

УДК 681.324

Л.П. Луговская, ст. преподаватель,

И.А. Скатков, доцент, канд. техн. наук,

И.П. Стадник, профессор, д-р техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: kvf.sevntu@gmail.ru

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Рассматриваются модели группового принятия решений операторами информационных систем и АСУ. Предложена процедура гармонического анализа вероятностных характеристик качества работы операторов, входящих в группы. Предлагаемый подход проиллюстрирован числовым примером.

Ключевые слова: *принятие решения, вариантная организация, гармонический анализ.*

Постановка проблемы и анализ последних исследований. В работе современных сложных информационных систем (ИС) и АСУ в подавляющем большинстве случаев участвует человек-оператор, от эффективности работы которого во многом зависит качество функционирования этих систем в целом. Это положение остается актуальным и при достигнутом на сегодняшний день уровне автоматизации процессов проектирования и функционирования, так как наиболее ответственные решения по-прежнему принимает человек. Все возрастающая сложность ИС и АСУ увеличивает и количество информации, необходимое оператору для принятия обоснованных решений, а также темповую напряженность его работы. Все чаще структурным элементом ИС и АСУ выступают коллектив операторов, принимающих индивидуальные решения со своими выраженными функциями предпочтения, которые затем с помощью различных схем интерпретируются как заключительные решения. Анализ результатов исследований, проведенных авторами в работах [1, 2] показывает, что основные имеющиеся результаты в этой области ориентированы на стационарный подход. Кроме того, предлагаемые решения предполагают индивидуальное прогнозирование и оценку качества функционирования операторов.

К нерешенным частям общей проблемы можно отнести задачу оптимального группирования операторов в коллективе и исследование эффективных процедур построения коллективных решений.

Целью данного исследования является рассмотрение таких задач в отношении процессов бессознательного дифференцирования объектов при изменении фоновой картины для оператора. В таких условиях работают операторы радиолокационных станций обнаружения и сопровождения летательных объектов, операторы подготовки данных по командам диспетчера, операторы, выполняющие оценку ситуационной обстановки сложных энергообъектов и т.д. Характерным для таких задач операторской деятельности является необходимость оценивания фактов и моментов времени появления новых объектов либо изменения ситуации в процессе решения фоновых задач. Другими словами, оператор должен быть способен к выполнению операций распознавания, которая в этом случае не мотивирована внешними проявлениями, что приводит к необходимости осуществлять операторскую деятельность в режиме бессознательного дифференцирования.

Основная часть исследований. Предполагаются известными значения стартового уровня безошибочной работы оператора, уровня его максимальных возможностей, длительностей адаптационного этапа и этапа устойчивой работы. Эта информация определяется по результатам обучения оператора и зависит также от его индивидуальных особенностей.

Процесс наблюдения и распознавания изменений во времени состоит из следующих этапов: этап адаптации к заданной работе, начинающийся с определенного стартового уровня готовности и завершающийся достижением индивидуального уровня способности решать поставленную задачу; этап устойчивого функционирования на максимальном для оператора уровне (стационарный режим); этап снижения качественных характеристик оператора (утомление). В стационарном режиме на деятельность оператора влияют случайные факторы внешних воздействий и психофизического состояния, что приводит к некоторым отклонениям от устойчивого показателя качества функционирования, являющегося индивидуальной характеристикой оператора.

Для описания процесса дифференциации объектов оператором будем использовать вероятностную модель, подобную экспоненциальной модели повышения вероятности успешной работы при обучении.

Деятельность оператора может быть промоделирована на основе вероятностного автомата, на вход которого на каждом этапе наблюдения подается информация об объектах, подлежащих дифференцированию, описываемая некоторым множеством $I_t = \{i_1, i_2, \dots, i_T\}$. Состояние оператора во временных точках периода наблюдения T описывается вероятностным вектором

$P_i = \{p_1(t), p_2(t), \dots, p_T(t)\}$, где $p_i(t)$ — вероятность правильного функционирования оператора в момент времени t_i .

Использование стохастической модели позволяет получить вероятностное описание процесса функционирования оператора путём построения теоретических кривых, изображающих отношение числа случаев успешной регистрации изменений к общему числу решённых задач, как функцию времени функционирования.

