© А.Е. Петров, 2016

УДК 614.83:
665:658.5

А.Е. Петров

СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Сетевые модели, представляющие процессы и структуру, применяются для проектирования систем безопасности объектов нефтепереработки. Это позволило представить потоки массы и тепла в установке, рассчитать их изменения при дефектах структуры, связанных с отключением или разрушением различных элементов и подсистем установки. Сравнение предельно допустимых и аварийных значений позволяет прогнозировать опасности пожароопасных ситуаций и предложить варианты их устранения. Для создания сетевой модели рассмотрена простейшая конструкция установки с происходящими процессами. Переход от простейшей модели к модели исследуемой конструкции обеспечивают тензорные преобразования. Получены сетевые модели процессов ректификации, висбрекинга, каталитического крекинга, полимеризации. Рассмотрена сетевая модель установки ректификации первичной обработки нефти и ее применение для расчета изменения процессов при авариях, связанных с изменением структуры.

Ключевые слова: двойственные сети, процессы, структура, тензорный метод, сетевые модели, нефтепереработка.

Аналогии процессов. Для создания сетевых моделей необходимо установить аналогии между величинами процессов и структуры в сети и предметной области. К изменениям структуры относятся отключение или подключение элементов, изменение соединений элементов, разделение на части или соединение из частей.

Процесс в системе, как поток энергии в виде отклика на воздействие, можно записать простым уравнением поведения [3–5]:

воздействие = сопротивление * отклик.

Заданы воздействие и сопротивление, надо рассчитать отклик. Решение:

отклик = воздействие / сопротивление.

Для совокупности элементов установки составляется система уравнений, в которой воздействие и отклик представляют

векторы, а сопротивление есть матрица, которую надо обратить; тогда решение принимает вид:

отклик = (сопротивление)–1 * воздействие.

Величина потока энергии измеряется как произведение воздействия и отклика. Эту величину называют мощность и определяют как энергия в единицу времени:

(поток энергии) = мощность = воздействие * отклик.

Связь воздействия, отклика и метрики (сопротивление материи):

(метрика) = сопротивление = воздействие / отклик.

Величины воздействия и отклика бывают двух типов:

• измеряемые в одной точке (например, электрический ток), – продольные величины;

• измеряемые как разность значений в двух точках, (например, напряжение, разность потенциалов); – поперечные величины.

Воздействие и отклик, составляющие поток энергии, представлены парой продольной и поперечной величин. Для открытых и закрытых систем они меняются местами. Базисом в открытой системе являются разомкнутые пути, а в закрытой системе – замкнутые пути.

В электрической цепи источники напряжения (поперечная величина) в ветвях цепи – внутренние воздействия. Отклики, токи (продольная величина) возникают в контурах. Расчет контурных токов, по ним – токи и напряжения в ветвях, является решением задачи.

Источники тока (продольная величина) – внешние воздействия, они расположены вне цепи и действуют через узлы входа и выхода. Отклики, напряжения (поперечная величина) возникают в разомкнутых путях. Расчет этих напряжений есть решение задачи.

В каждой предметной области, в том числе в нефтепереработке, произведение продольной и поперечной величин по физической размерности равно мощности (поток энергии, или энергия в единицу времени).

Технология моделирования методом двойственных сетей

• Найти инварианты и привести уравнения поведения исследуемой системы к тензорному виду, т.е. к измеримым величинам.

• Установить аналогии между понятиями процессов и структуры данной системы и математической модели – сети.

• Рассмотреть простейшую сетевую модель, в которой представлены все процессы и элементы исследуемой системы; выбрать замкнутую или открытую сеть или их комбинацию, чтобы адекватно представить свойства системы.

• Построить сетевую модель процессов и структуры реальной системы. Двойственная сеть даст новую информацию о свойствах исследуемой системы.

• Расчет откликов на воздействия в сети при изменениях структуры и воздействий на систему, включая аварийные ситуации.

• Результаты использовать для расчета, проектирования, управления реальной установки, технической системы, технологического процесса.

Таким образом, метод двойственных сетей обеспечивает расчет изменения процессов при изменении структуры сложных систем. Изучение поведения реальной технической системы при авариях проводится на математической модели.

