

УДК 621.313

**ТАКТИКА ПРЕВЕНТИВНОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ АРХИТЕКТУРЫ СТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Луговой А.В., к.т.н., проф., Полищук П.И., асп.*

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского*

*39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

*E-mail: [apch@polytech.poltava.ua](mailto:apch@polytech.poltava.ua)*

*Пасько О.В., к.т.н., доц.*

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта*

*61003, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7*

*Удовенко О.А., к.т.н., доц.*

*Криворожский технический университет*

*г. Кривой Рог, ул. XXII Партсъезда, 11*

Викладено тактику підходу до вибору структури системи електропривода змінного струму з імпульсними перетворювачами напруги (струму).

**Ключові слова:** тактика, система електропривода, імпульсний перетворювач.

In clause tactics of the approach to a choice of structure of system of the electric drive of an alternating current with pulse converters of a voltage (current) is stated.

**Key words:** approach, system of the electric drive, pulse converter.

**Введение.** Рост потребления электрической энергии при дефиците ее производства стимулирует поиск и реализацию путей рационального (оптимального) электропотребления.

Основной объем потребления электрической энергии, до 80% от всей производимой, приходится на электропривод, главным образом, переменного тока на основе асинхронных электродвигателей (АД) с короткозамкнутым ротором.

Постоянное совершенствование производственных технологий выдвигает перед электроприводами как определяющим элементом уровня эффективности всех электромеханических комплексов дополнительно и новые требования, удовлетворить которые, эксплуатируемые в настоящее время, системы электропривода (ЭП) не могут [1].

Решение проблемы лежит в области поиска новых совершенных структур ЭП с высокоэффективными системами преобразования в них электрической энергии требуемого качества [2].

**Цель работы.** Разработка методики выбора оптимальных структур электроприводов переменного тока с высокоэффективной системой преобразования электрической энергии.

**Материал и результаты исследований.** Несмотря на многообразие архитектур строения электроприводов (ЭП) переменного тока, все же следует констатировать то, что это впечатление кажущееся. Поэтому и «география» поиска оптимальных структур ЭП, т.е. отвечающих современным требованиям, весьма ограничена.

Как известно [2,3], строение архитектур современных электроприводов переменного тока лежит в

области применяемых систем преобразования (СП) электрической энергии в них.

Вместе с тем, именно СП, определяя структуру комплектного ЭП, существенным образом влияет на уровень эффективности того или иного вида электропривода в целом [2].

Поэтому поиск методов оптимизации структур ЭП с той или иной СП является задачей актуальной. При этом не следует упрощать и сужать задачу поиска эффективных СП, сводя ее к поиску лишь тех или иных видов преобразователей напряжения (тока). Вопрос стоит гораздо шире – построение комплекса структуры электропривода с системой преобразования – преобразователь, инвертор, электрические фильтры, тормозные чопперы, устройства накопления электрической энергии и другие слагаемые СП.

СП, в силу своего назначения должна максимально удовлетворять требованиям, предъявляемым к ЭП, и обеспечивать режимы его функционирования:

- плавный разгон механизма с заданным ускорением при токе, не превышающем величин номинального или допустимого;
- длительную работу на любой частоте вращения АД в диапазоне от близкой к нулевой до номинальной и далее до максимально допустимой;
- плавное замедление с заданным темпом при любом виде торможения – рекуперативном, резисторном, динамическом;
- обеспечение уровня ЭМС с питающей сетью и нагрузкой.

К сожалению, известные теории синтеза струк-

тур ЭП несут оттенок априорности или хаотический набор слагаемых для удовлетворения требований того или иного типа или к тем или иным условиям применения потенциального вида электропривода.

Таким образом, возникает задача разработки стратегии и тактики построения оптимальных структур ЭП. При этом для такой сложной системы, каковой является ЭП, основным содержанием оптимальности является его структура и параметры слагаемых.

