтобы эти изменения не повлияли на качество выполнения всей работы в целом. Следовательно, в системе «ЧО ↔ ОИ_{ЧО}» должны предусматриваться дополнительные технические средства не только для согласования свойств разных по природе элементов диалога, но и для контроля текущего состояния человека и его защиты от вредных и опасных факторов.

Только совместная работа ЧО и ОИ_{ЧО} может привести к положительному результату в решении многих интересующих человека вопросов. Но для оптимизации соединения ЧО с разными ОИ_{ЧО} в условиях конкретной рабочей ситуации необходимы особые подходы, учитывающие свойства каждого из них и их объединения, как единого целого.

Таким образом, невозможно расширять сферу интересов человека без применения дополнительных технических средств ТСЧО, которые обеспечивают согласование характеристик разнородных элементов [4]. Проблема совмещения человека с техникой остаётся и ещё долгое время будет актуальной для различных сфер деятельности человека.

Положение ТС_{ЧО}, облегчающих диалог, показано на рис. 2, где они обозначены как два дополнительных технических блока «Средства доставки запросов» и «Средства доставки ответов», которые включены параллельно основным связям в диалоге «ЧО ↔ ОИЧО» (пунктирные линии на рис. 2).

Любое обращение к ОИ_{ЧО} от ЧО можно рассматривать как некоторый «запрос», а его результатом является «ответом» со стороны ОИ_{ЧО}. Следовательно, в диалоговой системе «ЧО ↔ ОИ_{ЧО}» можно выделить четыре точки контактов между ЧО и ОИ_{ЧО}. Проблемы согласования биологических и

технических элементов как раз и связаны с формированием этих контактов [6]. Сходные проблемы встают при подключении технической системы не только к ЧО, но и к любому другому виду биологического объекта, выступающего в роли $OI_{\text{ЧО}}$.

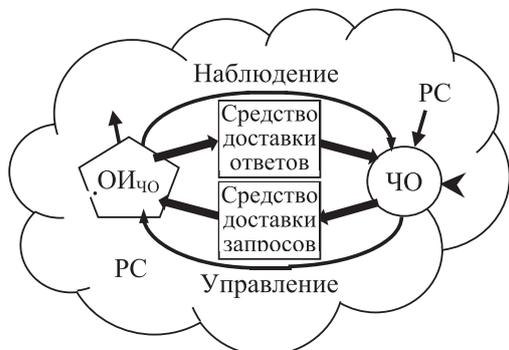


Рис. 2. Технические средства познания

Дополнительные блоки, отмеченные на рис. 2, включаются в систему только из-за того, что в неё включён ЧО. Это особая часть системы, она ни как не связана с типом изучаемого или управляемого человеком $OI_{\text{ЧО}}$. Даже, если в качестве него выступает внешний технический комплекс ТК, включение этих дополнительных узлов всё равно необходимо. Определим их как технические средства ЧО – $ТС_{\text{ЧО}}$, они служат для подключения к нему любого внешнего $OI_{\text{ЧО}}$.

Все рассуждения, приведённые для анализа взаимодействия ЧО с $OI_{\text{ЧО}}$, можно провести и для МГО и её $OI_{\text{Гр}}$, а проблемы взаимодействия группы с $OI_{\text{Гр}}$

имеют то же происхождение и аналогичные решения. Только их решение усложняется тем, что дополнительно приходится учитывать ещё межличностные связи в группе [4].

Представление о системах, управляемых ЧО, как об особом классе больших систем было сформулировано относительно недавно. Для характеристики класса подобных систем профессор, д.т.н. В.М. Ахутин в 1975 году предложил использовать термин «Биотехнические системы» – БТС [2, 7]. По его мнению, такие системы «представляют собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления». Им же сформулировано основное преимущество подобных систем перед чисто техническими системами – «сочетание положительных качеств разнородных элементов, входящих в состав БТС, при взаимной компенсации их недостатков».