Тензорным методом автор построил сетевые модели процессов нефтепереработки. В работах [5, 8–9] материальные и тепловые потоки в установках ректификации представлены контурной и узловой сетью. В контурной сети воздействие задают насосы, откликами являются потоки нефтепродуктов, которые разделяются на фракции и переходят из газовой фазы в жидкую фазу, и обратно. В узловой сети воздействие задают нагрев, теплообмен и охлаждение, что позволяет разделить фракции. Сетевые модели разработаны для расчета массообмена в атмосферной колонне, для оценки состояния реакторно-регенераторного блока установки каталитического крекинга; для установки полимеризации.

Результаты применены для прогнозирования пожароопасных ситуаций объектов нефтепереработки для расчета изменений процессов при изменении структуры и рекомендаций по недопущению аварии. Проведены расчеты, например, изменения потоков тепла и массы при отключении элементов и дана оценка изменения критичных параметров.

Процесс переработки нефти состоит в разделении исходной смеси на компоненты с различной температурой кипения. Физические процессы разделения смеси состоят в осуществлении испарения или конденсации, за счет чего пар обогащается низкокипящим компонентом (НКК), а жидкость – высококипящим компонентом (ВКК) [10], что дает желаемые составы паровой и жидкой фаз. Для повышения выхода продуктов ис-

пользуется ректификация – процесс разделения жидких смесей на компоненты или их смеси (фракции), при взаимодействии потоков пара и жидкости.

Воздействия: изменения температуры, давления, скорости потока, химические воздействия и т.д. Отклики на воздействия: потоки нефти на входе и потоки конечных продуктов переработки на выходе. Потоки продуктов преобразуются под действием изменения температуры и концентрации. Элементами сети являются ветви, в которых происходит разделение смеси. Подключение или отключение элементов, в зависимости от технологии, или в результате аварий изменяет значения параметров, обладающих свойствами разрушения, например, превышение пределов температуры или давления.

Материальный баланс потоков компонент в колонне определяет узловую подсистему сети, есть аналогии между параметрами массообмена и сети. Воздействиями являются разности концентраций компонента между фазами пара и жидкости. На узловую сеть, потоков материи наложено влияние контурной сети с потоками тепловой энергии.

Тепловой баланс потоков компонент в колонне определяет контурную подсистему сети. Тепловой баланс определяется обменом тепловой энергии между фазами. Для безопасности важно, чтобы все подведенное в колонну тепло было отведено из колонны парами ректификата, жидким остатком и т.д.

Двойственность понятий сети позволяет представить материальный баланс контурной сетью, а тепловой баланс – узловой сетью. Рассмотрим построение сетевой модели атмосферной колонны первичной переработки нефти и ее применение для анализа потенциально опасных ситуаций, связанных с отключениями частей установки.

Сетевая модель атмосферной ректификационной колонны

Создана сетевая модель одного из блоков первичной переработки нефти, а именно атмосферной ректификационной колонны К-2. В этом блоке нефть разделяется на фракции при атмосферном давлении. Основным физическим параметром, представляющим риски аварий, является температура. Нефть разделяют на фракции: бензиновые, керосиновую фракцию, дизельную фракцию и мазут. Для этого применяют нагрев, дистилляцию и ректификацию, конденсацию и охлаждение. Это первичная перегонка, полученные фракции подвергают дальнейшей (вторичной) переработке.

В колонне основными являются потоки парогазовой смеси нефти на входе, потоки фракций, получаемые на выходе, а также потоки пара. В колонне фракции переходят из газовой фазы в жидкую фазу. Воздействия – изменения температуры, давления, скорости потока и т.д. Отклики – потоки нефти, потоки фракций в жидкой и газообразной фазе. В открытом пути для основного процесса, в контурах циркулярных орошений, тепловых потоков, величины воздействия и отклики могут меняться местами. Как источники тока и напряжения в контурах и открытых путях электрической цепи.

Нефть поступает к печам для нагрева и в ректификационную колонну при давлениях, превышающих атмосферное, и при температурах от 343 °С до 371 °С. Более легкие фракции проникают в верхнюю часть колонны и к другим установкам для дальнейшей переработки.

В ректификационных секциях установок применяется циркуляционное орошение. Отводят циркулирующую флегму двумя тарелками ниже. Колонна К-2 имеет 50 тарелок. Сверху колонны в виде паров выходит легкий бензин, а из внутренних отпарных секций – дистилляты лигроина и керосина. Остаток – масляный мазут – с низа атмосферной колонны направляется в вакуумную печь, где нагревается до 410–420 °С и далее поступает в испарительную часть вакуумной колонны.

