

УДК 677:628.517.2

ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

¹⁾ Олег Николаевич Поболь, ²⁾ Георгий Игоревич Фирсов

¹⁾ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский Государственный университет Технологий и управления имени К.Г. Разумовского, Москва, Россия

²⁾ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
firsovgi@mail.ru

Аннотация. Разработана обобщённая модель иерархической структуры технологических объектов и рассмотрены характерные примеры применения системной методологии при решении задач технической акустики. Использование этого подхода позволило уточнить существующие представления об объектах и получить новые решения. В работе показана продуктивность использования системного подхода при исследовании технических объектов различных иерархий, начиная от простейших технических систем до сложных человеко-машинных комплексов и техносферы в целом.

Ключевые слова: системный подход, техническая акустика, иерархическая модель, экология технических систем, мощность звукоизлучения машины.

PROBLEMS OF SYSTEMS APPROACH TO THE SOLUTION OF THE PROBLEMS OF THE ECOLOGY OF THE TECHNICAL OBJECTS

¹⁾ Pobol Oleg Nikolayevich. ²⁾ Firsov Georgy Igorevich

¹⁾ The federal state budgetary educational establishment of the highest vocational education the Moscow State University of technologies and administration of the name K.G. Razumovskogo, Moscow, Russia

²⁾ The federal state budgetary establishment of science the Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The unified model of the hierarchical structure of technological objects is developed and characteristic examples of the application of system methodology during the solution of the problems of acoustic engineering are examined. The use of this approach made it possible to refine the existing ideas about the objects and to obtain the new solutions. Work shows the productivity of the use of a systems approach during a study of the technical objects of different hierarchies, beginning from the simplest technical systems to the elaborate man-machine complexes and the technosphere as a whole.

Key words: systems approach, acoustic engineering, hierarchical model, the ecology of technical systems, the power of sound-emission of machine.

ВВЕДЕНИЕ

Весь мир сейчас переживает коренную трансформацию прежнего общественно-экономического и технологического уклада. Речь идет о фундаментальном изменении структуры социума и его экономики. Этот процесс прежде всего связан с научно-технической революцией постиндустриального общества, в ходе которой происходит формирование и развитие информационной цивилизации.

Системный подход можно рассматривать как новое мировоззрение информационной цивилизации, основу современного научного мышления [1-4]. Он базируется на методологии

исследования и представлении объекта как сложной системы и ориентирован на выявление его целостности и соответствующих механизмов ее обеспечения на различных иерархических уровнях модельного представления, на определение многообразных типов связей сложного объекта, сведение их в единую теоретическую картину. Но одновременно это и методология решения конкретных практических задач для сложных иерархических систем: специфический комплекс методов и приёмов описания и проектирования, прогнозирования, принятия решений, анализа проблемных ситуаций.

Очевидно, что на высших уровнях иерархии техносферы технические объекты – элементы техносферы должны анализироваться с учётом законов экологии - науки о составе, структуре, свойствах, функциональных особенностях и эволюции систем надорганизменного уровня. Экология изучает фундаментальные системные закономерности: поток энергии, циркуляцию химических и физических элементов и т.п. Антропогенное воздействие, прямое осознанное или косвенное и неосознанное воздействие человека и результатов его деятельности на природу, вызывает изменение природной среды, естественных ландшафтов и человеческого общества: его социальной структуры и нравственности. Но и при решении чисто технических проблем более низких иерархий системный подход позволяет получить принципиально новые результаты – для этого следует квалифицированно использовать аппарат системного анализа, который в настоящее время мало известен техническим специалистам.

В социологии, биологии, экономике и экологии этот подход уже нашёл широкое применение и показал свои преимущества, поскольку позволяет выполнять анализ объектов исследования, недоступный известным классическими методологиям. Также и при решении чисто технических проблем системный подход позволяет получить принципиально новые результаты, однако в настоящее время используется ограниченно, поскольку требует формирования системного инженерного сознания.

Ниже рассмотрены особенности системного подхода к анализу технических объектов, применительно к задачам экологической акустики машин.

СИСТЕМНЫЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Система есть циклически развивающееся целое, составленное из взаимосвязанных частей (подсистем), объединённых единой целью, алгоритмом функционирования и общей функциональной средой. Достижение цели обеспечивается интегративными (эмергентными) свойствами связанных элементов системы. Понятие системы отличается от привычного представления объекта и формируется с учётом поставленной задачи исследования в рамках выбранной модели.

Система представляет собой одновременно объект-субъект и процесс и находится в непрерывном циклическом развитии во взаимодействии с окружающей средой. Категория цели – важнейший фактор системной методологии, применительно к выбранной модели сложной системы.

Функциональная среда есть совокупность законов, алгоритмов и параметров, обеспечивающих взаимодействие и функционирование элементов и развитие системы в целом. Элемент системы – условно неделимая, самостоятельно функционирующая часть системы (её подсистема). Подсистема – элемент системы, обладающий всеми свойствами системы (в случае выделения компонентов, они в свою очередь подразделяются на элементы). Компонент системы – множество относительно однородных элементов, объединённых общими функциями при выполнении целей развития системы.

При исследовании объекта создаётся его системная модель, т.е. упрощённый образ, удобный для целей анализа. Модель в широком смысле – это любой образ, аналог (мысленный, изображение, словесное описание, схема, формула, чертеж, макет и т.п.) какого-либо объекта, процесса или явления, используемые при анализе как эквивалент оригинала. Любая модель – всегда система. Моделирование представляет метод

исследования посредством построения и изучения моделей объектов и явлений. Любая наука и любой закон есть модель действительности, позволяющая предсказывать их поведение в определенном диапазоне условий.

