

Рис.1. Зависимости шероховатости поверхности древесностружечных плит R_z от величины ширины фаски износозубья задней поверхности B_z

процессе производства ДСП недостаточно эффективную операцию их калибровки и потолщин шлифовании абразивной шкуркой.

В 70-80-х гг. на мебельном комбинате "Гантиади" (г. Тбилиси) эксплуатировали спроектированный ГТУ под руководством автора данной статьи полуавтоматический станок ПКЭ-1-ГПИ, предназначенный для калибровки ДСП потолщин торцовыми фрезами большого диаметра ($K_{фр.} = 700$ мм; $Z = 24$), зубья которых оснащены пластинами из Эльбора-Р. Станок позволяет получить калиброванные плиты с параметрами, соответствующими предъявляемым стандартам и требованиям разнотолщинности, лит не превышает $\pm 0,2 \cdot 10^{-3}$ м, а шероховатость обработанной поверхности $R_z = 10 \dots 20$ мкм (Рис.3). Производительность операции калибровки плит эльборовыми инструментом почти в 2 и более выше чем абразивным, а потребляемая при этом мощность в 1,5-2 раза ниже [5].

В последние годы в связи с трудностями, возникшими в снабжении режущим инструментом, ростом цен на инструментальные материалы и другими соображениями повысился интерес к применению операции калибровки плит твердых сплавов. На основании обстоятельного исследования проведенного в ОНИЛ "РИОНЭМ" ГТУ [3, 4] установлено, что по производительности калибровки твердыми сплавами уступает Эльбору-Р, но имеет преимущество по инструментальным расходам и энергоёмкости процесса (рис.3). Эффективным инструментальным материалом при обработке ДСП является керамика (силит-Р).

На основании накопленного в последний год фактического материала разработано техническое задание на проектирование нового, с повышенными технологическими возможностями калибровально-фрезерного станка. В новой модели станка предусмотрено расширение диапазонов частот вращения шпинделя и скоростей подачи, что дает возможность эксплуатации широкого ассортимента инструментальных материалов (СТМ, керамики, твердых сплавов) и получения пероховатости обработанной поверхности пригодной для фанерирования шпоном бумагой.

Литература

1. Г. В. Бокучава, З. Д. Читидзе и др. Исследование износоустойчивости Эльбора-Р, карбонадо и природного алмаза при обработке древесно-стружечных плит. Ис. алмазы и сверхтвердые материалы. N2. 1975 г.
2. Г. В. Бокучава, З. Д. Читидзе и др. Применение сверхтвердых материалов в дереворежущем инструменте. Ис. деревообрабатывающая промышленность. N8. 1978 г.
3. З. Д. Читидзе, Г. Н. Ткемаладзе и др. Работоспособность инструментальных твердых сплавов при горцевом фрезеровании древесно-стружечных плит. Труды ГТУ, 1996 г. N1 (409). с.
4. З. Д. Читидзе, Г. Н. Ткемаладзе и др. Надежность твердосплавного инструмента при горцевом фрезеровании древесно-стружечных плит. Труды ГТУ, 1997, N2 (413). с. 5. Станок для калибровки древесно-стружечных плит инструментами из сверхтвердых материалов. Информационный листок. Тбилиси, изд. ГПИ. 1976.

UDC 621.914.2

საღ-შენადნობიანი ხის დამამუშავებელი ინსტრუმენტის ეფექტურობა

პროფ. ზ.ჩიტიძე

საპარტვილოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მექანიკა-მანქანათმშენებლობის

ფაკულტეტი

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Повышение эффективности режущего инструмента — одна из важнейших проблем обработки материалов резанием. Для ее решения создаются новые инструментальные материалы, улучшается качество существующих, причем учитывается актуальная задача промышленности — экономия дефицитного вольфрама и дорогостоящего кобальта [1, 2, 3, 4]. В настоящей работе рассматриваются вопросы совершенствования твердосплавного деревообрабатывающего инструмента.

$$S_0 = 0,25 \cdot 10^{-3}$$

Установлено [4], что при резании древесины и древесных материалов твердосплавным инструментом обрабатываемые поверхности подвергаются в основном адгезионно-усталостному износу, причем в этих условиях большую износостойкость проявляют вольфрамкобальтовый мелкозернистый сплав ВК6М.

Экспериментами, проведенными в ОНИЛ "РИОНЭМ" ГТУ установлено, что при прерывистом продольном точении по кромке набора квадратных заготовок (125×125) $\cdot 10^{-3}$ м из древесностружечных плит (ДСП) ($t = 2 \cdot 10^{-3}$ м; $v = 13,1$ м/сек), стойкость мелкозернистого сплава ВК6М по крайней мере в 1,5 раза выше, чем у сплава ВК6.

Аналогичные результаты были получены автором и при поперечном точении тех же заготовок по пласти (т.е. в Стеже, что и при продольном точении; $V_{\max} = 13,1$ м/сек; $V_{\min} = 8,4$ м/сек). Повышенные режущие свойства обладают мелкозернистые сплавы группы ХОН, в которых дефицитный карбид титана заменен карбидом хрома.

*Средний размер зерен карбидной фазы в сплавах ВК6 составляет 2 мкм в сплаве ВК6М1, 5...1,6 мкм в сплавах группы ХОМ (ВК10-ХОМ; ВК15ХОМ) до 0,1 мкм [3, 5].

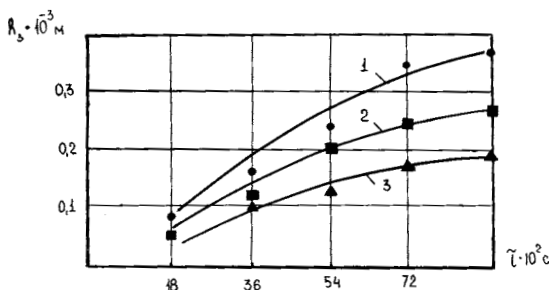


Рис. 1 Кривые износа задней поверхности, зубьев твердосплавных пил в зависимости от времени резания ДСП ($K=350 \cdot 10^3 \text{ м}$; $B=3,4 \cdot 10^3 \text{ м}$; $z=56$; $U_z=0,25 \cdot 10^3 \text{ м/зуб}$; $V=55 \text{ м/сек}$). 1-ВК6 2-ВН6 3-ВК6+TiN

Из применяемых современных твердых сплавов связующих материалов доминирующее положение занимает кобальт. Известны многочисленные попытки его замены на более дешевый и доступный никель или его сплавы (Ni-Mo; Ni-Cr; Fe-Ni-Cr; Ni-Mo-W и др.), однако заметного улучшения энциклопедических свойств сплавов с ними в связи с применением древесных материалов не наблюдается [2, 3, 4]. В качестве примера нарис. 1 представлен график зависимости ширины фаски износа задней поверхности h_3 от времени резания ДСП твердосплавными дисковыми пилами. Нарис. 2 представлен график зависимости стойкости $T_{от}$ от скорости резания V при торцевом фрезеровании пласти (калибровании) ДСП. В представленных зависимостях использованы твердые сплавы с никелевой (ВН6) и теплоустойчивой никель-молибден-вольфрамовой связкой (Н25Т), а также сравнимый с ними сплав кобальтовой связкой ВК6.

Как видно из графика нарис. 1 замена кобальтовой связки на никелевую несколько снижает интенсивность изнашивания зубьев круглых пи. Преимущество никелевой связки — ее экономичность в том, что стоимость порошкового никеля на международном рынке в среднем в 4 ÷ 5 раз ниже стоимости кобальта.

Из графика нарис. 2 следует, что при торцевом фрезеровании ДСП по пластмале вольфрамовый сплав Ni-Mo-W-ой связки Н25Т обеспечивает повышения стойкости и связанной с ней производительностью обработки.

Однако, здесь следует отметить, что в данном случае невысокая стойкость сплава Н25Т определяется, по-видимому, не связкой, а его карбидной фазой. Этот сплав содержит в большом количестве карбид титана TiC^* , что снижает его теплопроводность, особенно

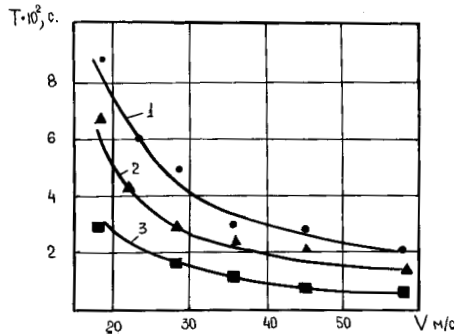


Рис. 2. Влияние скорости резания на стойкость зубьев фрезы при торцевом фрезеровании ДСП твердыми сплавами ($t=1 \cdot 10^{-3}$ м; $U_z=0,25 \cdot 10^{-3}$ м/зуб; $h_3=0,5 \cdot 10^{-3}$ м); 1-ВК6; 2-Т15К6З-Н25Т.

важную роль в случае обработки древесины и древесных материалов.

Создание на рабочих поверхностях инструмента слоев с улучшенными эксплуатационными свойствами позволяет снизить требования к материалу основы (подложки) и, тем самым, сократить расход дефицитных инструментальных материалов [5, 6, 7, 8, 9].

В производстве дереворежущего станочного инструмента наиболее часто применяются покрытия из алмазменной фазы ионной бомбардировкой (метод КИБ) [7, 8]. Эти покрытия весьма эффективны при непрерывном резании древесины и древесных материалов (сосна, бук, ДСП и др.) и в меньшей степени при прерывистом резании (пиление, фрезерование).

Технология КИБ реализуется в широком температурном диапазоне (\Rightarrow), что позволяет наносить покрытие на инструмент практически из любых инструментальных материалов (твердые сплавы, быстрорежущие стали и др.), а также инструмент жесткой конструкции, где проявление остаточных деформаций особенно велико (круглые пилы).

На рис. 3 представлена диаграмма показывающая стойкость пластин ВК6 с износостойким покрытием (ВК6+TiN), нанесенного методом КИБ на установку типа "Булат". Для сравнения диаграмму нанесена стойкость пластин ВК6 в состоянии поставки.

Как видно из диаграммы при торцевом фрезеровании (калибровании) ДСП стойкость сплава с покрытием (поз. 2) в среднем на 40% выше стойкости того же сплава в состоянии поставки (поз. 1).

Эффект покрытия увеличивается в случае предварительной карбонитрации рабочих поверхностей инструмента перед

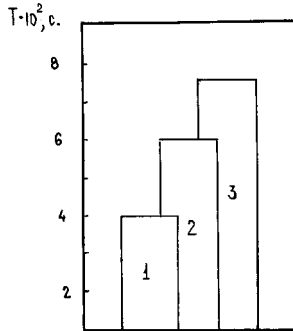


Рис. 3. Сравнение эффективности покрытий (условия резания те же, что на рис. 2: 1- VK6-2-VK6+TiN; 3- VK6+C+N+TiN)

нанесением на них износостойкого покрытия TiN. По-видимому карбонитрированный слой на рабочих поверхностях инструмента повышает прочность сцепления покрытия с подложкой, а также уменьшает отрицательное влияние примесей (в основном кислорода) в технически чистом азоте, применяемом в качестве реакционного газа при нанесении вакуумного покрытия. (Рис. 3 поз. 3).

Производственные испытания, проведенные на ряде предприятий деревообрабатывающей промышленности стран СНГ показали, что при прочих равных условиях ширина фаски износа задней поверхности зубьев круглых пил с покрытием TiN в среднем в 2 раза ниже, чем у зубьев пил без покрытия. Например, при резке ДСП твердосплавными дисковыми пилами с покрытием TiN ($D=350 \cdot 10^{-3}$ м; $B=3,5 \cdot 10$ м; $z=56$; $V=55$ м.с) коэффициент вариации ширины фаски износа h_3 составил $V_h \sim 0,12 \dots 0,15$, а у пил без покрытия $V_h \sim 0,2 \dots 0,25$.

Твердосплавные круглые пилы и торцовые фрезы с покрытием TiN целесообразно использовать на автоматизированном станочном оборудовании, причем за счет более высокой стойкости инструмента возможна на 15...20% повысить скорость резания.

*Содержание карбидов титана в сплаве H25 Ti примерное в 4 раза больше, чем в сплаве T15K6

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров В. Ф., Грановский Г. Н., Зорев Н. Н. и др. Развитие науки о резании металлов. - М.: Машиностроение, 1967. - 416 с.
2. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1982. - 320 с.
3. Кудря Н. Л., Эйхманс Э. Ф. Современное направление совершенствования твердых сплавов для режущего инструмента. - Станки и инструмент, № 6, 1986. 22-23 с.
4. Гелашвили И. Н. Эффективность процесса калибровки ДСП торцовым фрезерованием. - Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. Тбилиси, ГТУ, 1999 г.
5. Металлообрабатывающей твердосплавный инструмент: Справочник (Самойлов В. С., Эйхманс Э. Ф., Фальковский В. А. и др.) - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
6. Морозов В. Г. Дереворежущий инструмент. Справочник. - М.: Лесная промышленность, 1988. - 344 с.
7. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. - М.: Машиностроение, 1993. - 336 с.
8. Коняшин В. И. Фрезерование ДСП из древесины применением ножей с поверхностным покрытием из нитрида титана. - Автореферат канд. дис. М.: 1999 г.
9. Bonjour C. Nouveaux developpements dans les outiles de coupl en carbure fritte. - Wear, 1980, 62, N1-p.83 - 122.

UDC 621.9

არალიტონური მასალების ლაზერული ჭრის საკითხისათვის

ტელ კროფ. ე. სემილბოგვა
ტელ კროფ. ბ. ბოქოლიშვილი
საპარტოვალს ტექნიკური უნივერსიტეტი
მექანიკა-მანქანათმშენებლობის
ფაკულტეტი

К ВОПРОСУ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ НЕМЕТАЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В таких отраслях промышленности Грузии как деревообрабатывающая, пищевая, лёгкая и т. д. для выпуска продукции в качестве основных и вспомогательных материалов используются пластмассы, стеклопластики, композиционные материалы на основе бора и углерода, керамика, резина, асбест, текстиль и др.

Для раскроя данной группы материалов и изготовления из них деталей, изделий в настоящее время, в основном используются технологически процесс обработки резанием. Однако, в силу особенностей строения этих материалов, их химического состава, свойств, а также форм и размеров заготовок применение механической обработки резанием на станках не всегда рентабельно и связано с образованием большого количества отходов.

Лазер - это универсальный режущий инструмент, особенности и возможности взаимодействия, которого с различными материалами ещё полностью не вскрыты. Работоспособность этого инструмента не зависит от свойств обрабатываемого материала, а ширина реза может меняться в пределах $\approx 0.01 \div 1$ мм.

Принцип лазерной резки (рис. 1) заключается в том, что поток излучения выходящий из резака концентрируется в пятно малого диаметра (d) на поверхности резаемого материала. Причём, часть его энергии поглощается, а другая часть отражается.

