

південній частині. Північна частина слабо переміщується течією в протоці, не дивлячись на те, що ця частина домішки проходить поряд з системою рухомих вихорів, сформованих на виступах берегової лінії. З іншого боку, південна частина домішки потрапляє в зону інтенсивного перемішування в тильній зоні острова, в яку потрапляють рухомі вихори, сформовані з південного виступу острова.

Відзначимо, що розрахунки, засновані на адаптованому методі дискретних особливостей, проходять в режимі, який значно перевищує режим реального часу. Попередні результати адвекції, одержані вказаним вище методом, можуть надати істотну допомогу при формуванні рішень по ліквідації наслідків екологічних аварій в безпосередній близькості до берегових ліній на морі і в океані.

### **3.6 Моделі прогнозування впливу АЕС на навколишнє природне середовище**

*Актуальність.* Атомні станції при експлуатації здійснюють тепловий, радіаційний і хімічний вплив на навколишнє середовище. Викиди станцій можуть бути як постійні, контрольовані, так і аварійні. В атмосферу потрапляють газові й аерозольні забруднювачі, у водойми і ґрунтові води — рідкі скиди, в яких шкідливі домішки наявні у вигляді розчинів чи дрібнодисперсних сумішей. Технологічні води, які містять різноманітні хімічні токсичні речовини (солі важких металів: міді, нікелю, цинку, заліза, марганцю, свинцю, кадмію, кобальту) й радіоактивні компоненти (здебільшого окис тритію-3), потрапляючи із ставка-охолоджувача в поверхневі й ґрунтові води, негативно впливають на флору й фауну навколишніх екосистем. Атомними станціями також можуть виділятися радіоізотопи, основна кількість яких мігрує водним шляхом. У повітря під час запроектованих аварій потрапляють інертні радіоактивні гази, молекулярний йод і органічні сполуки йоду, цезій-134, -137. Градирні й ставки-охолоджувачі, які є потужними джерелами тепла й вологи, значно впливають на зміну мікроклімату. Вітер переносить пилюку й випари на далекі відстані і, залежно від пори року, у різних напрямках. Під впливом постійних чи аварійних дій атомних станцій, а також інших техногенних навантажень відбувається еволюція навколишніх екосистем у часі, накопичуються й закріплюються зміни станів динамічної рівноваги. Навіть незначне, але постійне радіаційне опромінення призводить до втрати популяцій, до зсувів екологічної рівноваги чи життєвих циклів компонент екосистем.

Для регулювання впливу атомних станцій на навколишнє середовище, запобігання несприятливим змінам в екосистемах, а також для направлення змін у сприятливий бік треба регулярно проводити вимірювання параметрів різних складових довікля, яке піддається забрудненням, і на основ цих вимірів прогнозувати їхні значення на майбутнє. Крім того, чорнобильська аварія визначила необхідність моделювання запроектованих аварій, яким до неї приділялося значно менше уваги<sup>27</sup>.

При розв'язанні задач екологічного характеру прогнози за часом можуть бути надкороткотермінові — до 1 року, короткотермінові — до 3-5 років, середньотермінові — до 10-15 років і довготермінові — до кількох десятиліть. Найнадійнішими є короткотермінові прогнози, оскільки вони здійснюються найчастіше, а чим прогноз довготриваліший, тим він менш точний. В екологічному прогнозуванні найбільш потрібні довготермінові прогнози, що пояснюється відносно невеликою швидкістю природних процесів. Тому екологічне прогнозування на віддалене майбутнє є досить складним.

Для прогнозного моделювання впливу діяльності АЕС на навколишнє середовище можна використовувати моделі предметної області і статистичні моделі.

*Мета роботи.* Математичні моделі предметної області є найкращими для прогнозування, оскільки вони використовують залежності, властиві конкретній предметній області, враховують впливи конкретних факторів на екосистему чи її складові. При побудові таких моделей визначаються фактори, від яких суттєво залежить прогноз, і встановлюється їхнє співвідношення з прогнозованим явищем.