Теоретическая кривая имеет вид:

$$P(t) = (Pm - P0)(1 - e^{-\lambda t}) + P0,$$

где $P0$ — вероятность успешной работы в начальный момент; Pm — вероятность успешной работы в стационарном режиме; λ — характеристика скорости достижения стационарного состояния.

На рисунке 1 показана экспериментальная кривая, отображающая реализацию процесса функционирования оператора со следующими вероятностными характеристиками: вероятность успешной работы в начальный момент $P0 = 0,3$, вероятность успешной работы в стационарном режиме $Pm = 0,9$.

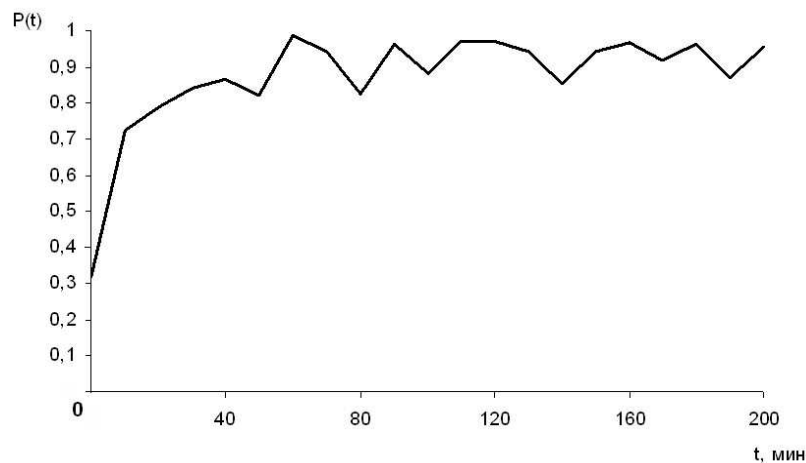


Рисунок 1 – Экспериментальные вероятностные характеристики оператора в процессе функционирования

Воздействие случайных факторов проявляется в виде колебаний значений вероятностей безошибочной работы вокруг устойчивого индивидуального показателя $Pm = 0,9$. Этап снижения показателей успешной работы (утомление) здесь не рассматривается.

В условиях особо важных работ, когда цена успешных результатов дифференцирования объектов высока, усилия операторов по распознаванию изменений в процессе наблюдения объединяются. Ставится задача – рассмотреть различные варианты объединения операторов и получить количественные характеристики безошибочной работы групп операторов. Пусть J – число операторов, объединенных в группу, $J \in \{2; 3\}$. Каждый оператор, входящий в группу, характеризуется вероятностной кривой $P^{(j)}(t)$ зависимости вероятности безошибочной работы от времени, ($j = 1, \dots, J$). Параметр $Pm^{(j)}$ индивидуальных кривых, соответствующий вероятности успешной работы в стационарном режиме, может служить характеристикой уровня подготовленности оператора. Операторы в группе могут иметь различающиеся вероятностные характеристики. Задается пороговое значение вероятности безошибочной работы по дифференцированию объектов для группы операторов Ptr . В момент времени t_i ($t \leq T$) значение $P^{(j)}(t_i)$ сравнивается с пороговой вероятностью Ptr . Работа j -го оператора считается успешной, если $P^{(j)}(t_i) \geq Ptr$.

Рассматриваются три варианта совместной работы операторов. Комплементарная работа двух операторов ($J=2$) – это работа, успешным исходом которой в момент времени t_i считается событие $K = [P^{(1)}(t_i) \geq Ptr] \wedge [P^{(2)}(t_i) \geq Ptr]$: вероятности безошибочной работы всех операторов группы превосходят пороговую. Дизъюнктивная работа двух операторов ($J=2$) считается успешной в момент времени t_i , если хотя бы один оператор в группе характеризуется вероятностью безошибочной работы не меньше пороговой, т.е. имеет место событие $D = [P^{(1)}(t_i) \geq Ptr] \vee [P^{(2)}(t_i) \geq Ptr]$. Мажоритарная работа ($J=3$) — «голосование» вероятностей безошибочной работы трех операторов; считается успешной, если имеет место совокупность событий: не менее двух операторов из трех характеризуются вероятностями безошибочной работы выше пороговой, т.е.

