ЛАПТА С.И., ХНПУ, д.т.н., профессор; ЛАПТА С.С., УИПА, к.т.н.; БУТЕНКО Н.С., ХНУРЭ

КИБЕРНЕТИКА ИЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ КОМПАРТМЕНТНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Актуальность темы. Широкая распространенность в различных областях природы, техники и общественных отношений сложных динамических систем, наиболее важным свойством которых является гомеостатическое самосохранение равновесных состояний, обусловила актуальность их эффективного математического описания.

Основные положения. Эта проблема была впервые сформулирована в 1948 г. Н. Винером в его широко известной книге “Кибернетика или управление и связь в животном и машине”, в которой он на основе подмеченной общности саморегуляции по принципу обратной отрицательной связи в различных технических системах и в физиологической системе управления человеком своим телом предложил новый системный подход для решения проблемы, актуальной не только для биологических наук, но также и для экологии, экономики, и для сложных технических объектов, описание которых с одной стороны нуждается в некоторой структуризации, а с другой – в подробно детализированном виде недостижимо на современном уровне развития науки или затруднительно по каким-либо причинам.

Этот подход претендовал на сочетание достаточно глубокого уровня структурирования, присущего аналитическому подходу, с цельностью описания объекта исследования. Он предусматривал и позволял его развитие в направлении не морфологического, а функционального структурирования описываемой системы с выяснением содержательного смысла ее элементов, что позволяло добиться главного в исследовательском процессе: удержания в руках целого, когда анализируются его части. Однако в дальнейшем вместо необходимого последовательного функционального структурирования описываемой системы "сверху вниз" подход Н. Винера стали "обобщать" вопреки его сути и духу в рамках аналитического метода, применяя его к отдельным узлам системы, пытаясь затем синтезировать результаты "снизу вверх" в ее общую модель. При этом столкнулись с непреодолимыми до сих пор проблемами гипотетичности, идентификации, сходимости и устойчивости решения дифференциальных уравнений модели.

С другой стороны, сведение кибернетического подхода к формальным методам синтеза теории автоматического управления и системного анализа еще более ограничило его возможности в медико-биологических науках. При этом уже не ставился вопрос об истинной физиологии процессов, как устроена соответствующая физиологическая система. Вместо этого, используя различные ее внешние аналогии с техническими устройствами, конструировали искусственную систему, которая могла бы выполнять в тех или иных аспектах те же

функции. Т.е. вместо вопроса, свойственного науке, "что представляет собой данная физиологическая система" отвечали на другой вопрос: "как она могла бы быть устроена". В частности, при описании осцилляционного характера возвращения сохраняемой физиологической переменной к ее гомеостатическому значению, игнорируя специфические биохимические свойства, лежащие в основе этого процесса, его моделировали, используя лишь внешне подобные технические аналогии с классическим гармоническим осциллятором, обыкновенным дифференциальным уравнением 2-го порядка. Естественна низкая, неудовлетворительная степень адекватности моделей, полученных таким формальным способом, которые более обоснованно следует называть аппроксимациями, ограниченно пригодными в отдельных частных случаях.

Предлагается возрождение кибернетики в направлении функционально-структурного компартментного моделирования сложных гомеостатических систем. Хотя его идея была высказана еще в 1980 г. в 8-томнике “Методы математической биологии” Глушкова В.М. с соавторами, однако до сих пор кроме нас никто ее не реализовал. Это подход состоит в отказе от бесперспективных попыток моделирования множества элементов морфологической структуры системы, принимающих участие в гомеостатических регуляциях, и еще более многочисленных их взаимосвязей и заключается в рассмотрении лишь определяющих их процессов, безотносительно морфологии системы. При таком подходе динамика процесса рассматривается вначале как явление в целом, без детализации, однако со структурированием в главном, но не в морфологическом, а в функциональном аспекте. При этом полученной формальной математической модели процесса придается содержательный смысл, согласующийся с общими представлениями и известными экспериментальными данными. В дальнейшем предполагается декомпозиция построенной модели в том же функциональном аспекте с увеличением числа компартментов и переменных состояния системы, однако с сохранением целостности описания. Это достигается поэтапным непрерывным усложнением моделей, их достройкой и усовершенствованием, так чтобы новая обобщающая, более детализированная модель включала в себя предыдущую модель целиком, как составную часть.

Таким образом, суть функционально-структурного компартментного подхода к математическому моделированию гомеостатических систем состоит в следующих принципах:

– в точечном моделировании динамики процессов, определяющих временную зависимость выходных переменных системы, без учета ее морфологии и пространственных координат;

– в описании динамики только тех содержательных переменных системы, которые можно практически измерить, с опосредованным учетом через их значения всех остальных существенных факторов, что в случае одномерной переменной выхода означает "саморегуляцию";

– в проведении содержательной функциональной идентификации модели системы среди возможных формальных структур с расширением множества качественных критериев адекватности;

– в сохранении целостного описания процессов при поэтапной декомпозиции их моделей и повышении их структурированности в функциональном аспекте.

Хотя сложные гомеостатические системы широко представлены повсеместно, пока они глубже всего исследованы на концептуальном уровне в физиологии и в медицине, где впервые и было введено это понятие. Среди них наиболее удобной и доступной для экспериментального наблюдения, проверки теоретических выводов является физиологическая система регуляции углеводного обмена. Поэтому большинство существующих сейчас математических моделей гомеостатических систем было предложено именно в этой области. Однако все они оказались существенно ограниченно адекватными как в отношении воспроизведения динамики экспериментальных данных, так и в отсутствии у них инвариантности относительно характера выведения системы из равновесного состояния.

Применение к теоретическому исследованию системы регуляции углеводного обмена функционально-структурного компартментного подхода позволило получить ее математическую модель, описывающую ее гомеостатическое свойство самосохранения в виде дифференциального уравнения 1-го порядка с запаздывающим аргументом, которое впервые адекватно воспроизводит временную зависимость уровня гликемии и инсулинемии на периферии при любых глюкозных и инсулиновых возмущениях. Для этого уравнения разработан оригинальный метод его численного анализа путем его сведения к многошаговой рекуррентной формуле, что позволило получение его численного решения на компьютере практически в реальном масштабе времени.

Выводы по теме. Кибернетика при ее введении Н. Винером изначально претендовала на преодоление разрыва между аналитическим и целостным подходами, между достигнутыми в них уровнями понимания при углублении физиологической адекватности последнего. Однако последующее ее развитие в течение последих 50 лет в направлении структурно-функционального подхода к математическому моделированию сложных систем с непременной гипотетичностью и чрезмерным уровнем детализации, неадекватными возможностям экспериментальной проверки и методам идентификации параметров моделей зашло в тупик. Преодолеть эту проблему и возродить кибернетику как науку предлагается путем широкого использования предлагаемых методов и понимания кибернетики как функционально-структурного компартментного математического моделирования сложных гомеостатических систем.