Практически все органические материалы имеют высокий коэффициент поглощения излучения CO_2 - лазера ($\lambda = 10,6$ мкм). но многие из них прозрачны для излучения лазера на

луч

газ

d

Рис1. СхемарезакадляГЛР

рубине ($\lambda = 0,693 \text{ мкм}$) и ИАГс неодимом ($\lambda = 1,06 \text{ мкм}$)

Излучение поглощено поверхностью, обычно, проникает на глубину $h \approx 5-50 \text{ нм}$ и в зависимости от условий его воздействия может вызвать нагрев материала до температуры $T_{\text{пл}} < T_{\text{нагр}} < T_{\text{воз}}$. Передача тепла из этой зоны вглубь материала происходит за счёт теплопроводности, температуропроводности.

Температуропроводность неметаллических материалов ($a < 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$) ниже чем у металлических материалов, поэтому удельное энергозложение для их разрушения ниже, чем у металлов. И поэтому процесс их резки может быть осуществлён лазером с низкой выходной мощностью.

В основе физических механизмов лазерной резки материалов, могут лежать следующие процессы: испарение материала, плавление с удалением расплава из зоны реза, химические реакции (горение, разложение с выделением летучих соединений и др.).

Для интенсификаций процесса резания и удаления из рабочей зоны продуктов разрушения используется дополнительно поддув определённого газа и резка, в таком случае, носит название газовой лазерной ГЛР.

Хрупкие материалы (стекло, керамика и т.д.) можно разделить

методом термического раскалывания [1], который не является методом резки в буквальном смысле слова, но используется для этой же цели.

В зависимости от поведения в процессе резки с помощью CO_2 -лазера все неметаллические материалы автор работы [2] подразделяет на две группы:

1. Материалы, которые под действием излучения разлагаются или распадаются;

2. Материалы, которые при нагреве излучением плавятся или испаряются.

К первой группе относятся органические материалы, пластмассы, древесина, ткани, бумага и другие. К материалам второй группы относятся многие горные породы и керамика.

Авторы работы [3] установили, что для протекания процесса лазерной резки облучаемый материал должен получить необходимую удельную энергию S_0 (Дж/ч), величина которой естественно меняется от вида обрабатываемого материала (таб.1).

1. Удельная энергия резания S_0 (дж/ч).

Материал	S_0	Материал	Таб. №1
Текстолит	50,0	Фанера клееная	5,4
Стеклотекстолит	47,0	Картон	5,4
Облицовочный пластик	2,0	Резина	2,5
Древесина		Маслобензостойкая	
а) Сосна	0,9	Вакуумная	2,1
б) Дуб	5,4	Асбоцемент	28,0
		Асбест листовой	20

Производительность лазерной резки взаимосвязана со скоростью удаления продуктов разрушения или разложения из зоны воздействия излучения, мощности луча, свойств обрабатываемого материала, его толщины и т.д.

В таб. 2 представлены режимы резания некоторых диэлектрических материалов с разными теплофизическими свойствами с помощью CO_2 лазера.

Скорость резки существенно меняется для одного и того же материала с увеличением мощности излучения и дополнительным поддувом газа в зону воздействия излучения (таб.3).

2.Некоторыепоказателилазернойрезки(4,5)

Таб.№2

3.Скоростирезкиразличныхматериалов [6]

Таб.№3

Материал материал	МОЩНОСТЬ ПОДДУВА		СКОРОСТЬ РЕЗА		ТОЛЩИНА ШЛАКА	
	кВт	мм	мм/мин	мм/мин	мм	мм
Асбоцемент	19,0	1,5	0,1	3,0	0,25	200
Бумажесина	2,0	25,4	4,0	1,5	-	8000-
Картон	-	-	-	-	-	-
Оргстекло	-	-	-	-	-	-
Фанера	-	-	-	-	-	-
Керамика	-	-	-	-	-	-
Цемент	-	-	-	-	-	-
Стекло	-	-	-	-	-	-
Кварц	-	-	-	-	-	-
Резина	-	-	-	-	-	-

Поддув газовой струей в зону лазерного воздействия, содной стороны, повышает скорость резания за счёт удаления продуктов разложения и разрушения рабочей зоны. С другой стороны, поддуваемый газ охлаждает верхнюю поверхность разрезаемого материала, атакжекромкиреза, что предотвращает термическое повреждение прилегающего слоя обрабатываемого материала. Кроме того, газ улучшает теплопередачу за счёт переноса горячего пара и продуктов реакции из верхней части в более холодные слои зоны резания и удаляет продукты разрушения материала из рабочей зоны, предотвращая его возгорание и уменьшая обугливание краёв реза. Для таких материалов, как керамика и горные породы, роль газа состоит в удалении расплавленных материалов из зоны резания, так как без газовой струи в этих материалах образуется зона расплава, а не разрез.

Выбор газа для поддува в зону реза в основном определяется экономическими соображениями независимо от вида обрабатываемого материала. Поддув газа улучшает

качество реза, поэтому при резке диэлектрических материалов вместо кислорода рекомендуется использовать воздух или нейтральные газы.

Так, для раскроя материалов излучением CO_2 -лазера, которые обгорают или обугливаются при резке (бумага, текстильные, нетканые материалы, ковровые изделия, дерево, кожа и т. д.) для охлаждения в зоне резания подаётся инертный газ и жидкость одновременно. Струя газа выдувает расплавленный или горящий материал и, таким образом, ликвидирует дым и запах, сопутствующие процессу резания. Одновременное резание подаётся вода, количество которой должно быть достаточно для предупреждения обугливания и возгорания обрабатываемого материала.

Кислород при резании кожи, пластмасс, текстильных материалов вызывает резкое ухудшение качества реза (обугливание кромок, обгорание материала и т. д.).

Скорость ГЛР при постоянной мощности излучения обуславливается в основном видом обрабатываемого материала (таб. 4).

4. Некоторые показатели ГЛР [7]

Таб. № 4

Использовался поддуваргона

Для ГЛР используются многомодовые лазеры различных мощностей (200-3000 Вт).

Их излучение фокусируется в пятно диаметром не менее $d = 0,1 \div 0,2$ мм. При этом можно получать разрезы шириной порядка $0,5 \div 0,6$ мм.

Уменьшение ширины реза можно обеспечить за счёт использования одномодовых CO_2 -лазеров, т. к. их излучение можно фокусировать более остро.

В зависимости от конкретной выполняемой задачи необходимо выбрать определённый вариант ориентации луча и

обрабатываемой детали относительно друг друга. Различают три основных схемы расположения луча и детали:

1. Излучение перемещается относительно обрабатываемого материала;
2. Разрезаемый материал перемещается относительно излучения;
3. Лазерная головка перемещается относительно обрабатываемого материала.

ГЛР неметаллических материалов имеет следующие преимущества перед механической обработкой.

1. Возможность резки материалов различных групп независимо от их физико-механических свойств;
2. Возможность получения тонких разрезов ($h \leq 1 \text{ мм}$), практически недостижимых другими методами обработки;
3. Минимальное механическое воздействие оказываемое на разрезаемый материал;
4. Возможность резки по сложному профилю в двух и даже в трёх измерениях.

Промышленностью выпускаются лазерные установки, системы различных назначений, разработка и внедрение технологического процесса раскроя любого материала представляют большой практический интерес как с точки зрения повышения производительности и доведения до минимальных отходов на механическую обработку, так и изменения культуры производства, его переоснащения современным оборудованием.

Литература

1. Fishlock O. New Scientist, 1963, v. 18. w 342, p. p. 554 - 556.
2. Adams M. S. metal Constr. and Brit. Wild, Journal, 1970, january, pp. 1-8
3. Бабенко В. П., Тычинский В. П. Газолазерная резка материалов ЛДНТУ, 1973, 34с.
4. Лазерное технологическое оборудование, обзор - "Радиоэлектроника зарубежом", 1976, вып. 13, 466. с.
5. Spelding I. J. Laser theis applications and opecational requirements-"Optics and Laser Technology", 1974, december, p. 263 - 272.
6. Михайлов-Тепляков В.А. Богданов М.П. Автоматизированная лазерная резка материалов. Л"Машиностроение", (Ленингр, отделение). 1976, 208с.
7. Вейко В.П. Либенсон М.Н. Лазерная обработка, Лениздат, 1973, 191с, ил..

კომპიუტერული მოდელირება

UDC 62-50

**მსუბუქი მრავალღობის პროდუქციის პროგნოზირება
კლასტერული ანალიზის საშუალებით**

ტმდ პროფ. ო.პერულავა

ასპ. მ.ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების

ფაკულტეტი

განსახილველია მსუბუქი მრეწველობის პროდუქციის მოდელის პროგნოზირების შესაძლებლობები კლასტერული ანალიზის მეთოდების გამოყენებით. ნაშრომის მიზანია გაუმჯობესდეს ანუ უფრო ზუსტი გახდეს მსუბუქი მრეწველობის საწარმოების დაგეგმვა მოძველი პროდუქციის სახისა და ფორმების განსაზღვრის თვალსაზრისით. შეიძლება ითქვას, რომ მოცემულ შემთხვევაში განხილვა მოდის პროგნოზირების პრობლემა.

ცნობილია, რომ მსუბუქი მრეწველობის პროდუქცია მნიშვნელოვან ცვლილებებს განიცდის დროის პერიოდულ და არაპერიოდულ ინტერვალებში. დროის პერიოდულ ინტერვალებში ცვლილებები სეზონური ხასიათისა და მათი პროგნოზირება არაფითარ პრობლემას არ წარმოადგენს, რაც შეეხება არაპერიოდულ ცვლილებებს, რაც გამოწვეულია ე.წ. მოდის ტრანსფორმაციებით, მათი პროგნოზირება უადრესად გართულებულია ამ პროცესის სპეციფიური თვისებების გამო, რომლებიც ქვემოთ იქნება განხილული. უპირველეს ყოვლისა უნდა აღინიშნოს, რომ მოდა ადამიანის ინტელექტუალური და შემოქმედებითი პროცესის შედეგია და აქედან გამომდინარე როგორც სამოდელო ობიექტი მათემატიკური თვალსაზრისით, წარმოადგენს რთულ სისტემას. მოდის ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისებაა მისი სტოქასტიკურობა, რაც გამოწვეულია იმ ცნობილი და კიდევ უფრო მეტი უცნობი ფაქტორების სიმრავლით, რომელიც გავლენიან ცვლილებებს მოდის ტრანსფორმაციის პროცესში. როგორც ცნობილია სტოქასტიკური პროცესი შეიძლება დაგანასათოდ სამი ძირითადი ნიშნით: სტაციონარურობა, ორდინალურობა და შემდგომ უმოქმედობა. ამ მახასიათებლებიდან შეგვიძლია გარკვევით ვიმსჯელოდ მხოლოდ პირველი თვისების შესახებ, კერძოდ ქვამართია ის ფაქტი, რომ მოდის ფორმირების პროცესი არასტაციონარულია. ეს ნიშნავს რომ ამ პროცესის მოდელირებისას ვერ გამოვიყენებთ აღბათობის თეორიაში ცნობილ სტანდარტულ მახასიათებლებს მათემატიკური მოლოდინი,

განაწილების სიმკვრივე, განშლადობა და ა.შ. იმის გამო, რომ მოდის ფორმირების პროცესი საკმაოდ არადინამიურია, როგორც წესი ეს ხდება არანაკლებ ერთი წლის განმავლობაში, პირობითად შეგვიქვლია მივიჩნიოთ, რომ ორდინალურობის პირობა სრულდება, რაც ნიშნავს რომ დროის საკმაოდ მცირე მონაკვეთში ხდება მხოლოდ ერთი ხდომილება. შემდგომში შექმნება გულისხმობს მესხიერების არარსებობას, ანუ წარსულში არსებული მოდის არგაგლეხას იმ მოდაზე რომელიც არსებებს მოდაში. ექსპერტების შეფასებით წარსული მოდა უკიდობლად ახდენს გავლენას მომავალ მოდაში. მაგრამ არაა ცნობილი ამ გავლენის არსი და სახე, აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემდგომში შექმნების პირობა მოცემული პროცესისათვის არ სრულდება ე.ი. ამ პროცესის აღწერა შეუძლებელი ხდება პუნსონისებური, ერლანგის, ბალმას ან სხვა რომელიმე ცნობილი შემთხვევითი ნაკადების საშუალებით. ასეთ შემთხვევებში, როგორც წესი, მიმართავენ იმპულსური მოდელების მეთოდს, რაც მოდის ფორმირების პროცესისათვის მოუძებელია იმის გამო, რომ უცნობია თუ სად, ვისგან ან რისგან და როდის უნდა ჩავატაროთ სტატისტიკური მონაცემების აღების პროცესი. ყოველივე შემთითქმული უფლებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ მოდის პროგნოზირების პროცესის ასაგებად, აუცილებელია თვით მოდის ფორმირების პროცესის მოდელის შექმნა ანუ აღწერა და ამისათვის სტოქასტიკური თეორიისა და იმპულსური მოდელების მეთოდოლოგიის გამოყენება პრაქტიკულად შეუძლებელია.

დავუშვათ, რომ მოცემულია მსუბუქი მრეწველობის პროდუქციის კონკრეტული ნაწარმი, რომელსაც შემდგომში მოვისწინებთ სამოდელო ობიექტად, როგორც ყველა ობიექტს, მასაც გააჩნია გარკვეული ნიშან-თვისებები, ამასთან ამ თვისებების ნაწილი, შეიძლება გამოვსახოთ რაოდენობრივად, მეორე ნაწილი კი აუცილებლად იქნება თვისობრივი. მაგალითად, ნაწარმის გეომეტრიული ზომები რაოდენობრივ თვისებებს განეკუთვნება, ხოლო ფერი და მათი შენამება, მონერსებულობა, ფორმების მრავალსახეობა და ა.შ.-თვისობრივს. თუ მონერსდა თვისობრივი ნიშნების წარმოდგენა რაოდენობრივად, მაშინ შესაძლებელი ხდება თითოეული ობიექტის აღწერა ვექტორის სახით, რომლის განზომილება ტოლია ნიშნითა რაოდენობის. თუ დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში თითოეულ დერძზე გადავწიოთ სამოდელო ობიექტის შესაბამისი ნიშნების მნიშვნელობებს, მივიღებთ ნიშნითა სივრცეს, სადაც ყოველი კონკრეტული სამოდელო ობიექტი გამოისახული იქნება ერთი წერტილით. კონკრეტულ სამოდელო ობიექტს ვუწოდით რეალიზაცია, ხოლო იმ რეალიზაციათა ერთობლიობას რომელიც შეადგენს ერთ მოდელს-სახე, ამრიგად გვექნება იდენი სახე რამდენი მოდელოც გვექნება დროის განხილულ ინტერვალში, ხოლო რეალიზაციათა რაოდენობა დამოკიდებული იქნება მოცემული სახისათვის დასაშვები გრადაციების რაოდენობაზე. აქ უნდა აღინიშნოთ, რომ განსახილველ ამოცანაში სახე როგორც ერთიანობისა და მთლიანობის მქონე ობიექტი ნათლად და

ცალსახად არაა გამოკვეთილი, რაც ქმნის მნიშვნელოვან სირთულეებს პროგნოზირების ამოცანის პროცესის ფორმირებაში. აქედან გამომდინარე უპირველესი ამოცანა, რომელიც დგება მოცემული პრობლემის გადაწყვეტაში, მდგომარეობს იმაში, რომდენად შეესაბამება ინტუიციურად გაგებული მოდის ცნება რაიმე ფორმალურ აღწერას. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად გამოვიყენოთ კლასტერული ანალიზის მეთოდი კერძოდ, თუ ნიშანთა სივრცეში რეალიზაციები, ანუ მათი შესაბამისი წერტილები ქმნიან განმხოლოებულ სტრუქტურებს, რომლებსაც ნაშრომ (1)ში, კლასტერები ეწოდებათ და ამასთან, თითოეულ კლასტერში გაერთიანებულია მხოლოდ ერთი სახის რეალიზაციები, რაც ნიშნავს რომ კლასტერები კომპაქტურია (1), მაშინ შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ მოდის როგორც სახის ადექვატური მოდელი რეალურად არსებობს ფორმალურად მისი შესაბამისი კლასტერის სახით. ყოველივე ზემოთქმული ნიშნავს, რომ ნიშანთა არჩეულ სივრცეში მოდის ცალკეული გრადაციები გვაძლევს ერთ კლასტერს ანუ არსებული და ჩვენს მიერ მხოველები მონაცემები სტრუქტურირებადია.