*Виклад основного матеріалу.* Для прогнозу поведінки й дослідження змін нестационарних (змінних у часі) об'єктів використовують динамічні моделі. При створенні динамічних математичних моделей формалізація залежностей здійснюється на основі фізичних законів перебігу досліджуваних явищ. У більшості випадків кожному явищу відповідає звичайне диференціальне рівняння першого порядку. Права частина рівняння описує складові частини цього явища. Якщо явище має стохастичний характер, у праву частину рівняння включають відповідні характеристики випадкових процесів. Відповідно до порядку й розмірності моделі задають початкові або граничні умови. Специфіку конкретного

---

<sup>27</sup> 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. — К.: Атіка, 2006. — 224 с. — [http://www.mns.gov.ua/chornobyl/20\\_year/03/n\\_report\\_UA.pdf](http://www.mns.gov.ua/chornobyl/20_year/03/n_report_UA.pdf)

об'єкта моделювання визначають параметри моделі, які розраховуються на основі даних, одержаних при проведенні серії експериментів. Побудована математична модель дає змогу, змінюючи значення окремих параметрів, досліджувати можливу поведінку змодельованої системи і вибрати найсприятливіші варіанти.

Особливість прогнозування стану довкілля полягає в тому, що в більшості випадків доводиться оперувати ймовірнісними й випадковими складовими розвитку процесів. Це зумовлює необхідність постійного вдосконалення побудованої математичної моделі предметної області, а також уточнення інформаційної системи, оптимізації системи спостережень тощо<sup>28</sup>. Складність моделювання і прогнозування параметрів довкілля також пов'язана зі складністю самих екологічних систем, з не завжди адекватним визначенням їхніх суттєвих ознак і законів функціонування.

Для розрахунків розповсюдження протягом незначного періоду (кількох днів) радіонуклідів в атмосфері і їхнього випадання на поверхню землі часто використовують гауссову модель струменя (модель МАГАТЕ)<sup>29</sup>. Ця модель базується на гіпотезі про те, що розповсюдження часток у струмені чи хмарі має розподіл, близький до нормального. Вхідними параметрами для моделі є інтенсивність викиду для кожного з досліджуваних нуклідів, характеристики викиду (ізотопний і фізико-хімічний склад), максимальна висота підйому викиду над джерелом, швидкість сухого випадання аерозольних частинок викиду (яка в загальному випадку може бути різною для різних нуклідів), дані вимірювань найближчої до джерела викиду метеорологічної станції (швидкість і напрям приземного вітру, інтенсивність сонячного освітлення, значення категорії стійкості атмосфери, висота шару перемішування, інтенсивність атмосферних опадів). Модель також враховує наявність відбиття забруднюючої речовини від поверхні землі. При використанні стаціонарної гауссової моделі для опису змінного в часі формування поля радіоактивного забруднення період тривалістю в кілька днів розбивається на інтервали, протягом кожного з яких процес є стаціонарним (передусім щодо метеопараметрів). За допомогою моделі гауссового струменя прогноз розповсюдження радіонуклідів дає хороші результати на відстанях до 10 км залежно від складності рельєфу. Якщо модель вико-

28 Білецька Г.А. Моніторинг довкілля. — [http://lubbook.net/book\\_571.html](http://lubbook.net/book_571.html)

29 Талерко Н.Н. Восстановление параметров чернобыльского выброса по измерениям мощности экспозиционной дозы в г. Припять. // Ядерна фізика та енергетика, 2010, т. 11, № 2. — С. 169–177. — [http://jnprae.kinr.kiev.ua/11.2/Articles\\_PDF/jnprae-2010-11-0169-Talerko.pdf](http://jnprae.kinr.kiev.ua/11.2/Articles_PDF/jnprae-2010-11-0169-Talerko.pdf)

ристовувати для прогнозування на більші відстані, то в кожному конкретному випадку треба провести спеціальне дослідження, яке враховує фізико-географічні особливості місцевості.

