

УДК 621.35; 65.012

В.М. Ігнатович

ПОБУДОВА ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВОЇ ДІАГРАМИ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПРИСТРОЇВ МЕТОДОМ СХОДЖЕННЯ ВІД АБСТРАКТНОГО ДО КОНКРЕТНОГО

The sequence of actions to build generalized causal diagrams for sealed electrochemical devices, which can be sealed primary and secondary chemical sources of electric power, ultracapacitors, electrochemical sensors and others device based on the specified settings, was described. Diagram allows visualizing the relationship of various factors affecting electrochemical devices and their stability during storage and use. Unlike commonly known causal Ishikawa diagram, chart described in the article was built not for one parameter of a product but built for the product as a whole, the quality of which is characterized by several parameters. In addition, it includes possible causes of modified electrochemical devices during storage and operation. Causal diagram for the product can be used to develop design and technology of electrochemical devices, and to manage their quality during production. Method of diagram constructing in material terms coincides with the philosophy known as method of constructing a theory of complex object of study – the method of ascent from the abstract to the concrete.

Вступ

Високу якість і надійність електрохімічних пристроїв (ЕХП) можна гарантувати лише за наявності відповідної системи забезпечення їх якості, яка включає контроль сировини, контроль якості виконання технологічних операцій, вихідний контроль, випробування, аналіз відмов у процесі зберігання та експлуатації.

Герметичні ЕХП мають низку особливостей, через які створити систему забезпечення їх якості непросто.

Активні речовини електродів ЕХП, як правило, є нестехіометричними сполуками, властивості яких залежать від вихідної сировини, способу отримання і подальшої обробки – хімічної, термічної тощо. До складу електродів, крім активної речовини, можуть входити зв'язуючі, струмопровідні та інші домішки. Параметри електродів залежать не тільки від складу і властивостей компонентів, але й від параметрів процесів приготування активних мас і виготовлення (формування) електродів, від передісторії електрода, зокрема від того, з якою атмосферою і скільки часу він контактував до занурення в електроліт. Якщо електроди пористі, то їх властивості залежать від фракційного складу компонентів і параметрів технологічних процесів їх формування (зокрема, пресування) та обробки (зокрема, термічної). Компоненти електроліту можуть взаємодіяти з речовинами, що входять до складу електродів.

Отже, для забезпечення виготовлення якісних ЕХП недостатньо організувати жорсткий контроль параметрів їх деталей і матеріалів пе-

ред збиранням. Контролювати необхідно також процеси приготування матеріалів і виготовлення електродів.

При організації серійного випуску ЕХП нових типів не можна бути впевненим у тому, що відомі всі можливі побічні процеси, які можуть призводити до поступових відмов пристроїв. Відповідно, важливими є дослідження причин відмов у процесі зберігання та експлуатації, їх узагальнення і вжиття заходів щодо їх недопущення в майбутньому.

Створити систему забезпечення якості ЕХП можна лише на основі чіткого розуміння того, від чого залежать параметри якості, як їх можна контролювати і як на них можна впливати в процесі виробництва.

Для наочного відображення впливу різноманітних факторів на параметри якості ЕХП можна створити імітаційну модель ЕХП. Побудова імітаційної моделі певного об'єкта включає ряд етапів, найбільш складним із яких є етап формулювання, побудови моделі [1], який часто визначають як мистецтво [2] (інтуїтивне мистецтво [3]).

Постановка задачі

Метою статті є представлення послідовності дій з побудови причинно-наслідкової діаграми для герметичного ЕХП і демонстрація її застосування для наочного відображення впливу різноманітних факторів на основні параметри ЕХП і спрощення організації системи управління якістю ЕХП на етапах їх розробки і виробництва.

Розроблення підходу до побудови діаграми

Одним із відомих інструментів управління якістю продукції є причинно-наслідкова діаграма (діаграма Ісікави, діаграма взаємозв'язку характерних факторів, "риб'ячий скелет" [4, 5]).