В 1981 году представление о БТС было развито и дополнено в коллектив-

ной монографии «Биотехнические системы. Теория и проектирование» [2], подготовленной сотрудниками кафедры «Биомедицинской электроники и охраны среды» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), в настоящее время – кафедра «Биотехнических систем». Эта книга долгое время оставалась единственным пособием по изложению идей синтеза БТС, в которой было показано, что включение биологического звена в структуру технической системы существенно изменяет свойства всей системы в целом.

Таким образом, научно-технические задачи, связанные с анализом и синтезом систем, в контур управления которых включены биологические звенья, обусловлены необходимостью разработки общей теории комплексирования технических и биологических элементов в единой системе. При этом необходимо учитывать, что биологический объект может занимать в структуре БТС разное положение: он может быть не только субъектом познания, но и объектом интереса для человека, и способы подключения технических средств к нему существенно зависят от вида, роли и задач, решаемых БО [5, 6]. Определим такое звено как БОБТС (одним из таких звеньев является ЧО), так как на процесс всей функционирования биотехнической системы могут влиять другие присутствующие при экспериментах биологические объекты, но не включённые в БТС.

Если учесть, что все технические средства созданы человеком для решения его задач и отражают присущие ему свойства, приспособленные к использованию человеком, то термин «техносфера» должен быть заменён на другой, учитывающий это обстоятельство, – на термин «биотехносфера». Это продукт деятельности человека, объединяющий в интегральную совокупность все искусственные технические устройства и технологии, созданные человеком для осуществления его жизне- и трудовой деятельности, с помощью которых происходит развитие всех реальных процессов в биосфере. Биотехносфера отражает область планеты, в которой одновременно существуют живое вещество и созданные человеком технические объекты и где проявляются их различия. Она оказывает большое влияние на изначально реальную равновесную экологическую систему и является дестабилизирующим фактором всей биосферы, включающей все биологические объекты и процессы, и только расходует энергию, биомассу и кислород биосферы.

Таким образом, суждение о БТС как об особом классе систем становится более полным и точным, а разработки промышленных образцов подобных систем подтверждают их широкие возможности и большое практическое значение, как для самых различных отраслей народного хозяйства, так и для проведения широких научных исследований. Оно изменило отношение ко всему животному миру, включая задачи биологии, зоологии, ботаники, физиологии, психологии и других наук, изучающих или использующих живые системы. Следовательно, известное определение биотехнических систем с учётом новых данных и расширением сферы их применения требует коррекции определения этого термина. Можно предложить следующее определение, которое, на наш взгляд, не изменяя по существу известное определение, более точно отражает сущность этого класса систем.

К биотехническим следует отнести *«все целеустремлённые системы, управляемые человеком (или группой людей), к которому (к которым) подключены дополнительные технические средства для согласования характеристик разнородных элементов, помогающие изучать или управлять различными внешними объектами его интереса с максимально достижимым качеством».*

Методические и технологические проблемы разработки биотехнических систем

Выделим ряд факторов, которые вместе позволяют получить представление о многообразии методических и технологических проблем, возникающих при подключении к биологическим объектам технических устройств.

1. Список биологических объектов, которые могут включаться в БТС, содержит не только живые организмы разного вида, но также биологические и некоторые небιологические материалы. Одни из этих материалов связаны с жизнедеятельностью БОБТС, а другие, искусственно созданные материалы имеют иные свойства и параметры влияния на человека. Методические приёмы, применяемые при изучении этих объектов, существенно различаются.

2. Состояние БОБТС в общем случае описывается большим числом разнородных параметров, среди которых представлены физиологические, психологические свойства, а также данные аналитических исследований. Методы изучения этих свойств существенно различаются по времени их проведения, приёмам выполнения и типам параметров, что создаёт большие трудности

для объективной оценки общего состояния БОБТС.