У системі прогнозування наслідків аварійних атмосферних викидів КАДО<sup>30</sup>, розробленій в Інституті радіаційного захисту Академії технологічних наук України і впровадженій на Рівненській АЕС, використовується нестационарна модель атмосферного переносу домішок, призначена для розрахунку наслідків можливих аварійних викидів на відстанях до 30 км. На відміну від стандартної моделі Гаусса розсіювання домішок, нестационарна модель атмосферного переносу може застосовуватися в ситуаціях, які характеризуються швидкозмінною динамікою викиду, а також при зміні метеорологічних умов (передусім швидкості й напрямку вітру) у період переносу домішок. Довготривалий нестационарний викид радіонуклідів моделюється послідовністю дискретних викидів через досить малі проміжки часу. Модель атмосферного переносу постійно вдосконалюють, проводять дослідження щодо врахування фізико-географічних особливостей місця розташування Рівненської АЕС — складний рельєф, наявність великих водоймищ, неоднорідність поверхні. Комплекс КАДО, крім моделі розрахунку атмосферного розповсюдження радіоактивного викиду, містить моделі розрахунку доз зовнішнього (модель напівнескінченного просторово однорідного джерела і інтегральну модель радіоактивної хмари) і внутрішнього опромінення населення (розрахунок виконують для кожного радіонукліда, який входить у викид, а також для радіонуклідів, які утворюються в процесі розпаду викиду; база даних системи містить дані більш як про 700 радіонуклідів), а також модуль прогнозування результатів проведення термінових і невідкладних контрзаходів.

На основі спостережень у 1994-2003 роках динаміки зміни концентрацій важких металів по точках відбору проб у воді водоймища-охолоджувача Запорізької АЕС і прилеглої акваторії Каховського водосховища було розроблено математичну модель і створено програмну систему для імітаційного моделювання і прогнозування вмісту важких металів у воді ставка-охолоджувача АЕС при різних технологічних режимах експлуатації, а також при

---

30 Бончук Ю.В. Программный комплекс анализа дозиметрической обстановки при аварийных выбросах АЭС Украины / Ю.В. Бончук, Н.Н. Талерко, А.Г. Кузьменко // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля, 2009, № 12. — С. 30–39. — [http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Pbaech/2009\\_12/c30.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Pbaech/2009_12/c30.pdf)

аварійних ситуаціях природного і техногенного характеру<sup>31</sup>. Дана математична модель повною мірою враховує водогосподарський баланс згідно з нодалізацією (поданням у вигляді скінченного набору зв'язаних розрахункових елементів) системи охолодження Запорізької АЕС. У ній враховано досить багато показників: концентрації важких металів у ставку-охолоджувачі, градирні і бризкальних басейнах, підвідному й скидному каналах ставка-охолоджувача, у воді підживлення зі скидного каналу ЗаТЕС, господарсько-побутових стоках; обсяги ставка-охолоджувача, бризкальних басейнів і градирні; витрати води циркуляційної системи бризкальних басейнів, насосів бризкальних басейнів і насосів градирні, а також витрати води в циркуляційній системі, бризкальних басейнах і градирні за рахунок крапельного винесення і випаровування, витрати води на фільтрацію, підживлення і продувку ставка-охолоджувача. Аналітично модель подано у вигляді системи диференціальних і алгебраїчних рівнянь.

