

7. The IPCC software for estimating GHG emissions. IPCC Version 1.1, 1998.- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>.
8. Гамаль Х., Терлецька Н. Геоінформаційний підхід до інвентаризації парникових газів на Львівщині / Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали 1-ї Міжнар. конф. молодих науковців (CSE-2006).-Львів: НУ „ЛП”, 2006.- С. 88-90.
9. Статистичний щорічник Львівської області за 2005 рік. Частина II. Райони та міста Львівської області.- Львів: обласне статистичне управління, 2005.- 400 с.
10. Промисловість Львівщини: Статистичний збірник. - Львів: Обласне статистичне управління, 2005.- 170 с.

УДК 519.6

Бунь А.Р., Йонас М.

### **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ВИКОНАННЯ ЗОБОВ'ЯЗАНЬ ЩОДО ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: ПОРІВНЯННЯ УКРАЇНИ ТА КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ**

Представлено інформаційну систему для аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів, яка дає можливість проводити детальне дослідження емісій парникових газів. З використанням запропонованого інструментарію проведено аналіз емісій парникових газів в країнах Європейського Союзу та України за період 2002–2004 р. Рис. 3, дж. 10.

**Вступ.** Індустріальний розвиток останніх десятиліть спричинив значне підвищення концентрації парникових газів в атмосфері. У відповідності із Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату кожна країна повинна налагодити регулярні інвентаризації парникових газів і слідкувати за дотриманням їх викидів на встановленому Протоколом рівні.

Для уніфікації підходів до інвентаризації Міжурядова група експертів зі зміни клімату розробила основні принципи національних інвентаризацій парникових газів та відповідне програмне забезпечення (методики IPCC) [1,2], які повинні використовуватися учасниками Кіотського протоколу при підготовці національних повідомлень про емісії парникових газів. Проте, ці методики є надто загальними і слабо враховують особливості окремих регіонів планети, що веде до збільшення невизначеності інвентаризації [3,4].

При здійсненні національних інвентаризацій і реалізації торгівлі квотами необхідно мати гарантії того, що використовувані в цих процесах величини (результати інвентаризацій) є достатньо точними. Проте, всі використовувані в процесі інвентаризації дані (коефіцієнти викидів, теплотворні здатності різного виду палив, статистичні дані про діяльність тощо) мають певну невизначеність, що може значно сповільнити процес впровадження механізмів Кіотського протоколу. Метою цієї статті є представлення підходів, що дають можливість враховувати та аналізувати невизначеність результатів інвентаризації парникових газів на національному рівні. Використання таких підходів дозволить верифікувати готовність країн до участі в процесі торгівлі емісіями.

**Інвентаризація парникових газів.** Методики IPCC [2, 5] є загальні (універсальні) і дають можливість здійснювати інвентаризацію парникових газів, в принципі, щодо будь-якої країни (якщо є відповідні вхідні дані). Ці методики охоплюють ряд секторів людської діяльності, пов'язаних з емісією/поглинанням парникових газів, зокрема, спалювання викопного палива, промисловість та сільське господарство, лісове господарство та зміни в землекористуванні, відходи. На основі цих методик створено інформаційну технологію, яка

відображає процеси інвентаризації парникових газів на трьох рівнях (національний, регіональний та рівень елементарних ділянок) [6]. Така модель інвентаризації відображає регіональну специфіку процесів емісії/стоку парникових газів і може служити ефективним інструментарієм для прийняття зважених рішень на регіональному рівні.

**Невизначеність інвентаризацій.** Зобов'язання Кіотського протоколу полягають у налагодженні в кожній країні системи національних інвентаризацій і дотриманні емісій парникових газів на дозволеному рівні. Разом з тим запроваджуються різноманітні варіанти міждержавної “торгівлі квотами на викиди”, у відповідності з якими країни, що перевищують дозволені рівні викидів, могли б купувати необхідні їм квоти в інших країн. Тому як при здійсненні національних інвентаризацій, так і при здійсненні торгівлі квотами, необхідно мати гарантії того, що використовувані в цих процесах величини (результати інвентаризацій) є достатньо точними.

