

Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу

Приняті дисертація і її зміст  
за рішенням іменної комісії.  
Вчений секретар / Колеснік В.Ф. / На правах рукопису  
Голова секції / Селічук Л.М. /  
02.07.15р. Клапоущак Оксана Ігорівна



УДК 004.9:556.16

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ  
ШЛЯХОМ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
доктор технічних наук,  
професор Заміховський Л. М.



d557

Івано-Франківськ – 2015

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	4
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД.....	12
1.1. Вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля, причини виникнення паводкових вод, контроль та прогнозування їх рівня.....	12
1.1.1. Вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля .....	12
1.1.2. Причини, класифікація та статистика виникнення паводкових вод .....	16
1.1.3. Прогнозування паводкових вод: гідрологічне, гідрометеорологічне та метеорологічне .....	24
1.2. Аналіз існуючих методів і моделей прогнозування рівня паводкових вод .....	26
1.3. Аналіз апаратних засобів та АІВС контролю рівня паводкових вод .....	30
1.4. Обґрунтування і вибір напрямку дослідження.....	33
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД.....	35
2.1. Розроблення прогностичної схеми підняття рівня паводкових вод .....	35
2.2. Математичне моделювання процесу розвитку паводку та вибору вагомих факторів для прогнозування рівня паводкових вод.....	43
2.3. Математичний апарат прогнозування рівня паводкових вод .....	52
Висновки до розділу 2 .....	58
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД.....	59
3.1. Методика збору та обробки статистичних даних про паводок.....	59

3.2. Обробка статистичних даних про розвиток паводку, які одержані з гідрометеорологічних станцій басейнів річок Тиса, Прут, Дністер та Латориця .....	61
3.2.1. Виявлення вагомих факторів впливу на розвиток паводку... 61	61
3.2.2. Побудова апроксимуючих кривих рівня паводкових вод..... 67	67
3.3. Розроблення методу прогнозування рівня паводкових вод .....	81
3.4. Дослідження оцінок адекватності моделі та точності прогнозування.....	83
Висновки до розділу 3 .....	93
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД.....	94
4.1. Розроблення структурної схеми системи контролю рівня паводкових вод .....	94
4.2. Обґрунтування і вибір апаратних засобів для побудови системи контролю рівня паводкових вод .....	95
4.3. Розробка нижнього рівня системи контролю рівня паводкових вод .....	101
4.4. Розробка верхнього рівня системи контролю рівня паводкових вод .....	108
4.5. Розташування гідропостів системи контролю рівня паводкових вод “Flood_2015” .....	115
Висновки до розділу 4 .....	119
ВИСНОВКИ .....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	122
ДОДАТКИ.....	142

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПВ – Паводкові води

АІВС – Автоматизована інформаційно-вимірювальна система

ГІС – Геоінформаційні системи

ГТС – Гідротехнічні споруди

АКСОН – Автоматизована комп'ютерна система оповіщення населення

ДЗЗ – Дистанційне зондування Землі

БЛВУМГ – Богородчанське лінійно-виробниче управління

магістральних газопроводів

ЗСО – Зона санітарної охорони

СНиП – Строительные нормы и правила

ЦЗІ – Центр збору інформації

МНС – Міністерство надзвичайних ситуацій

Держгідромет – Державна гідрометеорологічна служба України

UNESCO – The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

ПЗ – Програмне забезпечення

ГДК – Гранично допустимі концентрації

ВУВКГ – Виробниче управління водно-каналізаційного господарства

АЗС – Автозаправні станції

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У середньому за рік на річках Прикарпаття проходять 2-3 паводки із виходом за межі заплави і повені, а раніше катастрофічні підвищення рівнів річок ставались раз на 11-16 років (1911 р., 1927 р., 1941 р., 1955 р., 1969 р., 1980 р.) на території України і за кордоном, а саме: Китай; Велика Британія; Іспанія; Франція; Італія; Чехія; Польща та Німеччина.

Недостатня і несвоєчасна прогнозованість про рівень розвитку повеней (водопілля), паводків і селевих потоків, а також відсутність сучасного, повноцінного та цілісного захисного комплексу призводять до щорічних збитків у аграрному, промисловому та соціальному секторах економіки, а також людських жертв (30 чол. у 2008 р., Україна). При цьому середньорічні збитки від затоплення територій у 1995-1998 роках склали 899,3 млн. грн., 1999-2007 роках – понад 1500 млн. грн., а у 2008 році – близько 6 млрд. грн., 2009 р. – 6 млрд. грн., середньорічний збиток від паводків у 2010 р. склав 170 млн. грн. (Web-Portal of Ukraine Government і РБК-Україна). Згідно даних Урядового порталу, сумарні збитки від паводків у Карпатському регіоні (Закарпатська обл.) за останні 20 років становлять майже 5 млрд. грн.

Підвищення рівня річок у період паводків призводить до негативного впливу на довкілля, а саме: розмиву сховищ для зберігання хімічних речовин, контейнерів для зберігання нафтопродуктів на АЗС, забруднення колодязів питної води, змиву родючого ґрунтового шару та створення небезпечних умов для розвитку епідеміологічної ситуації (ракові захворювання, висипи, отруєння). Паводки впливають на постачання продовольства, стан житла, захоплюють земельні угіддя, що спричиняє ерозію ґрунтів, знищення сільськогосподарських угідь та посівних площ, спричиняють неполадки у іригаційних та водопостачальних системах.

Вагомий внесок у вирішення проблеми контролю і прогнозування рівня паводкових вод, з метою забезпечення екологічної безпеки довкілля, зробили у своїх наукових працях українські вчені Волошкіна О. В.; Заміховський Л. М.;

Лук'янець О. І.; Петрук В. Г.; Приймаченко Н. В.; Семчук Я. М.; Скакун С. В.; Сусідко М. М.; Ошуркевич О. Є. і ін., а також зарубіжні вчені Сологаєв В. І., Варшанина Т. П., Рогалев В. А., Дикарев В. И., Заренков В. А. (Росія); Moss Ian, Tremblay Robert (Canada); Sadamichi Shigemi (Japan); Ran Qihua, Wang Zhenyu, He Zhiguo; Hu Yizhi (China); Victor Fernandes Cavalcante, Bruno Da Costa Flach, Maira Athanzio de Cerqueira Gatti, Ricardo Guimaraes Herrmann, Kiran Mantripragada, Marco Aurelio Stelmar Netto, Lucas Correia Villa Real, Paula Aida Sesini, Cleidson Ronald Botelho De Souza; Bianca Zadrozny (USA); Ward R. C. (UK).

Щодо існуючих автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (АІВС), то контроль за рівнем води річок у період паводкових вод здійснюється системою “ТИСА”, “Прикарпаття”, комп'ютерною системою з автономними давачами, системою “АКСОН”, акустичною системою контролю рівня води річок, інтелектуальною системою прийняття рішень при прогнозуванні повеней та комплексною системою загальнонаціонального протиповеневого моніторингу (вказані системи розроблені в Україні), а також автоматизованою системою управління повенями (Нігерія), Flood Observatory System, the National Center for Atmospheric Research Front Range Flash Flood Prediction System (Малазія). Не дивлячись на ряд існуючих систем контролю і прогнозування рівня паводкових вод, вони не знайшли широкого практичного застосування через низьку ефективність, значну вартість та не врахування водно-фізичних властивостей ґрунтів.

Тому актуальною є задача контролю та прогнозування рівня паводкових вод з метою попередження або зменшення можливих збитків у аграрному, промисловому та соціальних секторах економіки від їх негативних наслідків.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний зміст роботи складають результати наукових розробок та експериментальних досліджень, які проводились у 2011-2015 рр. на кафедрі комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Автор приймав участь у виконанні держбюджетної тематики “Методологічні засади побудови систем

управління, діагностування та енергозберігаючих систем частотного управління електроприводом для об'єктів нафтогазового комплексу”, розділом якої є розробка системи моніторингу стану довкілля (державний реєстраційний №0112U006554).

**Метою роботи** є забезпечення екологічної безпеки шляхом контролю і прогнозування рівня паводкових вод методами математичного моделювання та розробленням комп'ютеризованої інформаційної системи.

**Задачі досліджень:**

- проаналізувати вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля;
- проаналізувати сучасний стан моделей і методів прогнозування рівня паводкових вод, а також технічних засобів їх контролю;
- розробити теоретичні передумови методу прогнозування рівня паводкових вод;
- розробити математичну модель прогнозування рівня паводкових вод;
- розробити технічні та програмні засоби для контролю за підняттям рівня води річок у період паводків;
- провести апробацію методики прогнозування рівня паводкових вод та розробленої системи для контролю їх рівня.

**Об'єкт досліджень:** вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля.

**Предмет досліджень:** методи і засоби контролю і прогнозування рівня паводкових вод.

**Методи дослідження.** Дослідження проведено із застосуванням методів математичного аналізу (для виявлення вагомих факторів впливу на рівень підняття паводкових вод), апроксимаційних методів (для прогнозування рівня паводкових вод), методів імітаційного моделювання та математичної статистики (для перевірки адекватності моделі та точності прогнозування), методів теорії диференціальних рівнянь (для виведення рівнянь розвитку паводку), а також методів схемо-і системотехніки та залученням програмних продуктів фірми Siemens Step-7 та WinCC v7.0 SP1 (для розробки системи контролю рівня паводкових вод “Flood\_2015”).