$$M = [(P^{(1)}(t_i) \geq Ptr) \wedge (P^{(2)}(t_i) \geq Ptr)] \vee [(P^{(1)}(t_i) \geq Ptr) \wedge (P^{(3)}(t_i) \geq Ptr)] \vee [(P^{(2)}(t_i) \geq Ptr) \wedge (P^{(3)}(t_i) \geq Ptr)].$$

Требуется определить вероятности безошибочных результатов для указанных технологий объединения операторов и их зависимость от времени: $P_K(t)$, $P_D(t)$, $P_M(t)$. Для получения вероятностных характеристик групп операторов было проведено моделирование совместной работы в различных вариантах. На временном отрезке T в узловых точках регистрировались успешные совместные решения путем сравнения вероятностных характеристик операторов и заданной пороговой вероятности успешной работы. Испытания группы операторов проводились N раз ($N \geq 100$). Отношение числа успешных результатов совместного функционирования (события K , D , M) к общему числу испытаний как функция времени принято в качестве вероятностной характеристики группы операторов. В таблице 1 показаны вероятностные характеристики операторов, участвовавших в испытаниях.

Таблица 1 – Вероятностные характеристики операторов в группах

Оператор	Стартовый уровень (P_0)	Максимальный уровень (P_m)	λ	Пороговая вероятность		
				комплементарная	дизъюнктивная	мажоритарная
1	0,3	0,9	0,208	0,8	0,9	0,8
2	0,3	0,8	0,199			
3	0,3	0,8	0,199	–	–	

Вероятностные кривые совместной работы операторов представлены на рисунке 2.

Результатом испытаний совместной работы операторов в выбранном варианте является совокупность значений вероятностей успешного функционирования группы в точках отрезка времени T .

Для получения математической модели работы операторов в группе в установившемся режиме использовалось приближение полученных значений $P(t)$ с помощью тригонометрического полинома:

$$Q_m(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^m (a_k \cos kt + b_k \sin kt), \quad m - \text{число гармоник, не считая нулевой.}$$

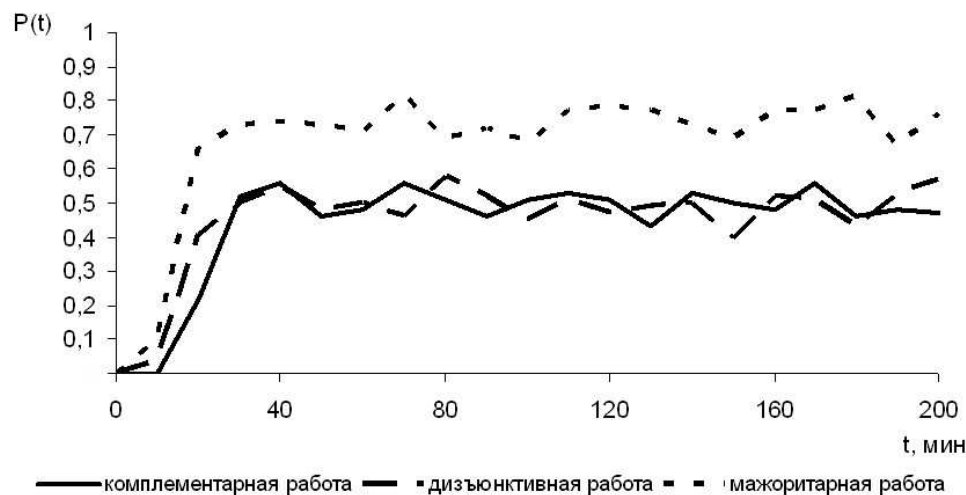


Рисунок 2 – Вероятностные характеристики совместной работы операторов во времени

Для того, чтобы квадратичное отклонение полинома $Q_m(t)$ от функции $P(t)$ было минимальным, коэффициенты a_0, a_k, b_k должны быть тригонометрическими коэффициентами Фурье функции $P(t)$:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P(t) \cos ktdt, \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P(t) \sin ktdt, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m).$$

Так как функция $P(t)$ задается таблично, то коэффициенты Фурье вычисляются приближенным способом.