Невизначеність стосовно інвентаризації парникових газів – це величина, яка вказує на відсутність визначеності в компонентах кадастру в результаті довільних випадкових факторів, таких як невизначеність джерел емісій, відсутність прозорості інвентаризаційного процесу тощо [5]. Найчастіше використовують відносну невизначеність, яка характеризується 95-процентним довірчим інтервалом. Це означає, що ймовірність попадання істинного значення параметру в цей інтервал становить 95%. Відносна невизначеність вимірюється в процентах як відношення величини довірчого інтервалу до середнього значення параметра.

Оцінки невизначеності становлять важливий елемент повної оцінки викидів. Однак до цього часу інвентаризація парникових газів та оцінка невизначеності проводились окремо, хоча для налагодження ефективних систем торгівлі емісіями необхідна наявність чітких підходів до врахування невизначеності при інвентаризації емісій.

Невизначеність результатів інвентаризації на національному рівні є дуже важливим питанням, оскільки вона може значно вплинути на процеси торгівлі квотами на емісії. Як видно з показаного на рис. 1 прикладу, дві країни, які мали однаковий рівень емісій на початку періоду спостереження, і мали однакові зобов'язання згідно з Кіотським протоколом, наприкінці періоду вони показують дещо різні рівні емісій. Проте Країна 1, що демонструє нижчий рівень викидів має значно більшу невизначеність цих емісій. Постає природне запитання: яка з країн є надійнішим продавцем квот в такому випадку?

На даний час розроблено ряд методів для кількісної оцінки емісій парникових газів з врахуванням невизначеності. Деякі з цих методів детально описані в [7] і [8]. На основі одного з цих методів, а саме – об'єднаних методі часу верифікації та методі недобору, розроблено комп'ютерну систему для аналізу невизначеностей інвентаризації парникових газів і верифікації виконання зобов'язань.

**Математичний апарат для врахування невизначеності.** Використаємо метод аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів, який є поєднанням методів *Undershooting (недобір)* і *Verification time concept (час верифікації)*, описаних в [7], і який має переваги обох методів.

При розробці цього методу зроблено припущення, що:

невизначеності інвентаризацій в моменти часу  $t_1$  (початок періоду спостереження) і  $t_2$  (кінець періоду) задані у вигляді інтервалів і це означає, що оцінене значення може відрізнитись від істинного;

випадкова величина, що відповідає істинному рівню емісій, характеризується розподілом, який є симетричним відносно математичного сподівання;

значення відносної невизначеності результатів інвентаризації  $\rho$  не залежить від часу ( $\rho = const$ ).

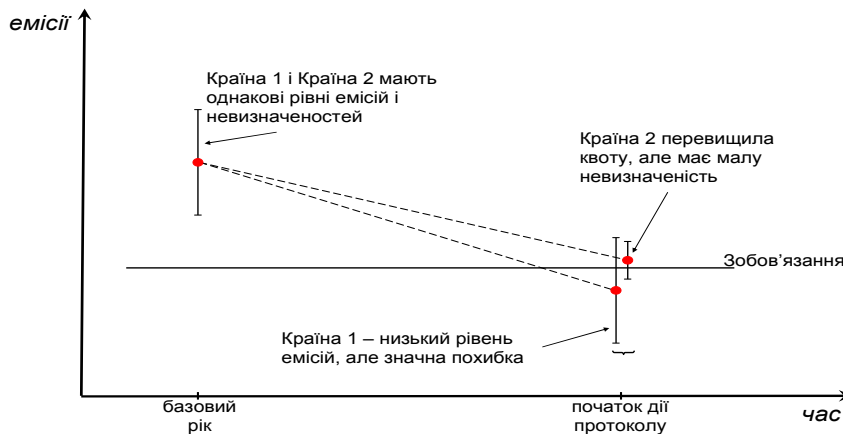


Рис. 1 Невизначеність результатів інвентаризації парникових газів і верифікація виконання зобов'язань згідно з Кіотським протоколом

Нехай  $\delta_{KP}$  – відносне зниження емісій, передбачене Кіотським протоколом, порівняно з рівнем 1990 р. Цю величину прийнято називати квотою. Якщо, Протокол дозволяє деяке підвищення емісій, то  $\delta_{KP} < 0$ .