В целях наиболее полного извлечения нефтепродуктов в нижнюю часть колонны К-2 подается перегретый водяной пар. Печи служат источником нагрева, как сырья, так и пара. На выходах осуществляется отбор фракций: 120–180 °С; 150–250 °С;. 240–290 °С; 290–350 °С.

К воздействиям относятся механическое воздействие в виде давления, его создают насосы, нагнетающие потоки; тепловое воздействие создают печи, теплообменники. Охлаждение создают воздушные и водяные холодильники. Отклики. Поток сырья (нефть на входе). Фракции нефти на выходе. Водяной пар – подогрев, отпаривание. Жидкое топливо к печам нагрева. Воздух в воздушных холодильниках. Вода в водяных холодильниках.

Структура установки включает в себя открытые пути и замкнутые контуры. Открытыми путями является движение потока сырья от входа до выхода фракций, к которым относятся – парогазовая смесь наверху К-2, фракции, соответствующие бензинам, керосину, дизельному топливу, мазуту. Контуры: три ЦО, острое орошение, циркуляция пара.

Общая схема колонны К-2 установки с колоннами предварительного испарения К-1, и циркуляционных орошений в колоннах К-6, К-7 и К-9 представлена на рис. 1. В данной сетевой модели колонна К-1 не рассматривается, а колонны К-6, К-7 и К-9 представлены тремя контурами ЦО. Более детальное моделирование повысит размерность задачи. Тогда надо применять тензорный метод для декомпозиции и расчета сетевой модели по частям.

Следуя технологии тензорного метода, рассмотрим сначала простую установку с минимальным набором элементов, необходимых для процесса ректификации. Для нее установим аналогии и выберем адекватную сетевую модель. Затем применим результаты для расчета сетевой модели, представляющей колонну К-2. Простую реализацию можно представить схемой колонны на рис. 2, *а*, которой соответствуют сетевые модели

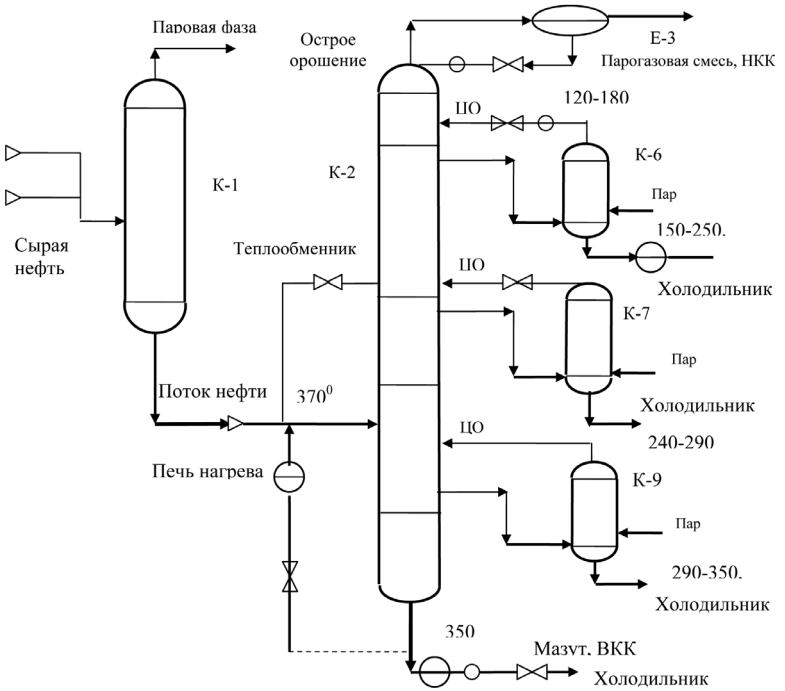

Рис. 1. Схема работы ректификационной колонны установки АВТ: колонна предварительного испарения К1; К2 – ректификационная колонна АВТ; колонна К6; колонна К7; колонна К9; емкость Е3, ЦО – циркуляционное орошение