Рассматривается общий случай: функция $P(t)$ периодическая с периодом $2L$ на отрезке $[a, a + 2L]$ (стационарный режим) и не обладает четностью. Отрезок $[a, a + 2L]$ делится на $2n$ частей, число значений функции $P(t)$ равно $2n + 1$. При этом полагаем $P(t) = \frac{1}{2}(P(t) + P(-t)) + \frac{1}{2}(P(t) - P(-t))$, причем первый член правой части четен, а второй – нечетен. Тогда функция $P(t)$ представляется в виде суммы

четной и нечетной функций $p1(t)$ и $p2(t)$. Коэффициенты Фурье для четной функции определяются по приближенной формуле:

$$A_k = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^n p1(t) \cos \frac{\pi}{L} k[t - (a + L)], \quad (k = 0, 1, 2, \dots, m).$$

Коэффициенты Фурье для нечетной функции определяются как

$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} p2(t) \sin \frac{\pi}{L} k[t - (a + L)], \quad (k = 1, 2, \dots, m).$$

Тригонометрический полином Фурье функции $P(t)$ имеет вид:

$$Q_m(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^m A_k \cos \frac{\pi}{L} k[t - (a + L)] + \sum_{k=1}^m B_k \sin \frac{\pi}{L} k[t - (a + L)].$$

Для значений функции $P(t)$ на стационарном участке [100, 108] ($2n = 24, 2L = 8, m = 6$, пороговая вероятность успешной работы равна 0,85) определены тригонометрические коэффициенты Фурье (таблица 2).

Таблица 2 — Коэффициенты приближения функции $P(t)$ тригонометрическим полиномом Фурье

m	Комплементарная работа		Дизъюнктивная работа		Мажоритарная работа	
	A_k	B_k	A_k	B_k	A_k	B_k
0	0,295	0	1,627	0	0,5488	0
1	-0,0156	-0,0092	0,0028	-0,0080	0,0053	0,0007
2	0,0003	-0,0044	-0,0038	-0,0112	0,0063	-0,0024
3	0,0019	-0,0080	-0,0202	0,0105	-0,0090	0,0001
4	0,0171	-0,0108	0,0125	-0,0058	-0,0204	-0,0116
5	-0,0038	-0,0066	-0,0003	-0,0025	-0,0129	0,0409
6	-0,0083	-0,0050	0,0100	0,0067	0,0121	0,0100

На рисунках 3 и 4 представлены вероятностные характеристики комплементарной и мажоритарной работ, а также графическое отображение их приближения с помощью тригонометрического полинома Фурье.

Как видно из изложенного, вероятности безошибочной работы группы операторов зависят от способа объединения операторов, от вероятностных характеристик входящих в группу операторов, от величины пороговой вероятности успешной работы, задаваемой в группе. По экспериментальным значениям вероятностей успешной работы групп с различными параметрами были определены средние значения $\overline{P(t)}$ на стационарных участках.



Рисунок 3 – Приближение вероятностных характеристик комплементарной работы с помощью ряда Фурье



Рисунок 4 – Приближение вероятностных характеристик мажоритарной работы с помощью ряда Фурье

Значения средних совпадают с коэффициентом при нулевой гармонике в соответствующем приближении экспериментальных данных рядом Фурье, т.е.

$$\overline{P(t)} = \frac{A_0}{2}.$$

Таким образом, коэффициент Фурье A_0 является существенной характеристикой группы операторов и позволяет проводить сравнения групп с одинаковой технологией объединения, исследовать эффективность различных способов организации совместной работы операторов. На рисунке 5, а показаны значения коэффициентов Фурье A_k при исследовании комплементарной работы двух групп. В первой группе объединены операторы с разными значениями вероятностей безошибочной работы в стационарном режиме ($Pm^{(1)} = 0,9; Pm^{(2)} = 0,8$), во вторую группу входят операторы с одинаковыми возможностями ($Pm^{(1)} = Pm^{(2)} = 0,8$). Значение пороговой вероятности одинаково для двух групп $P_{tr} = 0,8$. Первой группе, в которую входит оператор с большей вероятностью безошибочной работы, соответствует большее значение коэффициента A_0 при прочих равных условиях. Средняя вероятность безошибочной работы первой группы $\overline{P(t)}_I = \frac{A_0^I}{2} = 0,52$, для второй группы — $\overline{P(t)}_{II} = \frac{A_0^{II}}{2} = 0,26$. Сравнение результатов испытаний одной и той же группы операторов при неизменной пороговой вероятности, но в разных вариантах объединения, показывает, что наибольшее значение коэффициента A_0 имеет место в случае дизъюнктивной работы ($\overline{P(t)}_D = \frac{A_0^D}{2} = 0,81$), наименьшее — при комплементарной работе ($\overline{P(t)}_K = \frac{A_0^K}{2} = 0,15$) (рисунок 5, б).