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

– вперше розроблено метод прогнозування рівня паводкових вод, що у порівнянні з існуючими надає інформацію про критичні значення рівня паводкових вод та їх тривалість, кількість атмосферних опадів та вологості ґрунтів досліджуваного басейну річки;

– вперше розроблено математичну модель прогнозування рівня паводкових вод на основі побудови кривої прогнозу зміни рівня води річок у період паводків у часі із визначеним допустимим рівнем води річок у точці прогнозу, що, у порівнянні з відомими моделями, дозволяє визначити момент часу, з якого починається формування рівня паводкових вод та їх тривалість;

– дістав подальший розвиток метод асоціативного аналізу для виявлення вагомих природних факторів впливу на підняття рівня паводкових вод, що дозволило підвищити точність прогнозування паводків і забезпечити екологічну безпеку довкілля;

– вперше розроблено архітектуру системи контролю рівня паводкових вод (її нижній рівень), яка, в порівнянні з відомими, дозволяє отримувати у режимі реального часу величини кількості атмосферних опадів, вологості ґрунтів та рівня води річок, а також порівнювати останні, з їх середніми та критичними значеннями у період паводків.

### **Практичне значення одержаних результатів:**

– розроблено метод прогнозування рівня паводкових вод та програмне забезпечення для його реалізації, що дозволяє отримати оперативні дані про зміну рівня паводкових вод у заданий момент часу;

– розроблені верхній та нижній рівні системи контролю рівня паводкових вод “Flood\_2015”. Нижній рівень системи контролю рівня паводкових вод дозволяє нормувати аналогові сигнали з давачів (рівня води, кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів) для подальшого їх аналізу. Верхній рівень системи – це людино-машинний інтерфейс SCADA WinCC, який відображає стан контрольованих величин (графічне подання, архівування та вивід аварійних повідомлень).

Апробація розроблених технічних засобів контролю рівня води проведена



в умовах Долинського виробничого управління водоканалізаційного господарства. Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальних курсах дисциплін “Основи наукових досліджень та технічної творчості” і “Формалізація та моделювання систем” на кафедрі комп’ютерних технологій в системах управління та автоматики Івано-Франківського національно-технічного університету нафти і газу.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно [39, 63, 64, 66, 124, 130]. У роботах, опублікованих у співавторстві: досліджено існуючі АІВС, пристрої, методи та моделі прогнозування і контролю рівня паводкових вод [65]; розроблено прогностичну схему підняття рівня паводкових вод [88]; проведено математичне моделювання фільтраційних процесів у задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод [98, 99, 100, 101, 102, 103]; здійснено прогнозування кількості атмосферних опадів [110, 111, 112]; розроблена методика дослідження максимальних витрат води у період повеней чи паводків та поверхневого стоку [93, 94]; розроблені структурні схеми та інформаційно-вимірювальна система для моніторингу паводкових вод [136, 137, 141]; досліджено вплив паводкових вод на повітряні переходи магістральних газопроводів [7]; розроблена методика виявлення впливу вагомих факторів на рівень паводкових вод та побудовані апроксимуючі криві їх прогнозу [114, 118, 121, 122, 129]; проведені статистичні дослідження взаємозв’язку даних (кількості атмосферних опадів, швидкості вітру та дефіцит вологості повітря) метеорологічних станцій та даними рівня води річок [124]; проведено дослідження адекватності моделі прогнозування рівня паводкових вод та точності прогнозу [132, 133].

**Апробація результатів досліджень.** Результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: VI Міжнародній науково-технічній конференції і виставці “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, Україна, 2011 р.); VI Всеукраїнській науково-практичній конференції “Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці” (м. Луганськ,

Україна, 2012 р.); XI Міжнародній конференція “Контроль управління в складних системах (КУСС-2012)” (м. Вінниця, Україна, 2012 р.); VII Національній науково-технічній конференції “Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2012” (м. Київ, Україна, 2012 р.); VIII International research and practice conference “Scientific and technical progress of the XXI century” (м. Донецьк, Україна, 2012 р.); XVI International Conference “Dynamical System Modeling and Stability Investigations” (DSMSI-2013) (м. Київ, Україна, 2013 р.); VII Всеукраїнській науково-практичній заочній конференції “Наука України: перспективи і потенціал” (м. Одеса, Україна, 2013 р.); Всеукраїнській науковій конференції “Математичне моделювання та математична фізика” (м. Кременчук, Україна, 2013 р.); IX Міжнародній-науково практичній конференції “Розвиток наукових досліджень"2013” (м. Полтава, Україна, 2013 р.); X Mezinárodní Vě Decko – Praktická Konference “Moderní Vymoženosti Vědy – 2014” (t. Praha, the Czech Republic, 2014 р.); X Международной молодежной научно-технической конференции “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2014” (г. Севастополь, Украина, 2014 р.); XXIV Всеукраїнській науковій конференції аспірантів та студентів “Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів” (м. Донецьк, Україна, 2014 р.); конференции “Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития‘2014” (г. Иваново, Россия, 01-12 октября 2014 г.); конференции “Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте‘2014” (г. Иваново, Россия, 16-26 декабря 2014 р.); 7 Міжнародній науково-технічній конференції і виставці “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, Україна, 2014 р.) та найшли відображення в каталозі перспективних винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій Галицьких кмітливців (м. Івано-Франківськ, Україна, 2013 р.).

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 31 роботу, з яких 6 (3 – одноосібні) – у виданнях, включених до

фахових видань України; 8 – у закордонних журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus, IndexCopernicus, American Chemical Society, РИНЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, CiteFactor; 17 публікацій у збірниках матеріалів (доповідей) всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференцій.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Об'єм дисертації – 161 сторінка, у т.ч. 5 додатків на 20 сторінках. Дисертація містить 48 рисунків, 14 таблиць та 143 посилання на літературні джерела викладені на 20 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ  
ПАВОДКОВИХ ВОД

## 1.1. Вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля, причини виникнення паводкових вод, контроль та прогнозування їх рівня

## 1.1.1. Вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля

Паводки та повені – стихійні лиха, які трапляються набагато частіше, ніж екстремальні природні явища, вони відбуваються як на постійних, так і тимчасових водотоках.

Здійснивши оцінювання наслідків стихійних лих для життєдіяльності людей, фахівцями з екології встановлено, що внаслідок природних катастроф щодня гине у середньому 184 особи, а щороку – кілька тисяч людей (внаслідок катастрофічного паводку 1998 р на Закарпатті загинуло 17 чол., а паводок 2008 р. забрав життя 30 чол.). 90 % стихійних лих поділяються на 4 типи: тропічні циклони (20 %), повені (40 %), землетруси (15 %) та засухи (15 %) [1].

Згідно інформації UNESCO World Water Assessment Programme виділяють наступні небезпеки (рис. 1.1), які викликані водною основою [2].

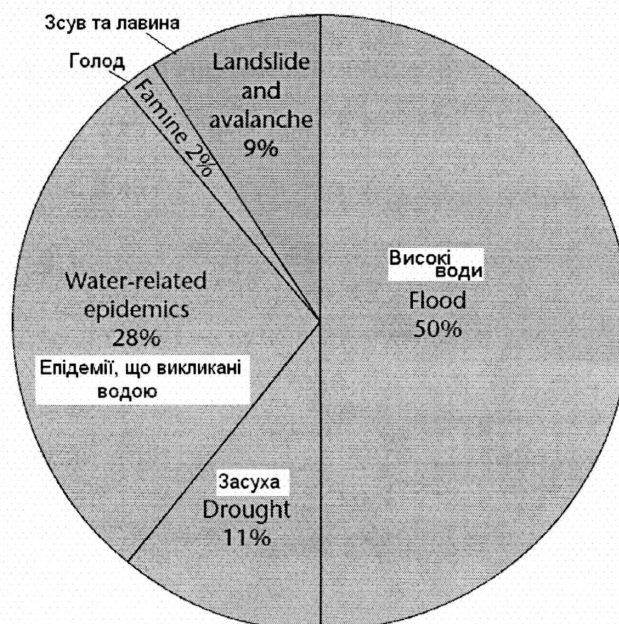


Рис. 1.1 Класифікація небезпек, які спричинені водною стихією

З рис. 1.4 випливає, що за даними міжнародної організації UNESCO найбільший відсоток природних уражень, які викликані водною основою припадає саме на високі води (flood) – 50 % [2, 3], які, у свою чергу, спричинені паводками і повенями.

У [4] сірим кольором показано області (Івано-Франківська, Львівська, Тернопільська та Чернівецька, Хмельницька та Вінницька) Карпатського регіону, які найбільше піддаються впливу паводковим водам (рис. 1.2).



Рис. 1.2 Карта-схема територій, які піддаються впливу паводкам та повеням

Щодо, Івано-Франківської обл., то на рис. 1.3 показано зони затоплення р. Дністер території паводками різної забезпеченості [5].