При побудові цієї діаграми аналізують, від яких факторів залежить певний параметр якості, зображують ці фактори на діаграмі, потім аналізують кожен із "первинних" факторів і т.д.

Найбільш загальні фактори, що впливають на якість виробів (параметр якості), – це обладнання, технологія виготовлення, сировина, виконавець.

Фактор обладнання має такі складові: тип обладнання, що застосовується, ступінь його зношеності (час служби), час, що пройшов від останньої перевірки тощо. Фактор технології виготовлення включає перелік процесів, їх параметри, ступінь автоматизації тощо. Сировина – марка, сорт, постачальник. Виконавець – рівень кваліфікації, відповідальності, втоми тощо.

Особливістю діаграми Ісікави є те, що вона будується для одного параметра якості.

Водночас ЕХП характеризуються трьома основними параметрами якості: напругою розімкнутого кола (U_{pk}) – тим, що в електротехніці називається електрорушійною силою (ЕРС), внутрішнім опором або імпедансом ($R_{вн}$), ємністю Q . Відповідно, для відображення впливу різноманітних факторів на якість ЕХП певного типу слід будувати не одну діаграму Ісікави, а три. Деякі з факторів якості (наприклад, марка активної речовини одного з електродів) можуть впливати на всі параметри якості ЕХП, відповідно, вони будуть включеними в усі три діаграми. Отже, для аналізу впливу різноманітних факторів необхідно відобразити ту обставину, що в різних діаграмах певний фактор є одним і тим же, тобто зобразити певні зв'язки між діаграмами. Параметри ЕХП змінюються в часі при зберіганні та в процесі експлуатації. Відповідно, на діаграмах мають бути відображені причини зміни параметрів і та обставина, що певні процеси викликають зміну кількох параметрів якості.

Це робить об'єднану діаграму дуже заплутаною і складною для осмислення, з чим автор свого часу зіткнувся, коли розпочав будувати діаграму Ісікави для параметрів хімічних джерел струму системи літій–діоксид мангану ($Li-MnO_2$ -ХДС).