Вводимо поняття критичної квоти:

$$\delta_{crit} = \begin{cases} \frac{\rho}{1 + \rho}, & \text{для } x_2 < x_1 (\delta_{KP} > 0); \\ -\frac{\rho}{1 - \rho}, & \text{для } x_2 \geq x_1 (\delta_{KP} \leq 0), \end{cases}$$

де  $\delta_{crit}$  – критична квота,  $\delta_{KP}$  – квота, встановлена Кіотським протоколом (це – дозволена зміна в емісіях, порівняно з базовим роком, у процентах, якщо  $\delta_{KP} > 0$ , то країна повинна знизити емісії до рівня  $x_2 = x_1(1 - \delta_{KP})$ , якщо  $\delta_{KP} \leq 0$ , то країні дозволено, щоб емісії не перевищували значення  $x_2 = x_1(1 - \delta_{KP})$ ),  $x_i$  – оцінка рівня емісій в момент часу  $i$ .

За своїм змістом критична квота – це така квота, для якої верхня межа коридору невизначеності емісій в момент часу  $t_2$  перетинає горизонтальну пряму  $x = x_1$  для випадку зниження емісій. Аналогічно і для випадку зростання: коли нижня межа коридору емісій перетинає горизонтальну пряму  $x = x_1$  в момент часу  $t_2$ . Таким чином, різниця між емісіями на початку та в кінці дорівнює абсолютній невизначеності.

При застосуванні методу розрізняють чотири випадки, залежно від квоти, встановленої Кіотським протоколом, та її співвідношення з критичною квотою. Суть методу полягає в застосуванні величини  $U$ , яку прийнято називати недобором. Тобто, обчислюється нова модифікована квота  $\delta_{mod} = \delta_{KP} + U$ . Таким чином, якщо оцінений рівень емісій нижчий від дозволеного на деяку величину, то знижується ймовірність того, що фактичний рівень емісій перевищує дозволений.

Наприклад, для випадку, коли  $\delta_{KP} > 0$ , і  $\delta_{KP} \geq \delta_{crit}$ , модифіковану квоту

обчислюють за формулою:

$$\delta_{\text{mod}} = \delta_{\text{KP}} + U = \delta_{\text{KP}} + (1 - \delta_{\text{KP}}) \cdot \frac{(1 - 2\alpha)\rho}{1 + (1 - 2\alpha)\rho},$$

де  $\alpha$  – ймовірність того, що фактичний рівень емісії перевищує дозволений.

Для всіх інших випадків, модифіковану квоту обчислюють за формулою:

$$\delta_{\text{mod}} = \delta_{\text{KP}} + U + U_{\text{gap}},$$

де  $U_{\text{gap}}$  називають початковим недобором, який призначений для того, щоб на кінець періоду спостереження можна було верифікувати зміни в емісіях. Він залежить від того, який випадок розглядають.

**Програмне забезпечення.** Описану вище методику аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів та верифікації зобов'язань на національному рівні покладено в основу створеного програмного забезпечення, яке дає можливість:

знаходити модифіковані квоти для країн, залежно від квот, встановлених Кіотським протоколом, невизначеностей інвентаризацій та допустимого рівня ймовірності  $\alpha$  ;

порівнювати наявний рівень емісії з бажаним (згідно з цією методикою);

проводити аналіз невизначеностей та оцінювати необхідний рівень емісії для різних рівнів невизначеності.

Вхідними даними для програми є результати інвентаризації парникових газів на національному рівні за два роки (базовий рік та рік, для якого проводять обчислення), їх невизначеності, а також – квоти, встановлені Кіотським протоколом. Для початку слід сформувані базу вхідних даних у таблиці Excel. Потім програма імпортує дані з цієї таблиці, використовуючи розроблений метод проводить необхідні обчислення та експортує дані в таблицю Excel. На основі цих даних проводиться аналіз результатів.

Алгоритм роботи програми полягає в почерговому застосуванні методики, до кожної з країн. Тобто для кожної країни, враховуючи квоту, встановлену Кіотським протоколом, та рівень невизначеності, обчислюється необхідний недобір. Потім цей недобір зіставляється з фактичним значенням (параметр  $DTI$  – від англ. *Distance to target indicator*). На основі отриманих таблиць Excel можна аналізувати отримані результати та досліджувати вплив невизначеності на бажані рівні емісії для різних країн.