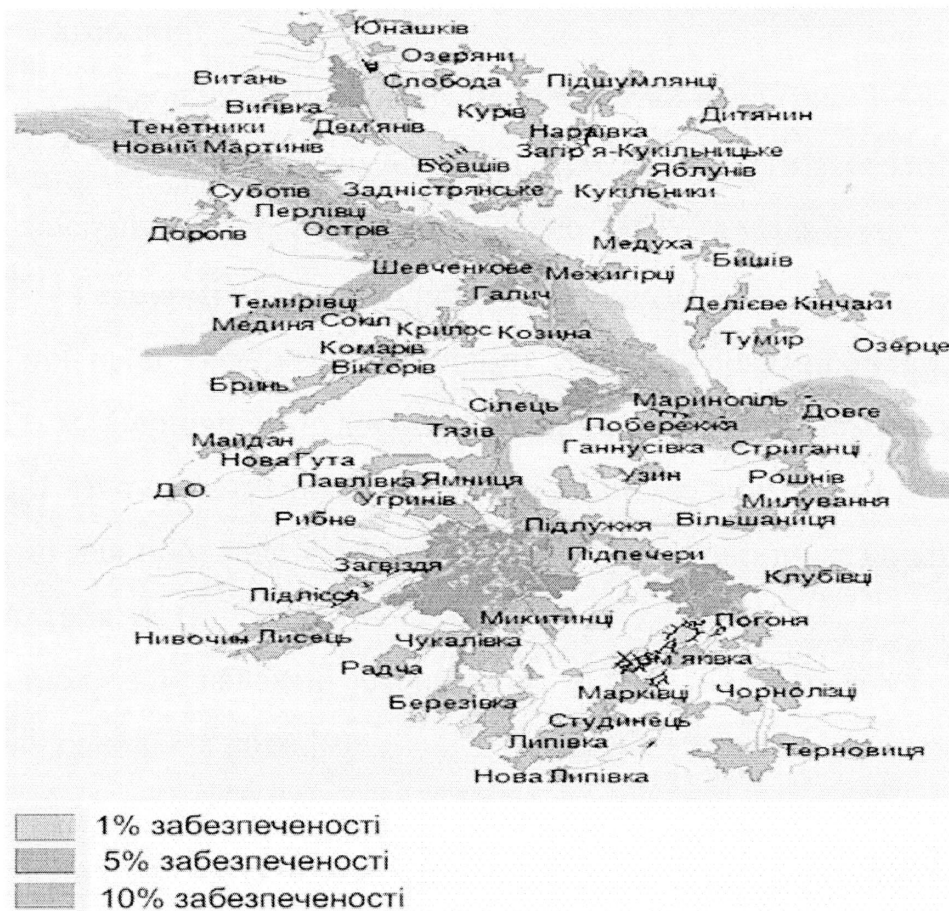


Рис. 1.3 Затоплення території Івано-Франківської області

Фактори небезпек, які спричинені паводковими водами [6]:

– первинні – фізичне руйнування:

– руйнування будинків та будівель, мостів (паводок 1998 р.

знищив 40793 житлових будинків, пошкоджено 48 мостів; паводок 2008 р. на території Львівської, Закарпатської, Тернопільської, Чернівецької та Івано-Франківської областей підтопив 40601 житловий будинок, знищив 921 міст);

– руйнування переходів магістральних газопроводів. Згідно даних

Богородчанського лінійно-виробничого управління магістральних газопроводів 40 % (50 % припадає на корозію, 10 % технічне обслуговування і людський фактор) руйнувань переходів магістральних газопроводів, що викликані паводковими водами [7];

– розмив залізничних та автомобільних доріг (паводок 1998 р.

зруйнував 3,1 км залізничних доріг, а за липневий паводок 2008 р. розмито 680,61 км автомобільних доріг);

- вторинні:
  - водопостачання: забруднення питної води (рис. 1.4);
  - урожаї та забезпечення їжі, що можуть бути втрачені через знищення посівних площ (2008 р, підтоплено 33882 га угідь);
  - економічні збитки (табл. 1.1).

На прикладі середньобогаторічних значень показників якості води р. Прут вище м. Чернівці [8], досліджено динаміку зміни показників якості р. Прут (рис. 1.4): сульфатні та хлоридні іони, іони магнію та азот нітритний – 10. Вихідні дані для побудови графіків зміни гідрохімічних показників наведено у Додатку А, табл. А.1.

У табл. 1.1 наведені економічні збитки Карпатському регіону, які спричинили паводкові води [9].

Таблиця 1.1

**Збитки, нанесені паводками Карпатському регіону, млн. грн**

Область	Роки				Сума збитків
	Збитки				
Івано-Франківська	1991 – 1995	1996 – 2000	2001 – 2002	2003 – 2005	845,49
	32,55	153,35	121,87	113	
Закарпатська	1996 – 1997	1998	1999	2001	495,8
	16,5	350,0	6,5	18,1	
Чернівецька	2002	2005	2006		50,35
	2,84	20,0	14,8		

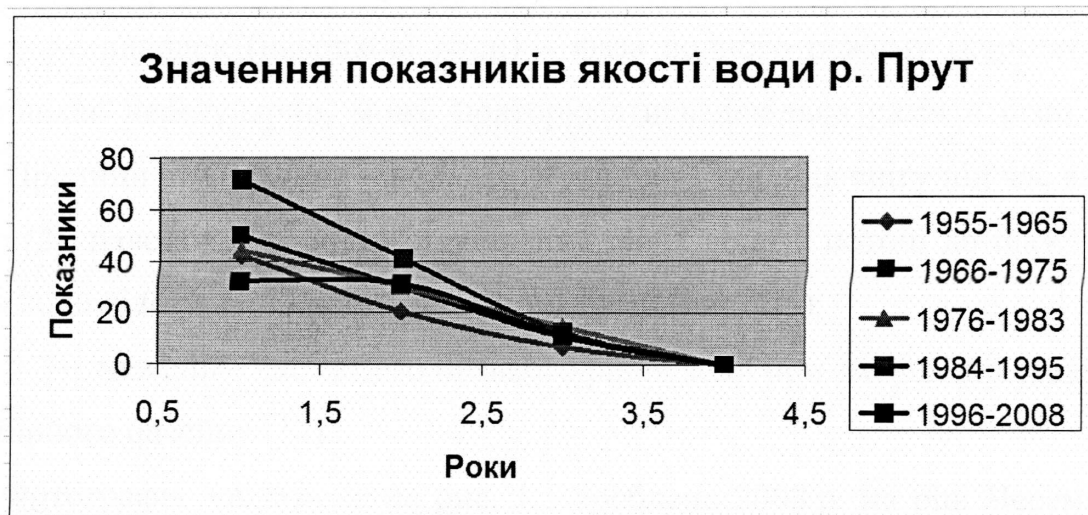


Рис. 1.4 Динаміка зміни показників якості води р. Прут

Згідно [10], ГДК гідрохімічних показників (мг/дм<sup>3</sup>) для водойм господарсько-побутового використання становлять: сульфатні іони – 500; хлоридні іони – 350; іони магнію – 50 та азот нітритний – 10. Аналіз отриманих графіків зміни показників якості води дозволив сформулювати наступні висновки: показники якості води р. Прут у досліджувані періоди не перевищували норми ГДК, проте найвищим показником у період 1996-2008 р. є іони сульфату, що в питній воді погіршують якість води, особливо її смак.

На завершення слід зазначити, що основною причиною зміни показників питної води є висока повторюваність природних катаклізмів (паводків, повеней та селей).

### **1.1.2. Причини, класифікація та статистика виникнення паводкових вод**

Перші згадки про надзвичайні ситуації природного характеру в Карпатському регіоні згадуються в Іпатіївському та Галицько-Волинському літописах під 1146-1148 роками, 1164 р. (р. Дністер – м. Галич) та 1230 р.

Згідно [11], виділяють наступні фази водного режиму, що спричиняють природні катаклізми, а саме:

- повінь (водопілля) – фаза найбільшої водності із високим та тривалим підвищенням рівнів, що повторюється щорічно в один і той же сезон. Тривалість повені від декількох днів до 4-5 місяців, причини настання – танення снігу та випадання мусонних дощів;

- паводок (паводкові води) – фаза водного режиму (короткочасна), що виникає нерегулярно, може повторюватись декілька разів в різні сезони року. Причини виникнення – випадання дощів та танення снігу під час відлиг, а згідно [2], паводок – коротке підвищення рівня води в потоці до піку, з якого рівень води відступає з повільнішими темпами (рис. 1.5);

- межень – час самого низького рівня води при зменшенні стоку з водозбірного басейну [12].

Фотографія зображена на рис. 1.5 зроблена 2008 р. на ріці Черемош, на ділянці, де розміщені повітряні переходи магістральних газопроводів, які



обслуговуються Богородчанським лінійно-виробничим управлінням магістральних газопроводів (БЛВУМГ).

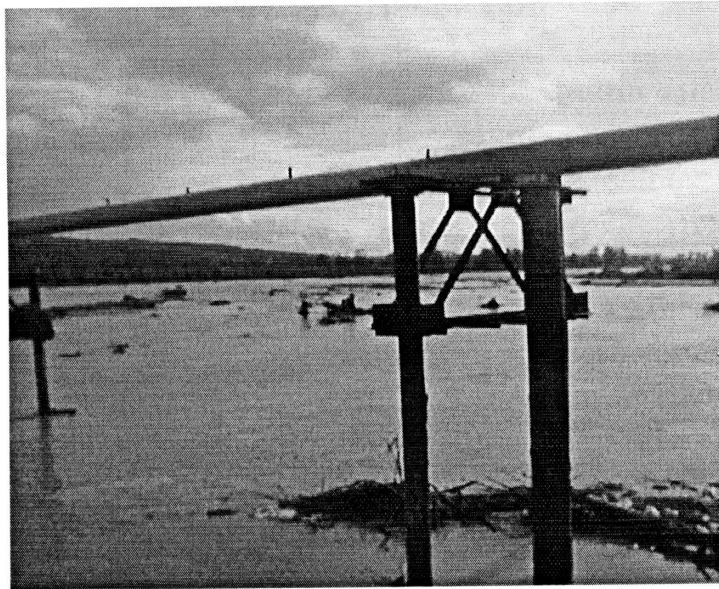


Рис. 1.5 Паводок на ділянці розміщення магістрального газопроводу через річку Черемош (місто Чернівці)

Класифікація причин виникнення паводкових вод наведена на рис. 1.6 [2, 13, 14].



Рис. 1.6 Причини виникнення паводкових вод

До природних факторів відносяться: кліматологічні фактори представлені: кількістю атмосферних опадів (дощ, талі води, танення льоду, поєднання дощ-талі води), що характеризуються інтенсивністю та тривалістю випадання [2], а також частиною кліматологічних факторів – естуарні взаємодії між річковим стоком і припливно-відливними явищами; штормовими хвилями та сильними вітрами (рис. 1.2) [2, 13].