თუ კლასტერისა და პროცესისათვის გამოვიყენებთ რანგული კავშირების მეთოდს (1, 2, მაშინ საშუალება გვქონება თითოეული კლასტერის წარმოგადგინოთ მათი ამსახველი პარამეტრების სახით, რომელითაგან ჩვენთვის მნიშვნელოვანია შემდეგი პარამეტრები (1):

- 1 კლასტერის აგების რანგი.
- 2 რანგების გამოტოვებათა რაოდენობა.

პირველი პარამეტრი ასახავს წერტილთა განლაგების თანაფარდობას კლასტერში, რაც მოცემული ამოცანისათვის ნიშნავს მოდელის დასაწევებ გრადაციათა თანაფარდობის ხარისხს. კერძოდ რაც მეტია კლასტერის აგების რანგი, მით მეტია არათანაბრობის ხარისხი და პირიქით.

მეორე პარამეტრი ასახავს კლასტერების ურთიერთ დაშორებას ანუ მათი განმხოლოების ხარისხს, რაც შეგვიძლია გამოვიყენოთ როგორც ზომა სხვადასხვა მოდის განსხვავებულობის ხარისხის დასახასიათებლად. აქ გვაქვს რომ რანგების გამოტოვებათა მეტ მნიშვნელობას შეესაბამება განსხვავებულობის მეტი ხარისხი და პირიქით. იმ შემთხვევაში თუ კლასტერი არაკომპაქტურია, რაც ნიშნავს რომ სხვადასხვა მოდის გრადაციები ერთმანეთს კვეთავენ, ან რაც იგივეა, რომ ერთ მოდის შეცვლა მეორეთი ხდება თანდათანობით, არანანტიმისებურად, მაშინ აუცილებელი ხდება თანაკვეთის არის რაოდენობრივი განსაზღვრა, რაც ასევე შესაძლებელია რანგული კავშირების თეორიის გამოყენებით. კერძოდ თუ გავარკვევთ რომელი რეალიზაციებია მთავარსებული თანაკვეთის არეში, შეგვიძლია ვიმსჯელოთ გარდამავალი მოდის თვისებებზე და ხანგრძლივობაზე.

რანგული კავშირების თეორიის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება ნიშნების რანჟირება მათი მნიშვნელობების მიხედვით, რაც ნიშნავს რომ რაოდენობრივად შევასწავლოთ თუ რომელი ნიშნებია მთავარი ანუ განმსაზღვრელი მოცემული

ცხრილი 1.

			1934-35	1935-36	1998	1999
ქუსლი	სიმაღლე	მაღალი	1	1	1	1
		დაბალი	0	0	0	0
		საშუალო	0	1	1	1
	სიგანე	წვრილი	1	0	0	0
		მსხვილი	0	0	0	0
		საშუალო	0	1	1	1
ცხვირი	წვრილი	მრგვალი	1	0	0	0
		ოთხკუთხედი	0	0	0	0
	საშუალო	მრგვალი	0	1	1	1
		ოთხკუთხედი	0	0	0	0
	მსხვილი	მრგვალი	0	0	0	0
		ოთხკუთხედი	0	0	0	0
ფერი	მუქი	შავი ყავისფ...	1	1	0	1
	ღია	თეთრ. ვარდ...	0	1	1	1
	პრიალა	ოქრ. ვერცხ...	0	1	1	1
	კომბინ.	შავი-თეთრი	1	0	0	1
ლანჩის ფორმა	ჩეუვლებრივი		1	1	1	1
	პლათფორმა		0	0	0	0
ბუკუტერია	ტანგენტა		0	0	0	0
	ტკავი		0	1	1	1
	ნაჭერი		0	1	1	1
		მეტალური	0	0	0	0
გადასაბნევი თასმა			1	1	1	1

მოდის სახისათვის, რომელი ნაკლებში შენელოფანია და რომელი უმნიშვნელო? პროგნოზირების პროცესის ასაგებად საჭიროა ერთ კლასტერში გაერთიანებულ რეალიზაციებისათვის განვსაზღვროთ დროის ის მომენტები (წლები) როდესაც მოცემული მოდა იყო აქტიური, ანუ როგორც ვამბობთ „მოდაში იყო“. ამ მომენტებს შორის დროის ინტერვალების გამოთვლით ვიღებთ მოდის ცვლილებათა დინამიკას, ანუ მივაგენით რაიმე კანონზომიერებას დროის ინტერვალების განაწილებაში, მაშინ შესაძლებელი გახდება პროგნოზირებაც.

პროგნოზირების მოცემული მეთოდის ექსპერიმენტალური კვლევისათვის მოცილებული და დამუშავებული იქნა 1934-1999 წლების ქალისა და მამაკაცის ფენსაკმლის მოდელები, თითოეული წლის მიხედვით ცალკეაღიკე.

ექსპერიმენტული კვლევის ბირველ ეტაპზე დადგენილ იქნა ის ნიშანთა სიმრავლე რომელიც ახასიათებს მოცემულ პრობლემასა და მიხდა ამ მონაცემების რანჟირება მათი მნიშვნელობების მიხედვით და თითოეული მათგანი წარმოდგენილ იქნა მეორადი ნიშნებით. რაოდენობრივი ნიშნების ნაწილი წარმოდგენს ვექტორს, მაგრამ მიუხედავად ამისა ამ ვექტორის თითოეული კომპონენტი განხილულ იქნა ერთ ცალკე აღებულ ნიშნად, რის შედეგადაც მივიღეთ რომ მეორად ნიშანთა რაოდენობა მეტია საწყის ნიშანთა რაოდენობაზე ასეთი დაყოფით მიღებული მატრიცა მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ნიშნების არსებობა ან არ არსებობა წარმოდგენილია ბინარულად, კერძოდ ნულით (0) ან ერთით (1), რომელიც განსაზღვრულ პერიოდში ქმნის 23 განზომილებიან ბინარულ ვექტორს. განსაზღვრული პერიოდი ყოველი წლის მიხედვით დაყოფილია 60 ერთეულად. ამრიგად ვიღებთ ბინარულ ვექტორს

ექსპერიმენტულმა კვლევამ განხილული მატრიცის გამოყენებით გვიჩვენა, რომ მოდის ცვალებადობა ყოველი წლის მიხედვით აკაყოფილებს გარკვეულ კანონზომიერებას. მაგალითად საწყისი პერიოდისათვის მოდის ხანგრძლივობა მერყეობს 17-22 წლის პერიოდში, ხოლო თანდათანობით ეს პერიოდი მცირდება 10-16 წლამდე. განმეორების პერიოდის შემცირება შეიძლება აიხსნას იმით, რომ სწრაფად ვითარდება ტექნიკა და ტექნოლოგია, რის გამოც ადვილი ხდება ერთი მოდელიდან მეორეზე გადასვლა, ანუ სწრაფად ხდება მოდის ცვალებადობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ კლასტერინაცის პროცესის ფორმალური ნაცისათვის აუცილებელი ვახდა მხედველობაში მიგვიღო ის ფაქტი, რომ ეკვილიბრი სიფრცვიდან გადავდით დისკრეტულ სიფრცვიში, რამაც მოითხოვა დაჯგუფების ალგორითმის მოდერნიზირება.

ამრიგად შემდგომი ეტაპის ამოცანას წარმოადგენს ზემოთ მოცემული ევრაისტიკული მოსაზრებების შემოწმება ან შესწორება კლასტერინაცის შემუშავებული ალგორითმის საშუალებით.

ექსპერიმენტის ბირველ ეტაპზე დადასტურდა ვარაუდი იმის შესახებ, რომ მოცემულ სიფრცვიში მოდელს, როგორც წერტილების ერთობლიობას, გააჩნია სტრუქტურული თვისებები. ერთი სტრუქტურიდან ანუ კლასტერიდან მეორეზე გადასვლა ხორციელდება ერთი ან რამდენიმე თვისების (ნიშნის) შეცვლით. ამასთან დაკავშირებით შესაძლებელია იმ ნიშანთა ქვესიმრავლის განსაზღვრა, რომელიც იწვევს ასეთ გადასვლას. თვით ამ ქვესიმრავლეში ნიშანთა რანჟირება შეძლები თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის მიზნია.

ლიტერატურა

1. O. Verulava. Clustering analysis by renk of links.
2. O. Verulava. R. Khurodze. G. Grigalashvili. The estimation and prognosis of the decision mering reliability by the renk of links method.

UDC 62-50

კლასტერის ზედაპირული წერტილების დადგენის მეთოდისა და ალგორითმის დაწესება

მ.ბ. მამალაშა, მ.ბ. ლ.ვერულაშა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების

ფაკულტეტი

მოცემულ ნაშრომში განიხილება კლასტერის ზედაპირზე მდებარე წერტილების დადგენის ამოცანა ნებისმიერ სასრულგანზომილებიან ევკლიდურ სივრცეში. აღსანიშნავია, რომ ორგანზომილებიანი და ნაწილობრივ სამგანზომილებიანი სივრცეებისათვის ასეთი ამოცანის გადაწყვეტის რამდენიმე მეთოდი არსებობს, მაგრამ მათი გამოყენება შეუძლებელია უფრო დიდი განზომილების მქონე სივრცეებისათვის. ცნობილია, რომ სახეთა ანალიზისა და ამოცნობის პრობლემებში უდიდესი უმრავლესობით გვხვდება სამზე მეტი განზომილების მქონე სივრცეები, რის გამოც მოცემული ამოცანის გადაჭრა განსაკუთრებით აქტუალურია ამ პრობლემათა გადაწყვეტისათვის.

როგორც ცნობილია, ნაშრომ [1]-იდან თითოეული კლასტერი წარმოადგენს განმხოლოებულ ობიექტს. აქედან შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ კლასტერების ზედაპირული წერტილებიც მოცემულ სივრცეში განმხოლოებულებია. აქედან გამომდინარე უფლება გვაქვს განვიხილოთ კლასტერის ზედაპირზე მდებარე წერტილების, როგორც ცალკე ობიექტის დადგენის ამოცანა ნებისმიერ სასრულგანზომილებიან სივრცეში.

განვიხილოთ წერტილთა ნებისმიერი $\{X\}$ სიმრავლე N განზომილებიან ევკლიდურ სივრცეში ამ წერტილთა სიმრავლეებს შესაძლებელია ჰქონდეთ რამდენიმე ზედაპირი, რომელთა რაოდენობაც ყოველთვის ნაკლები იქნება წერტილთა რაოდენობაზე მოცემულ სიმრავლეში.

აქსიომა 1. ნებისმიერ ევკლიდურ სივრცეში შესაბამის ჰიპერსივრცეზე განლაგებული წერტილები წარმოადგენენ ზედაპირულ წერტილებს. მაგალითად ასეთებია სიბრტყეზე მდებარე წრფის წერტილები ან სივრცეში მდებარე სიბრტყის წერტილები.

აქსიომა 1-დან გამომდინარეობს ლემა 1.

ლემა 1. N განზომილებიან ევკლიდურ სივრცეში

ნებისმიერი ცალკე ანუ განმხოლოებულად აღებული N წერტილი წარმოადგენს ზედაპირულ წერტილს.

აქსიომა 2. ნებისმიერი კლასტერი აუცილებლად შეიცავს ზედაპირულ წერტილებს.

განსაზღვრა 1. კლასტერის იმ წერტილებს, რომლებიც არ წარმოადგენენ ზედაპირულ წერტილებს შიგა წერტილები ეწოდებათ.

აქსიომა 3. ზედაპირული და შიგა წერტილების სიმრავლეთა თანაკვეთა არის ცარიელი სიმრავლე.

აღსანიშნავია, რომ კლასტერს შესაძლებელია არ ჰქონდეს შიგა წერტილები.

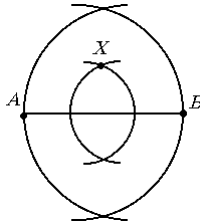
დასაჯგუფებელ წერტილთა სიმრავლე აღვნიშნოთ X -ით,

მათი რაოდენობა M -ით, კლასტერთა სიმრავლე -თი, თითოეულ კლასტერში წერტილთა რაოდენობა m -ით, სივრცის განზომილება N -ით, მივიღოთ, რომ გამოთვლილია $\{X\}$ სიმრავლის წერტილებისათვის რანგული კავშირების მატრიცა

$\|rang(i, j)\|$, სადაც i და $j \in X$ სიმრავლის X_i და X_j ელემენტების ინდექსებია, რაც ნიშნავს, რომ ცნობილია ევკლიდური მანძილები ყველა წერტილს შორის.

განსაზღვრა 2. ევკლიდური სივრცის რომელიმე $X \in \{X\}$

წერტილი მოთავსებულია ამავე სივრცის და წერტილებს შორის თუ ღია რანგული კავშირები ამ წერტილებს შორის წერტილის გარეშე ნაკლებია ვიდრე X წერტილის არსებობის შემთხვევაში.



სურ. 1

თუ მხედველობაში მივიღებთ სურ. 1-ზე მოცემულ წერტილთა განლაგებას, მაშინ განსაზღვრა 2-ის თანამად ვაქსენება:

$$rang(A; B) = 1 < rang(A; B / X) = 2$$

აქ $\text{rang}(A;B)$ არის ღია რანგული კავშირი A და B წერტილებს X წერტილის გარეშე, ხოლო $\text{rang}(A;B/X)$ წერტილთან ერთად.

განსაზღვრა 3. C კლასტერში შემაჯავლი ნებისმიერი X წერტილის გარემომცველი წერტილები ეწოდება იმ წერტილთან სიმრავლეს, რომლებიც დაკავშირებულნი არიან მოცემულ წერტილთან ისეთი ღია რანგული კავშირებით, რომელთა მნიშვნელობები არ აღემატება კლასტერის შექმნის რანგს.