Гідрологічний модуль системи JRODOS (система розробляється з 1992 року в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України)<sup>32</sup> для підтримки прийняття рішень у разі радіаційних аварій моделює ланцюг процесу “випадіння радіонуклідів на поверхню водозбору — змив радіонуклідів з водозбору в річкову мережу — перенесення радіонуклідів у річках у розчині й завислих наносах” залежно від погодних умов і гідрологічного режиму річок під час аварії і в короткий період після неї. Модуль використовує топологію річкової мережі в ГІС-форматі і виконує короткострокове прогнозування на основі двох моделей (змиву радіонуклідів і динаміки розповсюдження радіонуклідів). Модель змиву радіонуклідів з водозборів водним стоком описується формулою, в якій використано емпіричне співвідношення (експоненційна залежність) для прогнозування залежно від часу концентрації радіонуклідів у потоці води. Це співвідношення враховує “швидкий” змив для періодів від однієї доби до кількох тижнів і “повільний” — для періодів від кількох тижнів до кількох ро-

31 Мороз Н.А. Екологічний моніторинг важких металів для забезпечення технологічного регламенту продувки ставка-охолоджувача АЕС (на прикладі Запорізької АЕС): Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. — Севастополь: СНУ ядерної енергії та промисловості, 2006. — 24 с.

32 Бойко О.В. Прогнозування розповсюдження радіонуклідів у річкових басейнах у системі підтримки прийняття рішень під час радіаційних аварій JRODOS / О.В. Бойко, М.Й. Железняк // Екологічна безпека та природокористування, 2012. — С. 26–38 — [http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/Ebtp/2012\\_9/Boyko.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/Ebtp/2012_9/Boyko.pdf)

ків. При проведенні розрахунків за моделлю використовують результати емпіричних досліджень змиву цезію-137 і стронцію-90 з водозборів річок Рейну, Дніпра й Прип'яті. Модель формує часові ряди бічного припливу радіонуклідів, які є граничними умовами при прогнозуванні розповсюдження радіонуклідів. Модель розрахунку динаміки розповсюдження радіонуклідів у річках та природних водотоках включає підмодель динаміки руху води в руслах річок і підмодель перенесення радіонуклідів. Підмодель динаміки руху води в руслах річок розраховує середню швидкість потоку в перерізах русла річки та відповідні рівні і витрати води. Вона має два різновиди: перший базується на розв'язанні повної системи рівнянь Сен-Венана (система гіперболічних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка описує потоки під поверхнею рідини), другий є системою "дифузійної хвилі". Повну систему рівнянь використовують для розрахунків водного режиму з урахуванням впливу на режим річки господарських споруд, таких, як дамби, іригаційні канали тощо. Спрощена система "дифузійної хвилі" базується на рівняннях нерозривності й динаміки, які враховують площу поперечного перерізу русла, витрати води, усереднену по перерізу швидкість потоку, бічний приплив, прискорення сили тяжіння, глибину потоку. Підмодель перенесення радіонуклідів є системою диференціальних рівнянь, яка описує процеси адвекції та дифузії концентрацій радіонуклідів, усереднених за поперечним перерізом річки, концентрацій у завислих наносах та концентрацій у верхньому шарі донних випадіннь. Ця модель враховує безліч параметрів, серед яких: концентрації радіонукліду (наприклад, стронцію-90, цезію-137) у завислих наносах, донних випадіннях, бічному припливі і в завислих наносах бокового припливу, коефіцієнт дисперсії вздовж русла, коефіцієнт розпаду, питомі швидкості сорбції й десорбції і коефіцієнти розподілення в системах "вода — завислі наноси" і "вода — донні випадіння". Вхідними даними для розрахунку динаміки розповсюдження радіонуклідів є: історичні часові ряди спостережень витрат води, які використовують для побудови гідродинамічної моделі; гідроморфологічні дані (ширина й глибина русла річки й основних приток); гідрологічний прогноз або сценарії гідрологічного режиму для періоду моделювання. Результатами розрахунків є витрати, швидкості й рівні води, концентрації радіонуклідів уздовж розрахункової частини річки в розчині, донних випадіннях і в завислих наносах. На основі моделей було проведено розрахунки за сценаріями аварійних викидів з АЕС і змиву радіонуклідів уздовж усієї течії Дунаю, від Німеччини до