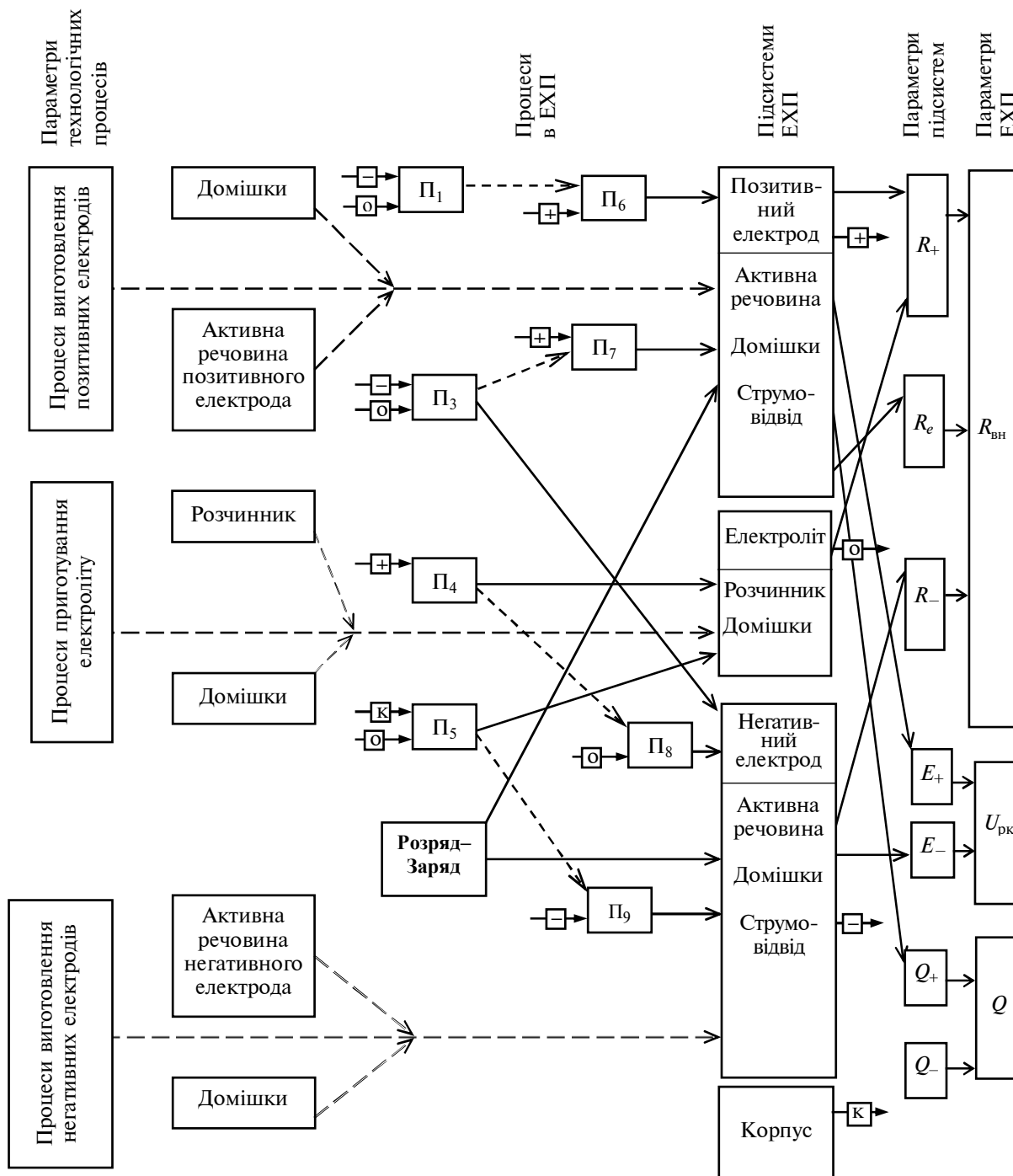
Якраз у той час автор як аспірант-заочник вивчав філософію і проробляв працю К. Маркса "Вступ" з "Економічних рукописів 1857–1858 років" [6]. У розділі цієї праці, що називається "Метод політичної економії", дається короткий виклад методу наукового дослідження, який відомий під назвою сходження від абстрактного до конкретного і який Маркс застосував у своїх дослідженнях капіталістичної економіки. На основі ідеї вказаного методу автором було розроблено спосіб побудови причинно-наслідкової діаграми для параметрів $Li-MnO_2$ -ХДС.

К. Маркс так описує послідовність створення теорії функціонування економіки певної країни. Щоб скласти об'єктивне уявлення про конкретне явище (економіку цілої країни), ми його аналізуємо (виділяємо види виробництв, промислів, торгівлю тощо) й утворюємо ряд абстракцій. Але аналізом обмежитися не можна, оскільки те, що ми виділили шляхом аналізу, в дійсності існує не окремо, а у взаємозв'язку, і лише у певному зв'язку є таким, яким є в дійсності. Щоб скласти цілісну картину економіки, результати теоретичного аналізу необхідно об'єднати в цілісну картину. Таким чином, пізнання конкретного явища включає утворення ряду абстракцій і їх синтез в єдине ціле – теорію конкретного явища. Ми вивчаємо завжди конкретні явища, але конкретне в теорії є синтез абстракцій, які утворюються шляхом аналізу й абстрагування [6, с. 33–41].

Побудова причинно-наслідкової діаграми для $Li-MnO_2$ -ХДС

Наведений вище підхід автор застосував до побудови причинно-наслідкової діаграми для $Li-MnO_2$ -ХДС, яка відображала залежність основних параметрів ХДС від параметрів конструкції, матеріалів, технологічних процесів. На відміну від діаграми Ісікави, вона відображає вплив різних факторів не на один параметр якості певного виробу, а на кілька, нерозривно пов'язаних, які разом всебічно характеризують якість виробу.