3. Дополнительные затруднения возникают из-за того, что в течение жизни вследствие процессов жизнедеятельности происходят естественные изменения свойств БОБТС, учесть которые не представляется возможным. Даже в течение короткого времени состояние БОБТС (независимо от его роли в БТС) может значительно изменяться под действием различных факторов, в том числе случайного характера.

4. Нередко параметры, с помощью которых оценивается состояние БОБТС, вводятся случайно или интуитивно на основании личного опыта специалиста, без доказательства их целесообразности и носят эмпирический характер. Это приводит к затруднениям при трактовке и сопоставлении результатов исследований, полученных в разных организациях; приходится всегда оговаривать условия, при которых они получены.

5. Не удаётся получить достоверные результаты при изучении многосторонних явлений и процессов, присущих организму, так как необходимо проводить исследования при одновременном применении нескольких методов и технологий, принципиально отличающихся друг от друга; часто эти методы несовместимы.

6. Неоднозначность описания медико-биологических процессов, функций, ответных реакций, отсутствие универсальных методов изучения БОБТС не позволяет предоставить полный объём требуемой диагностической информации и оказать надёжные корректирующие воздействия.

7. При изучении разных БОБТС могут использоваться практически все известные физические и физико-химические принципы исследований, в том числе позволяющие получать примерно одинаковые результаты по оценке одних и тех же параметров и свойств.

8. Комплекс методов, используемый при исследовании БОБТС, должен позволять одновременно измерять или регистрировать разносторонний набор характеристик изучаемых процессов. Этот комплекс постоянно пополняется новыми подходами и методами, вследствие чего существует острая конкуренция старых и новых методов и технологий.

9. Выбор оптимальных вариантов исследования затруднён постоянным ростом количества конкурирующих методик (а, следовательно, и технологий), обеспеченных необходимым оснащением (приборами, системами, методическими рекомендациями и расходными материалами) и

позволяющих быстро и эффективно решать медико-биологические задачи.

10. Иногда об эффективности технологических процедур приходится судить по параметрам поведения БОБТС в ответ на специально организованные внешние дозированные воздействия (например, при психологических исследованиях), создание которых также представляет собой сложную задачу, исходя из принципа «не навреди». Такие воздействия не всегда соответствуют реальным факторам, которые возникают в обычной жизни и во время трудовой деятельности, поэтому и результаты часто носят ориентировочный характер.

11. Для изучения биоматериалов нашли применение макро-, микро- и нанотехнологии, приспособленные для аналитических исследований, которые существенно отличаются от технологий изучения целостного организма. Однако данные по изучению биопроб, особенно взятых из внутренней среды организма, часто являются решающими для формирования представлений о его состоянии.

12. Внимания требуют тщательный учёт индивидуального разброса и временной изменчивости показателей состояния БОБТС, а также наличие значительных помех, сопровождающих исследование.

13. Сложность выполнения исследований часто превращает опыты с БОБТС в процесс изучения индивидуальных особенностей конкретного объекта. Обслуживающий персонал, который участвует в этих исследованиях, должен быть к этому подготовлен.

14. Специалисты, привыкшие к уже проверенным приёмам исследований, не всегда готовы принять и осваивать новые. Это создаёт известные трудности в интерпретации результатов, полученных в разных учреждениях, в разных экспериментальных условиях, у разных контингентов специалистов.

15. На процесс исследования одновременно влияет большое число трудно учитываемых внешних факторов, поэтому всегда возникает необходимость в оценке соответствия полученных характеристик действительному состоянию объекта исследования. Такая оценка для живых систем становится особенно важной, так как текущее состояние организма может быстро изменяться в процессе эксперимента, а само состояние часто определяет дальнейший ход исследований.

16. Особое внимание должно быть уделено учёту свойств рабочей ситуации, в которой проводятся исследования, и технологий применения инструментальных средств, которые могут оказать на этот про-

цесс значительное влияние. Поэтому при представлении результатов другим специалистам приходится приводить данные об условиях проведения исследований, чтобы они могли бы подтвердить их объективность и воспроизводимость.