В качестве оценки погрешности приближения было выбрано среднее квадратическое отклонение $\delta^2 = \frac{1}{(\beta - \alpha)} \int_{\alpha}^{\beta} [P(t) - Q_m(t)]^2 dt$, где m — число гармоник ряда Фурье, не считая нулевой; $m = 6$. Так как функциональные зависимости вероятностей успешной работы в группе получаются в результате эксперимента, то среднее квадратическое отклонение определялось из соотношения $\delta^2 = \frac{1}{2n} \sum_{i=0}^{2n} [P(t_i) - Q_m(t_i)]^2$. В итоге практический гармонический анализ экспериментальных характеристик работы операторов в группах можно оценить по среднему квадратическому отклонению следующим образом: комплементарная работа — $\delta^2 = 0,0012$; дизъюнктивная работа — $\delta^2 = 0,0024$; мажоритарная работа — $\delta^2 = 0,0055$.

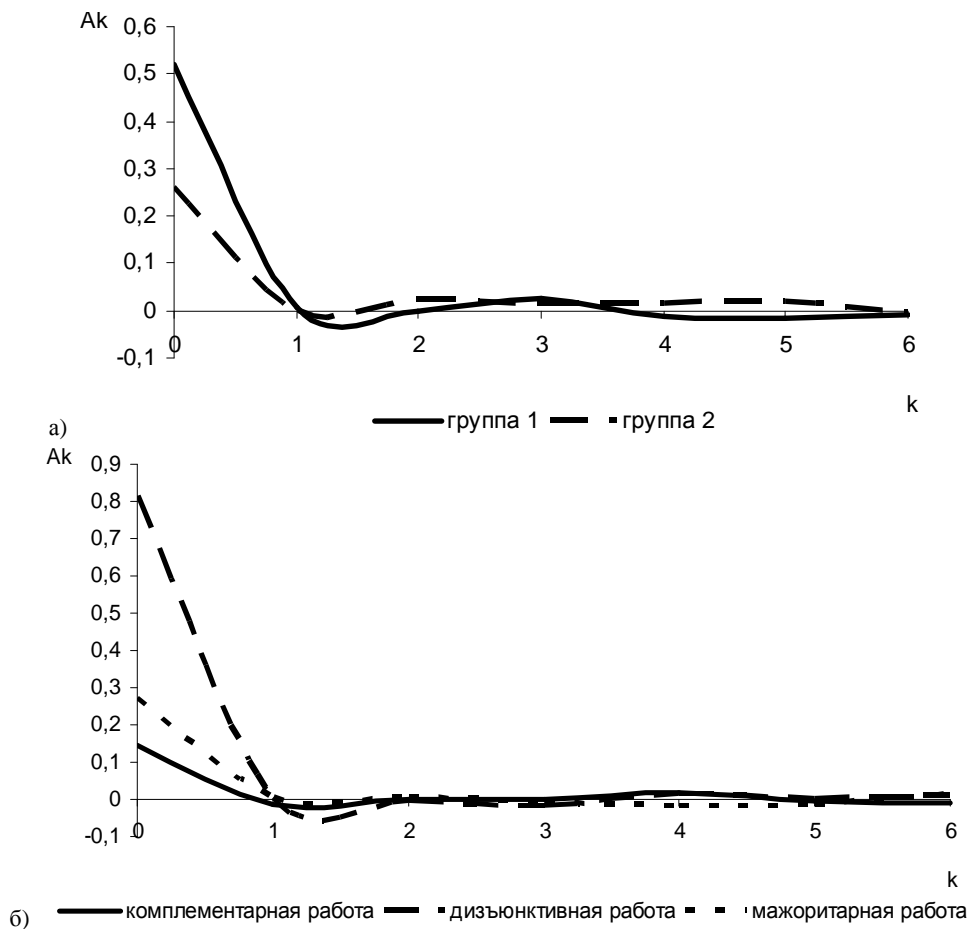


Рисунок 5 — Спектр коэффициентов Фурье для групп с различными параметрами

Известно, что среднее квадратическое отклонение, получающееся при замене функции m -й частичной суммой ряда Фурье, стремится к нулю при $m \rightarrow \infty$, т.е. $\delta_m^2 \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$ и имеет место равенство Ляпунова–Парсеваля

$$\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k^2 + b_k^2) = \frac{2}{\beta - \alpha} \int_{\alpha}^{\beta} f^2(x) dx .$$

Проверка экспериментальных данных, полученных в результате моделирования объединения операторов, показала, что функции вероятностей безошибочной работы групп операторов $P_K(t)$, $P_D(t)$, $P_M(t)$ удовлетворяют равенству Ляпунова–Парсеваля и имеют место следующие соотношения:

для комплементарной работы $\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^6 (a_k^2 + b_k^2) = 0,046$; $\frac{2}{2n} \sum_{i=0}^{2n} P_K^2(t_i) = 0,045$,

для дизъюнктивной работы $\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^6 (a_k^2 + b_k^2) = 1,33$; $\frac{2}{2n} \sum_{i=0}^{2n} P_D^2(t_i) = 1,32$,

для мажоритарной работы $\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^6 (a_k^2 + b_k^2) = 0,157$; $\frac{2}{2n} \sum_{i=0}^{2n} P_M^2(t_i) = 0,155$.

Полученный результат означает, что предлагаемый подход позволяет, во-первых, оценить качество работы каждой из групп операторов, во-вторых, принимать обоснованные решения по комплектованию каждой из таких групп.