აქვე აღვნიშნოთ რომ ნებისმიერ X წერტილს, რომელიც მოთავსებულია C კლასტერში, თუ იგი მოცემულ კლასტერში ერთადერთი არაა, აუცილებლად გააჩნია გარემომცველ წერტილთან სიმრავლე.

კლასტერის აგების რანგი აღვნიშნოთ agrang -ით. იმ წერტილების სიმრავლე, რომელიც მოცემული $X \in C$ წერტილისათვის წარმოადგენს გარემომცველ წერტილებს აღვნიშნოთ G_X -ით. დავუშვათ

რანგული კავშირებისათვის და X_{ck} წერტილებს შორის გვექნება:

$$\text{rang}\{X; X_{ck}\} = r_{ck}$$

აქედან გამომდინარე მოცემული წერტილის ღია რანგული კავშირების ჯამი ისეთ X_s გარემომცველ წერტილებთან რომლებისთვისაც იგი შიგა წერტილია განსაზღვრა 2-ის მიხედვით შესაძლებელია წარმოვადგინოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\text{mot}_{cx} = \sum_s r_{cs}$$

აღვნიშნოთ $\{X_g\}$ -თი იმ გარემომცველი წერტილების სიმრავლე, რომლებისთვისაც X წერტილი განსაზღვრა 2-ის ის მიხედვით გარეა. მაშინ გვექნება:

$$\text{amot}_{cx} = \sum_g r_{cg}$$

ექსპერიმენტალური კვლევების შედეგად, სადაც mot , amot და agrang პარამეტრების მნიშვნელობათა სხვადასხვა კომბინაციების გამოყენებით მიღებული იქნა კლასტერის ზედაპირული წერტილის სხვადასხვა განმარტებები, შეირჩა

ქვემოთ მოყვანილი განსაზღვრა:

განსაზღვრა 4. N განზომილებიან ევკლიდურ სივრცეში

ნებისმიერი X_j წერტილი მოთავსებულია გარემომცველ წერტილებს შორის, თუ ამ წერტილებში მოიძებნება k რაოდენობის ისეთი წერტილები, რომლებიც სხვა გარემომცველ წერტილებთან ქმნის არანაკლებ

$mot - amot < N + agrang$ წვეკვილს, რომელთა შორის

მოთავსებულია წერტილი.

განსაზღვრა 5. C კლასტერის X წერტილი წარმოადგენს ზედაპირულ წერტილს, თუ მის გარემომცველებში არ არსებობს ისეთი წერტილი, რომლისთვისაც სრულდება განსაზღვრა 4-ით მოცემული პირობა. ის წერტილები, რომლებიც აკმაყოფილებენ განსაზღვრა 4-ის პირობებს წარმოადგენენ შიგა წერტილებს.

მოცემული განსაზღვრებები საკმაოდ ზოგადია, რის გამოც მათ მიხედვით შესაძლებელია მრავალი მეთოდების და აღგორითმების ფორმირება, ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდი შესაბამისი აღგორითმით მოცემულია ქვემოთ.

ამრიგად ამოცანა დაიყვანება პარამეტრ k -ს არჩევაზე და იმ წესის ფორმირებაზე, რომლის მიხედვითაც დადგენილ იქნება ზედაპირულია თუ შიგა მოცემული წერტილი.

როგორც ავღნიშნეთ თითოეული კლასტერი წარმოადგენს განმხლოლებულ ობიექტს. ე.ი. განმხლოლებულია მათი ზედაპირული წერტილებიც, აქედან გამომდინარე შესაძლებელია თითოეული კლასტერის ზედაპირული წერტილების დადგენის პროცესი აღგორითმში განვიღოთ ცალკე ციკლად. ასეთი ციკლების რაოდენობა ნაშრომ [2]-ის მხედველობაში მიღებით კლასტერთა რაოდენობათა ჯამის ტოლი იქნება.

თითოეული კლასტერის ანალიზი იწყება შემდეგი პირობის შემოწმებით მეტია თუ არა მასში შემავალი წერტილები სივრცის განზომილებაზე:

$$card\{X\} > N$$

თუ ეს პირობა სრულდება, მაშინ ძებნის პროცესი გაგრძელდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში მივიღებთ რომ ყველა წერტილი ზედაპირული წერტილია და გადავდივართ მომდევნო კლასტერის განხილვაზე.

დავუშვათ, C_a კლასტერში გაერთიანებული წერტილების რაოდენობაა m_a თუ $m_a > N$ მაშინ გადავდივართ ალგორითმის მეორე ბიჯზე და ვპოულობთ გარემომცველ წერტილებს, რომელთა რანგი მოცემული წერტილიდან გარემომცველ წერტილამდე არ აღემატება კლასტერის აგების რანგს. თუ მათი რაოდენობა ნაკლებია – ზე, ვამბობთ, რომ განსახილველი წერტილი ზედაპირული წერტილია. თუ ეს არ ხდება, მაშინ ვითვლით გარემომცველებიდან რომელ წერტილებს შორის არის მოთავსებული მოცემული წერტილი და რომელ წერტილებს შორის არ არის მოთავსებული. ამის შემდეგ განვიხილავთ უტოლობას:

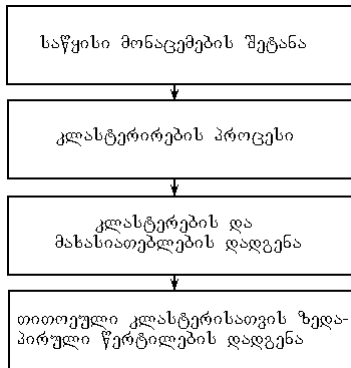
$$mot_{ax} - amot_{ax} < N + agrang_a$$

თუ ეს პირობა სრულდება მაშინ განსახილველი წერტილი ზედაპირული წერტილია, თუ არადა მაშინ შიგაა.

ალგორითმში შემდეგი ეტაპი შეიძლება იყოს მომდევნო კლასტერის განხილვა, თუ ასეთი არსებობს, რომელიც დაიწყება ზემოთ აღწერილი პროცედურის პირველი ბიჯიდან. დასასრული კი გვექნება მაშინ, როცა განვიხილავთ

წერტილთა $\{X\}$ სიმრავლის ყველა კლასტერს.

ალგორითმის პრინციპიალური ბლოკ-სქემა მოცემულია სურ. 2-ზე



სურ. 2

პროგრამული მოდული შესრულებულია საპროგრამო ენა
C++ Borland-ზე ver. 5.02

ლიტერატურა

1. O. Verulava "Clustering analysis by "Rank of Links". საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომები, №3, თბილისი 1997.
2. ო. ვერულავა, გ. გრიგალაშვილი 'კლასტერის ზედაპირული წერტილების დადგენა რანგული კავშირების გამოყენებით'. სამეცნიერო შრომების კრებული №1 სტუ, ქსპუ, თბილისი 1997.

კოდირებადი ინფორმაციის შემჩემა სახეთა გამოცნობისათვის

ტმდ პროფ. კ.კამკამიძე,
ლ.ქალაბიშვილი, დოც. მ.ზაკუტაშვილი
საპარტიკლოს საინჟინრო აკადემია

კვადრისეების მეთოდით სახეთა გამოცნობის კოდირება [1] საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ ისეთი ალგორითმის პროგრამული მოდელეები, რომლებიც სახეთა გამოცნობის ხელოვნურ სტრუქტურებს დაახლოებს ბუნებრივ გამოსახულებებთან.

აღქმის სიდრმის არაცნობიერი ინფორმაციული მახასიათებლების ფიქსაციით [2] შერჩეულია ისეთი პარამეტრები, რომლის გამოყენებაც საშუალებას მოგვცემს ვაწარმოთ სახეთა გამოცნობის კომპიუტერული დამუშავება.

კომპიუტერული დამუშავების ეს მეთოდი შედგება ორი ეტაპისაგან. პირველ ეტაპს წარმოადგენს სწავლების პროცედურა, რომელსაც შეესაბამება სწავლებით სახეთა გამოცნობის ავტომატიზირებული სისტემის პირველი ქვესისტემა, რომელიც ცოდნის ბაზას ქმნის და ამავე დროს იგი მოიცავს მონაცემთა ბაზის საწყის პარამეტრებსაც. მეორე ეტაპს კი წარმოადგენს გამოცნობის პროცესი, რომელსაც შეესაბამება აღნიშნული სისტემის მეორე ქვესისტემა - გამოცნობის მოდელი.

ცოდნის ბაზის მოდელის მუშაობისათვის აუცილებელია გვქონდეს ობიექტების სიმრავლე $Q = \{Q_i\}$, $i = 1, \dots, N$, რომლის წარმოდგენაც შეიძლება ობიექტების კლასების სიმრავლედ. Q - ეს არის ისეთი გამოსახულებების სიმრავლე, რომელიც თითოეული i -ური გამოსახულებისთვის წინასწარ არის ცნობილი r კოდი, რომელიც მიეკუთვნება რომელიმე კლასს Q_i -დან. კლასთა სიმრავლე $G = \{Q_i\}$, $i = 1, \dots, N$, რომელიც თითოეულ კლასს წარმოადგენს სახეობების მიხედვით. ეს იქნება სიმრავლეთა გაერთიანება $G = UQ_v$, $v = 1, \dots, L$,

მეორე ქვესისტემის გამოსაცნობი მოდელისთვის შეიქმნება ცოდნის ბაზა Q_i ობიექტების სიმრავლით, G_i კლასებით და მონაცემთა ბაზა.

მონაცემთა ბაზისა და ცოდნის ბაზის წარმოდგენა რეზულტატების მატრიცების სახით არის საწყისი პარამეტრების ჯგუფი, რომელიც წარმოადგენს კოდირებული ინფორმაციის ამონაკრებს.

კოდების ფიქსირება ხდება თითოეული უჯრაზე კოორდინატებით (i, j) , რომელსაც შეესაბამება თავისი ინტენსივობა a_{ij} და ყოველ R რაიონს შეესაბამება მატრიცა კოდით

$$M^*(a_{ij}) \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$$

თითოეული ახალი იერარქიული გადასვლისათვის Q_{k0} მიიღებთ ახალ სახეს და ეს არის გასაღები კვადრისებრით გამოთვლისა [1].

ამრიგად, კოდთა სისტემა ეფუძნება თითოეულ უჯრაში ჩაწერილ ინტენსივობის და მისამართის ნამრავლს. ე. ი. r_k რაიონის კოდი არის ხელოვნურად შექმნილი ნიშანი, რომელიც ახასიათებს მოცემული რაიონს. ალგორითმი აიგება იმ მიზნით, რომ მივანიჭოთ ყოველ რაიონს თავისი კოდი, განსხვავებული სხვა რაიონის კოდისაგან, თუ რა თქმა უნდა მათი შესაბამისი ინტენსივობების მატრიცები განსხვავებულნი არიან

ამგვარად, შედგენილი კოდირებული ინფორმაციისათვის შევარჩიეთ შესაძლო ჰიპოთეზები:

– თუ გამოსაცნობი Q_x ობიექტის შესაბამის G_x გამოსახულებაში არსებობს ნიშან თვისებათა aij სიმრავლე, შეიძლება შეიქმნას ისეთი ველი, სადაც პარამეტრები განაწილებულია შესაძარებლად წველ-წველად:

$$\begin{aligned} q_1 &= P(a_{11}, a_{1n}) \\ q_2 &= P(a_{21}, a_{12}) \\ q_3 &= P(a_{11}, a_{21}) \end{aligned}$$

წარმოადგენენ Q_{kit}^* მატრიცას

$$Q_{ikt}^* = \Pi a_{ij} \Pi \quad j=1, \dots, N \quad i=1, \dots, N$$

ეს არის ინტენსივობის მატრიცა, რომელიც შეესაბამება კვადრატს Q_{k0}^{it} , კოდირებული ინფორმაციისათვის.

თუ q_1, q_2, q_3 არის ერთსახა კოდი, ანუ

$$a_{ij}^k = a_{ij+1}^k$$

მაშინ

$$C(Q_{k0}^{it}) = A_{i+1,j} * Q_{i+1,j}$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში არ გვქონია ერთსახა კოდი და

$$C(Q_{k0}^{it}) = A_{ij} d_{ij}^k + A_{i,j+1} d_{i,j+1}^k + A_{i+1,j} d_{i+1,j}^k + A_{i+1,j+1} d_{i+1,j+1}^k =$$

$$q_{ij}^k + q_{i,j+1}^k + q_{i+1,j}^k + q_{i+1,j+1}^k$$

სადაც $C(Q_{k0}^{it})$ აღნიშნავს კოდს Q_{k0}^{it} .

არ არის გამორიცხული, რომ ყოველთვის არ შესრულდება ზემოთ მოცემული შერჩევის ჰიპოთეზა, ე.ი. გადაწყვეტილება გამოსაცნობი Q_x ობიექტის შესახებ არ არსებობდეს ცოდნის ბაზაში მყოფ კოდთა სისტემაში, ამიტომ აუცილებელია ისეთი კრიტერიუმების შემუშავება, რომლებიც,

1. დამატებით გამოიყენებენ გამოსაცნობი ობიექტების გამოსახულებებში შემავალი ინფორმაციული ნიშან თვისებების ყველა კლასის მიმართ ინფორმაციულობის ინტენსივობის ai_j შესაძლო

გაფართოებას. თუ გვქონდა a_{ij} ფუნქციური დამოკიდებულება გამოსახულების ნიშან-თვისებებთან

$Z = f(a(i,j)) = f^1(a(i,j)), f^2(a(i,j)), \dots, f^k(a(i,j))$ სადა $f(a(i,j))$ – რიცხვია (კოდი), აქ ივულისხმება k პარამეტრების გაზრდა;

2. ვინაიდან, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მნიშვნელოვანია არა მარტო ის ფაქტი, რომ G_x გამოსახულებაში შემავალი ნიშან-თვისება q_{ij} შევადართო ან შევკრიბოთ, არამედ მიზანშეწონილი ზდება განვსაზღვროთ მათი სხვაობა G_x გამოსახულებაში შემავალი ინტენსივობებისა, რათა შესაძლებელი გახდეს გამოსაცნობ ნიშან-თვისებასთან ახლოს მდგომი პარამეტრის მოძებნა.

$$\Delta v = \sum_n G_x(q_{a(ij)}) - n(q_{a(ij)}^*)$$

$a \{1, 2, \dots, n\}$

G_x გამოსახულებათა სიახლოვის(კოდთა) მიხედვით დალაგება მოგვცემს შესაძლო გამოცნობით სპექტრს $v - 1, \dots, L$ ჩვენგან დაშვებული შესაძლებლობებით:

$$G_{x1}, G_{x2}, \dots, G_{xm} \quad m = 1, N$$

სურათის გამოცნობის ერთ-ერთი საბაზისო ფუნქციაა იმის მითითება, თუ რომელ კლასს ან გამოსახულებას ეკუთვნის მოცემული ინფორმაციული წარმოდგენა. მონაცემთა ბაზის სტრუქტურული ჩაწერა იძლევა ისეთი რუკის წარმოქმნის საშუალებას, რომელიც შეესაბამება სხვა რუკიდან გამოსახულებების(მატრიცის) სიმრავლის გამოყოფას. ალტერნატიულად, მომხმარებელს შეუძლია სპეციფიკაცია ჰყოს, რომელი კლასები და საგნებია გამოსარიცხი. კლასების სიის ფაზა ცვლის შეტანილ ინფორმაციულ ცოდნის ბაზას, რაც გამოიხატება კლასების სიაში ცვლილების შეტანაში.