**Вплив невизначеності на результати інвентаризацій на національному рівні.** Розглянуту методику та програмне забезпечення застосовано для аналізу невизначеностей інвентаризації в країнах Європейського Союзу, а також зіставлено отримані результати з результатами для України. Для цього використано дані про інвентаризацію парникових газів для Євросоюзу [9] та України [10] за 2002–2004 рр. Слід зауважити, що для таких країн, як Кіпр та Мальта, Кіотським протоколом не встановлено обмежень на емісії парникових газів, оскільки вони не входять до групи країн-учасників Протоколу. Таким чином, розрахунки для цих країн не проводились. Відповідно, під Європейським Союзом слід розуміти склад Європейського Союзу після 2004 року, після набуття членства 10-ма країнами, не враховуючи Кіпр та Мальту. В [9] та [10] наведено інформацію про невизначеності національних інвентаризацій для більшості країн. Ці дані теж використано як вхідні дані для програми. Проте, такі країни, як Естонія, Литва, Люксембург та Португалія не звітували про невизначеності в 2004 р., тому для цих країн було зроблено припущення, що невизначеність інвентаризацій в них становить 10%. Для деяких інших країн були дані про невизначеність за попередні роки.

Приклад результатів застосування методики (для рівня ризику  $\alpha$ , що складає 10%) наведено на рис. 2. Світло-сірі смужки відповідають показнику  $DTI$ , який характеризує різницю між дозволеним рівнем емісії та оціненим відносно

емісій за базовий рік. Якщо цей показник більший нуля, то рівень емісій в країні перевищує дозволений Кіотським Протоколом, якщо нижчий, то – навпаки. Необхідний недобір, згідно з описаною методикою, зображений у вигляді темно-сірих смужок.

Таким чином, якщо показник DTI менший ніж необхідний недобір, то це означає, що емісії країни достатньо низькі, притому, навіть враховуючи невизначеність, вона може продавати свою квоту. В протилежному випадку необхідно знижувати емісії, зменшувати невизначеність або купувати квоту в іншій країні.

У 2004 р. емісії 11 країн-членів ЄС були нижчими, ніж лінійна квота для 2004 р. (див. рис. 2). Але, хоча показник DTI для цих країн був від'ємним, не всі країни можуть бути надійними продавцями квот на емісії. Це пов'язано з тим, що з урахуванням невизначеності, емісії деяких країн з певною ймовірністю можуть перевищувати квоту. Так, наприклад, Франція, Швеція та Великобританія демонструють від'ємний DTI, але недобір для цих країн з урахуванням невизначеності має бути нижчим. Решта країн з від'ємним DTI мають достатньо низький рівень емісій. Таким чином, їх емісії з великою ймовірністю нижчі, ніж дозволений Кіотським Протоколом рівень.