Антропогенні чинники (рис. 1.6) представлені руйнуванням природних стоків, відсутністю водосховищ на гірських річках та неналежним фінансуванням (економічний чинник).

Руйнування природних стоків полягає в незаконному видобутку піску і гравію у руслах річках, будівництві протяжних споруд на схилах (лінійної частини магістральних трубопроводів), зменшення лісистості територій [15].

Економічно неощадлива господарська діяльність, зокрема, сільського господарства, призвела до зниження якості лісових екосистем. Йдеться,

насамперед, про суцільні вирубування, порушення вікового, породного складу лісостанів, а також надмірне розорювання схилів [16].

Лісистість території Карпат протягом двох останніх століть знизилася до 20,2 % у рівнинних районах і передгір'ях, а в гірських – до 53,5 % [17]. Станом на 2012 р. лісистість гір становить 59 % [17].

Згідно [18] технічний стан гідроспоруд в Українських Карпатах характеризується занедбаністю або повним знищенням. ГТС на річках Карпат будувалися переважно у вигляді земляних гребель, тобто з місцевих гравійно-галькових ґрунтів і без влаштування дренажних пристроїв [19, 20].

Антропогенні чинники (рис. 1.6) представлені також економічним чинником (недостатнє фінансування), що призводить до поглиблення екологічних проблем, адже програми реалізуються вкрай незадовільно, оскільки в програмі з метою “зменшення навантаження на державний бюджет” середньорічні орієнтовні обсяги фінансування складають 80 млн. гривень, а на період 2011-2020 років – 166 млн. гривень, то це відсуває вирішення проблеми протипаводкового захисту на 2040-2050 роки. Вони здебільшого спрямовані на ліквідацію наслідків підтоплення, а не на запобігання їх виникненню [21].

Умови інтенсифікації паводків схематично показані на рис. 1.7. Дані умови можна умовно віднести до природних факторів виникнення паводкових вод, адже паводковий контроль не вважається стабільною характеристикою руслових каналів та характеристик річкової мережі.

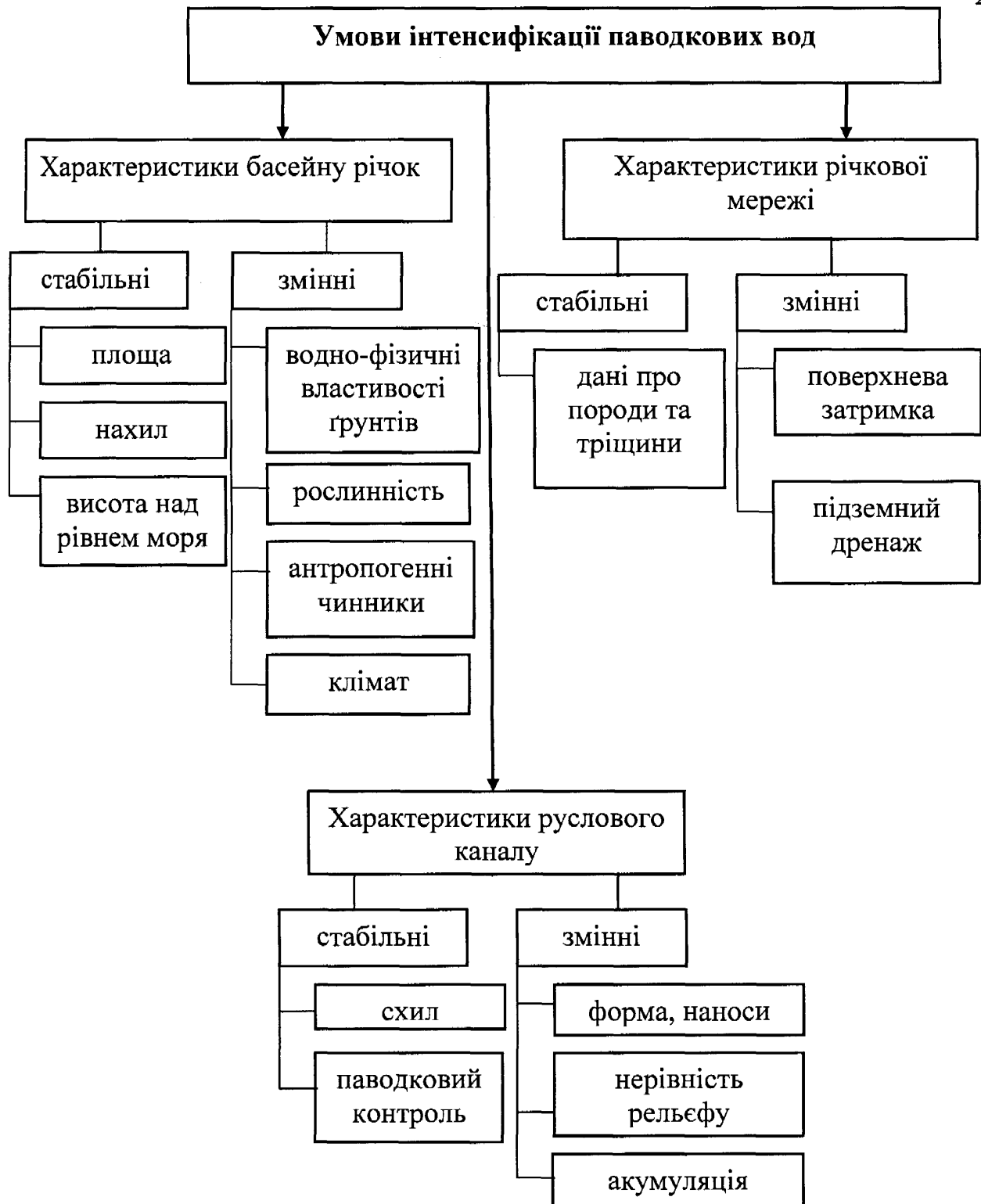


Рис. 1.7 Умови інтенсифікації паводкових вод

Класифікації паводкових вод представлена впливом метеорологічних даних та морфометричних характеристик басейну на формування паводкових вод [2, 13, 22].

Визначаючи вплив кожного з видів паводків гірських річок на формування русел та їх впливу на господарську діяльність, розрізняють п'ять

основних типів, які мають чітку ієрархічну послідовність, а саме: руслозберігаючий, руслоконтролюючий, руслоформуючий, руслоруйнуючий, русло руйнуючий з катастрофічними наслідками [22].

Руслозберігаючий і руслоконтролюючий типи паводків суттєво не впливають на інтенсивність руслових деформацій і проходять кожного року. Рівень води піднімається на 0,5-1 м від меженних відміток і під час їх проходження має місце лише стік завислих наносів [22].

Руслоформуючі паводки виникали в січні 1990 р., грудні 1995 р., жовтневий 1998 р. і квітневий 2000 р. і носять активний вплив на процес руслоформування, їх забезпеченість складає 5-35 % [22].

Руслоруйнуючі паводки, які були в жовтні 1992 р., грудні 1993 р., листопаді 1995 р. призводили до значних руслових переформувань, навіть до зміни типів русел. Забезпеченість цих паводків становить 2-8 %. Під час цих паводків відбувається локальний зрив шару самовимощення [22].

Руслоруйнуючі паводки з катастрофічними наслідками відбувалися в листопаді 1998 і березні 2001 рр., їх забезпеченість – 0,5-3 % [22].

Три останні – це активні паводки зі значною дією на процеси руслоформування [22].

Згідно класифікації утворення паводків, розрізняють паводки викликані атмосферними та неатмосферними опадами.

Паводки, які викликані атмосферними опадами (дощові паводки) за часовою тривалістю поділяються на такі види [2, 13]: раптові – паводки, які виникають на невеликій площі та на короткий час (часто вимірюються у хвилинах, а не годинах). Відбуваються у місцевостях, де є круті схили, але найбільш поширені в гірських районах, які схильні до частих гроз. Вони також спричинені проливними дощами малої тривалості. Наслідками даних паводків зазвичай є руйнування житлових масивів, транспортних доріг і мостів через невеликі струмки; одинарні паводки викликані сильними проливними дощами, які тривають кілька годин або днів; багатократні – це паводки, що виникають один за одним після тривалих сильних дощів в областях низького атмосферного тиску; сезонні паводки відбуваються в результаті випадання великої кількості

опадів в районах мусонного типу клімату і тривають від декількох тижнів до декількох місяців та паводки викликані сніготаненням, виникають у гірських районах, де сніг накопичується за зиму, а внаслідок весняної відлиги виникає талий стік.

Паводки викликані не атмосферними опадами поділяються на наступні види [2, 13]: паводки, які виникають у гирлах річок внаслідок взаємодії солоної та прісної вод [13]; прибережні (причинами виникнення є штормові хвилі і сильні вітри); паводки викликані наносами (уламковими породами) і накопиченням крижин.

У [11] згідно території формування виділяють наступні види паводків – місцеві (формується в даному регіоні під впливом сильних дощів) та транзитні або верхові (утворюються від випадання дощів, вище по течії).