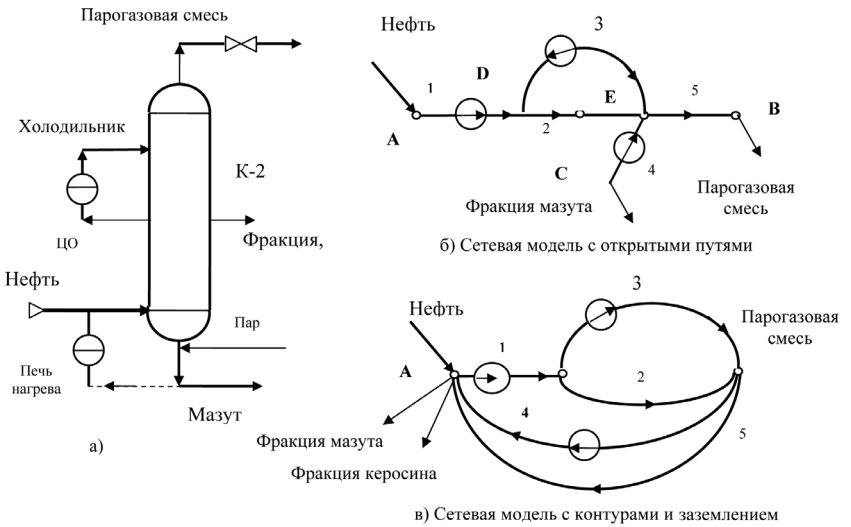

Рис. 2. Схема простейшей ректификационной колонны и два варианта структуры сетевой модели: а) ректификационная колонна; б) сетевая модель с открытыми путями; в) сетевая модель с контурами и заземлением

из пяти ветвей на рис. 2, *б* и рис. 2, *в*. На вход поступает сырье в виде парогазовой смеси. В колонне смесь делится на тяжелую фракцию, уходящую вниз, и смесь легких фракций, которые уходят вверх. Для разделения фракций вводится контур орошения, по которому часть потока охлаждают, а затем подают в колонну, понижая температуру до уровня перехода отделяемой фракции в жидкую фазу, которую выводят здесь. Оставшуюся смесь выводят наверху.

Расчет этих сетевых моделей позволил выбрать вариант, который соответствует реальным потокам продуктов и тепла. С помощью матриц преобразования открытых путей и контуров получены матрицы решения. Потоки массы нефтепродуктов представляют токи отклика на воздействие в виде давления насосов в контурах. Потоки тепла представляют напряжения и токи в узловой сети, как отклики на нагрев и охлаждение.

В результате оказалось, что наилучшие аналогии с атмосферной колонной дает сетевая модель в виде сети с контурами и заземлением.

Теперь рассмотрим сетевую модель реальной установки, где сырая нефть на входе в процессе ректификации разделяется на четыре фракции, газ и мазут. Также есть поток перегретого

пара. Анализ установки показал, что для сетевой модели необходимо не менее 18 ветвей, представляющих основные потоки от входа до выхода, а также контуры: контур перегретого пара, три циркулярных орошения и острое орошение.

В модели можно увеличить число компонент. Тензорный метод двойственных сетей позволяет разделить сложную сеть и провести расчет по частям. Это удобно для анализа поведения установки с разной компоновкой блоков, как в интересах проектирования, так и для анализа последствий отключения разных подсистем при аварийных ситуациях.

Сетевая модель соответствует правой части на схеме рис. 1, представляющей основные узлы и агрегаты ректификационной колонны К-2. Сеть включает в себя входной поток нагретой нефти, вывод мазута, фракции 290–350 °С. Вместо К-6, К-7, К-9 включены три контура орошения, которые обеспечивают выделение других фракций, а также орошение в верхней части колонны с выводом парогазовой фракции. Отдельно представлена циркуляция пара для отпаривания компонент в нижней части колонны. Узел *К* – заземление. В него поступает входной поток нефти, из него расходятся разделенные фракции.

Расчет матриц решения для структуры данной сетевой модели проведем отдельно для контурной сети и узловой сети. Полагаем, что метрика, т.е. «сопротивления» ветвей равны единицам, чтобы упростить расчеты. При необходимости можно ввести метрику: массу потоков, вязкость, энтальпии, теплоемкость, что определит сопротивление потоку массы.