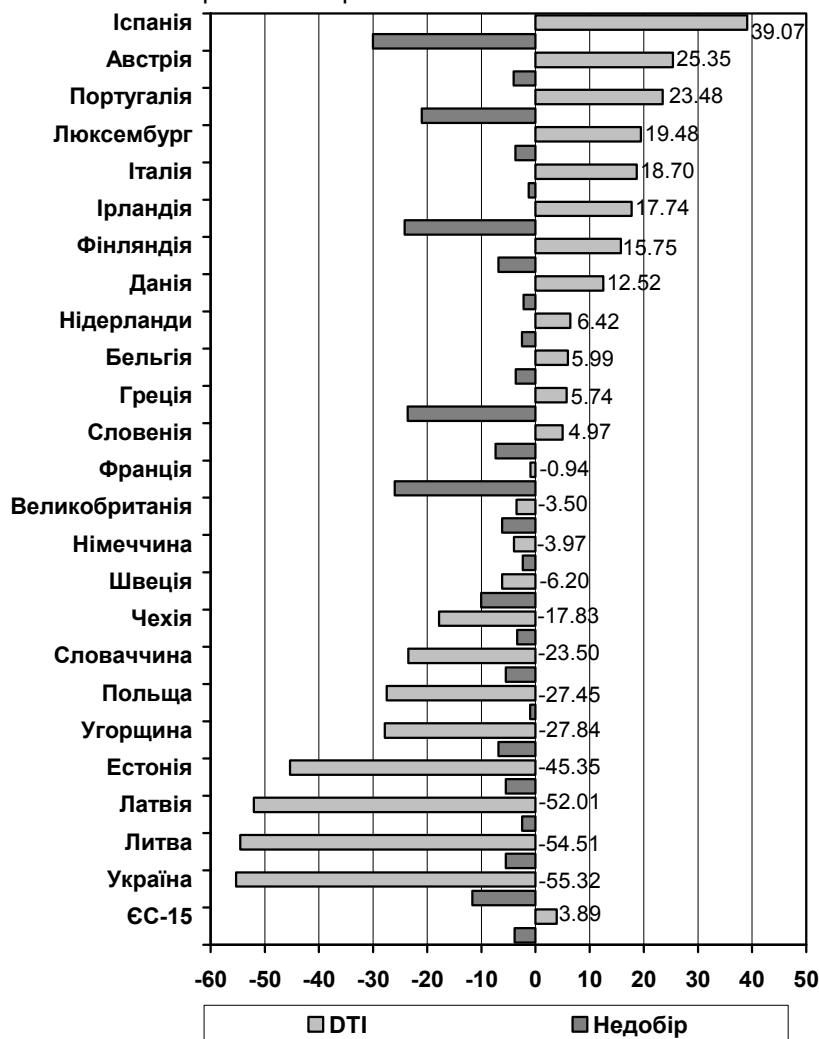


Рис. 2. Бажаний недобір у порівнянні з фактичним значенням показника DTI

Як видно з рис. 2, емісії в Україні значно нижчі встановленої квоти (DTI = 55,5%). Разом з тим, такий показник є найнижчим з усіх проаналізованих країн, і навіть з урахуванням невизначеностей, емісії в Україні є значно нижчими доведеного рівня. Таким чином, за умов збереження поточної ситуації, Україна може продавати значну частину квоти на емісії парникових газів.

На рис. 3 зображено потреби у купівлі квот для країн Євросоюзу за період 2002–2004 рр. та можливості продажу квот для України та тих країн Євросоюзу, емісії яких нижчі доведеного рівня. Білі стовпчики відповідають сумарній кількості викидів, які можуть бути продані в тих країнах Євросоюзу, які можуть продавати свої квоти (тобто їх емісії є нижчими, ніж дозовані). Чорні стовпчики показують сумарну кількість емісій, які потрібно купити у тих країнах, емісії в яких перевищують дозовані рівні. Сірі стовпчики відповідають тій кількості емісій, яку може продавати Україна, у випадку участі у торгівлі квотами на емісії парникових газів.

Як видно з рис. 3, країни Європейського Союзу загалом за період 2002–2004 рр. показували чітку тенденцію до підвищення рівнів викидів парникових газів. Емісії в Україні теж зростали, проте, не настільки сильно. Разом з тим, для Євросоюзу недостатньо внутрішніх програм торгівлі квотами і деяким країнам доведеться купувати квоти від сторонніх країн. Емісії в Україні значно нижчі доведеного рівня, і навіть, з урахуванням невизначеності, вона може продавати значну частину квоти на викиди парникових газів. Лише за рахунок купівлі квоти в Україні, Євросоюз міг би забезпечити виконання умов Кіотського протоколу.