Таким же методом можна будувати причинно-наслідкову діаграму для будь-якого ЕХП. Ця діаграма в узагальненому вигляді подана на рисунку. Побудову діаграми можна простежити по рисунку, рухаючись справа наліво – від результату дії чинників – параметрів ЕХП, до причин – параметрів сировини і технологічних процесів.



Узагальнена причинно-наслідкова діаграма для ЕХП

Найбільш абстрактне (бідне за змістом) уявлення про ЕХП таке: ЕХП – це пристрій певної форми і розмірів, який має два струмовідводи і в заданих умовах (температура, тиск, вологість) характеризується певними значеннями параметрів – U_{pk} , $R_{вн}$ (імпеданс), Q . Параметри ЕХП змінюються в процесі розряду

або заряду ЕХП, а також унаслідок протікання небажаних процесів.

Таке абстрактне уявлення про ЕХП становить не тільки початок побудови причинно-наслідкової діаграми. Воно по суті включає всі знання про параметри ЕХП, які необхідні тому, хто використовує ЕХП такого типу у своїх

приладах, а також становить головну частину технічних вимог і технічного завдання на розроблення ЕХП певного типу.

Розробник створює ЕХП, виходячи із заданих значень параметрів ЕХП, а виробник має забезпечити випуск ЕХП з необхідними параметрами.

В ЕХП є чотири складові частини (підсистеми), від параметрів яких залежать його параметри. Це два електроди (позитивний і негативний), електроліт (із сепаратором), корпус. Якщо електроди пористі, то в них можна виділити чотири підсистеми: активну речовину, струмопровідний додаток, зв'язуюче, пористу структуру.

Слід зауважити, що, на відміну від економіки, де між різними галузями межу провести не просто, і розділити їх можна лише уявно, ЕХП дійсно складається (збирається) з частин – електродів, корпусу, сепаратора, електроліту, кожна з яких виготовляється окремо і незалежно від інших.

Параметри ЕХП визначаються параметрами частин ЕХП. $U_{\text{рк}}$ визначається потенціалами позитивного і негативного електродів (E_+ і E_-), внутрішній опір (імпеданс) $R_{\text{вн}}$ – опором електродів і електроліту (R_+ , R_- , R_e), ємність первинного чи вторинного ХДС – ємністю електродів (Q_- або Q_+).

Таким чином, визначивши складники, від яких залежать $U_{\text{рк}}$, $R_{\text{вн}}$, Q (тобто виконавши перший етап аналізу ЕХП), і відобразивши на діаграмі ці складники разом із параметрами, тобто синтезувавши результати аналізу в єдине ціле, отримуємо більш конкретну (більш змістовну) модель ЕХП.

Параметри частин (підсистем) ЕХП (E_+ , E_- , R_+ , R_- , R_e , Q_- , Q_+) визначаються складом і фізико-хімічними властивостями компонентів підсистем, що теж можна відобразити на діаграмі й отримати ще більш конкретну модель ЕХП.

Далі в діаграму включаємо процеси (Π_1 – Π_N), які спричиняють зміну параметрів ЕХП (розрядження і зарядження ЕХП, можливі реакції взаємодії компонентів електродів, корпусу, електроліту, проникання газів і пари в ЕХП тощо), вказуючи, які частини ЕХП беруть участь у реакції і зміну складу (й параметрів) яких підсистем кожна реакція викликає. Діаграма, в яку включені процеси, може відображати результати досліджень причин деградації параметрів ЕХП.

Початкові параметри компонентів електродів і електроліту визначаються початковими параметрами матеріалів і параметрів технології виробництва, що також відображається на діаграмі.

З діаграми, крім того, видно вплив параметрів сировини й технології виготовлення ЕХП на початкові значення параметрів його складників.