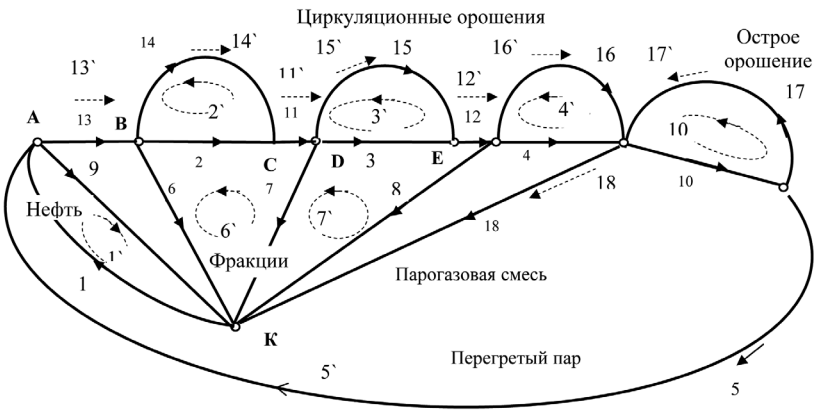

Рис. 3. Сетевая модель колонны К-2 с контурами (три циркуляционных и острое орошение, цикл перегретого пара), и заземлением в узле К

Получив матрицы решения, зададим воздействия и рассчитаем отклики, которые оценим на соответствие реальным значениям потоков материи и потоков тепла. В сети: ветвей $n = 18$, узлов $J = 9$, подсетей $s = 1$, открытых путей $j = 9 - 1 = 8$, контуров $m = 10$. Подматрица ${}^{m}C$ контурной сети состоит из строк 1–10. Часть ${}^{m}C$ для путей рис. 3 имеет вид:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	m
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	m
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	m
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	m
5	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	m
9	...				...					...				...				...	m
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	m

Фрагмент матрицы решения $Y_c = {}^{m}C_{\alpha`\ t}^{\ \alpha}\,({}^{m}C_{\alpha`}^{\ \alpha}\,Z_{\alpha\beta}\,{}^{m}C_{\beta`\ t}^{\ \beta})^{-1}\,{}^{m}C_{\alpha`}^{\ \alpha}$ этой сети имеет вид:

		2	3	4	5		14	15	16	17	18	
1	2793	111	-6	-132	-648	...	111	-6	-132	324	384	
2	111	2454	129	72	102	...	-1695	129	72	-51	42	
3	-6	129	2460	183	144	...	129	-1689	183	-72	222	
4	-132	72	183	2643	402	...	72	183	-1506	-201	735	
5	-648	102	144	402	1722	...	102	144	402	-861	-918	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
14	111	-1695	129	72	102	...	2454	129	72	-51	42	1/4149
15	-6	129	-1689	183	144	...	129	2460	183	-72	222	
16	-132	72	183	-1506	402	...	72	183	2643	-201	735	
17	324	-51	-72	-201	-861	...	-51	-72	-201	2505	459	
18	384	42	222	735	-918	...	42	222	735	459	2388	

В сетевой модели внутренними воздействиями являются источники ЭДС, а в реальной системе, например, насосы, создающие давление. В сетевой модели откликами являются контурные токи, токи и напряжения на отдельных ветвях, а в реальной системе – потоки нефти и ее продуктов (жидкие, газовые, парогазовые). Умножение матрицы решения на источник воздействия, вектор ЭДС e_α дает отклики в ветвях, токи i^{β}_{c}.

Пусть источники ЭДС заданы вектором e_α =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
150	15	10	14	52	20	25	25	10	10	1	1	1	10	8	12	-6	16

Умножив Y_c на e_α, получим токи i^α_c и напряжения e_α^c в ветвях связанной сети.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
102,1	13,1	6,4	4,1	0,9	23,9	10,5	4,5	57,9	2,5	21,2	10,7	45,1	8,1	4,4	2,1	1,5	5,3

В узле *K* сохраняется баланс входного потока и выходных потоков, которые выводятся по своим путям. Результат соответствует потокам нефтепродуктов в реальной колонне.

Проведем расчет узловой сети с данной структурой, и оценим, как источники тепла создают потоки на ветвях. Воздействия здесь источники тока, а отклики – напряжения на ветвях. Проводимости ветвей считаем равными единицам. Их можно ввести как энтальпии, при переходе из жидкой фазы в газообразную фазу.