України; також виконано прогнозування змиву та розповсюдження радіонуклідів у басейні нижньої течії Вісли (Польща) внаслідок умовних аварій на атомному реакторі польського Інституту атомної енергетики. Крім моделі прогнозування перенесення радіонуклідів водними потоками, система JRODOS містить моделі для прогнозування міграції радіонуклідів у повітряному середовищі, випадінь на водозбори, міграції радіонуклідів у сільськогосподарській продукції, у природних екосистемах, для розрахунку доз внутрішнього і зовнішнього опромінення персоналу й населення в зоні аварії.

Для систематичного моніторингу екологічних показників, оптимізації управління енергоефективністю і забезпечення екологічної рівноваги навколишнього середовища в Чернігівському державному технологічному університеті було розроблено економіко-математичну модель розвитку системи екологічної безпеки промислового підприємства, включаючи й атомні станції<sup>33</sup>. Модель формалізує динаміку техногенного навантаження за наслідками виробничо-господарської діяльності, враховуючи швидкості зміни концентрації шкідливих речовин, нейтралізації викидів, концентрації зусиль щодо усунення деструктивних впливів; швидкості природних втрат зусиль при нейтралізації шкідливих викидів, дії щодо нейтралізації викидів на навколишні території, самооздоровлення навколишніх територій, руйнації екосистеми даними викидами, саморегенерації екосистеми; відношення концентрації зусиль до концентрації забруднення. Аналітично модель подано як систему диференціальних рівнянь. За цією моделлю поведінка виробничо-економічної системи протягом провадження заходів із усунення екологічної шкоди за певний період (часовий інтервал) подається послідовністю розв'язків задач Коші на підінтервалах. Розв'язками є концентрації шкідливих речовин у певному середовищі (повітрі, воді, ґрунті) на території, де розміщене виробництво; концентрація зусиль, спрямованих на ліквідацію шкідливих викидів даного виробництва (це можуть бути інвестиції в розробку нових екологічно-безпечних технологій або побудову очисних споруд); ступінь впливу виробництва на території навколо підприємства; коефіцієнт завданої шкоди.

Моделей предметної області розроблено досить багато. Їхня розробка базується на індивідуальному підході — для кожної

33 Шкарлет С.М. Моделювання наслідків впровадження прогресивних технологічних рішень та оптимізація системи управління енергоефективністю / С.М. Шкарлет, Л.В. Сахневич. — [http://archive.nbuu.gov.ua/portal/soc\\_gum/vcndtu/2011\\_50/5.htm](http://archive.nbuu.gov.ua/portal/soc_gum/vcndtu/2011_50/5.htm)

предметної області будують свою модель, і це пов'язано зі значними матеріальними і часовими затратами.

Статистичні моделі (регресійні, часових рядів і структурні) будують, як правило, на основі досить великих обсягів даних вимірювань. Вони дають можливість виявляти залежність майбутніх значень від минулих у самому статистичному варіаційному ряді і на основі цієї залежності проводити прогнозування. Такі моделі універсальні для різноманітних предметних областей, оскільки їхній загальний вигляд не залежить від природи даних.

Регресійні моделі за типом залежності можуть бути лінійними і нелінійними, а за кількістю незалежних ознак-факторів — описувати залежність однієї кількісної ознаки від іншої  $\bar{y}_x = f(x)$  (одновимірна, парна регресія) або від кількох інших ознак  $\bar{y}_x = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  (множинна регресія). При цьому, якщо треба спрогнозувати значення певного показника залежно від часу  $t$ , то будують рівняння одновимірної регресії  $\bar{y}_t = f(t)$  (функцію  $f(t)$  називають трендом) чи множинної  $\bar{y}_t = f(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$ . Однофакторні моделі придатні для короткострокових прогнозів (на 2–3 роки). Визначення параметрів множинної регресії потребує трудомістких розрахунків із застосуванням комп'ютерів, але одержані результати будуть достовірні і можуть широко використовуватися для складання довгострокових прогнозів.

