

УДК 681.3

С.А. Сазонова

**ПРИМЕНЕНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИОННОГО МЕТОДА ПРИ
МОДЕЛИРОВАНИИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-
строительный университет»*

Рассмотрены гидравлические системы как сложные системы, для отдельных элементов которых исключена возможность их автономного моделирования. Тенденции развития таких систем обуславливают необходимость применения декомпозиционного подхода. Рассмотрены основные результаты исследований по применению декомпозиционного метода при моделировании потокораспределения в гидравлических системах и существующие подходы к формированию граничных условий. Рассматривается неизбежный конфликт между внутренней взаимосвязью всех элементов и необходимостью декомпозиции. Проблема решается с помощью определения условий однозначности, в состав которых входят граничные условия. Обосновывается выбор декомпозиционного подхода. Наиболее перспективным представляется применение эквивалентирования при реализации целого ряда технических задач, обеспечивающих бесперебойное и безопасное функционирование исследуемых объектов.

Ключевые слова: моделирование, гидравлические системы, декомпозиционный метод, граничные условия, эквивалентирование.

Гидравлические системы (ГС) квалифицируются, как сложные системы. Причем такой статус для них исключает возможность произвольной декомпозиции, то есть, автономного исследования фрагмента системы (ИФС) без учета его взаимодействия с «метасистемой», под которой подразумевается совокупность элементов ГС, не вошедших в состав ИФС [1].

Конфликт между неизбежностью применения декомпозиционного подхода и принципами моделирования сложных систем можно устранить в случае определения условий однозначности при краевых задачах. При применении указанного подхода необходимо определиться с двумя типами данных: с подробной топологией системы и с граничными условиями (ГУ), задающими «реакцию» всей системы на границах ИФС. При наличии таких данных становится возможным автономно моделировать независимо от вида поставленной задачи любые исследуемые фрагменты.

При моделировании ГС проблеме определения условий однозначности традиционно уделялось не достаточно внимания. Это связано с устоявшимся мнением, что ГУ необходимо выбирать для любых задач, то есть, нет необходимости в проведении физического или математического эксперимента для их точного определения. Традиционно в математике представление ГУ, как априорно задаваемой информации. В действительности это представление не всегда имеет место. Например, очевидно, что исключения составляют задачи прямого

и обратного анализа возмущенного состояния системы, когда требуется получить прогноз ее реакции на любые виды режимных или структурных воздействий в пределах ИФС или установить вид воздействия по каким-либо косвенным показателям. Уже, исходя из сущности этих задач, ясно, что для них свойственна информационная неопределенность в смысле граничных условий, поскольку вклад в реакцию вносят элементы не только исследуемого фрагмента, но и метасистемы.

Можно прийти к выводу, что проблема информационной неопределенности граничных условий - это закономерное следствие применения декомпозиционного подхода. Иными словами если в состав ИФС входит вся совокупность элементов реальной ГС, то автоматически отпадает необходимость разработки средств и методов преодоления этой проблемы. Возникает необходимость при произвольной декомпозиции в поиске методов формирования граничных условий. При этом декомпозиционный подход является единственно возможным, а на процедуру выделения ИФС не накладывается ни каких ограничений.

В настоящее время в случае применения декомпозиционного подхода для ГС с одновременным формированием граничных условий опираются три группы исследований в рамках рассматриваемого направления. При этом получаемые результаты не всегда не могут удовлетворить практику моделирования ГС в силу недостаточной универсальности предлагаемых в них методов. Причина этого в том, что как правило рассматривались разнородные системы, не систематизировано решались разнородные задачи, при этом ставились разнообразные цели. Поэтому необходимо для формирования метода решения задач анализа ГС в новых исследованиях обобщить имеющиеся результаты. При этом искомый метод должен быть работоспособным при декомпозиционном подходе и приспособлен к реализации таких задач как возмущенное или текущее состояние. Рассмотрим исследования по применению декомпозиционного подхода.

Первая группа рассматриваемых работ [2] основана на идеях диакоптики, то есть в суперпозиции решений для отдельных фрагментов всей системы, а так же цепи их пересечений. При реализации этого метода пока не получается снять все ограничения на процедуру декомпозиции, в которой производится исключение участков, образующих цепь пересечений. Это связано с тем, что должно выполняться условие равенства цикломатических чисел исходной и декомпозированной систем. Еще более важным ограничением этих методов является возможность применения исключительно к задачам анализа текущего состояния системы, то есть для прогноза последствий воздействия возмущающих факторов они неприемлемы.