Матрица *A* узловой сети ортогональна к *C* контурной сети $A = C^{-1}_t$. Для расчета используется подматрица открытых путей матрицы *A*, которые играют здесь роль базиса. Выполнив вычисления, получим $Z_c = {}^jA^{\alpha`}_{\alpha t}\,({}^jA^{\alpha`}_{\alpha}\,Y^{\alpha\beta}\,{}^jA_\beta^{\beta`}{}_t)^{-1}\,{}^jA_\beta^{\beta`}$. Эту матрицу легко получить из инварианта двойственности – сумма матриц решения контурной и узловой сети равна единичной матрице. Введя вектор тепловых воздействий (нагрев и охлаждение), умножив на него матрицу решения Z_c, получим отклики. Здесь нагрев в печи отнесен к ветви входа 1, а охлаждение – во всех ЦО, остром орошении, и на выходах фракций. Значения откликов удовлетворяют законам Кирхгофа в узлах и по контурам. В ветвях 1 (печь на пути входного потока) и 5 (контур подачи в низ колонны перегретого пара), где происходит нагрев, потоки совпадают с направлением ветви, а в остальных, где идет охлаждение, противоположны. Результат соответствует потокам тепла в реальной колонне.

Рассмотрим поведение установки при изменениях структуры, связанных с возможными авариями. Пусть в структуре сетевой модели разорваны (разрушены) два контура – острое орошение, где ветвь 17 оторвана от узла *H*, и вывод газовой фракции, где ветвь 18 оторвана от узла *F*, как показано на рис. 4. Тогда в матрицах преобразования *C* и *A* произойдут изменения – два контура, соответственно 9 и 10 превратятся в разомкнутые пути.

В матрице для расчета контурной сети ^{m}C станет на две строки меньше, а в матрице для расчета узловой сети ^{j}A станет на две строки больше. Алгоритмы расчета не меняются. Снова рассчитаем контурную и узловую сеть, получим матрицы решения. Используя прежние воздействия, получим отклики, и сравним их с откликами для заданной структуры установки.

В сети ветвей $n = 18$, узлов $J = 11$, подсетей $s = 1$, открытых путей $j = 10$, контуров $m = 8$. Два пути стали открытыми, размерность подпространства контуров уменьшилась на два, размерность подпространства открытых путей возросла на два. В матрице mC последние два столбца 17 и 18 становятся нулевыми. Матрица решения Y_{c1} представлена фрагментом:

	1	2	3	4	5		14	15	16	17	18	
1	907	37	-10	-72	-144	...	37	-10	-72	0	0	
2	37	822	41	17	34	...	-569	41	17	0	0	
3	-10	41	816	33	66	...	41	-575	33	0	0	
4	-72	17	33	794	197	...	17	33	-597	0	0	
5	-144	34	66	197	394	...	34	66	197	0	0	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
14	37	-569	41	17	34	...	822	41	17	0	0	1/1391
15	-10	41	-575	33	66	...	41	816	33	0	0	
16	-72	17	33	-597	197	...	17	33	794	0	0	
17	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	

Воздействиями являются источники ЭДС, а в реальной системе, например, насосы, создающие давление. Откликами являются контурные токи, токи и напряжения на отдельных ветвях, а в реальной системе – потоки нефти и ее продуктов (жидкие, газовые, парогазовые). Полученную матрицу умножим на вектор воздействия e_{α}, чтобы получить отклики, токи i^{β}_{c}.

Возьмем прежний вектор e_{α}, умножим на него Y_{c1} – получим отклики, токи $i^{\alpha}_{c1} = e^{c}_{\alpha\,1}$.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
101,2	13,0	5,9	2,6	3,1	24,4	11,3	6,6	58,8	3,1	21,1	9,8	45,4	8,0	3,9	0,6	0	0

Сравним результаты со значениями потоков в установке, работающей в штатном режиме, i^{α}_{c} которые даны выше. Разность между ними, и накопления отклонений за разные промежутки времени представлены в таблице для момента отключения эле-

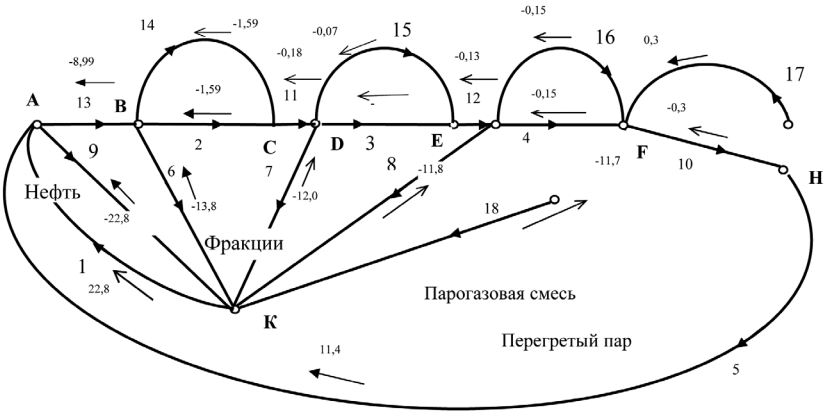

Рис. 4. Сетевая модель колонны К-2 с отрывами ветви 17 от узла Н и ветви 18 от узла F. Соответственно, контуры 7 и 8 в матрице преобразования стали разомкнутыми путями