Описание некоторой системы есть её модель, отображающая соответствующую группу свойств системы, но *никогда не равнозначная объекту во всей его полноте*. Например, с позиций механики любой объект – это некоторое вещественное физическое тело, имеющее геометрическую форму, массу, цвет и пр. Но для системного представления модели технического объекта, как будет показано ниже, в ряде случаев значительно важнее иные характеристики.

Обобщённая модель технической системы с учётом подхода работы [5], которая обеспечивает интеграционную целостность описания, представляется в виде совокупности укрупнённых компонентов, необходимых для её существования и развития

$$S \equiv \langle \{Z\}, \{Str\}, \{Tech\}, \{Cond\}, \{Evol\}, \{N\} \rangle, \quad (1)$$

где $\{Z\}$ – совокупность целей; $\{Str\}$ – совокупность структур (производственная, организационная, социальная и т.п.) для реализации целей; $\{Tech\}$ – совокупность технологий (методы, средства, алгоритмы и т.п.), обеспечивающих функционирование системы; $\{Cond\}$ – условия её существования, обобщающие факторы её создания, функционирования и развития; $\{Evol\}$ – пространство эволюционных состояний системы; $\{N\}$ – совокупность представлений системы в сознании наблюдателя (исследователя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования.

Такой вид модельного представления системы, выявляющий многомерную целостность её структур в условиях эволюции, может служить основой для разработки экологической модели конкретного объекта путём преобразования и развития компонентов описания в соответствии с поставленными целями и определённой позицией наблюдателя-оператора. Уравнение (1) является основой создания целостной системной концепции экологического проектирования технических объектов и их структуры.

Структура системы – это модель сети связей элементов системы, отображающая энерго-массо- и информационный обмен между элементами.

Реакция системы на изменения среды, способствующая уменьшению этого влияния, называется отрицательной обратной связью. Положительная обратная связь – реакция системы на изменения среды, способствующая усилению их влияния. Обратные связи обеспечивают целостность систем. Отрицательные обратные связи в природе обуславливают саморегуляцию экосистем. Отрицательные обратные связи, свойственные естественным экологическим системам, у техногенных систем превращаются в положительные, стимулирующие их совершенствование и развитие, расширение ареала за счёт вытеснения естественных экологических систем.

Системы подразделяются на простые и сложные. Сложные системы отличаются от простых наличием дублирования обратных связей. Это повышает их надежность, устойчивость. Обладая тезаурусом – знаниями о себе и окружающей среде, сложные системы способны самостоятельно принимать решения о включении и выключении обратных связей.

Искусственная среда обитания современного человечества – техносфера сформирована из взаимодействующих техногенных систем (промышленных и непромышленных) – сложных человеко-машинных комплексов, предназначенных для переработки биосферы в продукты потребления. ТС – это синергетические системы, основные свойства которых проявляются в самоорганизации сложной иерархической структуры, упорядоченной от высшего уровня к низшему.

Иерархическая упорядоченность мира общеизвестна – такая упорядоченность наблюдается на любом этапе и уровне развития Вселенной. При этом на каждом плане иерархии (химическом, физическом, биологическом, социальном) действуют свои частные взаимообусловленные закономерности, заданные Абсолютом иерархии. Иерархия реализуется в форме иерархических структур разного рода: здесь важно выделить уровни

соподчинённости, а между уровнями разных систем и между компонентами одного уровня могут быть любые взаимоотношения. Иерархичность проявляется в возрастании энергоинформационных потенциалов участвующих в построении структуры элементов.

При развитии информационной цивилизации сформировалась искусственная среда обитания - техносфера, состоящая из промышленных и непромышленных человеко-машинных техногенных систем (ТС) [6]. ТС – это взаимодействующие синергетические системы, основные свойства которых проявляются в самоорганизации сложной иерархической структуры, упорядоченной от высшего уровня к низшему (рис.1).



Рис. 1. Иерархическая модель промышленной ТС

В иерархической модели промышленной ТС обобщенно выделено четыре стадии жизнедеятельности, связанные с разработкой концепции и проектированием изделия, технологии, материала и оборудования; изготовлением технологического оборудования; эксплуатацией оборудования и изготовлением технологических материалов и изделий; потреблением продукции и переработкой отходов. В соответствии с информационно-энергетической эволюционной матрицей $\{Evol\}$ уравнения (1), развитие ТС во времени и пространстве происходит от первого уровня к четвертому, при этом энергоинформационный потенциал системы возрастает и концентрируется на более высоких уровнях (с преобладанием информационных форм). На каждом из уровней формируются также сложные сетевые модели с горизонтальными связями.

При исследовании технических объектов общепринятым является их редуцирование, т.е. представление в виде суммы более простых элементов-подсистем, для описания которых применяется методология и аппарат классической физики, технической механики и математики. Найденные с помощью технической механики и математики характеристики подсистемных элементов переносятся по традиционной методологии на объект более высокой иерархии без учёта его системных свойств.

При этом обычно упускается из виду, что рассматриваемые характеристика объекта на более низком иерархическом уровне моделирования принципиально отличаются от его интегральных модельных характеристик в высших иерархиях, когда проявляются скрытые (эмержентные) свойства элементов.

В сознании технических специалистов в процессе традиционного обучения сформировано редуционистское мировоззрение, для которого такой подход представляется единственно возможным при решении любых проблем. Однако такой подход к описанию сложных систем не применим в принципе, а зачастую даже для систем низких иерархий приводит к некорректным решениям.



Рис. 2. Блочная модель техногенной системы и её структуры управления

Учёт системных свойств объекта позволяет по-новому понять его свойства, получить принципиально новые результаты. В этом случае любой объект рассматривается как системы, т.е. целое, составленное из взаимосвязанных частей-подсистем, объединённых единой целью и общей функциональной средой. Каждая система при этом представляется как подсистема для более высокого уровня, так что её специфику характеризуют интегральные свойства, важные для функционирования системы более высокой иерархии. Свойства системы определяются прежде всего её структурой, т.е. моделью связей между элементами, обеспечивающей энерго-массо- и информационный обмен между подсистемами, а не спецификой её подсистем. Системный подход определяет целесообразные пределы обобщения и пределы редукции: объект исследования выделяется как целостное образование со свойствами, проявляющимися при его включении в качестве компонента более высокого иерархического уровня, а затем выделяются компоненты самого объекта. Такое трехзвенное представление сложного системного объекта наиболее эффективно.