Надзвичайні ситуації гідрологічного характеру (паводки, повені), що траплялися в Україні, починаючи з ХХ століття підтвержені наступною статистикою:

– паводки ХХ століття: 8-9 липня 1911 р. максимальна витрата води внаслідок випадання сильних зливових дощів на Пруті нижче впадання Черемоша (біля м. Чернівці) становила  $5250 \text{ м}^3/\text{с}$ , а швидкість поверхневої течії 5-6 м/с [23]; 25 жовтня 1926 р. паводок змішаного походження, який виник на Закарпатті [18]; 30-31 серпня 1927 р. басейни річок Дністра і Пруту (Бистриця Солотвинська, Бистриця Надвірнянська, Черемош, Серет), кількість опадів понад 300 мм, затоплено було в низинах 10 міст [18, 23]; 1-2 вересня 1941 р. зливі опади охопили басейни річок Дністра, Пруту і Серету. Максимальні рівні води в Дністрі на 1-3 м перевищили найвищі рівні попередніх років [18]; 28-30 грудня 1947 р. і 8-9 січня 1948 р. внаслідок сильних дощів у верхів'ях річок Тиси, Тересви і Терєблі та різкого підвищення температури повітря від -14 до  $+12^\circ\text{C}$ , спричинили інтенсивне танення снігу, висота якого була 40 см, добова сума опадів була 135 мм [18]; 1955 р. паводок викликаний зливовими дощами в басейнах річок Дністра і Пруту, кількість опадів становила 200-300 мм [18]; 14 грудня 1957 р. інтенсивні дощі (100-135 мм) і танення снігового покриву (37 мм) спричинили паводок в басейнах річок Терєбле, Ріки, Латориці

та Ужа [18]; 7-10 липня 1969 року площа затоплення території паводком становила 22000 км<sup>2</sup>, рівень підняття води р. Бистриці Солотвинської становив 250 см, Дністра – 141 см, Пруту – 270 см [18, 23]; дощові паводки 12-18 травня 1970 р. в басейнах річок Тиси і Серету, кількість опадів 150-200 мм, зруйновано лінії електропередач, мости, житлові будинки [18, 23]; паводок у басейні р. Дністра 22-26 липня 1980 р. сформувався інтенсивними зливами, під час яких випало 200-340 мм опадів (більше двох місячних норм). Злива інтенсивністю понад 100 мм охопила площу близько 15000 км<sup>2</sup> [18, 23]; катастрофічний паводок у листопаді 1998 р. на Закарпатті, його особливістю став інтенсивний льодохід у верхів'ях річок Чорної, Білої Тиси, Косівської та Шопурки [18];

– паводки ХХІ століття: 3-5 березня 2001 р. на території Закарпатської області випало дві норми місячних опадів. Рівні води на деяких річках перевищили на 1,5-2 м рівні паводку 1998 року. Об'єм опадів, які сформували цей паводок становив, 2 млрд. м<sup>3</sup> води. Паводок призвів до загибелі 9 чоловік [18, 23]; 23-28 липня 2008 р. – катастрофічний паводок в Україні. 28 липня на території Львівської, Закарпатської, Чернівецької та Івано-Франківської областей були підтоплені 40601 житловий будинок і 33882 га сільськогосподарських угідь, пошкоджено 360 автомобільних і 561 пішохідний міст, розмито 680,61 км автомобільних доріг, в результаті чого постраждало 150 тис. чол., кількість опадів в Івано-Франківській області становила 161-351 мм, Львівській – 195-344 мм, Чернівецькій – 228-298 мм, Закарпатській – 165 мм [18, 23]; червень 2009 р. – паводок на Прикарпатті (басейн Дністра, Львівська обл.) і Закарпатті (Берегівський, Виноградівський, Мукачівський, Іршавський райони). Затоплено 269 міст Закарпатської обл. [24]; 28 лютого 2010 р. р. Дунай, біля смт. Вилково, піднялася до критичної мітки 155 см. Підтоплені 284 житлових будинків у Херсонській області, Миколаївська – 5 та Луганська обл. – 2, підтоплені в результаті розливу р. Ольхова [25]; паводок 22 березня 2010 р. охопив три області України – Львівська, Полтавська та Дніпропетровська та підтоплені автомобільні дороги в Івано-Франківській, Харківській, Волинській, Сумській, Чернігівській та Полтавській областях [26]; 14 березня 2011 р., затоплено Ратнівський, Любешівський і Маневицький

райони Волинської області. Відбувся підйом рівня води у басейні Прип'яті на 0,5 м (підтоплені Рівненська та Житомирські обл.) [27]; 20 березня 2012, затоплено Луганську (р. Лугань) і Чернігівські області [28]; паводок 8 червня 2012 р. затопив Закарпатську обл. (с. Стужиця), 11-12 червня 2012 р. затоплено 100 житлових масивів Івано-Франківської обл., у Чернігівській області – 176, у Сумській – 92 [29, 30]; 5 лютого 2013 р. на території Закарпатської області пройшли опади у вигляді слабкого дощу (1-10 мм), у горах – снігу (місцями до 20 мм), що призвело до виникнення паводкових вод і затоплення сіл Зняцево та Макар'єво [31]; квітневі паводкові води 2013 р. затопили 8 населених пунктів 8 областей: Волинська – 9, Київська – 63, Івано-Франківська (Тисменицький район) – 2, Чернігівська – 1, Вінницька – 1, Житомирська – 3, Львівська (Городище) – 3, Рівненська – 2. Протоками Дністра затоплено Тернопільську та Хмельницькі області. Відбувся підйом рівня води на 10-40 см [32, 33]; вересневий паводок 2013 р. затопив 8 населених пунктів Тарутинського району (Одеська обл.) [34]; 12.05.2014 паводок на Закарпатті (річок Латориця, Тиса та Боржава). Підйом рівня води рік на 3 м [35]; 15 травня 2014 р. підйом рівня води річок Карпат на 0,5-1,5 м, на окремих ділянках 2,0-2,5 м, на річках басейну Західного Бугу, Прип'яті та рівнинних притоках Дністра – 0,3-1,0 м [36].

На завершення слід зазначити, що з другої половини ХХ століття повторюваність великих паводків становить переважно один раз на 4-8 років, а на річках Чорного і Білого Черемошу – 2-3 рази на рік [23].

Згідно даних Івано-Франківського обласного управління водних ресурсів у області відбулося 86 паводків державного значення, починаючи з 1954 року [37].

### **1.1.3. Прогнозування паводкових вод: гідрологічне, гідрометеорологічне та метеорологічне**

Згідно першого розділу закону України про правові засади цивільного захисту [38, 39], статті п'ятої, одними із завдань цивільного захисту є: збирання та аналітичне опрацювання інформації про надзвичайні ситуації та



прогнозування та оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій.

Щодобово спеціальні підрозділи Гідрометцентрів повинні інформувати Міністерство надзвичайних ситуацій України про стан навколишнього середовища, надавати відомості про прогнози на певні періоди [40].

Прогнозування рівня паводкових вод поділяється на гідрологічне, гідрометеорологічне та метеорологічне (проходження атмосферних опадів) [40, 41].

Гідрологічне прогнозування – це обґрунтування та передбачення гідрологічних стихійних явищ та їх основних характеристик, а саме: стоку води і швидкості течії, які залежать від похилу місцевості, типу русла і заплави, а також характеру живлення річки (снігове, дощове, підземне) [41].

Методи короткострокового прогнозування базуються на використанні закономірностей руху води в руслах і закономірностей припливу (стоку) води до досліджуваних ділянок цих русел, а також на розрахунках переміщення і трансформації водного потоку по окремих ділянках річки. За результатами таких прогнозів видається інформація про очікувані максимальні витрати і рівні води, а вихідними даними при цьому є гідрографи (залежності витрат води від часу).

Довгострокові гідрологічні прогнози застосовуються, як правило, для передбачення масштабів дії повені. Згідно [42] справджуваність гідрометеорологічних прогнозів та попереджень про небезпечні та особливо небезпечні гідрометеорологічні явища становить 86-96 % та 89-100 % відповідно.

Метеорологічні умови є основним чинником водного режиму, а головна роль у формуванні паводків належить атмосферним фронтам та циклонам.

Основною відмінністю гідрологічного прогнозу від метеорологічного є те, що хвиля паводку рухається значно повільніше, ніж проходження атмосферного фронту (хвиля паводку проходить відстань від верхів'я Прип'яті до Києва протягом 10-14 днів, а атмосферний фронт проходить цю відстань за 1 день [43].

На завершення слід зазначити, що наведені причини виникнення паводкових вод та статистичні дані дозволяють виділити основні фактори і чинники їх формування, та частково спрогнозувати часовий період появи природних катаклізмів.

## **1.2. Аналіз існуючих методів і моделей прогнозування рівня паводкових вод**

Сьогодні відома значна кількість методів прогнозування рівня паводкових вод, які мають свої переваги і недоліки [44].

Відомими є метод прогнозування паводкових вод та оцінки ризику затоплення в географічній зоні з урахуванням однієї змінної клімату по географічному районі [45], а також метод прогнозування паводкових вод на основі атмосферних опадів [46].

У [47] запропонований метод, який здійснює прогнозування на основі моделі опади-стік-розрахунок паводків (незалежно від історичних гідрологічних даних) [48]. В [49] описується спосіб прогнозування часу настання паводку і прогнозування його рівня на основі статистичних даних про рівень води та температуру повітря за визначений термін з використанням нейронної мережі. Також відомий метод прогнозування паводкових вод на основі таких вихідних величин як атмосферні опади, тривалість паводків, площі та форми басейну на основі штучної нейронної мережі [50].

Згідно [13] виділяють наступні методи прогнозування рівня паводкових вод:

- детермінований, який основним фізичним феноменом виникнення паводкових вод вважає проникнення атмосферних опадів у басейн річки;
- імовірнісний метод, який розглядає паводки як випадковий (раптовий) потік води, який виникає протягом певного періоду і декілька раз, і може бути прогнозований за допомогою статистичних пакетів.

Детермінований метод у свою чергу поділяється також на наступні методи [13]: емпіричний та метод базового процесу.