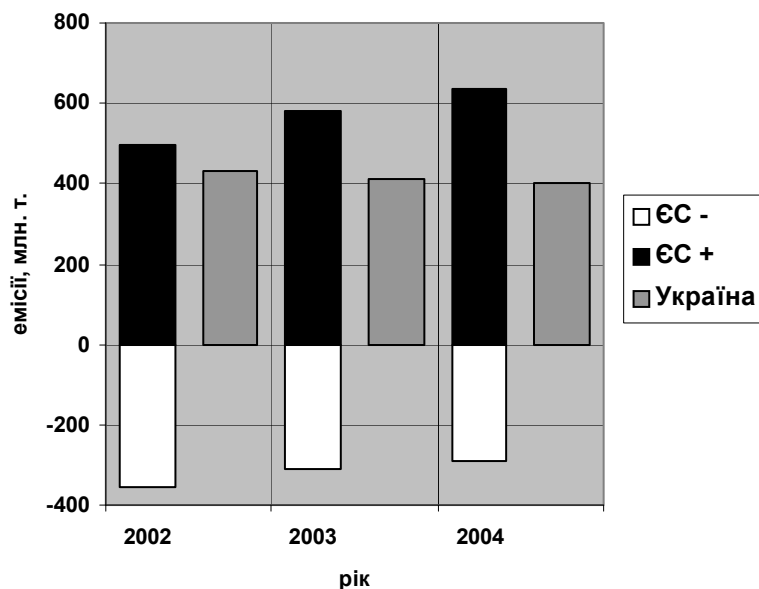


Рис. 3. Потреби в купівлі квот для країн Євросоюзу та можливості продажу

**Висновки.** Створена інформаційна система дозволяє аналізувати невизначеності при інвентаризації парникових газів на національному рівні. У зв'язку з тим, що Кіотським протоколом передбачено врахування невизначеностей, але не прийнято відповідних методик, питання розробки інструментарію для цього є дуже актуальним. На основі даних про інвентаризацію парникових газів на національному рівні проаналізовано емісії в країнах Євросоюзу та в Україні. Виявлено, що не всі країни емісії, яких є нижчими доведеного рівня, з урахуванням невизначеностей, можуть продавати квоти на викиди парникових газів. Показано, що ряд країн, навіть з урахуванням невизначеностей, можуть продавати значну частину своїх квот на емісії парникових газів. Зокрема, Україна може продавати значну частину власної

квоти, яка повністю покриває необхідну для Європейського Союзу квоту.

### Література

1. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.- Vol. 1: Reporting instructions.- Vol. 2: The Workbook.- Vol. 3: Reference Manual.- IPCC, 1996.- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
2. The IPCC software for estimating GHG emissions. IPCC Version 1.1, 1998. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>).
3. Бунь Р.А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів: екосистеми Карпатського регіону / Гори і люди: у контексті сталого розвитку: Матер. Міжнар. конф.- Т.2.- Рахів: КБЗ, 2002.- С. 17-21.
4. Токар О.Є., Густі М.І. Математичні моделі інвентаризації парникових газів в секторі лісового господарства // Інформаційні технології і системи.- 2003.- Т. 6.- № 1-2.- С. 211-217.
5. IPCC: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.- IPCC, 2002.- [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum\\_ru.htm](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.htm)
6. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А.Бунь, М.І.Густі, В.С.Дачук та ін.; За ред. Р.А.Буна.- Львів: УАД, 2004.- 376 с.
7. Jonas M., Nilsson S., Bun R., et al. Preparatory Signal Detection for Annex I Countries under the Kyoto Protocol — A Lesson for the Post-Kyoto Policy Process. Interim Report IR-04-024. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2004. – 91 p. (<http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-04-024.pdf>)
8. Gillenwater M., Sussman F., Cohen J. Practical applications of uncertainty analysis for national greenhouse gas inventories / GHG Uncertainty Workshop. – Warsaw, 2004. – 14 p.
9. Mueller L., Jol A., Barkman A., et al. Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990–2003 and Inventory Report 2005. Technical Report No. 4. European Commission, DG Environment, EEA, Brussels. – ([http://reports.eea.europa.eu/technical\\_report\\_2005\\_4/en/](http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2005_4/en/))
10. Национальный отчет о кадастре выбросов парниковых газов и их поглощения в Украине за 1990–2004 гг.– К: Арена-Эко, 2006.- 270 с.

УДК 621.316

Голенков Г.М., Веремеенко А.В.

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОММУТАЦИОННОГО АППАРАТА С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Рассмотрены коммутационные аппараты и проанализирована работа приводов исполнительных механизмов разъединителей. Предложены конструкция разъединителя, приводом которого является коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с комбинированной обмоткой бегуна, его схема замещения, промоделированы электромеханические переходные процессы коммутатора.

Существующие разъединители [1] имеют ряд недостатков, а именно: недостаточно высокий уровень автоматизации процессов управления разъединителей токоведущих частей, управление по минимуму времени и токосрабатыванию исполнительного механизма. Применение данных коммутационных аппаратов в стесненных труднодоступных местах, а также в агрессивных средах требует дополнительных затрат. Например, защиты от влаги, высокой температуры и т. д.