სამუშაო ფაილებში მიდის მონაცემთა ბაზისა და ცოდნის ბაზის ზედდება, ხოლო შედარების გზით ჩაწერილი ჯაჭვური კოდი მატრიცების უკანასკნელი ელემენტის ნომრამდე გადაამოწმებს ინფორმაციას. კოდის უკანასკნელი მიმართულება წაიკითხება ჯაჭვში კოდის ადრინდელი ნომრის კოორდინატების განსაზღვრით.

გამოცნობის გასაღები ის არის, რომ თუ მოცემული გვაქვს ნებისმიერი ელემენტის ნომერი და გამოსახულებათა G_i - სია მისამართებით დალაგებული, მაშინ ამ ელემენტის ნომრის შემცველი გამოსახულების პოვნა დაიყვანება დალაგებული სიის პოვნაზე.

მაგალითები გვიჩვენებს, რომ თუ მატრიცები m_α^* და m_β^* შესაბამისი რაიონებისა r_α და r_β განსხვავდებიან თუნდაც ერთი ელემენტით, მაშინ კოდები $C(r_\alpha)$ და $C(r_\beta)$ იქნებიან განსხვავებულნი.

სახეთა გამოცნობის ავტომატიზირებული სისტემით შესაძლოა არა მარტო ობიექტების გამოცნობა, არამედ სხვადასხვა მოვლენების

პროგნოზირებაც, თუ იარსებებენ საწყისი მონაცემები, რომელიც აუცილებელია მონაცემთა ბაზისათვის.

მოცემულ ინფორმაციულ სისტემას შეუძლია მოთხოვნილებების მნიშვნელოვანი დიაპაზონის შესრულება. ეს სისტემა არ ზღუდავს რუკების რიცხვს, რომლებიც შეიძლება მოთავსდნენ მონაცემთა ბაზაში. რუკის ზომა შეზღუდულია (512 X 512 ტევადობით ერთი მომენტისათვის), რომელიც ერთჯერადი გამოცნობის ფუნქციაა. შესაძლოა დიდი რუკებისათვის გამოვიყენოთ დაყოფა შემადგენელ რუკებად.

აღნიშნული ალგორითმი, როგორც გამოცნობის სისტემა, მნიშვნელოვანია გამოყენების თვალსაზრისით, რადგან მასში შეიძლება შევიტანოთ გამოსაცნობად ყველა ის ინფორმაცია, რომელიც რიცხვით კოდებში შეიძლება წარმოვადგინოთ მატრიცის სახით.

ლიტერატურა

- 1. Кадагишвили Л. Г. Распознавание образов методом Квадридрева, GeorgianEngineeringNews, №3, V.I.PRESS coLTK, Tbilisi, 1997.**
2. ლივერი ქადაგიშვილი, აღქმის სიღრმე და მანქანური კოდირება, თბილისი, მეცნიერება, 1993, 170გვ.

UDC 621.039

ენერგოსისტემების ნორმალური რეჟიმების პარამეტრების განსაზღვრების მეთოდები

ტმდ პრფ. კ.კამგამიძე, ინჟ. ლ.ვინატკინა
საპარტვილოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების
ფაკულტეტი

Расчеты режимов энергосистем на персональных компьютерах

Одной из важнейших проблем ведения нормальных режимов работы энергетика является применение различных методов расчета и анализа установившихся и переходных процессов в энергосистеме и способов их прогнозирования.

Настоящая работа является частью комплекса исследований по надежности энергоснабжения и устойчивости энергосистемы.

Для решения этих задач требуется применение сложного комплекса взаимосвязанных алгоритмов и программ, позволяющих проводить всесторонние исследования устойчивости и надежности системы.

Как известно, основной целью внедрения диспетчерской автоматизированной системы управления является создание модели энергосистемы, позволяющей использовать вводимую информацию какой-либо задачей одной из основных подсистем управления для решения других задач любой из подсистем открывающей широкие возможности для анализа деятельности, прогнозирования хозяйственных и технических ситуаций и оптимизации планов решений. Необходимой предпосылкой создания модели является систематизация параметров оборудования и показателей планирования и учета. Поэтому построение модели системы моделирование показателей задач тесно связаны друг с другом и их совместное рассмотрение является обязательным условием систематического подхода к успешному функционированию автоматизированной системы диспетчерского управления.

Кибернетика, как наука об оптимальном управлении большими системами, применительно к энергетике изучает

закономерности управления ее функционированием [1]. В теории режимов автоматически управляемой энергосистемы основное внимание обращается на изучение таких методов использования информации, при которых обеспечивается самонастройка и самоуправление управляющих установок. Выработка же методологии, направленной на упорядочение получения и обработки информации об объектах, является общей задачей теории подобия и теории моделирования.

Проведение эксперимента не только облегчает подход к изучению той или иной проблемы, но часто еще и помогает найти наилучший подход к аналитическому решению, т.е. физическое экспериментирование, практическое воспроизведение исследуемых явлений на моделях представляет собой реальную основу управления. Таким образом, моделирование отображает или воспроизводит закономерности протекающих в энергетике процессов.

Моделирование тесно связано с информацией, характеризующей воздействия в системе, а также происходящие в результате этих воздействий изменения состояния энергосистемы [2].

Решать возникающие в энергосистемах задачи чисто аналитическим путем часто затруднительно и даже невозможно из-за большого количества переменных и сложности (нелинейных характеристики, дискретность и т.д.) некоторых зависимостей. Иногда математической формулировки задачи вообще нет, так как исследуемое явление настолько сложно, что для него пока нет достаточно полного описания протекания его процессов. Наконец, аналитическое решение нуждается в проверке экспериментом в натуре или на модели.

При получении на основе моделирования характеристик тех или иных явлений необходимо учитывать факторы, обуславливающие расхождение результатов, получаемых в модели и оригинале:

1. Погрешности определения отдельных параметров, входящих в критерии подобия;
2. Неточности исходного математического описания явления;
3. Погрешности в получении критериев подобия за счет заведомо упрощенного представления явления при его изучении;
4. Случайные отклонения параметров оригинала и модели

от принятых (расчетных);

5. Погрешности проведения опытов, отклонения фактических параметров режима от расчетных и т. д.;

6. Погрешности обработки результатов опытов.

Необходимо подчеркнуть, что все эти факторы действуют не только в модели, но и в оригинале, т. е. при проведении опытов непосредственно в натуре.

Исходные параметры энергосистем в ее режиме могут быть получены на основании расчета или опыта. Как в том, так и в другом случае имеются расхождения с действительностью. При этом, как правило, экспериментальные данные, полученные опытным путем в натуре, при достаточно тщательной их постановке оказываются более достоверными, чем расчетные. Моделирование энергосистемы, осуществляемое на основании задаваемых расчетных значений параметров характеристик ее элементов, также имеет достаточно большие погрешности.

Вычислительная техника, моделирующая энергетические процессы, применяется в двух основных направлениях:

1. Работа в темпе происходящих энергетических процессов, при этом данные для вычислений поступают в компьютер непосредственно от объекта управления (режим «кNLINE”).

2. Работа с большим количеством уравнений, отвечающих модели системы. Здесь при оценке получаемых результатов большой проблемой является адекватность программ и введенных в них данных реальной технической задаче. Здесь идет процесс апробации программ и проверка соответствия реальной активности программы в смысле получаемого технического, практического результата исходным предпосылкам, заложенным в эту программу. Компьютеры, получая данные для анализа, вычисляют какую-либо функцию, перерабатывают, хранят и выдают информацию, создавая формальную модель-алгоритм вычисляемой функции.

Преодоление возникающих трудностей основывается на методе кибернетического моделирования, который сводится в основном к непосредственному моделированию некоторых функций исследуемой системы функциями модели без раскрытия природы структуры явлений внутри как системы, так и ее модели.

Этот метод разбивает один из фундаментальных принципов

кибернетики, согласно которому изучение системы основывается на исследовании ее поведения, т.е. на наблюдении за состоянием выходов системы при воздействиях на входы, заданных экспериментатором.

Основными преимуществами математических моделей является универсальность используемых компьютеров с мощными средствами алгоритмизации и программирования, возможность исследования процессов любой физической природы, включая и такие, которые затруднительно воспроизвести физически; широкие возможности по разработке стратегий оптимальных решений (динамическое и стохастическое программирование, градиентные методы, методы статистических решений и др.).

В первую очередь это относится к задачам, решение которых в системе управления должно происходить в оперативном режиме, т.е. в темпе протекания процессов в энергетической системе и ее объектах. Сюда можно отнести задачи: управления стационарными режимами (регулирование частоты - активной мощности, напряжения - реактивной мощности, перетоков мощности по линиям связи, обеспечения статической устойчивости и др.); управления протеканием аварийного режима, локализацией его развития и устранением последствий аварий; практического осуществления коммутаций в схеме сети; вывода оборудования в ремонт; сбора, преобразования и передачи информации, текущего контроля и диагностики режимов в состоянии объектов энергосистемы.

Такие задачи можно классифицировать как задачи управления в реальном масштабе времени. Решение их происходит с учетом наблюдаемых переменных состояния управляемой системы, внешних возмущающих воздействий и управляющих сигналов, вырабатываемых системой управления в соответствии с принятой стратегией критериями эффективности.

Практически это означает, что система управления в данном режиме работы осуществляет наблюдение за действительными значениями контролируемых параметров состояния системы и по результатам их сравнения с требуемыми или задаваемыми программой значениями формирует по соответствующему алгоритму управляющие воздействия. Вместе с тем при осуществлении автоматизированного управления необходимо реализовать управление не только стационарными, но и переходными режимами.

Задачи, для которых создаются цифро-аналого-физические комплексы, разделяются на следующие группы:

- 1. Реализация и отработка алгоритмов информационной части системы управления.**
- 2. Задачи управления стационарными режимами, а именно: использование автоматических систем на базе компьютеров для регулирования частоты - активной мощности, экономичного распределения нагрузок, напряжения-реактивной мощности, реализации задач управления обменными потоками мощности, нормальными коммутациями и др.**
- 3. Задачи управления динамическими режимами, т.е. задачи координации действия защитной аппаратуры, оценки тяжести аварии, реализации способов локализации оптимального перераспределения нагрузок в послеаварийном режиме с учетом надежности, аварийного регулирования.**
- 4. Задача ренажера-диспетчера.**

Таким образом, подытоживая сказанное, можно сделать вывод, что к настоящему времени сложился взгляд на энергосистемы, как на большие системы кибернетического типа, функционирующие в пространстве и времени и характеризующиеся одновременностью выработки, распределения и потребления электроэнергии. Эффективное управление такими системами возможно только с использованием компьютерной техники, применение которой в условиях эксплуатации энергосистемы направлено в первую очередь на решение задач, связанных с обеспечением допустимости и экономичности режима работы.

Под допустимостью понимается работа энергосистемы с соблюдением всех заданных ограничений технического и экономического характера, с выдачей электроэнергии нужного качества и в необходимых для потребителя количествах.

Под экономичностью же понимается работа энергосистемы с наименьшими хозяйственными затратами при соблюдении заданных ограничений. В конечном итоге экономичность сводится к уменьшению суммарного расхода топлива по энергосистеме в целом.

Задачи поиска допустимых и экономичных режимов энергосистемы тесно связаны между собой и могут быть решены с помощью методов оптимизации.

Таким образом, использование вычислительной техники в энергетике в первую очередь направлено на определение оптимального режима энергосистемы, что имеет большое технико-экономическое значение. Наивыгоднейший режим – это режим экономического оптимума в широком смысле слова, при котором не только достигается минимум затрат на производство и распределение энергии [3], но также обеспечивается поддержание экономически оправданных уровней надежности (резерв, схема и т. д.) и качества энергии (отклонения частоты и напряжения от номинальных) всей энергосистемы в целом с учетом действия регулирующей устройств.

При оснащении энергосистемы компьютерной техникой с соответствующим быстродействию и объемом запоминающих устройств открываются возможности настройки систем регулирования по текущим значениям параметров режима и модели состояния энергосистемы [4].

Возникает необходимость в расширении и уточнении математического описания процессов, происходящих как в системе в целом, так и в отдельных ее элементах. В этих случаях широко применяется проведение экспериментальных исследований как в натуре, так и на моделях [5].

В расчетах реального времени используются устройства для сбора информации и для подачи диспетчерских команд на объекты управления, при помощи телеканалов связи. Существует тесная связь между задачей использования компьютеров для расчетов режимов энергосистемы и задачей комплексной автоматизации регулирования режима. Расчеты стационарных режимов успешно проводятся нами по программам Киевского института электродинамики. Результаты данных расчетов – потоки распределения, уровни напряжений, потери в высоковольтных сетях.

Задачи краткосрочного и долгосрочного планирования и управления режимом энергосистемы по напряжениям, реактивным мощностям и коэффициентам трансформации трансформаторов решаются с помощью компьютеров, с использованием соответствующих алгоритмов и программ ВЦ ГТУ ВНИИЭ, авторами которых являются В.А. Тимофеев и Н.Б. Владимирова [6]. Целью расчетов в данном программном комплексе является минимизация технических потерь мощности в энергосистеме.

В практике работы энергосистем часто возникают аварийные или запланированные ситуации, связанные с отключением части генераторов, нагрузки, межсистемных связей и т.д. Указанные ситуации могут привести к несуществованию нового стационарного режима энергосистемы. Поэтому возникает задача: какие управляющие воздействия надо произвести (минимальные изменения мощностей генераторов и нагрузок), чтобы обеспечить существование исследуемого режима расчета.

С физической точки зрения нарушение существования установившегося режима происходит из-за появления в энергосистеме “слабых звеньев”. Поэтому в первую очередь управляющие воздействия должны быть целенаправлены на ликвидацию “слабых звеньев”. Под “слабым звеном” в данном случае подразумеваются один или группа узлов, в которых заданный баланс мощности не может быть выполнен из-за ограниченной пропускной способности примыкающих к этим узлам линиям электропередач или сечений энергосистемы. Наличие “слабого звена” в итерационном процессе может проявиться следующим образом:

- а) снижением напряжения ниже допустимого предела при обработке заданной мощности нагрузки;**
- б) снижением напряжений по концам линий электропередач, не позволяющим передавать требуемую мощность;**
- в) резким возрастанием невязок между заданной и вычисляемой активной мощностью в генерирующих узлах при обработке активной мощности и напряжения или резким возрастанием модулей напряжений при обработке активной и реактивной мощности.**

Для оценки сходимости итерационного процесса, а также предельно допустимых решений в случаях несуществования заданных исходных или послеаварийных режимов используется функционал, основанный на отклонениях от заданных значений активных и реактивных мощностей, а также напряжений.