Следует учитывать также, что при смещении по уровням иерархии на единицу наблюдается чередование системных типов. Применительно к технологическим объектам эта иерархия имеет вид, показанный ниже в таблице 1.

Например, при подъёме вверх более низкий гетерогенный тип (1-ый уровень рассмотренной иерархии) с четкой внутренней структурой и канализованными потоками энергоинформационного обмена сменяется **ГОМОГЕННЫМ** типом с аморфной структурой и диффузными потоками энергоинформации в связях структуры (2-ой уровень) и т.д.

Эту особенность иерархического строения машинных систем следует учитывать при анализе их свойств. При этом энергоинформационная значимость технологических объектов возрастает с подъёмом по ступеням уровней (а в связи необходимостью обеспечить

постоянство плотности энергии структуры с повышением уровня иерархии уменьшается число ее элементов), одновременно возрастает значимость учёта эволюционной матрицы $\{Evol\}$ в условиях существования $\{Cond\}$ систем. Возрастает одновременно и подвижность, динамичность изменения интегральных характеристик в пространстве и времени.

Применительно к технологическим объектам эта иерархия имеет вид, показанный в таблице 1. Эту особенность иерархического строения машинных систем следует учитывать при анализе их свойств.

Таблица 1

Обобщённая системная модель
иерархической структуры технологических объектов

Технологический объект	Уровень иерархии системы	Тип системы
Глобальная техносфера	6-ой уровень	гомогенная
Отраслевая техногенная система	5-ый уровень	гетерогенная
Цех с однотипными машинами	4-ый уровень	гомогенная
Машина (из разнотипных узлов)	3-ий уровень	гетерогенная
Узел, механизм (из однородных деталей)	2-ой уровень	гомогенная
Деталь, звено (начальный элемент)	1-ый уровень	гетерогенная

Состояние системы характеризует режим ее функционирования при гомеостазе (постоянстве интегральных характеристик), когда обобщённая структура системы постоянна в пространстве и времени. Каждая сложная система обладает некоторым, свойственным ей, ограниченным набором состояний. При этом каждому диапазону внешних воздействий соответствует своё состояние.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Экология есть наука о составе, структуре, свойствах, функциональных особенностях и эволюции систем надорганизменного уровня и биосферы в целом. Экология изучает основные фундаментальные закономерности: поток энергии, циркуляцию химических и физических элементов и т.п. Экологическая система - единый природный или природно-антропогенный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные экологические компоненты соединены между собой причинно-следственными связями, обменом веществ и распределением потока энергии.

Условия существования человеко-машинных техногенных систем, рассматриваемых в данном случае как живые и разумные организмы, определяют экологические факторы - характеристики среды, на которое живое реагирует приспособительными реакциями. Лимитирующие факторы, выходящие за пределы выносливости организма, ограничивают любое проявление жизнедеятельности организма. С помощью лимитирующих факторов регулируется состояние и развитие организмов и экосистем.

В соответствии с законом толерантности Шелфорда существование экологической системы определяется лимитирующими факторами, находящимися в минимуме или в максимуме.

Отрицательные обратные связи, свойственные естественным экологическим системам, у техногенных систем превращаются в положительные, стимулирующие их

совершенствование и развитие, расширение ареала за счёт вытеснения естественных экологических систем.

В соответствии с теорией адаптивной эволюции технических систем, разработанной в рамках глобальной синергетической парадигмы, принята гипотеза: *в процессе эволюции систем плотность энергии её структуры стремится к постоянной величине (интервальной константе)* [7]. В соответствии с этим требованием развивающаяся система должна иметь возможность экспорта беспорядка любых видов энергии за счёт обменных процессов с окружающей средой.

За интегральную меру беспорядка принимают безразмерную величину S среднеквадратического отклонения текущего значения ε_r плотности энергии в системе от её нормированной величины ε_H

$$S = \frac{1}{V} \left[\sum_r \left(\left(1 - \frac{\langle \varepsilon_r \rangle}{\varepsilon_H} \right) V_r \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где V – полный объём развивающейся системы; ε_r и V_r – плотность энергии и объём r -го элемента системы; $\langle \varepsilon_r \rangle$ – средняя плотность энергии r -го элемента; ε_H – нормируемая плотность энергии – интервальная константа.

Изложенные положения позволяют сделать важные заключения об особенностях экологии техногенных систем:

- Синергизм техногенных систем характеризуется комбинированным воздействием двух и более экологических факторов, так что их совместное биологическое действие значительно превышает эффект каждого компонента и их суммы. В этих условиях постоянство значения S в развивающейся и расширяющей свой ареал техносфере обеспечивается уменьшением числа слагаемых – элементов в уравнении (2) за счёт вытеснения естественных элементов биосферы в ареале.

- Степень воздействия этой синергетической закономерности наиболее значима на высших, наиболее энергоёмких уровнях иерархии элементов техносферы (см. рис.2) и отображается в идеологии её системы управления. Идеал экономической целесообразности (современная интегральная характеристика технической системы) в принятии решений на всех уровнях управления современной техногенной цивилизации и есть выражение этой закономерности.

Таким образом, дальнейшее развитие и совершенствование техносферы в рамках её экономической идеологии не совместимо с существованием естественной биосферы Земли. Техносфера в своём естественном развитии создаёт лимитирующие факторы, вытесняющие конкурирующие с ней природные организмы. *Решение экологических проблем возможно только при переходе к новой интегральной характеристике технических объектов – экологической целесообразности* [8, 9].