Возможные направления оптимизации схем и структур ЭП изложены в ряде научных трудов, однако обобщающего критерия оптимизации при этом не наблюдается [3]. Помимо того, предлагаемые методы оптимизации ЭП не всегда позволяют в требуемом объеме наращивать или учитывать специфику предполагаемой области применения ЭП. Очевидно, что интерес для решения задач выбора структур ЭП могут представлять методы поиска банков их оптимальных видов, как для конкретных условий, так и с возможностью «наращивания» базовых вариантов дополнителными элементами по требованию проекта. При этом, безусловно, что оптимальное решение должно принадлежать области компромиссов.

Поиски авторов в направлении подхода и решения этой задачи привели к целостности использования для этого задач многокритериального анализа с необходимым уровнем их модификации применительно к данной конкретике.

При таком подходе описание проблемной ситуации и постановка многокритериальной задачи выбора оптимальной структуры ЭП требует необходимости определения и оценки множества исходных данных (D), состоящих из условий (Y) эксплуатации, весогабаритных ограничений (O<sub>s</sub>), состава вектора (K) показателей качеств и ограничений (O<sub>k</sub>) на их показатели:

$$D = \{Y, O_s, K, O_k\}. \quad (1)$$

К условиям «Y» работы ЭП относятся те данные, которые оказывают влияние на его работу, но не зависят от проекта, например диапазон изменения температур, влажность воздуха и др.

Ограничения (O<sub>s</sub>) содержат данные о структуре ЭП. Причем, эти ограничения могут изменяться от нежестких до весьма жестких. К нежестким относятся ограничения класса ЭП и т.п. При жестком ограничении может быть полностью задана принципиальная схема ЭП, варьируются лишь численные значения параметров этой схемы. Множество (O<sub>s</sub>) содержит также ограничения на параметры слагаемых (ЭМ, ИП, ЭФ и т.д.), которые задаются системой равенств и неравенств вида:

$$\begin{cases} q_i(x) = 0 & i = 1, \dots, p \\ h_j(x) = 0 & j = 1, \dots, p \end{cases}, \quad (2)$$

где q<sub>i</sub>, h<sub>j</sub> - заданные скалярные функции.

Вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  описывает параметры слагаемых ЭП. Вектор  $K = (K_1, \dots, K_m)$  включает те показатели качества, которые учитываются при по-

иске структуры ЭП. При формулировке исходных данных определяется состав этого множества, численные же значения составляющих K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, ..., K<sub>m</sub> вектора (K) зависят от структуры и параметров слагаемых, и в процессе поиска структуры варьируются. К наиболее важным показателям качества относятся энергетические показатели ЭП, затем, такие как диапазон регулирования частоты вращения ЭП, жесткость внешних характеристик. Важное значение при выборе структуры ЭП для регулируемого электропривода постоянного тока рудничного электровоза, где наиболее остро стоит проблема дефицита свободного пространства, имеют массогабаритные показатели.

Ограничения (O<sub>k</sub>), накладываемые на величины показателей качества K<sub>1</sub>, ..., K<sub>m</sub>, могут быть типа равенства (K<sub>i</sub> = K<sub>i0</sub>), неравенства (K<sub>i</sub> ≤ K<sub>im</sub>, K<sub>i</sub> ≥ 0) и связей (ψ<sub>i</sub>(K<sub>1</sub>, ..., K<sub>m</sub>) ≤ 0).

Особенностью рассматриваемой задачи является наличие показателей качества, описываемых вектором  $K = (K_1, \dots, K_m)$ , каждый из которых зависит от параметров ЭП:  $x = x_1, \dots, x_k$ . При этом необходимо найти такую структуру ЭП, которая, удовлетворяя исходным данным {Y, O<sub>s</sub>, K, O<sub>k</sub>}, обеспечивала бы наилучшее возможное значение вектора K. Математически описанная задача многокритериальной оптимизации формулируется так:

$$K_i(x) \rightarrow \min_{x \in O_s} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где (O<sub>s</sub>) определяется формулой (2).