Для задовільної побудови вибіркового рівняння регресії треба провести досить велику кількість (не менше 50) незалежних вимірювань. Відповідно до закону великих чисел, чим більша кількість вимірювань, тим точніше вибіркова лінія регресії буде відображати досліджувану закономірність. Проте на практиці завжди доводиться оперувати обмеженою і, як правило, невеликою кількістю спостережень. Тому на основі вибірових даних можна одержати лише наближену оцінку теоретичної лінії регресії.

Найчастіше для оцінки граничної теоретичної лінії регресії вибирають многочлени цілих додатних степенів  $\bar{y}_x = a + bx$  (лінійна залежність),  $\bar{y}_x = a + bx + cx^2$  (параболічна залежність),  $\bar{y}_x = a + bx + cx^2 + dx^3$  і т.д. або гіперболічну  $\bar{y}_x = a + \frac{b}{x}$  чи експоненційну  $\bar{y}_x = ae^{bx}$  залежність, для періодичних процесів застосовують гармонічний аналіз (ряди Фур'є). У випадку системи кількох ознак будують рівняння множинної лінійної чи нелінійної (степеневі, показникової, гіперболічної, параболічної, логарифмічної та ін.) регресії.

При аналізі динамічних рядів, які кількісно характеризують



зміну явищ у часі, і проведенні на їхній основі прогнозування подальшого розвитку процесу використовують функції, параметри яких мають конкретну інтерпретацію залежно від характеру динаміки. Так, параметри многочлена  $\bar{y}_t = a + bt + ct^2 + dt^3 + \dots$  характеризують:  $a$  — рівень динамічного ряду при  $t = 0$ ,  $b$  — абсолютну швидкість зміни рівнів (ординат) ряду,  $c$  — прискорення абсолютної швидкості,  $d$  — зміну прискорення. Лінійний тренд  $\bar{y}_t = a + bt$  описує процеси, які рівномірно змінюються в часі і мають стабільні прирости ординат; парабола  $\bar{y}_t = a + bt + ct^2$  описує процеси, характерною особливістю яких є рівноприскорене зростання або зменшення ординат. Чим вищий степінь вибраного многочлена, тим краще він буде наближатися до побудованих за вибірковими даними точок. Але це не завжди означає, що буде одержано хороше наближення до граничної теоретичної лінії регресії, оскільки многочлен буде враховувати не лише закономірні зміни, а й випадкові відхилення (які виникають під дією випадкових факторів) від загальної закономірності, що може призвести до значного віддалення вибіркової лінії регресії від реальної теоретичної лінії регресії. Якщо характерною властивістю процесу є стабільні темпи приросту (відносна швидкість), то він описується експоненційною залежністю  $\bar{y}_t = ae^{bt}$ , де  $b$  — середня відносна швидкість зміни ординати (при  $b > 1$  ордината зростає з постійним темпом, а при  $b < 1$  — зменшується). Якщо з часом ознака змінюється з уповільненням, то використовують гіперболічну залежність  $\bar{y}_t = a + \frac{b}{t}$ .

Вибір форми рівняння регресії є найскладнішим і найвідповідальнішим моментом у регресійному аналізі. Він залежить від характеру вибірових даних, умови задачі, попереднього досвіду дослідника, теоретичних передумов. Так, при встановленні залежності багаторічної динаміки вмісту важких металів у воді ставка-охолоджувача Запорізької АЕС за період 1994–2003 років і проведенні прогнозування (поряд з імітаційною моделлю) в основному було використано многочлени другого порядку (для вмісту солей важких металів: свинцю, кадмію, кобальту, міді, цинку, нікелю, марганцю), а для вмісту заліза у воді — многочлени третього порядку<sup>34</sup>. Прогнози за імітаційною і регресійними моделями збігалися.