Рассматривая пространство эволюционных состояний развивающейся техносферы, следует иметь в виду, что одновременно с усложнением ее горизонтальных структур и структуры управления (рис.2) повышается энергоинформационный потенциал её иерархий, возрастают технические возможности информационно-коммуникационных технологий. Наиболее значим этот процесс на высших уровнях техносферы (таблица 1) и системы управления - при превышении присущей системе интегральной константы плотности энергии происходит смена её корреляционных форм. Система распадается на более мелкие подсистемы (с потерей интеллектуального потенциала на высших иерархиях) и меняет свою идеологию, в рамках которой определяется новая совокупность целей $\{Z\}$ и устанавливаются новые структурные связи между элементами. Этот неизбежный процесс перехода к новой интегральной характеристике техносферы мы и наблюдаем в настоящее время.

По существу ныне реализуется переход к новой Генеральной Парадигме информационной цивилизации:

- Жизнедеятельность цивилизации должна быть организована на принципах информо-энергетической замкнутости и цикличности процессов в мироздании;
- Любой проект в техносфере должен иметь экологическое обоснование и совершаться в интересах всей биосферы Земли, а не человечества или отдельной его части;
- Вне системного подхода в рамках Генеральной Парадигмы ни одна из экологических, экономических, политических, социальных, технических проблем не имеет позитивного решения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Особенность иерархического строения машинных систем, показанную в таблице 1, следует учитывать при анализе их свойств и на более низких уровнях иерархии, где они обычно не принимаются в расчёт в связи с особенностями редукционистского инженерного сознания.

Так, при исследовании потоков вибрационной энергии в механической структуре машины (2-ой уровень иерархии) интегральные характеристики конструктивных элементов - величины коэффициентов потерь η , зависят прежде всего от демпфирующих свойств соединений, т.е стыков деталей (болтовых, сварных) [10]. В основном частотном диапазоне коэффициенты потерь η на порядок выше, чем коэффициенты потерь η_M тех же элементов на 1-ом уровне иерархии вне конструкции (рис.3).

Коэффициент $\eta_M = 0,01-0,001$ - коэффициент потерь материала элемента, определяемый диссипативными свойствами конструкционного материала и приводимый в справочниках.

То же относится к основным интегральным акустическим характеристикам излучателей шума в машинах - их коэффициентам излучения σ . Коэффициент излучения используется при расчете звуковой мощности P излучателя - колеблющегося тела.

При использовании аппарата классической акустики коэффициенты σ для отдельных элементов-излучателей определяются сложными интегральными уравнениями, учитывающими их форму, размеры и вид колебаний. При расчётах звуковых полей системы таких излучателей в теоретической акустике принимаются во внимание не только амплитуды, но и фазы акустических процессов отдельных зон конструкции, т.е учитывается их связанность.

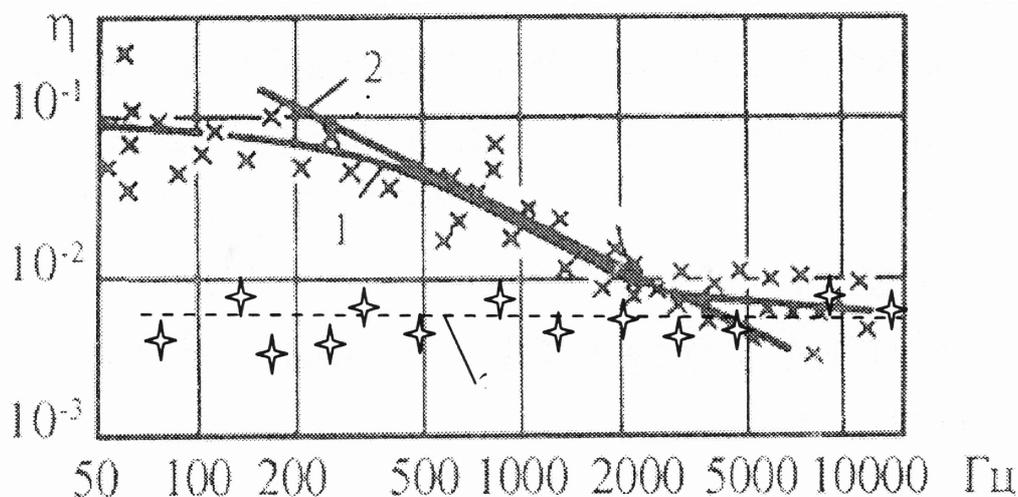


Рис. 3. Экспериментальный (1) и теоретический (2) коэффициент потерь стальной детали в конструкции, а также измеренный вне конструкции

Основным излучателем механического шума в машинах является несущая система. Типовая несущая система - станина машины представляет собой систему пластин и стержней с ребрами жесткости и без них, жестко связанных между собой болтовыми соединениями. Как показали исследования [10], вибрационные поля деталей машин, излучающих структурный шум, в средне- и высокочастотном диапазоне диффузны. Уровни виброскоростей в октавных и треть октавных полосах звуковых частот для точек на поверхности отдельных деталей диффузны и не отличаются более чем на 2-3 дБ. При этом колебания деталей некоррелированы - функция их когерентности в рабочем частотном диапазоне $\gamma_{xy}^2 \leq 0,1$. Таким образом, отдельные элементы несущей системы машин можно рассматривать как простые акустически независимые излучатели – диполи, монополи, пластины, характеризующиеся эффективной виброскоростью колебаний их поверхности. При случайном возбуждении в высокочастотном диапазоне частот отдельные участки структурных элементов, разделенные ребрами жесткости, также можно считать некоррелированными - функция когерентности для них $\gamma_{xy}^2 \leq 0,15$.