Емпіричний метод використовується для розрахунку витрат паводкових вод, що використовує одну з формул описаних нижче і базується на одному з параметрів властивостей ґрунтових вод (Gray and Wigham, 1970):

$$Q_m = C \cdot A^n, \quad (1.1)$$

$$Q_m = C \cdot A^{m \cdot A^n}, \quad (1.2)$$

$$Q_m = \frac{C \cdot A}{(a + b \cdot a)} \cdot m + d \cdot A, \quad (1.3)$$

де  $Q_m$  – максимальні витрати паводкових вод,  $A$  – водозбірна площа,  $m, n$  – експоненти,  $C, a, b, d$  – коефіцієнти, які характеризують географічні та кліматологічні характеристики.

Часто застосовується наступний вид емпіричного методу (1.4):

$$Q_t = C \cdot A^n \cdot T, \quad (1.4)$$

де  $Q_t$  – витрати паводкових вод у середньому інтервалі певного часового періоду  $T$  [13].

Також використовується наступний вдосконалений емпіричний метод для розрахунку максимальних витрат паводкових вод:

$$Q_m = C \cdot A \cdot I, \quad (1.5)$$

де  $Q_m$  – максимальні витрати паводкових вод,  $C$  – коефіцієнт, що вказує на відсоток всмоктуваних атмосферних опадів ґрунтами,  $I$  – середня інтенсивність опадів (Lloyd-Davis, 1906 р.) [13].

Розглянуті емпіричні методи місять деякі недоліки, а саме: врахування малої кількості показників гідрометеорологічних процесів та неможливість дослідження взаємозв'язку між інтенсивністю опадів та стоком [13].

Метод базового процесу включає у себе дві послідовні дії: перша – визначення витрат паводкових вод з атмосферних опадів, друга дія – побудова гідрографів (зміни витрат паводкових вод в часі) [13].

Імовірнісний метод застосовується для дослідження повторюваності виникнення паводкових вод  $T_r$  з використанням формули Weibull:

$$T_r = \frac{N+1}{m}, \quad (1.6)$$

де  $N$  – загальна кількість паводків,  $m$  – ранг паводкових вод [13].

У [51] розглянуто наступні методи екологічного моніторингу для контролю і прогнозування паводкових вод: дистанційний метод; комп'ютерні методи обробки супутникових даних; а також геоінформаційна система (ГІС) – комп'ютерна технологія, що дозволяє поєднати картографічне зображення території з різноманітними статистичними даними [52].

У [53] запропонований метод раннього попередження для паводків і тайфунів, що містить систему бази даних про історичні дані природних катаклізмів, бази картографічних даних ГІС та систему відображення WebGIS для прогнозування паводкових вод.

Вище перераховані методи використовують результати паводків та методи оцінки затоплень, що відбулись раніше.

Дистанційний метод використовує космічні (супутникові системи, орбітальні станції), авіаційні (безпілотні літальні апарати, гелікоптери) та неконтактні типи даних (гідроакустичні знімки дна, сейсмо).

Комп'ютерні методи обробки супутникових даних використовують обробку даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). На даний час, згідно [54], існують наступні методи ДЗЗ (є діючими або перебувають на стадіях розробки) для картографування затоплених територій з використанням супутникових радіолокаційних даних: метод порогової сегментація; метод визначення границь зображень для сегментації і картографування повеней; нейромережевий метод картографування повеней на основі супутникових зображень.

Автори методів картографування затоплених територій з використанням супутникових радіолокаційних наведені в [54].

Аналізуючи розглянуті вище методи контролю і прогнозування рівня паводкових вод, можна відмінити ряд їх недоліків, зокрема:

- враховується лише один або два метеорологічних показники [45, 49];
- у [46] відсутній взаємозв'язок атмосферних опадів з іншими кліматологічними показниками;

- морфометричні характеристики водозборів не враховуються в [47];
- [48] надає лише інформацію про безпечний спосіб маршрутизації під час паводкових вод.

Щодо описаних вище методів екологічного моніторингу, то їм характерні наступні недоліки:

- необхідність ручного вибору значення кроку моделювання;
- необхідність використання декількох зображень.

У [55] запропонована модель “опад-стік”, на основі якої дослідження виникнення паводків здійснюється з використанням коефіцієнту зарегульованості стоку паводку, що виражає відношення об’єму поверхневого стоку кожного окремого паводку до загального стоку паводку:

$$K = 1 - \left( \exp^{-X} \cdot \left( \exp \left( - \left( a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot \left( \frac{X_2}{X} \right) + a_3 \cdot X \right) \right) \right) \cdot \exp \left( - \left( a_4 \cdot X_3 + \frac{a_5}{X_4} + \frac{a_6}{X_5} \right) \right) \right), \quad (1.7)$$

де  $X$ ,  $X_1$  – опади і витрати води відповідно;  $X_2$  – бездощовий період, що передував паводку;  $X_3$  – загальна залісненість водозбору;  $X_4$  – породний склад;  $X_5$  – вік породи.

Воднобалансова модель “Сакраменто” [56] застосовується Національною Службою Погоди США для оперативного прогнозування дощових паводкових вод і повеней.

Для моделювання паводкових вод використовується програмний комплекс MIKE FLOOD, що створений на базі MIKE 11 і MIKE 21 (двовимірна (2D) модельна система для аналізу течій), який дозволяє моделювати паводки і повені, моделювати шляхи евакуації, детально розраховувати прориви гребель, дамб [57, 58].

Wallingford Software розробила програмний продукт FloodWorks (моделювання гідрологічних процесів) для прогнозування затоплень і повеней у реальному часі з можливістю розміщення даної інформації у мережі Інтернет [59].

Модель DN-Max (Дністер-Максимум) полягає в оцінюванні максимальних витрат/рівнів води на гірських притоках Дністра під час дощових паводків на основі оцінювання максимального стоку для створів (29 постів), розташованих у верхів'ї Дністра та на гірських його притоках [60]. Методична база прогностичної системи "Тиса" представлена наступними моделями [61, 62]: модель Тиса-10 полягає у поступовому прогнозуванні про рівні води в період паводків у міру поступлення інформації про опади. Завчасність прогнозів не перевищує 2-4 год. для водозборів до 400 км<sup>2</sup>, а для більших – 6-10 год.; модель Тиса-5 здійснює короткотермінове прогнозування перебігу стоку на притоках Тиси; модель СЛОЙ-3 враховує процеси, що відбуваються на поверхні водозбору протягом зимового сезону.

Детальний аналіз методів та моделей прогнозування наведений у [63, 64].

На основі вище проведеного аналізу методів та моделей прогнозування виділено наступні метеорологічні та фізичні фактори водозборів (басейнів річок), які впливають на процес формування паводкових вод, а саме: метеорологічні дані, морфометричні та фізико-географічні показники басейнів, гідрологічні процеси та кількісні характеристики стоку.

У той же час встановлено, що під час паводкових вод існуючими методами та моделями не враховується такий вагомий фактор як вологість ґрунтів.

### **1.3. Аналіз апаратних засобів та АІВС контролю рівня паводкових вод**

Однією з найпростіших систем контролю рівня паводкових вод є водомірна рейка, яка представлена у вигляді міток (у метрах), що нарисовані на опорах мостів чи лінійці, яка розташована на берегах річок (Додаток А, рис. А.1).

До складу автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем (АІВС) в Україні, які перебувають в працездатному стані, на стадіях розробки чи впровадження входять: "ТИСА", "Прикарпаття", комп'ютерна система з

автономними давачами, “АКСОН”, опадоміри та комплексна система загальнонаціонального протиповеневого моніторингу.

З метою оптимальних і ефективних заходів для попередження та уникнення негативного впливу паводкових вод на території Закарпатської області “Укрдіпроводгосп” у 1988 р. підготував технічне завдання для створення АІВС “Тиса” [39, 65, 66, 67, 68], яка призначена для оперативного прогнозування гідрографів паводків на річках басейну [39, 65, 66, 69]. Загальний вигляд системи наведено в Додатку А на рис. А.2.

На території Закарпатської області на сьогоднішній день встановлено 50 гідрометеорологічних (вимірюються рівень води, кількість опадів, температуру повітря) і 13 метеорологічних (вимірюються кількість опадів і температуру повітря) АІВС “Тиса” на річках Боржова, Латориця, Ріка, Уж, Біла Тиса, Чорна Тиса, Тур’я, Косівська, Тересва та Піня [70, 71].

Держводгосп у 2009 році спільно із зацікавленими центральними і місцевими органами виконавчої влади розробив технічне завдання на створення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи АІВС “Прикарпаття” у басейнах річок Дністер, Прут і Сірет на території семи областей: Чернівецької, Івано-Франківської, Львівської, Вінницької, Тернопільської, Хмельницької та Одеської [21, 65], яка представлена 3 автоматизованими гідропостами в трьох населених пунктах Чернівецької області: с. Чортория (р. Черемош), с. Лопушна (р. Сірет), с. Верхні Петрівці (р. Малий Сірет), які в реальному часі показують рівень води на річках і можуть працювати при температурі  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Планується встановлення 28 таких АІВС [72, 73].

У 2011 році Івано-Франківською обласною радою затверджено проект Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу “Створення Дністровського інженерно-екологічного полігону для розробки протипаводкових заходів та підвищення екологічної безпеки на території Івано-Франківської області” у с. Маріямпіль, Галицький район [74, 75].

У [76] розглянуто систему контролю підняття рівнів води, яка заснована на акустичному (ультразвуковому) методі, який полягає у вимірюванні часу проходження звукового імпульсу, який відбивається від поверхні води. Час, що

пройшов з моменту посилення імпульсу, дозволяє визначити відстань до водної поверхні. Блок-схема системи контролю рівнів води наведена в Додатку А на рис. А.3.

В Україні на стадії розробки та впровадження перебуває проект “Румунія-Україна-Молдова”, згідно якого мешканцям 80 сіл Буковини встановлюватимуть опадоміри [77].