34 Мороз Н.А. Екологічний моніторинг важких металів для забезпечення технологічного регламенту продукції ставка-охолоджувача АЕС (на прикладі Запорізької АЕС): Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. — Севастополь: СНУ ядерної енергії та промисловості, 2006. — 24 с.

Щоб у випадку системи двох ознак на основі вибірових даних визначити форму рівняння регресії, треба побудувати кореляційне поле. Якщо задано інтервальний розподіл вибірки (дані згруповані), то для зображення точок кореляційного поля треба побудувати сітку, яка відповідає інтервалам групування, і в кожній клітинці сітки рівномірно розмістити відповідну кількість точок. За скупченнями точок кореляційного поля можна зробити припущення про форму залежності між ознаками. Точнішу картину можна одержати, якщо розрахувати умовні середні значення  $\bar{Y}_x$ , побудувати точки  $(x_i, \bar{Y}_x)$  і з'єднати їх відрізками прямих (утвориться ламана лінія) чи провести "на око" між цими точками плавну лінію. Побудована лінія регресії буде достовірнішою там, де точки кореляційного поля розміщені густіше. У випадку, коли дискретні дані згруповані, то спочатку будують інтервали, а тоді в кожній клітинці сітки рівномірно розміщують відповідну кількість точок. Якщо ж дані незгруповані, то кореляційне поле утворюють точки  $(x_i, y_i)$ . На основі розміщення цих точок можна зробити припущення про лінійні чи нелінійні залежності між ознаками  $X$  і  $Y$ , провівши "на око" між ними лінії.

Після того, як рівняння регресії буде побудовано, правильність вибору регресійної моделі можна оцінити за залишковою дисперсією чи за статистичними критеріями.

На основі побудованого за вибіровими даними рівнянням регресії в подальшому можна розраховувати очікувані значення досліджуваної ознаки при відповідних значеннях фактора (чи факторів). Встановлено<sup>35</sup>, що однофакторні моделі придатні для короткотермінових прогнозів (на 2-3 роки). Визначення параметрів множинної регресії потребує трудомістких розрахунків із застосуванням комп'ютерів, але одержані результати будуть достовірними і можуть широко використовуватися для складання довгострокових прогнозів.

У статистичних моделях часових рядів залежність майбутнього значення від минулого, як у регресійному прогнозуванні, задається у вигляді рівняння. До таких моделей належать: авторегресійні моделі (ARIMAX, GARCH, ARDLM), модель експоненційного згладжування, модель Хольта-Вінтерса та ін. У структурних моделях залежність майбутнього значення від минулого задається у вигляді деякої структури і правил переходу по ній. Такими моделями є<sup>36</sup>: нейромережеві моделі, моделі на базі ланцюгів Маркова,

35 Купалова Г.І. Теорія економічного аналізу / Г.І. Купалова // — 2008. — [http://pidruchniki.ws/17280924/ekonomika/regresiyinyi\\_analiz](http://pidruchniki.ws/17280924/ekonomika/regresiyinyi_analiz)

36 Чучуева И. Модели прогнозирования: общая классификация. — 2012.

моделі на базі класифікаційно-регресійних дерев, генетичний алгоритм та ін. Серед цих моделей найпопулярнішими й широко використовуваними є класи авторегресійних і нейромережових моделей прогнозування. Основним недоліком авторегресійних моделей є велика кількість вільних параметрів, визначення яких неоднозначне і ресурсомістке. Головним недоліком нейронних мереж є складність інтерпретації результатів моделювання. Крім того, ще одним недоліком нейронних мереж є складність вибору алгоритму навчання.