17. Необходимо учитывать технологических и методических ограничений при выполнении медико-биологических исследований, связанных с подключением к биологическим объектам технических средств. При выполнении всех процедур целесообразно:

- проводить эксперименты в особо организованных помещениях: клинических диагностических центрах, исследовательских лабораториях, опытных станциях и в других приспособленных помещениях;

- контролировать массу факторов случайной природы, фиксировать которые затруднено;

- точно определять места наложения измерительных датчиков или средств подведения воздействия;

- подготавливать средства регистрации и хранения результатов исследований и специальное прикладное программное обеспечение для согласования данных, полученных разными методами;

- выполнять все требования по технике безопасности при работе с техническими средствами, которые являются новыми и непривычными и могут повлиять не только на пациента, но и на самих исследователей.

Все перечисленные факторы усложняют приёмы выполнения исследований, поэтому учёт свойств БОБТС в конкретный момент времени, контроль возможных изменений этих свойств и оценка их влияние на качество выполняемых процедур становится необходимым. Эти проблемы влияют также на выбор оптимальных методов исследования и управления состоянием БОБТС, превращает всю задачу в необычайно сложную и не всегда выполнимую, решить которую позволяет системный анализ [8].

Следует обращать внимание на то, что особые свойства БОБТС влияют не только на структуру БТС, но и на технологии их использования. БОБТС тонко реагируют на подключение к ним любых внешних предметов, в том числе и технических устройств, поэтому изменяются привычные для технических приложений последовательности технологических операций. Отмеченные ограничения приводят к целесообразности выделения из всего многообразия известных технологий особого класса «*биотехнических технологий* (БТТ), обеспечивающих разнообразные потребности живых систем, а также включающие операции с

биологическими объектами с применением технических средств» [9]. В неё можно включить все технологии, связанные с задачами, при решении которых участвует биологический объект; при этом ТСЧО биотехнических систем выступают необходимыми «инструментами его деятельности».

Проблемы синтеза биотехнических систем

Синтез любой технической системы чаще всего начинается с обоснования её математической модели, проверки её адекватности поставленным задачам и анализа существующей элементной базы, на которой предполагается её создание, с последующим переходом к инженерной разработке всех её узлов. Однако при синтезе БТС такая последовательность не всегда возможна, так как наличие в их структуре биологических элементов разной сложности изменяет подходы к их разработке по сравнению с техническими системами; их включение порождает ряд особенностей самих биотехнических систем.

В технологические схемы применения БТС тоже должны включаться новые операции по обеспечению нормальной жизнедеятельности и улучшению условий существования БОБТС. Элементами БТТ являются операции по передаче вещества, энергии и информационных сигналов, которыми обмениваются звенья системы разной физической природы. Поэтому систему операций следует рассматривать как особую технологическую систему биотехнического типа. Для каждого вида передачи служат специальные, зависящие от типа БОБТС способы обмена между биологическими и техническими элементами, для реализации которых используется набор специальных операций по преобразованию информации. При включении в БТС человека должны предусматриваться операции, обеспечивающие условия по поддержанию его жизнедеятельности: регулярный инструктаж, физические и интеллектуальные тренировки, оптимальное чередование интервалов работы и отдыха, питания, тренировок, развлечений и многие другие. Для других видов биологические объекты интереса такие операции отличаются, а для их выполнения требуются дополнительные материальные и технические ресурсы, использование которых требует специальных технологических приёмов.