Перспективы дальнейших исследований. Предполагается расширить фазовое пространство системных характеристик операторов, включив в него показатели темповой напряженности и помехоустойчивости от внешних воздействий, а также дополнив число альтернатив в схемах принятия групповых решений.

Библиографический список использованной литературы

1. Системный анализ и принятие решений / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. — М.: Высш. шк., 2004. — 616 с.
2. Психологические проблемы взаимной адаптации человека и машины в системах управления / Б.Ф. Ломов, В.Ф. Венда, Ю.М. Забродин, С.С. Зорин / Академия наук СССР Институт психологии. — М.: Наука, 1980. — 317 с.
3. Скатков И.А. Дифференциальная модель информационных процессов обучения операторов АСУ / И.А. Скатков // Сб. науч. тр. СИЯиП. — Севастополь: СИЯиП., 2001. — Вып. 5.— С. 76–82.
4. Скатков И.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений по организации процессов обучения операторской деятельности / И.А. Скатков, Н.А. Скаткова // Тр. Одесского политехн. ун-та: науч. и производ.-практ. сб. по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2007. — Вып. 2 (28). — С. 140–144.

Поступила в редакцию 13.03.2012 г.

Луговська Л.П., Скатков І.О., Стадник І.П. Оптимізаційні процедури формування колективних рішень на основі гармонійного аналізу

Розглянуто моделі групового ухвалення рішень операторами інформаційних систем та АСУ. Запропоновано процедуру гармонійного аналізу щодо ймовірнісних характеристик якості роботи операторів, що входять у групи. Запропонований підхід проілюстровано числовим прикладом.

Ключові слова: ухвалення рішення, варіантна організація, гармонійний аналіз.

Lugovskaya L.P., Skatkov I.A., Stadnik I.P. Optimization procedures for the formation of collective decisions on the basis of harmonic analysis

The models of group decision-making by operators of information systems and process control. The procedure for harmonic analysis of probability characteristics of the quality of the operators in the group. The proposed sub-course is illustrated with a numerical example.

Keywords: decision making, variant organization, harmonic analysis.