Так как в общем случае показатели качества противоречивы, то, разрешая независимо каждую из задач скалярной оптимизации (3), получим n оптимальных локальных решений:

$$\hat{x} : K_i(\hat{x}_i) = \min_{\hat{x} \in O_s} K_i(\hat{x}) \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Эти решения в общем случае не совпадают, то есть  $\hat{x}_i \neq \hat{x}_j$ , и, следовательно, ни одно из локальных решений не может служить решением исходной многокритериальной задачи. Это указывает на невозможность ее решения (3).

Для нахождения решений многокритериальной задачи, обеспечивающих наилучшее возможное значение вектора  $\hat{K}$ , необходимо ввести понятие предпочтения и эквивалентности. Состояние, описываемое вектором  $\hat{x}_1$ , строго более предпочтительно, чем состояние, описываемое  $\hat{x}_2$ , если  $\hat{K}(\hat{x}_1) \leq \hat{K}(\hat{x}_2)$  (i = 1, ..., m) – всегда найдется хотя бы одно строгое неравенство, записываемое как:

$$\hat{K}_{12} \prec \hat{K}_2. \quad (5)$$

(рассматривается случай минимизации каждого показателя качества вектора  $\hat{K}$ ). Если же  $\hat{K}(\hat{x}_1) = \hat{K}(\hat{x}_2)$ , то состояния, описываемые векторами  $\hat{x}_1$  и  $\hat{x}_2$ , считаются эквивалентными и записываются в виде:

$$\mathbf{x}_{12} \approx \mathbf{x}_2. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что эквивалентность в общем случае не соответствует равенству. Отношения предпочтения ( $\mathbf{f}$ ) и эквивалентности ( $\approx$ ) обла- дают транзитивным свойством:

- 1) если  $\mathbf{x}_{12} \mathbf{f} \mathbf{x}_2$  и  $\mathbf{x}_{22} \mathbf{f} \mathbf{x}_3$ , то  $\mathbf{x}_{12} \mathbf{f} \mathbf{x}_3$ ;
- 2) если  $\mathbf{x}_{12} \approx \mathbf{x}_2$  и  $\mathbf{x}_{22} \approx \mathbf{x}_3$ , то  $\mathbf{x}_{12} \approx \mathbf{x}_3$ .

В этом случае возникает задача принятия реше- ний при «векторном критерии».

Если имеется совокупность критериев  $F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x)$ ,  $x \in X$ , то найти решение, кото- рое окажется наилучшим в смысле выбираемого критерия, необходимо из следующих соображений:

- если все критерии измеряются в одной шкале, то тогда обобщенный критерий  $F_0(x)$  можно запи- сать в виде взвешенной суммы этих критериев

$$F_0(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i F_i(x),$$

где  $\omega_i$  - вес сообразующего критерия;

- если критерии измеряются в различных шкалах, то необходимо привести их к одной шкале. Для это- го формируют критерий

$$\min_x F_0(x) = \min_x \sum_{i=1}^n \omega_i \frac{F_i(x_i^*) - F_i(x^*)}{|F_i(x_i^*)|}, \quad (7)$$

где  $F_i(x_i^*) = \max_x F_i(x)$ .

Таким образом, необходимо свести к минимуму величину отклонения каждого критерия от его мак- симального значения. При таком формировании обобщенного критерия возникает некоторое несоот- ветствие, связанное с тем, что можно добиться вы- соких показателей по одним критериям за счет ухудшения показателей по другим.

Существует следующая методика определения полезности при принятии решений:

- если имеются два результата, то определяют, какой результат будет более предпочтительным. Пусть  $x_1 \mathbf{f} x_2$ , т.е.  $x_1$  предпочтительнее  $x_2$ . Оце- нивают соотношения между полезностями результа- тов  $x_1$  и  $x_2$ . Для этого применяют полезность

$$u(x_2) = 1, \text{ тогда } \alpha u(x_1) = u(x_2) \Rightarrow u(x_1) = \frac{1}{\alpha};$$

- если имеется  $n$  возможных результатов  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , между которыми установлено отноше- ние предпочтения  $x_1 \mathbf{f} x_2 \mathbf{f} x_3 \dots \mathbf{f} x_n$ , тогда опре- деляется  $\alpha$  из условия

$$\begin{aligned} \alpha_1 u(x_1) &= u(x_2); \\ \alpha_2 u(x_2) &= u(x_3); \\ \alpha_{n-1} u(x_{n-1}) &= u(x_n). \end{aligned}$$