Причинно-наслідкова діаграма ЕХП дає можливість попередньо оцінити, в яких напрямках слід проводити їх удосконалення. Якщо ЕХП має низькі початкові значення параметрів, слід головну увагу приділити забезпеченню належних початкових властивостей підсистем ЕХП. Якщо має місце неприпустима деградація параметрів у часі під час зберігання й експлуатації, необхідно вживати заходи щодо дослідження й усунення небажаних процесів.

Причинно-наслідкова діаграма ЕХП дає можливість попередньо оцінити, до яких наслідків можуть призводити ті чи інші зміни параметрів застосовуваних матеріалів і технології їх приготування і попередньо оцінювати перспективність тих чи інших удосконалень.

Слід зауважити, що будь-який складник ЕХП – електроди, електроліт, корпус – може бути описаний з різним ступенем конкретизації (деталізації); з різним ступенем конкретизації (деталізації) можуть бути описані процеси, які протікають в ЕХП.

На основі причинно-наслідкової діаграми ЕХП можна розробляти математичні моделі, які кількісно відображають вплив факторів виробництва на параметри ЕХП, їх чутливість до змін параметрів сировини й технологічних процесів, їх зміну в часі під час зберігання та експлуатації ЕХП.

У свій час, керуючись описаним методом, автор побудував причинно-наслідкову діаграму для Li–MnO₂–ХДС, яка дала змогу наочно представити, до зміни яких параметрів ХДС можуть призводити ті чи інші зміни в застосовуваних матеріалах і технології їх обробки, і попередньо оцінити перспективність тих чи інших удосконалень.

Аналіз діаграми, зокрема, показав, що активна речовина катода, MnO₂, здатна викликати найбільше число побічних процесів. Крім того, було відомо, що його властивості істотно впливають на початкові значення ємності і внутрішнього опору ХДС. Звідси можна зробити висновок, що головним напрямом удоскона-

лення $\text{Li-MnO}_2\text{-ХДС}$ є удосконалення технології отримання активної речовини катода – MnO_2 . Подальші досліді і випробування експериментальних зразків $\text{Li-MnO}_2\text{-ХДС}$ підтвердили правильність такого висновку.

Слід сказати, що свого часу, вирішуючи завдання удосконалення ХДС на початковому етапі їх виробництва (коли технологія ще не була як слід відпрацьована), автор обмежився якісним аналізом отриманої діаграми. Зрозуміло, у випадках, коли кількість можливих побічних процесів у ЕХП невелика, застосовуючи описану діаграму, можна розробляти і математичні моделі для прогнозування надійності ЕХП.

Висновки

Виходячи з абстрактного уявлення про ЕХП як сукупність ряду параметрів, значення

яких залежить від певних причин, і встановлюючи зв'язок цих причин із факторами, які на них впливають, можна скласти причинно-наслідкову діаграму для параметрів ЕХП, яка дає можливість оцінювати вплив різних чинників на якість ЕХП і вживати відповідні заходи з управління якістю ЕХП.

На думку автора, така діаграма на конкретному виробництві для технолога може мати значення не менше, ніж креслення для конструктора.

На завершення автор хотів би із вдячністю згадати свого наукового керівника проф. Л.І. Антропова, його слова про те, що у кожній дисертації має бути якась родзинка, і його оцінку причинно-наслідкової діаграми для $\text{Li-MnO}_2\text{-ХДС}$ як родзинки кандидатської дисертації автора.

1. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 81.
2. *Налимов В.В., Голикова Т.И.* Логические основания планирования эксперимента. – М.: Металлургия, 1981. – С. 120.
3. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – С. 33.
4. *Сиро С.* Практическое руководство по управлению качеством. – М.: Машиностроение, 1980. – 214 с.
5. *Исикава К.* Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
6. *Маркс К.* Вступ // Маркс К. Економічні рукописи 1857–1861 рр. Ч. 1. // Маркс К., Энгельс Ф. Твори. – 46. – К.: Вид-во політ. літе-ри України, 1982. – С. 17–48.

Рекомендована Радою
хіміко-технологічного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
2 жовтня 2013 року