Во второй группе рассматривается так называемое «кибернетическое» моделирование, применяемое пока только для

электроэнергетическим системам [1]. Смысл метода заключается в декомпозиции всей системы на произвольное число подсистем, образующих нижний иерархический уровень. В процессе моделирования каждая из них замещается собственной функциональной характеристикой. В результате этого отпадает необходимость включения в расчетную схему всех элементов системы. На основе аппроксимации экспериментальных данных устанавливается функциональная характеристика. Здесь необходим физический эксперимент над конкретной подсистемой, а стабильность параметров элементов подсистемы позволяет избежать эту трудоемкую операцию за счет экстраполяции и их комбинирования. Декомпозиция может быть многоуровневой. При выполнении последовательно анализа каждого уровня появляется возможность управлять степенью детализации и таким образом согласовывать ИФС с ресурсами вычислительной техники. Некоторые элементы кибернетического моделирования используют при решении прикладных задач управления ГС. Для гидравлических систем преимущество рассмотренного метода проблематично, так как выполнение натуральных экспериментов для реальной ГС в техническом отношении процедура весьма трудоемкая. При этом унификация ГС практически невозможна, так как слишком много факторов влияет на гидравлический режим. Исходными же предпосылками для создания метода функционального имитационного моделирования должны быть инвариантность к любым задачам анализа, а так же исключение любых ограничений на процедуру декомпозиции. Ставит под сомнение перспективы применения «кибернетического» моделирования для ГС существующая в настоящее время технология определения функциональных характеристик, связанная с проведением физического эксперимента и с обработкой полученных результатов.

В третьей группе исследований [3] предлагается некоторый промежуточный вариант декомпозиционного подхода. Важнейшим достижением здесь является установление понятия расчетной зоны (РЗ), под которой подразумевается наименьший фрагмент системы, подлежащий анализу для корректного решения любых задач математического моделирования, в том числе и прогноз последствий возмущающих воздействий, причем отождествлять РЗ и ИФС можно только для задач определенных классов. Кроме того благодаря специфике взаимосвязи между распределительной сетью и абонентскими подсистемами (АП) разработан эффективный прием эквивалентирования АП, за счет чего удается регулировать масштабы ИФС в составе РЗ, а в конечном итоге - размерность решаемых систем уравнений математических моделей. Однако условия предлагаемого варианта декомпозиции, заключающиеся в необходимости группировки всех источников в рамках ИФС. Это существенно ограничивает его

возможности, поскольку РЗ, даже с учетом эквивалентирования АП, продолжает оставаться слишком крупным объектом.

Сопоставляя перечисленные подходы можно прийти к выводу, что они между собой являются антиподами по механизмам формирования ГУ. При этом метод диакоптики становится не конкурентно способным из-за ограничения в нем на возможность анализа возмущенного состояния. В «кибернетическом» моделировании функциональная характеристика подсистем является граничными условиями для смежных подсистем из одного иерархического уровня. При рассмотрении такой подсистемы как ИФС, реализация через ее функциональную характеристику любого возмущающего фактора выражает его воздействие на всю систему. Тогда анализ функциональных характеристик подсистем одного иерархического уровня будет считаться поиском «отклика» на это воздействие. При этом детализация подсистемы становится возможной после того, как будет определена реакция метасистемы.

В последнем случае роль функциональной характеристики АП отводится ее эквиваленту, с помощью которого для ИФС формируются ГУ. Детализация ИФС выполняется сразу, а его анализ совмещается с поиском реакции метасистемы. Очевидно, что если бы этот вариант декомпозиции был бы всегда реализуем, в смысле согласованности с ресурсами вычислительной техники, то его выбор был бы однозначным. В этом случае отпадает необходимость целого ряда промежуточных вычислений, которые являются обязательными для «кибернетического» моделирования. Но все равно предпочтение следует отдать именно этому варианту реализации декомпозиционного подхода, поскольку для него очевидны преимущества в механизме формирования функциональных характеристик на основе баланса энергии диссипации, а развитию в рамках этого метода только подлежит техника эквивалентирования [3].

На основе применения энергетического эквивалентирования разработан целый ряд работ, имеющих практическое значение при реализации задач анализа текущего состояния систем: водоснабжения [3], газоснабжения [4, 5] и теплоснабжения [6, 7, 8]. При анализе потокораспределения [3, 8] с помощью эквивалентирования решен целый ряд задач: статическое оценивание состояния [4], диагностика утечек [3, 5], резервирование [3, 6, 7]. Можно параллельно с перечисленными реализовывать целый ряд дополнительных задач. К рассматриваемым ГС следует относить системы водо-, газо-, теплоснабжения и нефтепроводы. В случае возникновения аварий на ГС потребуются, например, решать экологические задачи на примере работы [9]. Оценку надежности сооружений можно выполнять на основании работ [10, 11, 12]. Например, в работе [13] выполнена оценка надежности систем на основе проведения вычислительного эксперимента. Восполнение полной информации об объекте исследования с помощью автоматизированных систем управления