Положив полезность наименее предпочтительно- го результата  $x_n$ , равную 1, находим:

$$\begin{aligned} u(x_n) &= 1; \\ u(x_{n-1}) &= 1/(2n-1); \\ u(x_1) &= 1 / \prod_{i=1}^{n-1} \alpha_i; \end{aligned} \quad (8)$$

- если некоторые критерии качества, применяют методику, основанную на алгоритме Черчмена-Акоффа. Суть такой методики состоит в следую- щем: упорядочивают по убыванию предпочтитель- ности данные  $x_1$  - наибольший,  $x_2$  - наименьший предпочтительный результат; составляют таблицу возможных комбинаций результатов  $u_0(x_1), u_0(x_2), \dots, u_0(x_n)$ ; подставляют начальные оценки в соотношении таблицы. Если эти соотно- шения удовлетворяются, то они остаются, если нет - то проводят корректировку.

Такая методика определения полезности приме- нима, когда количество результатов ограничено  $n \leq 6 \div 7$ . Если  $n > 7$ , то множество разбивают на под- множества, состоящие из  $5 \div 7$  результатов, и приме- няют способ коррекции оценки полезности незави- симо в каждом из подмножеств. Это свойство по- зволяет последовательно находить все более лучшее значение вектора  $\mathbf{K}$ .

Таким образом, формируется некоторый вектор, включающий совокупность взаимосвязанных фак- торов. Тесноту связи между различными перемен- ными или факторами можно охарактеризовать с по- мощью эмпирических показателей. Эти показатели были введены различными исследователями, зани- мавшимися задачами статистического анализа.

Для тесноты этой взаимосвязи, как правило, в технических системах на практике используется ко- эффициент ассоциации. Коэффициент ассоциации  $A$  применяется для характеристики связи качествен- ных признаков. Чтобы вычислить коэффициент «А», необходимо построить четырехклеточную таблицу корреляции, которая характеризует связь между яв- лениями. Каждое из явлений, в свою очередь, долж- но быть альтернативным.

Другим показателем является коэффициент вза- имной сопряженности.

Коэффициент взаимной сопряженности характе- ризует тесноту связи для качественных признаков, представленных более, чем двумя группами. Для расчета этих коэффициентов применяют формулу Пирсона [3]:

$$C = \sqrt{\frac{\phi^2}{1 + \phi}} \quad (9)$$

или формулу Чупрова [4]:

$$K = \sqrt{\frac{\phi^2}{(k_1 - 1)(k_2 - 1)}}. \quad (10)$$

Величина  $\phi^2$  в выражениях (9) и (10) называет- ся показателем взаимной сопряженности, который определяется суммой отношений квадратов частот каждой клетки корреляционной таблицы к произве- дению итоговых частот соответствующего столбца и

строки. При вычитании из этой суммы единицы получается  $\varphi^2$ . В формуле (10)  $k_1$  - число групп по столбцам таблицы,  $k_2$  - число групп по строкам.

Далее введем понятие «пространства показателей качества»:  $\{\mathbf{K}\}$ . Это пространство имеет размерность  $m$  (по числу показателей качества) и образуется  $m$  ортогональными осями, вдоль которых откладываются значения  $K_i = K_i(\mathbf{x})$ .

Часто приходится рассматривать множество физических разнородных элементов, между которыми можно, однако, установить взаимно однозначное соответствие. Кроме того, между элементами существуют определенные взаимосвязи. Такие совокупности (множества) обычно называют системами. В любых реальных физических системах можно определить характеристику элементов и связей между ними.

Если при решении задачи отвлечься от качественной физической природы элементов, то каждая система из конкретной превращается в абстрактную. В этом случае устанавливается только структура системы, а природа ее элементов остается неопределенной во всех отношениях. Тогда говорят, что все представители одной и той же абстрактной системы или схемы изоморфны.