Используемый функционал позволяет эффективно проводить оценку сходимости итерационного процесса при расчетах установившихся режимов методом МКЭДС. Характерные изменения невязок мощностей наблюдаются в узлах вблизи минимального значения этого функционала при расхождении итерационного процесса. Первыми начинают

резко увеличиваться невязки в узлах, в которых их узловое якобиан изменяют знак. Это позволяет достаточно просто выявлять “слабые звенья” в энергосистеме.

С математической точки зрения появление “слабых звеньев” в итерационном процессе расчета УР при применении метода МКЭДС выражается в стремлении к нулю узловых якобианов соответствующих активных узлов электрической сети. Причем, каждый такой якобиан начинает оказывать влияние на якобианы смежных узлов, которые так же начинают стремиться к нулю и менять знак на обратный. Рассматриваемый итерационный процесс во многом аналогичен переходному процессу при выходе генераторов из синхронизма. Поэтому здесь важно определить узлы, в которых якобианы начинают первыми изменять свой знак.

В первую очередь управляющим воздействиям должны подвергаться дефицитные участки энергосистемы с наиболее заниженными напряжениями. При этом необходимо определение суммарных изменений мощности для каждого участка энергосистемы в зависимости от наличия или отсутствия вне дефицита мощности. Далее идет организация вычислительного процесса для введения исследуемого режима в область существования.

Решение поставленной задачи проводится в два этапа:

- определение управляющих воздействий для ввода исследуемого режима в область существования без учета оптимизации конкретных мест действий против аварийной автоматики (все узлы полагаются равнозначными для изменения генерации или нагрузки). Целью этого этапа является определение суммарных изменений мощностей для каждого участка энергосистемы в зависимости от наличия или отсутствия вне дефицита мощности;

- оптимизация и распределение определенного объема управляющих воздействий с учетом конкретных мест действий ПА.

В качестве примера может быть рассмотрен расчет одного из режимов работы Сакэнерго в период осенне-зимнего максимума. Схема замещения содержит 220 узлов, 259 ветвей. Балансирующим узлом служат шины 500 кВ / ст. Центральная (Связь Ингури ГЭС с ОДУ Северного Кавказа по ЛЭП Кавкасиони). Суммарная активная генерация равна 857 мВт, суммарная активная нагрузка равна 945 мВт, суммарные потери

в системе 32 мвт, заданы модули напряжений в некоторых генераторных узлах. Схема нормальная, заведены все существующие ЛЭП 220 и 500 кв. Самые большие отклонения напряжения в Кахетинской зоне.

Комплекс формирования модели расчетной сети при этом состоит из следующих программ:

1. Ведения рабочих массивов и классификаторов параметров ЛЭП, проводов, опор, генераторов, трансформаторов, регуляторов, фиксирующих приборов и другого оборудования;
2. Логического контроля данных и выдачи справочной и рабочей информации;
3. Расчета электрических параметров оборудования;
4. Формирования эквивалентной схемы замещения сети;
5. Оптимальной нумерации и перенумерации узлов схемы замещения;
6. Эквивалентирования сети;
7. Расчета обобщенных параметров сети;
8. Идентификации параметров оборудования и планирования эксперимента.

Основой комплекса служат архивы параметров оборудования, созданные еще в самом начале использования вычислительной техники в энергосистемах. В начале эти архивы служили для выдачи справочной информации службам и отделам, по мере же усложнения их логической структуры и введения логического контроля появилась возможность присоединения к ним программ расчетов электротехнического оборудования и формирования рабочих массивов для вычислительной части модели.

На повестке дня также остро стоит вопрос исследования переходных процессов и динамической устойчивости энергосистемы, поскольку и стационарные режимы сами по себе тяжелые и существуют на грани развала. Нами был проверен существующий установившийся режим на самораскачивание системы (моделирование и расчет процесса поведения системы) были осуществлены на базе вычислительного расчетного комплекса устойчивости ВНИИЭ - Российского института энергетики). Далее проведен анализ аварийного отключения ЛЭП 220 и 500 кв. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для анализа устойчивой

работы энергосистемы необходимо моделирование целого ряда предполагаемых аварийных режимов с их последующим практическим использованием.

И в этом случае компьютеры могут быть использованы в качестве “советчика” диспетчеру энергосистемы. При этом должно производиться уточнение результатов аналитических исследований и отражение исходных условий все большего количества взаимосвязанных величин, которые могут дать эффективные практические результаты только при использовании опыта инженерных расчетов. Поэтому мы стремимся к тому, чтобы предлагаемые и используемые алгоритмы были такими, чтобы в них легко можно было внести инженерные коррективы, т.е. они должны строиться по эргатическому принципу. Предлагаемые нами алгоритмы управления и регулирования удобны для оперативного планирования и ведения режимов энергосистемы с точки зрения уточнения исходной информации и внесения коррективов, с целью приближения расчетов к проведению операций в масштабе реального времени [7].

Литература

1. Веников В.А., “Теория подобия и моделирования”, М., “Высшая школа”, 1976г.
2. Азарьев Д.И., “Математическое моделирование электрических систем”, ГЭИ, М., 1962г.
3. Горнштейн В.М., “Наивыгоднейшие режимы работы гидроэлектростанций энергетических системах”, ГЭИ, М.-Л., 1959г.
4. Гамма З., “Статистический метод оценивания состояния электроэнергетических систем”, “Наука”, М., 1976г.
5. Лоханин Е.К., Васильева Г.В., Галактионов Ю.И., “Математическая модель энергосистемы для расчета и анализа переходных процессов устойчивости”, Труды ВНИИЭ, 1976, 51.
6. Горнштейн В.М., Тимофеев В.А., “Методика расчета на “В” установившегося оптимального режима электрической сети”, сб. “Методы алгоритмы оптимального планирования режимов энергосистем управления для АСДУ”, Труды ВНИИЭ, вып. 54, 1978г.
7. К.Н. Камкаидзе, Л.Д. Вяткина, “Методы расчета режимов работы энергосистемы на персональных компьютерах”, Труды Грузинского Технического Университета, 1999, 4, Тбилиси.

UDC 621.039

ენერგოსისტემების მართვის ნორმალური რეჟიმების პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები

ტ.მ.პ., დოც. ნ.თუშკინა, მგ. ბ.მარინამიძე
საპარტოველო სტანდარტული უნივერსიტეტი
CAD/CAM-ის ჯგუფი

ენერგოსისტემის მართვის ერთ-ერთი ძირითადი ტექნოლოგიური ამოცანა, როგორცაა დამყარებული რეჟიმების პარამეტრების განსაზღვრის ამოცანა, გარდა იმისა, რომ მნიშვნელოვანი დამოუკიდებელი ამოცანაა, დღეს წარმოადგენს ასევე სხვადასხვა გლობალური (რეჟიმების ოპტიმალური დაგეგმვისა და მართვის, სტატისტიკური და დინამიური მდგრალობის) ამოცანების ქვეამოცანას. ამით აიხსნება მრავალრიცხოვანი მიდგომების არსებობა მათემატიკური მოდელისა და შესაბამისი ამოხსნის მეთოდის შერჩევის საქმეში. ამგვარად, საქმე გვაქვს სხვადასხვა მიდგომებთან და პრიორიტეტებთან იმისდა მიხედვით, გეგმირდება ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე ალგორითმის შექმნა, თუ მოდულის, რომელიც ჩართვება გლობალურ ამოცანაში.

სისტემის მდგომარეობა, ანუ დამყარებული რეჟიმის აქტიური პარამეტრების ურთიერთ დამოკიდებულება აღიწერება არაწრფივი განტოლებებით, რომლებიც უმრავლეს შემთხვევაში ამოიხსნებიან იტერაციული მეთოდებით. მათ შეიძლება გააჩნდეთ რამდენიმე ამონახსნი, რომელთა უმრავლესობაც მდებარეობს დასაშვებ არეს გარეთ. ამიტომ იძულებით ისმება ამოცანა, რომლის მიზანია დასაშვები ამონახსნის პოვნა.

იმ ორი ალგორითმიდან, რომლებიც ჩვენ დავამუშავეთ, ერთ-ერთი ეფუძნება კვანძური ძაბვების განტოლებას და განკუთვნილია ძირითადად ავტონომიურ რეჟიმში სამუშაოდ, თუმცა არ არის გამორიცხული მისი შეყვანა სხვა ამოცანის შემადგენლობაში, რისი მტკიცების საფუძველსაც გვაძლევს ტექნიკურ საშუალებათა მკვეთრი ზრდა.

მეორე ალგორითმი, რომელიც იყენებს ნაკადგანაწილების პოვნის ე.წ. სწრაფ მეთოდს, განკუთვნილია გლობალური ამოცანების შემადგენლობაში ჩასართვლად. პირველი ალგორითმისაგან იგი გამოირჩევა სწრაფქმედებით, რაც მიიღწევა სიზუსტის გაუარესების ხარჯზე (განსხვავება არის 3-4%-ის ფარგლებში), ანუ არაწრფივი განტოლებათა გაწრფივებით. ჩვენ მივიჩნიეთ, რომ ოპერატიული მართვის ამოცანებისათვის, ასევე ტრენაჟორული სისტემებისათვის გაცილებით უფრო მნიშვნელოვანია სწრაფქმედება, ანუ იტერაციული პროცესის

თავიდან აცილება.

როგორც უკვე აღინიშნა, ელექტროენერგეტიკული პრობლემებიდან გამომდინარე, და გაანგარიშებებისათვის აუცილებელი ტექნიკური საშუალებების შესაძლებლობების გათვალისწინებით ზდება სისტემის მდგომარეობის ამსახველი განტოლებების (მათემატიკური მოდელის) და მათი ამოხსნის რომელიმე მეთოდის შერჩევა. ყოველივე ამან გამოიწვია ამ სფეროში უკვე შესრულებული თუ ამჟამად მიმდინარე სამუშაოების დიდი სიმრავლე. მათი უმრავლესობა ეფუძნება კვანძური ძაბვების განტოლებებს, მაგრამ საბოლოო სახე და ასევე არჩეული ამოხსნის მეთოდი მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

სხვადასხვა მათემატიკური მოდელი ეფუძნება პასიური ქსელის სხვადასხვა მათემატიკურ ასახვას, ძირითადად კვანძური გამტარებლობების მატრიცას ან კვანძური წინააღობების მატრიცას. თვითოეულ ამ მდგომარეობას გააჩნია თავისებურებები, ნაკლი და დადებითი მხარე. გაცილებით კარგ კრებადობას იძლევიან ალგორითმები, რომლებიც ყოველ იტერაციაზე აწარმოებენ წრფივ განტოლებათა ამოხსნას. მათ რიცხვს განეკუთვნებიან ალგორითმები, რომლებიც იყენებენ კვანძური წინააღობების Z_{33} მატრიცას. ხოლო უარყოფითი მხარე არის ის, რომ მათ სჭირდებათ დიდი მოცულობის მეხსიერება. ამ ნაკლისაგან თავისუფალი არიან ალგორითმები, რომლებიც იყენებენ კვანძური გამტარებლობების Y_{33} მატრიცას (არანულოვანი ელემენტების რიცხვი არის 7-8%), მაგრამ ამ შემთხვევაში პრობლემები ჩნდება კრებადობასთან დაკავშირებით, მაგ. მცირე ან უარყოფითი წინააღობების მქონე სქემებში, რასაც ადგილი აქვს განივი კომპენსაციის შემთხვევაში, კრებადობა არ არის უზრუნველყოფილი. კრებადობასთან დაკავშირებული პრობლემები ჩნდება საწყისი ინფორმაციის წარმოდგენის დროსაც: სხვადასხვა ალგორითმებში გენერაციის კვანძებისათვის საწყისი ინფორმაციად აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მიღება ხშირ შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს დასაშვები ამონახსნის განსაზღვრას. ასევე პრობლემატურია ძაბვის რეგულირების იმიტირების საკითხიც იმ ალგორითმებში, სადაც გათვალისწინებულია გენერაციის კვანძებში რეაქტიული სიმძლავრის ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობების დაფიქსირება.

ამგვარად, მათემატიკური მოდელის შერჩევისას პირველ რიგში უნდა მოხდეს პრიორიტეტების განსაზღვრა ამოცანიდან გამომდინარე. ჩვენ შემთხვევაში პირველ ალგორითმში უპირატესობა მივანიჭეთ კარგ და სწრაფ კრებადობას და იტერაციის თითოეულ ბიჯზე სისტემის მდგომარეობის უფრო ზუსტ ასახვას, რის საშუალებასაც იძლევა Z მატრიცა.

საწყისი ინფორმაციას ამ ამოცანებისათვის წარმოადგენს მონაცემები სქემის ტოპოლოგიის, სქემის ელემენტების პარამეტრების, მომხმარებლის

კვანძებში აქტიური და რეაქტიული ტვირთების, გენერაციის წყაროების აქტიური სიმძლავრეებისა და ძაბვების მოდულის ან რეაქტიული სიმძლავრის შესახებ (ჩვენს შემთხვევაში – აქტიური სიმძლავრე და ძაბვის მოდული). ასევე მონაცემები კვანძებში ძაბვების შესახებ გადახრების, კვანძების წყაროების დასაშვები რეაქტიული სიმძლავრეების სიდიდეებისა და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობების შესახებ.

გამომავალი ინფორმაცია წარმოადგენს სქემის ყველა კვანძის ძაბვის მოდულისა და ფაზის მნიშვნელობებს, გენერატორების რეაქტიულ სიმძლავრეებს, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების ნაკადებს ელექტრული სქემის შტოებში, აქტიური სიმძლავრეების დანაკარგებს.

წარმოდგენილი ალგორითმი (რომელიც განკუთვნილია ძირითადად ავტონომიურ რეჟიმში სამუშაოდ), როგორც უკვე აღნიშნეთ, ეფუძნება მათემატიკურ მოდელს, რომელიც აღიწერება კვანძური ძაბვების განტოლებებით. ამ ალგორითმის საფუძველზე დამუშავებულ პროგრამაში რეალიზებულია ძაბვის რეგულატორის მუშაობის გავლენა ელექტრულ სისტემაზე. ასევე გათვალისწინებულია ძაბვის სხვადასხვა საფეხურის არსებობა. დამუშავებულია სპეციალური რედაქტორი, რომელიც საწყის ინფორმაციულ ნაკადში ცვლილებების შეტანის საშუალებას იძლევა (ხაზის ჩართვა-გამორთვა, მახლანსირებული კვანძის შეცვლა, გენერაციისა და ტვირთების სიდიდეების შეცვლა და სხვა).

სისტემის მდგომარეობის ამსახველ განტოლებას აქვს სახე:

$$\dot{Y}_{kv}(\dot{U}_{kv} - U_b) = \dot{I}_{kv} \quad (1)$$

სადაც \dot{Y}_{kv} - კვანძური გამტარებლობების მატრიცა;

$\dot{U}_{kv}, \dot{I}_{kv}$ - შესაბამისად კვანძური ძაბვებისა და დენების ვექტორები.