Динамика роста опасности пожара при разрушении

Номера ветвей	Воздействия	Отклики, штатные	Отклики при аварии	Накопление избытка массы, в единицах времени			
				1	5	10	20
1	150	102,1	101,2	-0,9	-4,68	-9,37	-18,74
2	15	13,1	13,0	0,1	0,35	0,69	1,38
3	10	6,4	5,9	0,5	2,58	5,16	10,33
4	14	4,1	2,6	1,5	7,69	15,39	30,77
5	52	0,9	3,1	-2,2	-11,11	-22,23	-44,46
6	20	23,9	24,4	-0,5	-2,44	-4,87	-9,75
7	25	10,5	11,3	-0,8	-3,97	-7,95	-15,90
8	25	4,5	6,6	-2,1	-10,72	-21,44	-42,88
9	10	57,9	58,8	-0,9	-4,68	-9,37	-18,74
10	10	2,5	3,1	-0,6	-3,11	-6,23	-12,46
11	1	21,2	21,1	0,1	0,69	1,38	2,76
12	1	10,7	9,8	0,9	4,66	9,33	18,66
13	1	45,1	45,4	-0,3	-1,75	-3,49	-6,99
14	10	8,1	8,0	0,1	0,35	0,69	1,38
15	8	4,4	3,9	0,5	2,58	5,16	10,33
16	12	2,1	0,6	1,5	7,69	15,39	30,77
17	-6	1,5	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0
18	16	5,3	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0

ментов, а в следующих столбцах – накопление избытков массы через 5, 10 и 20 единиц времени (см. таблицу).

Разница между значениями потоков для штатного режима и аварийного режима была рассчитана для «мгновенных» значений, т.е. потоков в единицу времени. Полученная разность будет накапливаться, и можно рассчитать время, за которое накопленные избыточные массы создадут аварийную ситуацию.

В ветвях 4, 12, 16 происходит накопление избыточной массы, в сравнении с обычными значениями, это наиболее аварийно опасные участки. Для разных изменений в конструкции необходимо составить «банк данных» вариантов разрушений и реакции на них.

Для реальных задач объем вычислений растет. Для ускорения расчетов применяются алгоритмы тензорного метода расчета по частям. Ранее полученное решение преобразуется в новое решение с помощью матрицы преобразования измененных путей. Их можно применять для анализа поведения системы, состоящей из установок соединенных в единый технологический комплекс. Например, нефтеперерабатывающий завод в целом.

Алгоритм расчета матрицы решения замкнутых путей при разрывании связей в контурной сети, по формуле (27). Она описывает изменения в заданной сети при разрывании связей – для замкнутых путей и обеспечивает расчет при разрывании в структуре сети, которое задано ортогональной матрицей ΔA, в отличие от соединений. Знак «минус» показывает, что метрические параметры сети для замкнутых путей уменьшаются при разъединении части узлов, что уменьшает число контуров.

Рассмотрим применение данного алгоритма для структурных изменений, отключения ветвей 17 и 18. При разрыве двух узлов два контура превратились в открытые пути. В соответствии с формулой расчета изменения матрицы решения старой сети в матрицу решения аварийной установки, нужна матрица измененных путей в двойственной сети ΔA. Матрица решения старой сети, Y_c^1, получена выше. Матрица изменений – это две строки 9 и 10 матрицы A для тех путей, которые из контуров превратились в открытые пути, т.е. $\Delta A =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
9	-1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Вычисляя матрицу решения сети с разрывами, получим матрицу в скобках $\Delta A\ Y_c^1\ \Delta A_t$ порядка 2×2, обращение которой требует меньше вычислений, чем матрицы 10×10:

	9	10
9	0,575555	-0,11062
10	-0,11062	0,60376

$(\Delta A\ Y_c^1\ \Delta A_t)^{-1}=$

	9	10
9	1,800863	0,329937
10	0,329937	1,716735

Умножив ее справа и слева на $Y_c^1\ \Delta A_t$ и $\Delta A\ Y_c^1$, получим матрицу изменений, т.е. $\Delta \underline{Z}_c$. Вычитая ее из Y_c^1: $Y_c^2 - = Y_c^1 - \Delta \underline{Z}_c$, получим матрицу решения аварийной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров А.Е.* Тензорный анализ сетей и параллельные вычисления. – М.: МИФИ, 1991. 24 с.
2. *Петров А.Е.* Моделирование и анализ поведения сложной системы при чрезвычайной ситуации тензорным методом / Проблемы управления в условиях чрезвычайной ситуации. – Звенигород, 1992. – 2 с.
3. *Петров А.Е.* Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.
4. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. – М.: ООО ЦИТиП, 2007. – 496 с.
5. *Петров А.Е.* Тензорный метод двойственных сетей. – М.: ООО ЦИТиП, 2007. – 602 с. Дополненное интернет издание на портале Университета «Дубна». Режим доступа: http://www.uni-dubna.ru///images/data/gallery/70_971_tenzorny_method25_02.pdf , 2009.
6. *Крон Г.* Исследование сложных систем по частям – диакоптика. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
7. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей. – М.: Советское радио, 1978. – 720 с.
8. *Петров А.Е.* Тензорный метод сетевого моделирования объектов нефтепереработки. Труды 4 Всероссийской научной конференции с международным участием «Технологии информатизации профессиональной деятельности». – Ижевск, 2014. – С. 109–159.
9. *Федоров А.В., Петров А.Е., Алешков А.М.* Сетевая модель процесса полимеризации // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 4. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Петров Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: helen_pet@mail.ru,
НИТУ «МИСиС».

UDC 614.83:
665:658.5

A.E. Petrov

NETWORK MODELS FOR THE DESIGN OF SAFETY SYSTEMS REFINING FACILITIES

Network models that represent the processes and structure used for the design of refining facilities safety systems. This enabled to provide mass and heat streams in construction, calculate the change in structure defects related to disabling or destruction of various elements and sub-systems of the construction. Comparison of maximum permissible values to predict emergency fire-danger situations and suggest paths to remove them.

To create a network model is considered the simplest design to ongoing processes. The transition from the simplest model to model the studied structures provide tensor transformation. Received network model of rectification, visbreaking, catalytic cracking, and polymerization. Rectification construction network model is considered the primary processing of oil and its application to calculate the change processes in the restructuring.

Key words: dual networks, processes, structure, tensor method, network models, oil refining.

AUTHOR

Petrov A.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: helen_pet@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Petrov A.E. *Tenzornyy analiz setey i parallel'nye vychisleniya* (Tensor analysis of networks and parallel computing), Moscow, MIFI, 1991, 24 p.

2. Petrov A.E. *Problemy upravleniya v usloviyakh chrezvychaynoy situatsii* (Problems of control under emergency), Zvenigorod, 1992, 2 p.

3. Petrov A.E. *Tenzornaya metodologiya v teorii sistem* (Tensor methodology in the theory of systems), Moscow, Radio i svyaz', 1985, 152 p.

4. Petrov A.E. *Tenzornyy metod dvoystvennykh setey* (Tensor method of dual systems), Moscow, OOO TsITiP, 2007, 496 p.

5. Petrov A.E. *Tenzornyy metod dvoystvennykh setey* (Tensor method of dual systems), Moscow, OOO TsITiP, 2007, 602 p. Dopolnennoe internet izdanie na portale Universiteta «Dubna», available at: http://www.uni-dubna.ru///images/data/gallery/70_971_tenzorny_method25_02.pdf , 2009.

6. Kron G. *Issledovanie slozhnykh sistem po chastyam diakoptika* (Analysis of complex systems in parts—Diakoptics), Moscow, Nauka, 1972, 544 p.

7. Kron G. *Tenzornyy analiz setey* (Tensor analysis of networks), Moscow, Sovetskoe radio, 1978, 720 p.

8. Petrov A.E. *Tenzornyy metod setevogo modelirovaniya ob"ektov neftepererabotki. Trudy 4-oy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Tekhnologii informatizatsii professional'noy deyatel'nosti»* (Tensor method of network modeling of petroleum processing objects. Proceedings of the 4th All-Russian Conference with International Participation: Professional Activity Informatization Technologies), Izhevsk, 2014, pp. 109–159.

9. Fedorov A.V., Petrov A.E., Aleshkov A.M. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2010, no 4.