В теории множества два множества  $X$  и  $Y$  называются изоморфными, если выполняются следующие условия:

- каждый элемент  $x \in X$  может быть взаимно однозначно сопоставлен с элементами  $y \in Y$ , т.е.  $x \rightarrow y$  и  $y \rightarrow x$ ;

- каждая операция  $f$  (из некоторого числа операций, выражающих отношения между элементами множества  $X$ ) может быть взаимно однозначно сопоставлена с операцией  $\varphi$  в множестве  $Y$ . Если операция  $f$  преобразует  $x_1 \in X$  в  $x_2 \in X$  в множестве  $X$  (например, изменение состояния электронной лампы под воздействием входного сигнала), то ей должна соответствовать операция  $\varphi$ , преобразующая элемент  $y_1 \in Y$  в  $y_2 \in Y$  (математическая операция преобразования сигналов в уравнении, описывающем процессы в электронной лампе);

- если  $x_1 \in X$  соответствует  $y_1 \in Y$  и  $x_2 \in X$  соответствует  $y_2 \in Y$ , а также  $f(x_1) = x_2$  и  $f \rightarrow \varphi$ , то для всех  $x, y, f$  будет иметь место  $\varphi(y_1) = y_2$ .

Два множества изоморфны, если их элементы попарно взаимнооднозначно соответствуют друг другу и преобразования элементов одного множества соответствуют элементам другого множества.

Использование изоморфизма позволяет заменить изучаемое явление на отдельных этапах изоморфной ему моделью и дальнейшее изучение свести к анализу этой модели.

Между пространством параметров ЭП  $\{\mathbf{x}\}$  и пространством показателей качества  $\{\mathbf{K}\}$  имеется тесная связь. Каждая точка  $\mathbf{x}$  пространства параметров отображается в определенную точку  $\mathbf{K}$  пространст-

ва показателей качества (обратное не всегда имеет место).

Область ( $O_s$ ), определяемая (2), в пространстве  $\{\mathbf{x}\}$  отражается в определенную область  $D$  пространства показателей качества  $\{\mathbf{K}\}$ . Пользуясь отношениями предпочтения (5) и эквивалентности (6) на множестве  $D$ , можно выделить подмножество  $D^*$  точек  $\mathbf{K}^*$ , для которых уже не найдется более предпочтительных. Однако это множество  $D^*$  содержит не только лучшие точки. Среди точек  $\mathbf{K}$ , на принадлежащих  $D^*$ , могут оказаться точки в каком-то смысле лучше, чем некоторые из  $D^*$ , но зато среди  $D^*$  найдутся точки более предпочтительные, чем  $\mathbf{K}$ , не принадлежащие  $D^*$ .

В результате получаем множество Парето  $O_s^*$  которое входит в  $O_s$  и соответствует множеству  $D^*$ . Именно это подмножество  $O_s^*$ , являясь компромиссным, и содержит решение многокритериальной задачи (3). Однако найденное множество решений  $O_s^*$  требует дальнейшего уточнения, потому что необходимо лишь одно решение. Для однозначного решения задачи (3) необходимо введение дополнительной информации. Если такой информации нет, то о решении  $\mathbf{x}^*$  ничего нельзя сказать, кроме того, что оно лежит на множестве Парето  $O_s^*$ . Поэтому процесс решения задачи состоит в поиске и использовании дополнительной информации, с помощью которой многокритериальная задача сводится к однокритериальной:

$$K(\mathbf{x}) = W(\mathbf{K}(\mathbf{x})), \quad (11)$$

где  $\mathbf{K}(\mathbf{x})$  – скалярная функция, минимум которой на  $O_s^*$  является решением исходной задачи (3);  $W$  – свертка функции  $\mathbf{K}(\mathbf{x})$ , использующая дополнительную информацию.

При поиске структуры ЭП скалярную функцию (11) удобно представить в виде:

$$K(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^m P_i K_i(\mathbf{x}), \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1, \quad P_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m,$$

где значение весовых коэффициентов  $P_1, \dots, P_m$  определяется с помощью дополнительной информации.