В связи с этим общая мощность звукоизлучения таких объектов достаточно точно определяется энергетическим суммированием отдельных элементов-излучателей, в то время как расчёты по уравнениям теоретической акустики приводят к значительному завышению их звуковой мощности [10]. Этот результат следует считать следствием принадлежности рассматриваемых объектов-излучателей к гомогенным системам 2-го уровня иерархии (см. таблицу 1).

Системный подход к техническим объектам третьего и четвертого уровней иерархии машина–цех позволяет понять особенности новой методологии расчёта шумового режима в производственных помещениях. Мощность звукоизлучения машины определенного типа, как гетерогенной системы, задана её конструкцией. В то же время шумовой режим зависит, прежде всего, от плотности установки машин и степени поглощения и отражения звука соседними машинами и ограждениями цеха, т.е. определяется особенностями связей элементов гомогенной системы четвертого уровня иерархии.

Все общепринятые методики, основанные на редуccionистском подходе, применяют последовательное суммирование излучения от отдельных источников шума и не учитывают рассеяния и поглощения шума самими источниками (его учёт классическими методами затруднителен). Для цехов текстильной и легкой промышленности с плотной расстановкой однотипного оборудования, такой подход некорректен. Например, использование для этих целей стандартной универсальной методики [11], не учитывающей поглощения и рассеяния шума машинами, приводит к значительному завышению расчетных уровней шума [12]. В связи с этими обстоятельствами разработана диффузионно-энергетическая методология расчета шумового режима в цехах с учетом рассеяния и поглощения шума машинами [10, 13], которая была включена в международные и отраслевые стандарты и зарекомендовала себя высокой точностью и простотой расчетов.

В основу расчета УЗД на рабочих местах по диффузионно-энергетической теории с учётом рассеяния положено уравнение плотности звуковой энергии w в цилиндрической волне (Краак-Эске), распространяющейся в плоском производственном помещении высоты h от точечного источника мощности P_0

$$w = \frac{P_0 \gamma e^{-\gamma r}}{\pi r c (\alpha_1 + 2\kappa \alpha_2)}, \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{h} \sqrt{[\alpha_1 + \kappa(1 + \alpha_2)]^2 - \kappa^2(1 - \alpha_2)^2},$$

где γ - фактор поглощения звуковых волн в цехе; $\kappa = \sum_{i=1}^{m_1} S_i / S'$ - относительная плотность тел рассеяния в поперечном сечении цеха для m_1 машин с площадью поперечного сечения S_i при площади поперечного сечения цеха S' ; α_1 и α_2 - средние КЗП для пола-потолка и для машин.

При звуковой мощности машин, равномерно распределенной по поверхности пола, плотность звуковой энергии в любой точке цеха высоты h с учетом формулы определяется интегральным уравнением

$$w = \frac{2P_1}{\pi c(\alpha_1 + 2\kappa\alpha_2)} \int_0^r \int_0^{2\pi} \frac{e^{-\gamma r}}{r} r d\varphi dr = \frac{2P_1}{c(\alpha_1 + 2\kappa\alpha_2)} (1 - e^{-\gamma r}),$$

где $P_1 = mP/S_{\Pi}$ - удельная акустическая мощность в цехе при установке m машин мощности

P на поверхности S_{Π} пола; γ - фактор поглощения звуковых волн в цехе; $\kappa = \sum_{i=1}^{m_1} S_i / S'$ -

относительная плотность тел рассеяния в поперечном сечении цеха для m_1 машин с площадью поперечного сечения S_i при площади поперечного сечения цеха S' ; α_1 и α_2 - средние коэффициенты звукопоглощения ограждений цеха и машин, r - расстояние от центра группы до расчетной точки.

В соответствии с уравнением (3) уровень звукового давления (УЗД) в расчетных точках на расстоянии r от источника мощности P_0 равен

$$L = L_p - 10 \lg \frac{\pi r h}{S_0} - 10 \lg \frac{\sqrt{[\alpha_1 + \kappa(1 + \alpha_2)]^2 - \kappa^2(1 - \alpha_2)^2}}{\alpha_1 + 2\kappa\alpha_2} - 4,34 \frac{r}{h} \sqrt{[\alpha_1 + \kappa(1 + \alpha_2) - \kappa^2(1 - \alpha_2)]^2}$$

Результаты измерений спадов УЗД в основных производственных цехах с удалением от образцового источника шума сравнивались с расчетными по формулам классической диффузионной теории Сэбина, используемым во всех стандартных методиках. На рис. 4 приведены типовые расчетные кривые спада в сравнении с экспериментальными данными для крутильного цеха.

Исследования показали, что расчеты по классической диффузионной теории дают приемлемые результаты только на небольших расстояниях от источника $r < 5$ м, а на больших расстояниях расхождение с экспериментальными данными достигает 10-15 дБ. Наилучшие совпадения дает уточнённая диффузионно-энергетическая теория с учетом рассеяния и поглощения шума оборудованием цеха: разница между расчетными по формуле (2) и экспериментальными значениями УЗД на расстояниях до 25 м не превосходят 2 дБ.