U_b - წარმოადგენს სვეტურ მატრიცას, სადაც ყოველი ელემენტი არის ბაზისური ძაბვა;

თუ კვანძურ დენებს გამოვსახავთ კვანძური სიმძლავრეებისა და ძაბვების საშუალებით, (1) განტოლება გადაიწერება:

$$\dot{Y}_{kv}(\dot{U}_{kv} - U_b) = \begin{bmatrix} S_i^* \\ U_i^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

S_i^*, U_i^* - i -ური კვანძის სიმძლავრისა და ძაბვის შეუღლებული კომპლექსები.

$i=1. . .n, n$ – დამოუკიდებელ კვანძთა რიცხვი.

$$\dot{Y}_{kv}^{-1} \dot{Y}_{kv} (\dot{U}_{kv} - U_b) = \dot{Y}_{kv}^{-1} \begin{bmatrix} S_i^* \\ U_i \end{bmatrix}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $S_i^* = P_i - jQ_i$ მივიღებთ

$$\dot{U}_{kv} = \dot{Z}_{kv} \begin{bmatrix} P_i - jQ_i \\ U_i \end{bmatrix} + U_b \quad (3)$$

სადაც $\dot{Z}_{kv} = \dot{Y}_{kv}^{-1}$ - წარმოადგენს კვანძების საკუთარი და ურთიერთ წინააღმდეგობების მატრიცას.

თუ კვანძური გამტარებლობების მატრიცას \dot{Y}_{kv} წარმოვადგენთ ინციდენტის პირველი მატრიცის საშუალებით, კვანძური წინააღმდეგობების მატრიცას ვიანგარიშებთ ფორმულით:

$$\dot{Z}_{kv} = \dot{Y}_{kv}^{-1} = [N \dot{Y}_d N^T]^{-1} \quad (4)$$

სადაც N - ინციდენტის პირველი მატრიცაა, ანუ მატრიცა, რომელიც გამოხატავს კავშირებს კვანძებსა და შტოებს შორის.

\dot{Y}_d - დიაგონალური მატრიცა შტოების გამტარებლობების, სადაც გათვალისწინებული არ არის შტოებსა და კვანძებს შორის ელექტრული კავშირი.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, პირველ ალგორითმში მიღწეულია იტერაციის თვითოეულ ბიჯზე სისტემის მდგომარეობის საკმაოდ ზუსტი ასახვა (ამის საშუალებას იძლევა \dot{Z}_{kv} მატრიცა) ამიტომ, რადგანაც კვანძური ძაბვების საწყის მიახლოებად ავიღებთ ნომინალურ ძაბვებს, იტერაციის ყოველ ბიჯზე მიღებული კვანძური ძაბვების მნიშვნელობები შეიძლება ჩაითვალოს ძაბვის რეგულირების პროცესში კვანძური ძაბვების შესაბამისად. რეაქტიული სიმძლავრეები გენერატორული კვანძებისათვის იტერაციის ყოველი ბიჯის დროს განისაზღვრება გამოსახულებიდან $Q_{gen} = f(U)$ რომელიც მიიღება კვანძური ძაბვების განტოლებებიდან. იმ შემთხვევაში, როცა Q_{gen} გამოდის გენერატორისათვის დასაშვები დიაპაზონიდან $Q_{min} \leq Q_{gen} \leq Q_{max}$ ანუ თუ $Q_i > Q_{max}$, გენერატორის რეაქტიული სიმძლავრე ხდება $Q_i = Q_{max}$, თუ $Q_i < Q_{min}$ მაშინ $Q_i = Q_{min}$.

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი ალგორითმის მიხედვით ანგარიში წარმოებს მარტივი იტერაციის მეთოდით. საწყისი მნიშვნელობებია: გენერატორის აქტიური სიმძლავრეები, ტვირთის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები, ძაბვის მოდულები, ძაბვა მაბალანსირებელ კვანძში;

საძიებელი პარამეტრებია: კვანძური ძაბვები (აქტიური და რეაქტიული).

ძაბვის საწყისი მიახლოება წარმოადგენს ნომინალურ ძაბვებს კვანძებში, რეაქტიული სიმძლავრეების საწყის მიახლოებად გენერატორის კვანძებში ვიღებთ მოცემული აქტიური სიმძლავრის ნახევარს (ვინაიდან საწყისი მნიშვნელობის სიდიდეს პრინციპული მნიშვნელობა არა აქვს).

ინციდენტის I მატრიცაში ტრანსფორმატორული კავშირების გათვალისწინება საწყისი სქემის მიხედვით საშუალებას იძლევა მოიხსნას ძაბვის ერთ საფეხურზე დაყვანის პრობლემა.

კვანძური ძაბვების განტოლება, როგორც ცნობილია, შეიძლება გამოისახოს ინციდენტის I მატრიცის საშუალებით:

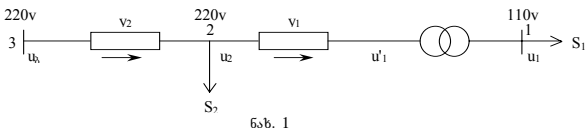
$$(N\dot{Y}_d N^T)(\dot{U}_{kv} - U_b) = \dot{I}_{kv}$$

სადაც $\dot{Y}_{kv} = N\dot{Y}_d N^T$ წარმოადგენს კვანძური გამტარებლობების მატრიცას.

ტრანსფორმაციის გათვალისწინება უშუალოდ N მატრიცაში შესაძლებელია შემდეგნაირად: i-ური სტრიქონისა და j-ური სვეტის გადაკვეთის ადგილზე იწერება 1 ან -1, თუ i-ური კვანძი უშუალოდ უკავშირდება j-ურ შტოს, ხოლო $1/k_j$ ან $-1/k_j$ (სადაც k_j არის j-ურ შტოში არსებული ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი), თუ j-ურ შტოში არსებული ტრანსფორმატორის საშუალებით.

$$N = \begin{bmatrix} 1/k & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

საილუსტრაციო განვიხილოთ ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი ქსელი და განხილული მაგალითისათვის განვსაზღვროთ საიტერაციო ფორმულა, რომელიც რეალიზებულია პროგრამაში.



ნახ. 1

ნახაზზე წარმოდგენილი სქემისათვის

$$(5)$$

ხოლო (2) განტოლება, ანუ

$$\dot{Y}_{kv} \dot{U}_{kv} = \overset{*}{S}_{kv} + \dot{Y}_{kv} U_b$$

მიიღებს სახეს:

$$\dot{U}_{kv} = \dot{Y}_{kv}^{-1} \frac{S_{kv}}{*} + \dot{Y}_{kv}^{-1} \dot{Y}_{kv} U_b \quad (6)$$

(5) ფორმულის გათვალისწინებით

$$\dot{Y}_{kv} = \begin{bmatrix} \frac{\dot{y}_1}{k^2} & -\frac{\dot{y}_1}{k} \\ -\frac{\dot{y}_1}{k} & (\dot{y}_1 + \dot{y}_2) \end{bmatrix}$$

(6) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\dot{y}_1}{k^2} & -\frac{\dot{y}_1}{k} \\ -\frac{\dot{y}_1}{k} & (\dot{y}_1 + \dot{y}_2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\frac{S_1}{*} \\ u_1 \\ -\frac{S_2}{*} \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\dot{y}_1}{k^2} & -\frac{\dot{y}_1}{k} \\ -\frac{\dot{y}_1}{k} & (\dot{y}_1 + \dot{y}_2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{y}_2 u_b \end{bmatrix}$$

გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{k^2}{\dot{y}_2} + \frac{k^2}{\dot{y}_1} \right) & \frac{k}{\dot{y}_2} \\ \frac{k}{\dot{y}_2} & \frac{1}{\dot{y}_2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -\frac{S_1}{*} \\ u_1 \\ -\frac{S_2}{*} \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k u_b \\ u_b \end{bmatrix} \quad (7)$$

განხილული ალგორითმით რეალიზებულ პროგრამაში საიტერაციო ფორმულას აქვს სახე (7), რომელიც შეესაბამება ნახაზზე წარმოდგენილ მაგალითს.

მეორე ალგორითმი, ნაკადგანაწილების განსაზღვრის ე.წ. სწრაფი მეთოდი [1] განკუთვნილია ოპერატიული მართვის ამოცანებსა და ტრენაჟორულ სისტემებში სამუშაოდ. მისი დადებითი მხარეა დამყარებული რეჟიმის პარამეტრების სწრაფი გაანგარიშება, ასევე კომპუტაციური ცვლილებების შემთხვევაში (ხაზის ჩართვა, გამორთვა, ხაზის პარამეტრების და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის შეცვლა) და შემავალი აქტიური პარამეტრების (გენერაციის და ტვირთების) ცვლილებების დროს ახალი დამყარებული რეჟიმის სწრაფი გადაანგარიშება. უარყოფითი მხარეა ნაკლები სიზუსტე იტერაციულ მეთოდებზე დამყარებულ ალგორითმებთან შედარებით. ჩვენს მიერ შექმნილ მათემატიკურ მოდელში ასახულია დამოკიდებულება გენერატორების აქტიურ სიმძლავრეებსა და გენერატორული ძაბვების

ძერის კუთხეებს შორის. სქემის პასიური პარამეტრები აღწერილი არიან შტოების საკუთარი და ურთიერთგამტარებლობების მატრიცის საშუალებით, რომლის განგარიშება წარმოებს [2] ნაშრომში განხილული მეთოდიკით. ამ მეთოდის თანახმად ჯერ გაიანგარიშება შუალედური მატრიცა \dot{Y}_{Sual} რომელიც შეესაბამება არა საწყის სქემას, არამედ სქემას, სადაც დამოკლებული ყველა განივი შტო. შემდეგ რიგ-რიგობით წარმოებს ყველა დამოკლებული შტოს აღდგენა, რასაც შეესაბამება მატრიცა \dot{Y}_{Sual} -ის ელემენტების გადაანგარიშება ფორმულით:

$$\dot{Y}'_{ij} = \dot{Y}_{ij} - \frac{\dot{Y}_{ik} \dot{Y}_{kj}}{\dot{Y}_{kk} + \dot{Y}_k}$$

სადაც \dot{Y}_{kk} - k-ური შტოს საკუთარი გამტარებლობა დამოკლებამდე;

$\dot{Y}'_{ij}, \dot{Y}'_{ij}$ - i-ურ და j-ურ შტოებს შორის ურთიერთგამტარებლობები შესაბამისად k-ური შტოს დამოკლებამდე და დამოკლების შემდეგ;

$\dot{Y}_{ik}, \dot{Y}_{kj}$ - ურთიერთგამტარებლობები ინდექსების შესაბამის შტოებს შორის k-ური შტოს აღდგენამდე;

\dot{Y}_k - k-ური განივი შტოს გამტარებლობა (დამოკლებამდე);

აღვლითი, როგორც უკვე ავლინებთ, ეფუძნება განტოლებათა სისტემას:

$$\sum_{j=1}^m \dot{u}_j \dot{y}'_{ij} = \frac{\dot{s}_i}{u_i} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

სადაც $\dot{s}_i = p_i + jq_i$ - i-ური კვანძის სრული სიმძლავრეა;

$\dot{u}_i = u_i e^{j\delta_i}$ - i-ური კვანძის ძაბვა;

$\dot{y}'_{ij} = y'_{ij} + jy''_{ij}$ - i-ური და j-ური შტოების ურთიერთგამტარებლობები.

$\dot{u}_i u_i^* = u_i u_j e^{j(\delta_i - \delta_j)} = u_i u_j (\cos(\delta_i - \delta_j) + j \sin(\delta_i - \delta_j))$

თუ გამოვყოფთ ცალ-ცალკე აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებს, მივიღებთ 2m განტოლებებისაგან შემდგარ განტოლებათა სისტემას:

$$\left. \begin{aligned} u_i^2 y'_{ii} + u_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m [u_j y'_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + u_j y''_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] &= p_i \\ u_i^2 y''_{ii} + u_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m [u_j y'_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - u_j y''_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] &= q_i \end{aligned} \right\} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ნორმალურ რეჟიმებში გენერატორულ დაბეჭდვებს შორის ძვრის კუთხეები მცირე სიდიდეებია, შეიძლება დაიწეროს:

$$\sin(\delta_i - \delta_j) \approx k_1(\delta_i - \delta_j)$$

$$\cos(\delta_i - \delta_j) \approx k_2$$

სადაც k_1 და k_2 1-თან მიახლოებული მუდმივებია.

აქედან გამომდინარე აქტიური სიმძლავრის ფორმულა გადაიწერება შემდეგნაირად:

ამგვარად, შექმნილია მოდული, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც პროგრამა-იმპიტატორის (ენერგოსისტემის მუშაობა), ასევე სისტემის მდგრადობის განსაზღვრის ალგორითმების შემადგენლობაში.

ლიტერატურა

- 1. Ускоренный метод расчета координат распределения энергетических системах – Туркия Н.Г., Готуа Г.К., «Электричество», №4, 1982г.**
- 2. Расчет матрицы обобщенных параметров поперечных ветвей электрических сетей энергосистем – Туркия Н.Г., Готуа Г.К., «Электричество», №3, 1987г.**

UDC 621.9.06

**კიდულნი საჩორტენ-სახეხი ჩარხის ახალი მოდელის
სტრუქტურა და დინამიკა**

ასკ. დ.სულამანიძე, ტმდ პრფ. თ.გჰედლიზვილი,
ტმკ დრც. ნ.სულამანიძე, ტ.მ.პ. ბ.ნიორაძე
საპარტეველუს ტექნიკური უნივერსიტეტი
მექანიკა-მანქანათმშენებლოზის
ფაკულტეტი

**СТРУКТУРА ДИНАМИКА НОВОЙ МОДЕЛИ
ПОДВЕСНОГО ОБДИРОЧНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО
СТАНКА**

Подвесной обдирочно-шлифовальный станок (ПОШС), относящийся к классу ручных машин, вследствие его высокой виброактивности, претерпевает процесс постоянных структурных конструктивных изменений с целью совершенствования системы виброзащиты оператора.

Рассматриваемая модель ПОШС, наряду с ранее использованными способами виброзащиты, содержит еще устройство динамического гашения, в виде подпружиненной инертной массы, роль которой при разработке конструкции, может выполнить, к примеру, кожухременной передачи.

Нарис. 1 представлена структурная схема модели ПОШС с динамическим гасителем массой m_5 , расположенной вблизи массы m_4 (шпинделя) - основного источника вибрации.

В ранее проведенных работах было получено система дифференциальных уравнений, описывающая динамику ПОШС без устройства динамического гашения колебаний.

Для построения математической модели динамики исследуемой системы, математическая модель, приведенная в работах [1, 2], должна быть дополнена уравнениями, описывающими динамические процессы в устройстве гасителя колебаний и определенными математическими выражениями, взаимосвязывающими ранее полученные уравнения новыми уравнениями.