Попытки найти возможные пути такой оптимизации привели к формированию специальной теории синтеза биотехнических систем, основоположником которой и является проф. В.М. Ахутин. Основной

проблемой в этой теории он определил проблему проектирования систем, в которых человек выполняет функции управляющего элемента. Причём существенные трудности связаны не только с улучшением технических звеньев систем, но и с накоплением новых сведений о функциях и поведении БОБТС в разных условиях его работы, учёт которых обеспечит ему наилучшее взаимодействие с техникой. Им предложен метод поэтапного проектирования, позволяющий реализовать «*поэтапный переход от начальной структуры технической системы, в которую включён биологический объект, к математической модели всей БТС в целом через накопление экспериментальных данных о функционировании БОБТС внутри этой модели*» [10]. Такой переход требует определённой последовательности действий и включает ряд специфических по своим задачам этапов, а окончательная модель всей системы становится основой для дальнейшего инженерно-технического синтеза БТС [11].

В основу методов проектирования БТС проф. В.М. Ахутин предложил положить принципы организации и функционирования живых систем. Среди них: очувствление периферических систем, обработка основных потоков информации с измерительных преобразователей специализированными периферическими устройствами, её перекодировка и формирование эталонов в форму, воспринимаемую сенсорными системами, использование принципа качественных оценок и ряд других [2, 4]. Реализация этих принципов возможно за счёт разработки специальных средств отображения информации и пультов управления, позволяющих реализовывать информационную обратную связь в реальном масштабе времени [12].

Для обеспечения адекватности сопряжения разнородных элементов БТС необходимо формировать каналы информационного обмена, которыми являются ТСЧО. Они являются принципиальной особенностью построения БТС, так как именно эти каналы отвечают за передачу осведомительной и управляющей информации между ЧО и ОИ [4, 6].

Весь комплекс проблем, связанных с разработкой БТС и БТТ, указывает на то, что он имеют более широкое значение и приводит к формированию нового научно-практического направления, которое получило определение «*биотехтоника*» [13]. Результатом исследований, выполняемых по этому направлению, должна стать разработка биотехнических систем разного назначения, в которых оптимально согласуются параметры технических узлов со свой-

ствами биологическими объектами разного вида.

Список литературы

1. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: Справочник / Под общ. ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова. М.: Машиностроение, 1993.
2. Биотехнические системы. Теория и проектирование. / Под общей редакцией проф. Ахутин В.М. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1981. – 220 стр.
3. Мунипов В. М.. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. - М.: Логос. – 2001. – 356 с.
4. Попечителей Е.П. Человек в биотехнической системе. / Старый Оскол: Изд-во ТНТ. – 2016. – 585 с.
5. Попечителей Е.П. Проблемы синтеза биотехнических систем // Журнал «Научное обозрение. Технические науки» РАЕ. – №2. – 2016. – Стр. 54-62.
6. Попечителей Е.П. Каналы взаимодействия биологических и технических звеньев в биотехнических системах // Известия ЛЭТИ. – Вып. 318. – 1982. – С. 14-22.
7. Ахутин В.М. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем. – В кн.: Информационные материалы: Кибернетика. – 1976. – № 4 (92). – С. 3-26.
8. Попечителей Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. // Старый Оскол: Изд-во ТНТ. – 2014. – 420 с.
9. Попечителей Е.П. Биотехнические системы и технологии на их основе // Биотехнические системы в медицине и биологии. СПб: Политехника, 2002. С. 5–12.
10. Ахутин В.М. Поэтапное моделирование и синтез адаптивных биотехнических эргатических систем // М.: Наука. Инженерная психология. – 1977. – С. 149–180.
11. Попечителей Е.П. Задачи поэтапного моделирования при синтезе биотехнических систем // Известия СПбГЭТУ. – Вып. 4. – 2008. – Стр. 67-73.
12. Попечителей Е. П. Информационная обратная связь как средство повышения надёжности работы оператора // Л.: ЛДНТП. – Сб. «Надёжность и контроль в биотехнических системах». – 1985. – Стр.10-14.
13. Попечителей Е. П. Биотехника – наука о синтезе биотехнических систем. // Журнал «Научное обозрение. Технические науки» РАЕ. – №1. – 2016. Стр.