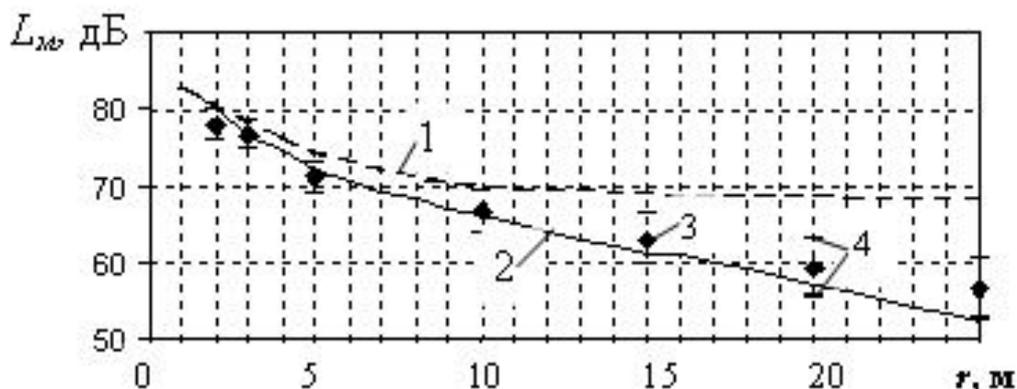


Рис. 4. Диаграммы спада УЗД в цехе: 1, 2 - расчетные по формулам Сэбина и (2); 3 - экспериментальные значения УЗД; 4 - доверительные границы погрешностей измерений при доверительной вероятности 0,98.

При равномерном распределении звуковой мощности с плотностью P_1 (Вт/м²) от m машин на поверхности пола S_{Π} средняя интенсивность излучения в любой точке цеха в результате интегрирования выражения для w найдена не зависящей от высоты цеха и равной

$I = wc = 2P_1 / (\alpha_1 + 2k\alpha_2)$, и уровни звукового давления на рабочих местах в цехе определяется зависимостью

$$L_{ц} = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{P}{P_0} + 10 \lg \frac{2qS_0}{\alpha_1 + 2k\alpha_2},$$

где P - мощность звукоизлучения одной машины, Вт; $I_0 = cw_0 = 10^{-12}$ - стандартное пороговое значение интенсивности, Вт/м²; $P_0 = cw_0S_0 = 10^{-12}$ - стандартное пороговое значение звуковой мощности, Вт; $S_0 = 1$ м²; c - скорость звука, м/с; $q = m/S$ - плотность установки машин, шт/м²; α_1 и α_2 - средние значения коэффициентов звукопоглощения (КЗП) ограждений цеха и машин. Это уравнение и положено в основу новой методологии расчёта шумового режима с учётом рассеяния и поглощения шума машинами [13]. Представленные на рис. 4 результаты исследования позволяют заключить, что использование стандартной методики [11] для расчёта шумового режима в цехах с большим количеством машин, значительно влияющих на характер распространения шума, приводит к завышенным результатам. Это и было подтверждено в результате расчетов уровней шума в типовом прядильном цехе, см. рис. 5. Размеры цеха 70x40x5 м, количество машин 80 с габаритами 15,4x0,8x2 м.

Как видно из рисунка 5, расчетные значения октавных уровней шума в цехе по методике [11] без учета рассеяния шума оборудованием значительно превосходят соответствующие расчетные значения по уточнённой методике [13]. На частотах 63-2000 Гц погрешности расчетов по стандартной методике выходят за пределы установленных в результате массовых исследований шумового режима доверительных границ погрешностей расчетов по уточнённой методике. Использование стандартной методики [11] для расчёта шумового режима в текстильных цехах приводит к завышению расчетных уровней шума до 8 дБ [13].

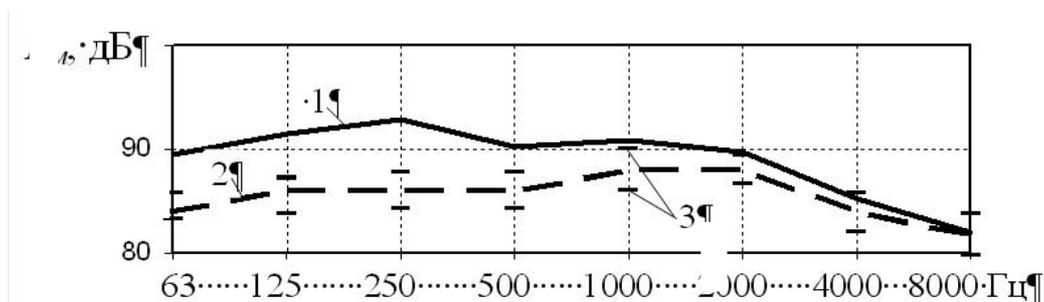


Рис. 5. Спектры УЗД в текстильном цехе: 1 - по методике [11]; 2 - по уточнённой методике [13]; 3 - доверительные границы погрешностей измерений при доверительной вероятности 0,98

При выполнении исследований технических систем более высокого иерархического уровня, представленных в таблице 1, системный подход требует использования экологических моделей вида (1) для сложных человеко-машинных систем. Техносфера, искусственная среда обитания современного человечества, образована сложными человеко-машинными техногенными системами, подобными живым организмам. Они представляют собой синергетические системы, основные свойства которых проявляются в самоорганизации сложной иерархической структуры. Как показано выше, в качестве интегральной характеристики при оценке эволюционных состояний таких систем может быть с успехом использована плотность энергоинформационной энергии её структуры.

Но уже и на уровне отдельной машины (3-ий уровень иерархии в таблице 1) эти системы способны управлять своим поведением в зависимости от известной внутренней цели Z , когда реакция такой целенаправленной системы Y при внешнем воздействии X

зависит от предполагаемого результата при достижении цели. В этом случае уравнение (1) приводится к упрощенному виду $Y = R(Z, X, \hat{X}(\hat{Y}))$, где R – оператор отображения системы, зависящий от её структуры; $\hat{X}\{\hat{Y}\}$ – самооценка входных сигналов по ожидаемому результату \hat{Y} воздействия, так что $\hat{X}(\hat{Y}) = \hat{X}(t, \gamma)$; t – текущее время.

Наличие у таких систем тезауруса, т.е. модельных представлений о себе и окружающей среде, является главным фактором их реакций при внешнем воздействии. Содержание тезауруса техносферы меняется при смене корреляционных форм эволюционного развития. В этих условиях особенно важна разработка адекватных информационных моделей сложных систем, которые определяют их поведение. Очевидно значение для этих человеко-машинных систем уровней этики и профессионального образования специалистов. При этом значимость уровней нравственности и образованности специалистов возрастает с увеличением иерархического уровня объекта анализа. Особенности структуры и свойства таких систем в общем виде исследованы в работах [14, 15].