Регресійне прогнозування застосовують досить часто, але, як було сказано, для вибору типу регресії треба спочатку побудувати кореляційне поле, і користувач сам має вибрати тип лінії. Найбільш простим і зручним для застосування є метод лінійної регресії, але він дає велику помилку прогнозу — 20-30%. Прогнозування ж за допомогою часових рядів не потребує від користувача ніяких дій, і це прогнозування можна виконати повністю автоматично, правда, в моделі експоненційного згладжування треба підібрати оптимальні коефіцієнти згладжування ряду, а в методі Хольта-Вінтерса, крім того, ще й коефіцієнти згладжування тренду й сезонності.

Метод експоненційного згладжування дає можливість робити короткотермінові прогнози, а при спробі використати його на великий період будуть прогнозуватися ті самі значення. Метод Хольта-Вінтерса є вдосконаленням методу експоненційного згладжування і використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є сформований тренд і сезонність. Цей метод дає можливість зробити прогноз як на середньотермінові, так і на тривалий період.

*Висновок.* При прогнозуванні впливу АЕС на навколишнє середовище треба розробити ряд математичних моделей для розв'язування задач, пов'язаних із забрудненням повітря, води і землі тепловими, радіаційними і хімічними чинниками. Моделі предметної області, в яких враховують впливи конкретних факторів і використовують залежності, властиві певному досліджуваному явищу, є найкращими для прогнозування, але їхня розробка пов'язана зі значними затратами часу і матеріальних ресурсів, проведенням різноманітних досліджень. Розробка статистичних моделей базується на великих обсягах емпіричних даних, але є значно простішою. Крім того, апарат статистичних методів дає можливість для прогнозування того самого явища на тих самих емпіричних даних побудувати кілька моделей. При цьому кожна математична модель (предметної області чи статистична) незалежно одна від

— <http://www.mbureau.ru/blog/modeli-prognozirovaniya-obshchaya-klassifikaciya>

одної дещо по-своєму буде враховувати закономірності досліджуваного явища.

Оскільки результати прогнозування за будь-якою моделлю не є абсолютними і справджуються лише з певною ймовірністю, то для підвищення їхньої точності розрахунки можна виконувати за допомогою кількох моделей, а потім сформулювати остаточний прогноз.

### **3.7 Використання методів побудови різницевих сіток для моделювання наслідків техногенно-природних катастроф**

*Актуальність.* Переважна більшість явищ та процесів, які потребують вивчення для підвищення екологічної безпеки країни, досліджуються за допомогою математичних моделей. Це пояснюється тим, що виконання натурних експериментів вимагає значних матеріальних чи часових затрат, або є небезпечним, оскільки може викликати серйозні негативні наслідки у випадку провалу експерименту, чи, навіть, неможливим. Згадані математичні моделі використовують, в залежності від області застосування, закони фізики, хімії, математики тощо. Наприклад, прогнозування зміни якості повітря, яка пов'язана як з природними явищами, так і з антропогенним впливом, потребує дослідження розповсюдження забруднювачів у атмосфері і визначається такими фізичними та хімічними процесами, як конвективне перенесення, дифузія, випадіння домішок та проходження хімічних реакцій. Зважаючи на складність цих процесів, для їх опису можна використовувати різні моделі, які відрізняються точністю, просторовими та часовими масштабами, врахованими параметрами тощо. Зазвичай для моделювання таких складних процесів використовуються диференціальні рівняння у частинних похідних або їх системи з деякими початковими та крайовими умовами.

*Постановка задачі.* В залежності від конфігурації області визначення, виду диференціального рівняння в частинних похідних, преференцій розробника тощо використовуються різні методи розв'язування. Серед них слід відзначити два сімейства методів: скінченних різниць<sup>37</sup> (МСР) та скінченних елементів<sup>38</sup> (МСЕ). В них обох для знаходження результату необхідно виконати деяку послідовність дій, а саме: побудувати сітку; замінити диференціальні рівняння на систему або системи алгебричних рівнянь; розв'язати

<sup>37</sup> Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука. – 1978. – 592 с.

<sup>38</sup> Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов — М.: Мир, 1979. — 392 с.