У [78] запропонована автоматизована система управління повеней у Нігерії на основі диспетчерського управління (загальна структура системи показана в Додатку А на рис. А.4). В Україні створюється система загальнонаціонального протиповеневого моніторингу на річках Сірет та Прут. Основним завданням, якої є не допустити катастрофічних наслідків повені 2008 р.

У [66, 79, 80, 81, 82, 83] описуються технічні засоби оповіщення про паводки та селеві потоки (структурні схеми вказаних технічних засобів наведені в Додатку А на рис. А.5). Розміщення схем наведено в хронологічному порядку, тобто з дати опублікування патенту.

У табл. А.2 Додатку А наведені пояснення, а саме: цифри в дужках – це номери компонентів на схемах рис. А.4, кількість чисел у дужках відповідає нумерації електронного компонента у певній структурній схемі, а знак “-” вказує на відсутність даного елемента.

Розроблені системи Flood Observatory System (Малазія) [66, 84, 85] призначені для моніторингу надзвичайних ситуацій природного характеру, що мають високу частоту повторень та інтелектуальна система прийняття рішень.

На стадії розробки в Україні перебуває комплексна система загальнонаціонального протиповеневого моніторингу на річках Прут та Сірет. Система призначена для вимірювання та збору даних моніторингу за станом річок, нові цифрові карти їх басейнів. Проект дозволить оновлювати інформацію щодо рівня та температури води кожну годину [86].

На завершення слід зазначити, що проведений аналіз існуючих автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, а також технічних засобів оповіщення про паводки та селі, має ряд недоліків:



– високі економічні затрати на розробку та впровадження в експлуатацію даних систем та технічних засобів (АІВС “Тиса” 225 тис. євро, 3 гідропости АІВС “Прикарпаття” – 0,5 млн. грн., АКСОН – 600 тис. грн., комплексна система загальнонаціонального протиповеневого моніторингу – 14 млн. 680 тис. грн.) [70, 72, 73, 86, 87];

– неналежне фінансування з боку держави не дозволяє створювати достатню кількість АІВС, гідропостів з метою попередження про виникнення паводкових вод;

– не врахування водно-фізичних властивостей ґрунтів;

– щодо існуючих пристроїв, то для їх виготовлення потрібно використати значну кількість електронних компонентів.

#### **1.4. Обґрунтування і вибір напрямку дослідження**

Аналіз літературних джерел із дослідження виникнення паводкових вод показав, що вони є важливим природним фактором негативного впливу на усі сектори економіки, тому метою даної дисертаційної роботи є забезпечення екологічної безпеки шляхом контролю і прогнозування рівня паводкових вод.

На формування паводкових вод, як показали причини та умови їх інтенсифікації, впливають кліматичні фактори, які представлені метеорологічними даними, морфометричні характеристики басейнів річок та антропогенні чинники, що призводять до формування паводкових вод.

Проведений аналіз існуючих методів прогнозування та контролю рівня паводкових вод, автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем та технічних засобів показав, що неконтрольованим вихідною величиною є зволоженість басейну (вологість ґрунту) перед формуванням паводкових вод.

Відсутність існуючих методів, АІВС та технічних засобів оперативного контролю та прогнозування рівня паводкових вод, як показав проведений аналіз, вимагає розробки таких методів.

Одним із напрямків його вирішення є використання методу асоціативного аналізу та регуляризуючий алгоритм некоректної задачі.

З метою розробки методу прогнозування необхідно:

- розробити теоретичні передумови методу прогнозування рівня паводкових вод;
- розробити математичну модель прогнозування рівня паводкових вод;
- розробити технічні та програмні засоби для реалізації методу прогнозування підняття рівнів води у період паводків;
- провести апробацію технічних засобів та системи контролю рівня паводкових вод.

## РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ  
ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД

## 2.1. Розроблення прогностичної схеми підняття рівня паводкових вод

Для ефективного прогнозування і контролю підняття рівня паводкових вод автором [88] запропоновано прогностичну схему (рис. 2.1), яка дозволить описати і дослідити процес підняття рівня води річок з урахуванням основних причин виникнення (метеорологічні дані та морфометричні характеристики басейнів).



Рис. 2.1 Прогностична схема підняття рівня паводкових вод атмосферними опадами

Обґрунтуємо правомірність включених чинників у прогностичну схему.

Чинники, які впливають на річковий стік можна поділити на кліматичні, фізико-географічні та чинники, спричинені господарською діяльністю людини.

Атмосферні опади, випаровування, температура, вологість і дефіцит вологості повітря, вітер – головні кліматичні чинники стоку. З перелічених чинників найважливішими вважають атмосферні опади і випаровування, що безпосередньо впливають на стік. Наприклад, випадання атмосферних опадів на перезволожені ґрунти інтенсифікує схиловий стік води в 1,5-12 разів сильніше, порівняно із їх випаданням на відносно сухі ґрунти [41].

Температура, вологість повітря і вітер впливають на умови випадання атмосферних опадів, стан поверхні ґрунту, дефіцит вологості повітря і величину випаровування та річковий стік.

Геологічні умови річкового басейну обумовлюють ґрунтове живлення річок. Найбільше акумулюють воду пористі та шпаруваті ґрунти [41].

Зрілий ліс у Карпатах з повнотою покриття 80-90 % може перевести у внутрішньо-ґрунтовий стік опади до 100 мм за один дощ, але для цього потрібні насадження старші за 80 років, які збереглися лише на площі 16-20 % ( молоді ліси – на 44 % і середні за віком – на 36-40 %) лісовкритої площі [89].

Формування стоку в гірських місцевостях відбувається досить інтенсивно, оскільки похили місцевості в горах перевищують 200-500 м/км. У Карпатах на водозборах 100-200 км<sup>2</sup> модулі стоку під час паводків досягають 2500-3200 л/с·км<sup>2</sup>) [89].

Водний режим кожної річки визначається її живленням, що залежно від сезону року може бути сніговим, дощовим та підземним. Більшість річок України належать переважно до снігового живлення, що зумовлено впливом кліматичного фактора. Живлення річок відбувається через зростання температури повітря навесні і відлиги в зимку, під час яких відбувається часткове танення снігового покриву [89].

Тип живлення для карпатських річок переважно мішаний: дощовий (у горах випадає 1400-1700 мм/рік, на низовинах Закарпаття, Прикарпаття – 700-

1000 мм/рік), сніговий (випадає до 40 см, максимальний шар снігу 3-4 м), ґрунтові та підземні води. Роль цих джерел для різних річок неоднакова, оскільки при збільшенні висоти водозбору відбувається перерозподіл окремих джерел живлення – зростає частка снігового і підземного живлення і дещо скорочується роль дощів. Річки Карпат стають причинами паводків [90].

Згідно [16] Карпати належать до зливонебезпечних районів, а також це зона найвологішого клімату (в цілому вологість повітря над Карпатами є підвищеною і становить 80 %, максимальна вологість взимку – 80-89 %, влітку – 77 %, найменша вона є весною) України, а середня річна сума опадів становить 600-1600 мм, навіть до 2000 мм.

Влітку на північних схилах Карпат випадає 72-82 %, а на південних – 60-75 % річної суми опадів, де завжди існує потенційна загроза виникнення руйнівних паводкових вод, формування яких відбувається 165-175 днів протягом року, коли за добу випадає більше 20 мм опадів, а при випаданні 100 мм за добу настає катастрофічний паводок [16, 23].

Середній рівень снігу в Карпатах 0,6 м, а в окремі роки або на окремих територіях може сягати до 2 м, що при інтенсивному таненні також може спричинити катастрофічне підняття рівня води річок [39, 65].

У високогірних районах Івано-Франківської і Закарпатської областей пересічна товщина снігового покриву часто перевищує 30-40 см [91]. Розмерзання промерзлого ґрунту може відбуватися зверху і знизу після того, як відбувся схід снігового покриву [91].

У сонячні дні танення снігу призводить до збільшення щільності, правда доки вона не перевищить 50 %, стікання в ґрунт не почнеться. Лісова рослинність зменшує швидкість танення снігу і затримує його сходження до шести тижнів [92].

Стікання води по поверхні відбувається у поверхневому та підземному водозборах і залежить від похилу місцевості і швидкості стікання води з схилів: на середніх та великих річках Українських Карпат становить в горах 2-3 м/с, в передгір'ї – 1,5-2 м/с, а на малих річках високо в горах – 3-8 м/с, 35 м/с і навіть

126 км/год. у період паводків, але це буває не часто [92] і підйоми рівнів води на 1,5-2,5 м відбуваються за 3-4 години [95].

Розроблені автором в [93, 94] інформаційні системи контролю кількісних характеристик стоку інформують про водність річок і для кількісного оцінювання стоку річок застосовують наступні характеристики:

- витрату води – кількість води, що протікає через поперечний (водний) переріз річки за одну секунду і характеризує водність річки у певний момент часу;
- об'єм стоку – кількість води, що протекла через даний переріз річки за даний проміжок часу (рік, сезон, місяць, декаду, добу);
- модуль стоку – кількість води в літрах, що стікає за одну секунду з одиниці площі водозбору;
- висоту шару стоку (шар стоку) – висота шару води у міліметрах, яка рівномірно розподілена по площі водозбору і стікає з нього за певний проміжок часу;
- модульний коефіцієнт – це відношення величини стоку за будь-який період до середнього багаторічного його значення за той же період);
- коефіцієнт стоку характеризує відношення висоти шару стоку (мм) за будь-який період до шару опадів (мм) за той самий період;
- норму стоку – середня величина стоку за тривалий період (багаторічний) [41].

Режим поверхневого стоку в Україні є нерівномірний, що зумовлено кліматичними відмінностями та впливом гірських масивів, через які проходять повітряні маси з Атлантики та Середземномор'я [95].