Современное состояние в области проектирования малошумных машин при двухуровневом адапционном управлении [6,10] характеризуется тем, что сама постановка задачи по разработке малошумной машины оказывается в значительной степени зависящей от существующих или доступных вариантов решения, поскольку система шумозащиты может определять конструктивные или технологические параметры. При этом в ряде случаев следует принимать целесообразность этих решений не только для данной машины, и даже не для предприятия, а для отрасли или народного хозяйства в целом. Для достижения цели снижения акустической активности машин необходим правильный и перспективный выбор путей и средств, обеспечивающих комплексный учет большого количества факторов, относящихся к сферам проектирования, изготовления монтажа и эксплуатации оборудования. Для решения этой проблемы целесообразно использование системного подхода, под которым понимается совокупность приемов и методов, применяемых для изучения и управления сложными системами, позволяющего рассматривать акустику машин в ее динамическом аспекте как систему управления акустическими характеристиками машин. Решение этой проблемы требует комплексного подхода во взаимосвязи с учетом большого количества факторов на различных уровнях и предполагающего определенную последовательность задач и мероприятий.

Управление по акустическим процессам реализуется путем создания проекта машины, который на первом уровне сводится к стандартному техническому проекту, создаваемому с учетом эмпирического подхода к акустическим характеристикам; При этом осуществляется прямой оперативный контроль и нормирование акустических характеристик частично на этапах проектирования (доводки опытного образца), и в основном на этапе изготовления и эксплуатации. Основой управления на этом уровне служит конструктивно-технологическая модель машины, для которой установлена эмпирическая взаимосвязь модельных параметров с акустическими характеристиками. Иначе говоря, речь идет о мониторинге с эмпирическим решением на его основе обратной технической задачи повышения качества машины. На втором уровне этот проект как сложный информационно-энергетический комплекс включает акустический проект, созданный на основе системы моделей; на третьем уровне формируется экологический проект (синтез) машины, созданный на основе модели единой информационной системы функционирования машины, включающий также технические и другие критерии и обеспечивающий возможность управления машиной на всех трех стадиях жизненного цикла в ходе ее функционирования в техно- и биосфере.

Современное состояние в области проектирования малошумных машин при многоуровневом адапционном управлении характеризуется тем, что сама постановка задачи по разработке малошумной машины оказывается в значительной степени зависящей от существующих или доступных вариантов решения, поскольку система шумозащиты может определять конструктивные или технологические параметры. При этом в ряде случаев

следует принимать целесообразность этих решений не только для данной машины, и даже не для предприятия, а для отрасли или народного хозяйства в целом.

Для достижения цели снижения акустической активности машин необходим правильный и перспективный выбор путей и средств, обеспечивающих комплексный учет большого количества факторов, относящихся к сферам проектирования, изготовления монтажа и эксплуатации оборудования.

На первом этапе выполняется анализ шумового режима и выявляются шумные машины, на втором — осуществляется для них локализация источников акустической энергии в соответствии с разработанной для этих целей методологией определения генераторов и излучателей шума, а на третьем этапе с учетом результатов второго — разработка методов определения шумовых характеристик машин и их технического нормирования. Идентификация источников шума на машинах, т.е. определение акустических моделей излучателей, и разработка на этой основе акустических моделей машин осуществляются на четвертом и пятом этапах, после установления аналитических зависимостей между шумовыми характеристиками машин и их конструктивными и динамическими параметрами. Наличие таких моделей позволяет разработать методологию проектного расчета шумовых характеристик машин.

Результаты третьего, четвертого и пятого этапов исследований используются на шестом этапе для разработки общих подходов к шумозащите и комплекса методов снижения шума машин, обеспечивающих требования технических норм. Разрабатываются методы многокритериальной оптимизации при осуществлении шумозащиты с учетом возможной экономической эффективности. На седьмом, завершающем этапе разрабатываются принципы и методология акустического проектирования машин по установленному для этих целей критерию малозумности. При несоответствии найденных решений требованиям технических условий и норм шума, выявленном при испытаниях опытных образцов машин (или при ужесточении требований технических условий и норм), повторяется весь цикл работ, начиная со второго этапа. Поскольку рассматриваемая схема относится к техногенной системе машиностроения — живому и постоянно обновляющемуся и совершенствующемуся организму, ее применение не является одноразовым, а предполагает проведение комплекса постоянных исследовательских и проектных работ в части снижения шума машин с учетом необходимой модернизации методологии и совершенствования используемых методов шумозащиты [10].

При разработке методов и средств шумозащиты конкретной машины основой является математическая модель, устанавливающая связь между ее конструктивными и динамическими параметрами и шумовым режимом в производственном помещении, который в свою очередь зависит от способа установки машины и параметров и характеристик помещения. В основе теоретической системной модели лежит положение о том, что система S может быть определена общесистемными внешними свойствами P (уровни шума и вибрации, точность, долговечность, стоимость и т.п.) и внутренними свойствами M (конструктивные и технологические характеристики: массы, жесткости, коэффициенты потерь и т.д.), взаимодействующими между собой через структурные отношения системы R (вибрация и шум как функции внутренних параметров системы и другие соотношения).