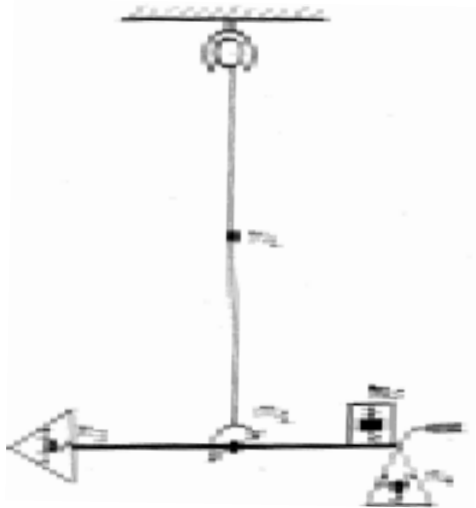


Рис.1. Структурная схема

Для составления новых уравнений по расчетной схеме (рис.2) прежде всего определяем координаты точек К и М согласно зависимостей

$$\vec{r}_k^{(0)} = \vec{r}_u^{(0)} + \vec{r}_k^{(1)} \quad (1)$$

$$\vec{r}_m^{(0)} = \vec{r}_u^{(0)} + \vec{r}_{km}^{(1)} \quad (2)$$

где $r_k^{(0)}$ и $r_m^{(0)}$ - радиус-векторы определяющие точки К и М в системе координат к $X_0 Y_0 Z_0$.

$r_{0k}^{(0)}$, $r_k^{(1)}$ и $r_{km}^{(1)}$ - соответственно радиус-векторы, длины которых определяют отрезки $0_1 K$ и KM .

Кинетическая энергия устройства динамического гасителя в общем случае согласно теореме Кенига запишется так:

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot V_m^2 + \frac{1}{2} \Omega_m \{J_m\} \Omega_m^{(0)} \quad (3)$$

здесь m_2 - масса гасителя, V_m - абсолютная скорость его центра масс, $\{J_m\}$ - тензор инерции,

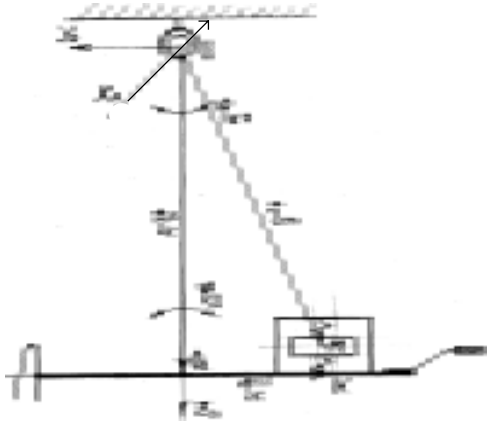


Рис.2.Расчетная схема

$$\{J_m\} = \begin{pmatrix} J_{xx} & -J_{xy} & -J_{xz} \\ -J_{xy} & J_{yy} & -J_{yz} \\ -J_{xz} & -J_{yz} & J_{zz} \end{pmatrix} \quad (4)$$

компоненты которых являются постоянными величинами[3],

$$V_m = \frac{d\vec{r}_m^{(0)}}{dt} \begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{z}_m \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Omega_m^{(0)} = \begin{bmatrix} \omega_{mx} \\ \omega_{my} \\ \omega_{mz} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\omega_{mx} = \dot{\varphi}_{x0}, \quad \omega_{my} = \dot{\varphi}_{y0}, \quad \omega_{mz} = \dot{\varphi}_{z0},$$

φ_{x0} , φ_{y0} и φ_{z0} - соответственно угловые координаты, реализуемые в сферическом шарнире О вокруг координатных осей X_0 , Y_0 и Z_0 ,

$$\vec{r}_{\text{км}}^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{\text{кмх}}^* + \eta_x \\ r_{\text{кму}}^* + \eta_y \\ r_{\text{кмz}}^* + \eta_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

$r_{\text{кмх}}^*$, $r_{\text{кму}}^*$, $r_{\text{кмz}}^*$ - компоненты вектора $r_{\text{км}}$, определяющего исходно начальное положение точки М центра масс гасителя, характеризующее нулевыми значениями его упругих перемещений η_x , η_y и η_z по координатам x , y и z .

Если центр масс гасителя (точка М на рис. 2) совпадает с центром симметрии звена динамического гасителя колебаний, то

$$\{J_m\} = \begin{pmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{pmatrix} \quad (8)$$

где J_{xx} , J_{yy} и J_{zz} - массовые моменты инерции относительно осей X , Y и Z .

Потенциальную энергию системы записываем в виде:

$$\Pi = \frac{1}{2} \{C_m\} \eta^2, \quad (9)$$

где

$$\eta = \begin{bmatrix} \eta_x \\ \eta_y \\ \eta_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\{C_m\} = \begin{pmatrix} C_{mx} & 0 & 0 \\ 0 & C_{my} & 0 \\ 0 & 0 & C_{mz} \end{pmatrix} \quad (11)$$

C_{mx} , C_{my} и C_{mz} - коэффициенты жесткостей упругих элементов гасителя колебаний в направлении соответствующих координатных осей.

В развернутой форме имеем:

$$T_m = \frac{1}{2} m_m \cdot (\dot{x}_m^2 + \dot{y}_m^2 + \dot{z}_m^2) + \frac{1}{2} (J_{xx} \cdot \omega_{mx} + J_{yy} \cdot \omega_{my} + J_{zz} \cdot \omega_{mz}) \quad (12)$$

$$\Pi_m = \frac{1}{2} C_m \cdot (\eta_x^2 + \eta_y^2 + \eta_z^2) \quad (13)$$

С учетом приведенных зависимостей ранее полученная система дифференциальных уравнений должна быть дополнена уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_x} - \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_x} &= G_{mx} - \frac{\partial \Pi_m}{\partial \eta_x} - \frac{\partial \Phi_m}{\partial \dot{\eta}_x} \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_y} - \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_y} &= G_{my} - \frac{\partial \Pi_m}{\partial \eta_y} - \frac{\partial \Phi_m}{\partial \dot{\eta}_y} \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_z} - \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\eta}_z} &= G_{mz} - \frac{\partial \Pi_m}{\partial \eta_z} - \frac{\partial \Phi_m}{\partial \dot{\eta}_z} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

в уравнениях, из ранее полученной системы записанных относительно обобщенных координат φ_{0x} , φ_{0y} и φ_{0z} , должны быть введены дополнительные слагаемые члены, определяемые математическими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\varphi}_{x0}}, \quad \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\varphi}_{y0}}, \quad \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T_m}{\partial \dot{\varphi}_{z0}}, \\ \frac{\partial T_m}{\partial \varphi_{x0}}, \quad \frac{\partial T_m}{\partial \varphi_{y0}}, \quad \frac{\partial T_m}{\partial \varphi_{z0}}, \\ Q_{0x}, \quad Q_{0y} \quad \text{и} \quad Q_{0z} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где Φ_m диссипационная функция, которая явслучае ее апроксимации в виде модели вязкого трения, будет иметь вид:

$$\Phi_m = \frac{1}{2} \mu_m \cdot (\dot{\eta}_x^2 + \dot{\eta}_y^2 + \dot{\eta}_z^2) \quad (16)$$

Q_{0x} , Q_{0y} и Q_{0z} , G_{mx} , G_{my} и G_{mz} , - обобщенные силы, обусловленные действием сил веса агасителя колебаний.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Суламанидзе Н. Д. Разработка динамический анализ пространственного механизма выбробезопасного подвесного станка. Диссертация на соискание учебной степени ктн. , г. Тбилиси, 1990;
2. ა. დიასამიძე, თ. მჭედლოშვილი, დ. სულამანიძე, ნ. სულამანიძე. ვიბროდამცავი სახელურის ახალი კონსტრუქცია და კიდული საჩორტნ-სახესი ჩარხის დინამიკური ანალიზი. სა-მეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის "Parametric CAD'98" შრომები. 26-27 ნოემბერი, თბილისი, 1998 წ.
3. Вейц В. Л., Коловский М. З., Кочура А. Е. Динамика управляемых машинных агрегатов, - М.: Наука, 1984.

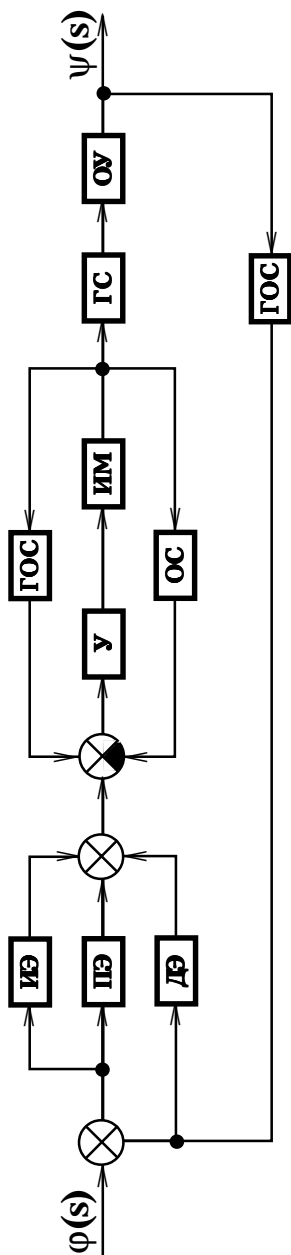


Рис.1. Функциональная схема системы автоматического управления курсом судна

вращающегося трансформатора, а дифференцирующий элемент из асинхронного тахогенератора, полупроводникового усилителя делителя напряжения.

Гидравлическая система (ГС) в общем случае состоит из последовательного соединения гидравлических усилителей ГУ, представляющих собой однокаскадные замкнутые жесткие и отрицательные обратные связи гидравлические усилители с четырьмя целевыми управляющими золотниками, и системы гидронасос-плунжерные гидроцилиндры (НГ) рулевой гидравлической машины. Насос, откачивая рабочую жидкость из днища цилиндра в гнетая ее в другие, создает последнюю избыток давления, который, передаваясь через плунжер гидроцилиндра в рупелю обаллеру рулевого механизма, приводит в движение руль корабля.

Вследящих устройствах насосы переменной производительности (Н П П) являются регулирующими элементами, которые выполняют те же функции, что золотниковые устройства [3].

Гидравлические усилители ГУ представляют собой нелинейные системы, в управлении динамикой которых присутствуют нелинейные характеристики, как непрерывные, так и разрывного характера. В качестве управляющих используются золотниковые системы с малым положительным, отрицательным и нулевым начальными перекрытиями в среднем их положении относительно корпуса золотниковой системы.

В случае золотника с нулевым перекрытием уравнение динамики замкнутого привода может быть записано так [4]:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + k_{\text{ж}}x + \frac{d}{dt} [/ P_{\text{п}} / \text{sign} \dot{x}] =$$

$$= k_{\text{в}} \cdot k_{\text{ж}} \sqrt{1 - \frac{1}{p_{\text{н}} F} [B_2 \ddot{x} + B_1 \dot{x} + R(t) + / P_{\text{п}} / \text{sign} \dot{x}] \text{sign} \varepsilon \cdot \varepsilon (t)}$$

где: m - масса перемещающихся частей, приведенная к подвижному звену исполнительного гидроцилиндра, x - перемещение выходного звена ГУ, $p_{\text{н}}$ - давление жидкости, подводимое к управляющему четырехщелевому золотнику, $P_{\text{п}}$ - сила сухого трения, F - площадь поршня исполнительного гидроцилиндра, $h, k_{\text{ж}}$ и $k_{\text{в}}$ - соответственно коэффициенты вязкого трения жесткости и усиления гидроусилителя по скорости.

$$B_1 = h + B_1' \cdot F,$$

$$B_2 = m + B_2' \cdot F,$$

B_1 '-коэффициент, учитывающий потерю вязкого трения в маслопроводах, соединяющих золотник гидроцилиндром, пропорциональные расходы; B_2 '-коэффициент, учитывающий потери инерционной нагрузки, создаваемой жидкостью в этих же маслопроводах $\varepsilon(t)$ -раскрытие управляющего золотника, которое в случае гидроусилителя, замкнутого жесткой обратной связью, определяется как разность между входным воздействием и сигналом, поступающим по цепи обратной связи.

Расходные характеристики НППа проксируются линейными зависимостями на начальной нелинейной зоне нечувствительности [3].

Нелинейной системой описывается звено ОУ-движущееся судно, кружащее жидкостью, представляющая собой сложную гидродинамическую систему.

Нелинейными характеристиками характеризуются также другие составные элементы, приведенные на функциональной схеме (рис.1).

Исходя из вышеизложенного следует, что исследуемая система в целом представляет собой сложную динамическую систему, описываемую много связной системой нелинейных управлений.

С другой стороны, исследуемая система характеризуется много режимностью работы, что, в свою очередь, в определенной степени предопределила многоконтурность ее структуры.

Одним из целесообразных подходов к синтезу таких систем является метод синтеза по заданным переходным процессам [5].

Отдельные динамические звенья системы в целом, как это показано в работе [1], характеризуются значительно отличающимися по быстроте реакции во времени показателями их функционирования в динамике. В таком случае система в целом будет обладать фильтрующей способностью по отношению к динамическим процессам в отдельных ее элементах, что приводит к тому, что при достаточной степени устойчивости качества регулирования системы в целом, в ее отдельных элементах могут наблюдаться нежелательные колебательные процессы. Это указывает на целесообразность построения методики синтеза по заданным переходным процессам на основе использования в процедурах синтеза как локальных (с более полным описанием динамических процессов в отдельных составных частях исследуемой системы), так и глобальных (с упрощением моделей отдельных частей и звеньев системы в целом) [6].

В этой связи предлагаемую методику синтеза рассматриваемой

системь по заданным переходным процессам строим последующей схеме подчиненного регулирования:

- 1 Построение локальных (с наиболее полным учетом динамических явлений) математических моделей составных элементов системы.
- 2 Синтез параметров составных элементов в неизменной части системы (в частности ГУ1, ГУ2 и ОУ) по их локальным математическим моделям.
- 3 На основе качественного и количественного анализа локальных моделей результаты проведенного синтеза по локальным моделям построение глобальных моделей динамики.
- 4 Синтез параметров регулируемой части системы в целом на основе использования глобальных моделей с укрупненным учетом динамических процессов отдельных составных элементов системы. При этом согласно известному методу синтеза по заданным переходным процессам реализация пунктов 2 и 3 в общем случае предусматривает использование последовательности процедур синтеза линеаризованных последующим переходом нелинейным моделям [5].

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Фрейдзон И. Р. Математическое моделирование систем автоматического управления на судах. - Л.: Судостроение, 1969.
- 2 Справочник по теории корабля: В 3 т. (Под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985, т. 3).
- 3 Гамынин Н. С., Каменир Я. А., Коробочкин Б. Л. и др. Гидравлический лежачий привод. / Под ред. В. А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1968).
- 4 Хохлов В. А. Электрогидравлический лежачий привод. М.: Наука, 1966.
- 5 Мчедlishvili Т. Ф. К вопросу синтеза нелинейных динамических систем регулирования Ж. Сообщ. АНГССР, т. 112, N 3, 1980.
- 6 В. А. Асташев, В. И. Бабицкий, И. И. Вульфсон и др. Динамика машин управления машинами / Под ред. Г. В. Крейнина, М.: Машиностроение. 1988).