Минимизируя функцию (12)  $K(\mathbf{x}) \rightarrow \min_{x \in O_{By}}$ , находим  $\mathbf{x}^*$  – решение задачи оптимизации:

$$K(\mathbf{x}) \rightarrow \min_{x \in O_{By}} K(\mathbf{x}). \quad (13)$$

Особенностью алгоритма нахождения оптимальной структуры ЭП является не только поиск оптимальных значений параметров данной структуры, т.е. вектора  $\mathbf{x}^*$  в задаче (7)...(13), но и выбор оптимального варианта построения ЭП из конечного числа вполне определенных вариантов, то есть дискретный выбор структуры преобразователя. Таким образом, приходим к задаче глобального синтеза

структуры, которая включает поиск оптимальной структуры ЭП из заданных вариантов с нахождением оптимальных параметров и структур слагаемых элементов.

Выделяют два принципиально отличающихся подхода к учету приоритетов локальных объектов в многокритериальных задачах:

- принцип жесткого учета приоритета;
- принцип гибкого учета приоритета.

Принцип жесткого учета приоритета базируется на том, что однородные локальные объекты размещаются относительно их возможности в ряду приоритета. Принцип гибкого учета приоритета требует обязательного определения количества оценок компонентов векторов, что дает возможность более «справедливо» учитывать интересы всех объектов.

В ходе исследований будем понимать, что оптимальным пунктом решения задачи выбора оптимальной структуры ЭП из конечного числа вариантов является описание множества реализуемых структур ЭП  $M_p$ , которое конечно. На первом этапе производится формирование множества допустимых в малом структур ЭП  $M_{доп.м}$ , каждый элемент которого удовлетворяет совокупности условий и ограничений на структуру и параметры ЭП:

$$\{Y, O_s\}. \quad (14)$$

Следующий этап посвящен определению множества допустимых в большом структур ЭП  $M_{доп.б}$ , каждый элемент которого должен реализовать необходимые функциональные возможности электропривода. Однако класс ЭП, составляющий множество  $M_{доп.б}$ , является достаточно многочисленным. Поэтому, необходимо дальнейшее сужение рассматриваемого множества  $M_{доп.б}$  путем выделения из него множества не худших в малом структур ЭП  $M_{н.х.м}$ . Это множество формируется решением задачи векторной оптимизации (3) на множестве  $M_{доп.б}$  с использованием понятий предпочтения и эквивалентности:

$$K_i(\mathbf{X}) \rightarrow \min_{X \in M_{доп.б}}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

Таким образом, получаем последовательность включений:

$$M_p \supseteq M_{доп.м} \supseteq M_{доп.б} \supseteq M_{н.х.м}. \quad (16)$$

На завершающей стадии поиска оптимальной структуры ЭП рассматриваются элементы множества не худших в малом структур  $M_{н.х.м}$ , на которых решается задача скалярной оптимизации (12):

$$K_i(\mathbf{X}) \rightarrow \sum_{i=1}^m P_i K_i(\mathbf{X}) \min_{X \in M_{н.х.м}}. \quad (17)$$

Решение задачи (17) дает значение вектора  $\mathbf{X}^*$ , который характеризует параметры оптимальной структуры ЭП:

$$K_i(\mathbf{X}) \rightarrow \min K(\mathbf{X}). \quad (18)$$

#### Выводы.

1. Поиск структур электроприводов с требуемым уровнем оптимальности и высокоэффективными системами преобразования электрической энергии высокого качества возможен путем постановки и решения многокритериальной задачи.

2. Предложенная методика поиска структур ЭП позволяет осуществить поиск в требуемом объеме и заданным уровнем эффективности ЭП, как многоуровневого электротехнического комплекса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перельмуттер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Х.: Основа, 2004. – 210 с.
2. Барский В.А. и др. Создание серии IGBT преобразователей частоты для регулируемых асинхронных электроприводов // Электротехника. – 1999. - №7. – С. 38-41.
3. Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.А. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте. – К.: АДЕФ – Украина, 1998. – 280 с.
4. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Советское радио, 1974. – 87 с.

Стаття надійшла 20.03.2007р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.