Управление акустическими характеристиками машины начинается на этапе проектирования, когда принимается рациональная конструкция и рассчитываются оптимальные режимы эксплуатации. Оно продолжается на этапе изготовления при осуществлении целенаправленной коррекции конструкции и технологии изготовления по данным испытаний опытных образцов и результатам их работы с целью снижения шумовой активности. Заключительные фазы процесса управления проходят на этапе промышленного использования и охватывают широкий круг задач, связанных с установкой и режимом эксплуатации, организацией регламентных профилактических мероприятий. При определении методологии шумозащиты следует учитывать, что виброакустическая система

машины является подсистемой в системе более высокого порядка, при создании этой подсистемы лимитируются технические и материальные ресурсы и для каждого варианта решения определяются количественные характеристики эффективности с учетом затрат на реализацию, при анализе и синтезе задаются вероятностные модели входных воздействий и условия производственного использования.

Системный анализ сложного объекта разбивается на три ступени. Первая ступень состоит в постановке задачи, определении объекта и задании критериев оценки. Вторая заключается в делении совокупности объектов и процессов на два класса — собственно систему и внешнюю среду. В этом случае собственно система рассматривается замкнутой, т.е. приближенно независимой от внешней среды, либо среда может быть представлена элементом замкнутой системы. На заключительной ступени составляется акустическая модель изучаемой системы, устанавливающая связь между конструктивными, динамическими, технологическими характеристиками машины в их сочетании и ее акустическими характеристиками, которые в свою очередь зависят от способа установки машины и характеристик помещения. Машина при этом рассматривается как сложный энергетический комплекс, представленный системой механических, энергетических и акустических параметров во взаимодействии со средой. Теоретическое описание этой системы требует разработки специальных критериев оценки (вибрационные и шумовые характеристики машины и среды), программы оценки входных данных (механические характеристики и динамические нагрузки), с учетом которых разрабатывается акустическая модель машины. Программа расчета разрабатывается на базе имеющейся модели с целью определения искомых характеристик акустических полей в зонах взаимодействия машины и оператора [14,15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системный подход следует рассматривать как основу современного научного мышления, новое мировоззрение информационной цивилизации. Он опирается на методологию исследования и представления объекта как системы и ориентирован на выявление целостности объекта и соответствующих механизмов ее обеспечения на различных иерархических уровнях его модельного представления.

В рамках этого подхода разработана обобщенная модель человеко-машинной техногенной системы, которая обеспечивает интеграционную целостность описания и представляется в виде совокупности укрупнённых компонентов, необходимых для её существования и развития. Она может служить основой создания целостной системной концепции экологического проектирования технических объектов и их структуры с учётом динамики их развития.

Использование этого подхода совместно с теорией адаптивной эволюции синергетических систем позволило уточнить существующие представления об объектах и получить новые решения. Объяснён механизм динамики развития и вытеснения техническими системами живых организмов природной среды и циклического распада техногенных систем высокого уровня при достижении плотности энергии её структуры, превышающей значения интервальной константы.

Разработана обобщенная модель иерархической структуры технологических объектов и рассмотрены характерные примеры применения системной методологии при решении задач технической акустики.

В работе показана продуктивность использования системного подхода при исследовании технических объектов различных иерархий, начиная от простейших технических систем до сложных человеко-машинных комплексов и техносферы в целом. Установлено возрастание значимости уровней образования и нравственности специалистов с повышением иерархии объекта. Решение экологических проблем современной цивилизации возможно только при переходе к новой интегральной характеристике технических объектов

– экологической целесообразности. Вне системного подхода в рамках Генеральной Парадигмы экологической целесообразности ни одна из экологических, экономических, политических, социальных, технических проблем не имеет позитивного решения.

Список литературы

1. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения проблем бизнеса и промышленности. - М.: Концепт, 2006. – 206 с.
2. Хомяков П.М. Системный анализ. - М.: КомКнига, 2007. – 216 с.
3. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. - М.: Академия, 2003. – 506 с.
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем. – М.: Высшая школа, 2006. – 511 с.
5. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. - М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.
6. Pobol O.N., Panov S.N., Firsov G.I. The Ecological Acoustics of Machines: System Simulation and Machine Control in the Technosphere // Fourth International Congress on Sound and Vibration (St.Petersburg, 24-27 June 1996): Proceedings / Ed. by M.J.Crocker and N.I.Ivanov. Vol. 2. - St.Petersburg: 1996. - P. 1107 - 1114.
7. Васильков Г.В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем: Теория сооружений. - М.: Изд. ЛКИ, 2008. – 320 с.
8. Поболь О.Н. Информационное управление техносферой и концепция экологической безопасности. // Современные информационные технологии. Выпуск 2. - М.: Изд. МАИ-РосЗИТЛП, 2006. – С. 112-119.
9. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Информационная фаза эволюции техносферы и проблемы экологии // Новое в науке и производстве текстильной и легкой промышленности. Выпуск 2. М.: Изд. РосЗИТЛП, 2005. – С.119-130.
10. Поболь О.Н. Основы акустической экологии и шумозащита машин. - М.: Знание, 2002. – 272 с.
11. Защита от шума. СНиП II-12-77. - М.: Госстрой России, 2000. – 247 с.
12. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Оценка шумовых характеристик машин в цеховых условиях (на примере текстильной и легкой промышленности) // Вестник научно-технического развития. - № 12(40). - 2010. - С.12-20.
13. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Проблемы технического нормирования шумовых характеристик текстильных машин и управление шумовым режимом в производственных цехах перспективы // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. Специальный выпуск: Безопасность. Технологии. Управление. 2007. Труды 2-й Международной конференции. (Тольятти, 25-27 апреля 2007 г.). Том 1. - Самара: Самарский научный центр РАН, 2007. - С.277-280.
14. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Наука нового времени и экологическая эволюция информационной цивилизации // Новое в науке и производстве текстильной и легкой промышленности: Сборник научных трудов Вып. 3 - М.: РосЗИТЛП, 2007. - С.124-138.
15. Поболь О.Н., Фирсов Г.И. Экология и техносфера: проблемы и перспективы II // Современные проблемы науки и образования. - 2006. - № 6. - С.74-76.