реализуется в диспетчерских пунктах по результатам мониторинга технического состояния системы. При реализации поставленных задач на стадии проектирования целесообразно привлечения средств систем автоматизированного проектирования [14, 15] Решение перечисленного ряда работ в целом повысят надежность ГС и обеспечат безопасность [16, 17] при их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А., Кибернетические модели электрических систем / В.А. Веников, О.А. Суханов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 328с.
2. Кафаров В.В. Метод составления уравнений математических моделей гидравлических цепей ХТС / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин // ДАН СССР. – 1973. - Т. 213. - №5. - С. 1138-1141.
3. Квасов И.С. Анализ и параметрический синтез трубопроводных гидравлических систем на основе функционального эквивалентирования: автореф. дис. доктора технических наук: 05.13.16 / И.С. Квасов. - Воронеж, 1998. - 30 с.
4. Сазонова С.А. Решение задачи статического оценивания систем газоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 11. - С. 139-141.
5. Сазонова С.А. Разработка метода дистанционного обнаружения утечек в системах газоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 11. - С. 119-121.
6. Сазонова С.А. Транспортное резервирование систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 2. - С. 99-101.
7. Сазонова С.А. Структурное резервирование систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2010. - Т. 6. - № 12. - С. 179-183.
8. Сазонова С.А. Модели оценки возмущенного состояния системы теплоснабжения / С.А. Сазонова // Инженерная физика. - 2010. - № 3 – С. 45-46.
9. Манохин, М.В. Экологическая оценка технологий переработки ТБО / М.В. Манохин, В.Я. Манохин, А.В. Попов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2014. - № 4 (13). - С. 76-80.
10. Михневич И.В. К вопросу о защитных свойствах быстровозводимых сооружений на основе пневмоопалубки / И.В. Михневич, С.Д. Николенко, В.А. Попов // В сборнике: Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 20 сентября 2012 года. ФГБОУ ВПО Воронежский

- институт противопожарной службы МЧС России. Воронеж, 2012. - С. 234-237.
11. Николенко С.Д. Применение фибрового армирования в зданиях и сооружениях, расположенных в сейсмоопасных районах / С.Д. Николенко // В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях: межвузовский сборник научных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; В.И. Федянин - ответственный редактор. Воронеж, 2006. - С. 38-46.
 12. Пат. № 2371555 Российская Федерация МПК7 E 04 G 11/04. Сооружение, возведенное на несъемной пневматической опалубке / Николенко С.Д., Казаков Д.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВГАСУ. – № 2008122797/03; заявл. 05.06.2008; опубл. 27.10.2009, бюл. № 30.
 13. Сазонова С.А. Оценка надежности систем газоснабжения при проведении вычислительных экспериментов с ординарными отказами линейных элементов / С.А. Сазонова, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. - 2015. - № 1. - С. 138-147.
 14. Зольников В.К. Моделирование сбора заряда при воздействии тяжелых заряженных частиц в КМОП элементах микросхем / В.К. Зольников, И.П. Потатов, К.И. Таперо // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). - 2010.- № 1. - С. 275-278.
 15. Анциферова В.И. Анализ подготовки специалистов по радиоэлектронике для научно-производственных и коммерческих структур в современных условиях / В.И. Анциферова, В.К. Зольников // Моделирование систем и процессов. - 2009. - № 3-4. - С. 5-12.
 16. Колотушкин В.В. Безопасность жизнедеятельности при эксплуатации зданий и сооружений: учеб. пособ. / В.В. Колотушкин, С.Д. Николенко. - Воронеж: ВГАСУ. - 2009. – 192 с.
 17. Колотушкин В.В. Безопасность жизнедеятельности при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений : учеб. пособ. / В.В. Колотушкин, С.Д. Николенко. – Воронеж: ВГАСУ, 2014. – 194 с.

S.A. Sazonova

**APPLICATION DECOMPOSITION METHOD IN PREDICTING
THE FLOW DISTRIBUTION IN THE HYDRAULIC SYSTEM**

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Hydraulic systems are considered as complex systems for individual elements which exclude the possibility of a stand-alone simulation. Trends in the development of such systems necessitate the use of decomposition approach. The main results of research on the use of decomposition methods in modeling the flow distribution in hydraulic systems and existing approaches to the formation of the boundary conditions. We consider there is a conflict between the need for decomposition and internal relationship of all elements. He is overcome by the introduction of the conditions of uniqueness, including the boundary conditions. The choice of decomposition approach. The most promising is the use of equivalenting the implementation of a number of technical problems to ensure smooth and safe operation of the objects.

Keywords: modeling, hydraulic systems, decomposition method, boundary conditions, equivalenting.