Вплив рельєфу на стік річок досить різноманітний, а саме: розчленований рельєф сприяє інтенсивному розвитку поверхневого стоку, рівнинний – стік відбувається сповільнено, збільшується його інфільтрація у ґрунт та витрати на випаровування. В наслідок цього поверхневий стік зменшується, а підземний – збільшується. Значний вплив рельєфу має і на атмосферні опади: при збільшенні висоти басейну зростає кількість опадів при цьому знижується температура

повітря, зменшується випаровування, що призводить до збільшення поверхневого стоку [41].

Водно-фізичними властивостями ґрунту називають сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в його товщі. Найбільш важливими водними властивостями є: водоутримуюча здатність, його вологоємність, водопроникність та водовіддача.

Водоутримуюча здатність – здатність ґрунту утримувати воду, яка міститься в ньому, від стікання під дією сили тяжіння.

Кількісною характеристикою водоутримуючої здатності є вологоємність, тобто здатність поглинати і утримувати певну кількість води.

Водовіддачею називається здатність породи, насиченої водою, віддавати ту чи іншу кількість води при наявності вільного стоку [96].

Властивості ґрунтів впливають на величину стоку через величину інфільтрації і випаровування: піщані ґрунти зменшують поверхневий стік і менше випаровують вологи, а малопроникні (глина, суглинок, торф тощо) призводять до збільшення поверхневого стоку.

На малопроникних ґрунтах поверхневий стік збільшується, а підземний – зменшується. Згідно [41], інтенсивність інфільтрації суглинкових і глинистих ґрунтів у 5-10 разів менша, ніж піщаних та супіщаних.

Саме зволоженість гірського водозбору (ділянка суходолу та товща ґрунту й гірських порід, звідки природні води стікають у річкову систему, озеро та інші водні об'єкти) є одним з основних показників його стану перед паводком. Від зволоженості залежать втрати дощової води на затримання на поверхні та в підповерхневому шарі, фільтрацію та інфільтрацію води [97].

Гірські ґрунти мають негативну властивість, а саме: відносно водотривкий шар із вкрай низькими фільтраційними властивостями, на якому під час злив інтенсивно формується внутрішньо-ґрунтовий (“контактний”) стік, швидкість якого значно більша, ніж підземного і за своїм режимом він подібний до поверхневого стоку. Різке підняття рівнів води в руслах під час дощів зумовлене, зазвичай, формуванням “контактного” стоку [97].

Фільтрація – безперервний рух води (вздовж пласта) у насиченому ґрунті під впливом гравітаційного градієнта. Процес фільтрації досліджено в [98, 99, 100, 101, 102, 103].

Інфільтрація (просочування зверху до низу) – заповнення водою вільних пор ґрунту під впливом сорбційних, меніскових, гравітаційних сил і градієнту напору [108].

Вирубання лісу, а саме: суцільна рубка, сприяє збільшенню вологості ґрунту на 13-20 %, що, водночас, сприяє інтенсифікації шкідливого поверхневого стоку води на зрубках [104]. Після зливових дощів поверхневий стік на площах з непорушеною рослинністю становить менше 3 % кількості опадів, а на безлісній площі поверхневий стік з'являється після легких дощів і складає більше 60 % кількості випавших атмосферних опадів [105, 106].

У лісовому фонді Українських Карпат переважають молодняки і середньовікові деревостани, водорегулювальна роль яких невисока, тому вирубування старих лісів (80 років і вище) також суттєво зменшують максимально можливий вологовміст території, що збільшує ймовірність розвитку катастрофічних паводків на території водозбору [107].

Внаслідок виникнення гравітаційних сил (виникає збільшення фізичної ваги – сили, з якою верхній шар ґрунту тисне на нижній), швидкості фільтрації підземних вод формуються зсуви, суфозії та пробиваються на поверхню джерела.

Накопичення снігу на поверхні ґрунту, внаслідок від'ємної температури повітря, а також його танення при підвищенні температури повітря разом з розмерзанням ґрунтів призводить до накопичення великої кількості води, як підземної, так і поверхневої, що спричиняє зниження водоутримуючої здатності ґрунтів та стікання талих і підземних вод у річки та підвищення їхніх рівнів [108, 109].

Внаслідок підняття рівня води в річках збільшується навантаженість на захисні гідроспоруди. Чим довше тривають паводкові води, тим більше часу піддається дамба, гребля, шпунтові огорожі руйнуванню.



Тривалий вплив тиску, який чиниться на гідроспороди водою, може призвести до просочування води крізь дамби і підземної течії, яка призводить до вимивання і осідання підошви дамби, що загрожує її стабільності. Як наслідок – прорив дамби.

Для захисту від шкідливої дії вод за останні 20 років у басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету побудовано комплекс протипаводкових споруд, до складу якого входить 323 км земляних дамб, 84 км берегоукріплень, здійснено регулювання понад 123 км русел річок і каналів та реконструйовано 20 водосховищ комплексного призначення [21].

В [19, 20] основними причинами руйнування гідротехнічних споруд є:

- незавершене будівництво дамб;
- рихлий ґрунт у тілі дамби;
- низька якість виконання робіт;
- незадовільна експлуатація та догляд за існуючими дамбами;
- відсутність поточного ремонту дамб;
- відсутність дренажних пристроїв (сприяє розвитку фільтраційних деформацій).

Здійснено у [110, 111, 112] прогнозування кількості атмосферних опадів з метою контролю за рівнем паводкових вод з використанням трьох методів: ковзного середнього (прогнозоване значення будується шляхом усереднення декількох попередніх значень), експоненційного (прогнозоване значення обчислюється за допомогою методу найменших квадратів) та метода найменших квадратів та розробкою інформаційної системи прогнозування атмосферних опадів, що базується на використанні щомісячних даних про кількість атмосферних опадів у м. Івано-Франківську 2000-2012 р. (рис. 2.2).

Рік	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік Сума
2000	25	18	62	41	61	63	101	23	44	3	3	29	473
2001	30	30	97	46	62	232	129	56	97	26	65	25	895
2002	17	33	60	35	97	62	75	50	125	60	26	29	669
2003	31	33	23	12	35	40	85	24	55	86	19	24	467
2004	40	41	17	56	50	54	79	141	17	40	22	25	582
2005	35	40	22	16	59	46	131	135	53	33	41	19	630
2006	22	38	81	42	134	107	68	152	14	28	35	7	728
2007	31	37	35	32	56	76	80	75	101	76	52	11	662
2008	25	10	47	100	90	80	258	51	103	89	16	34	903
2009	51	26	46	28	80	104	39	46	24	108	40	47	639
2010	47	38	40	58	159	169	205	92	64	34	12	40	958
2011	29	32	20	32	8	79	81	60	14	24	3	21	403
2012	43	37	17	41	77	94	102	112	68	55	28	58	732

Рис. 2.2 Середньомісячна сума опадів м. Івано-Франківськ (2000-2012 р.)

Методика аналізу методів полягала у тому, що на основі реальних даних Гідрометцентру для місяця січня 2011-2012 р.р., здійснювався прогноз з використанням запропонованих методів [111].

Проведено прогнозування атмосферних опадів на основі методу ковзного середнього та сформовано наступні висновки:

- відносна похибка вимірювання для місяця січня 2011 р. становить 69 % та 2012 р. – 9 %;
- абсолютна похибка становить 20 мм для місяця січня 2011 р. та 4 мм – 2012 р.

Метод експоненціального згладжування (Додаток В, рис. В.1):

- відносна похибка вимірювання для місяця січня 2011 р. становить 55 % та 2012 р. – 7 %;
- абсолютна похибка становить 16 мм для місяця січня 2011 р. та 30 мм – 2012 р.

Прогнозування кількості атмосферних опадів за методом найменших квадратів наведено у Додатку В на рис. В.2.

Здійснивши обчислення, за даним методом, отримано наступні результати:

- відносна похибка вимірювання для місяця січня 2011 р. становить 45 % та 2012 р. – 2 %;
- абсолютна похибка становить 13 мм для місяця січня 2011 р. та

1 мм – 2012 р.

Інформації про відносні похибки здійснено на основі даних 2000-2009 р. для місяця січня на січень 2011-2012 років.

Провівши прогнозування у програмному пакеті Microsoft Office Excel, за допомогою методів ковзного середнього, експоненціального та методу найменших квадратів, можна зробити висновки, що найбільш точним до реальних даних про кількість атмосферних опадів є метод найменших квадратів [111].

На завершення даного п.п. 2.1, також слід зазначити, що запропонована прогностична схема (рис. 2.1) підняття води річок дозволяє більш детально розкрити причини та описати процес виникнення паводкових вод чи повеней.

Розглянутий і прогнозований трьома методами метеорологічний фактор (кількість атмосферних опадів) та водно-фізичні властивості ґрунтів, що входять у прогностичну схему, служать вихідними даними для розроблення методу прогнозування рівня паводкових вод та автоматизованої інформаційно-виміральної системи їх контролю.

## **2.2. Математичне моделювання процесу розвитку паводку та вибору вагомих факторів для прогнозування рівня паводкових вод**

При аналізі реальних явищ паводкових ситуацій можна схематично зобразити залежність між часом ( $t$ ) та рівнем паводкових вод ( $l$ ) (рис. 2.3).

Для будь-якого паводку характерними є: а – підйом паводку, б – період його критичної (максимальної) інтенсивності та в – період спаду.

На рис. 2.3 наведені наступні позначення:

–  $t_{p.p.}$  – фіксація часу, з якого починається формування паводкових вод (початковий час);

–  $t_{k.p.}$  – фіксація часу, що інформує про спад рівня паводкових вод (кінцевий час).

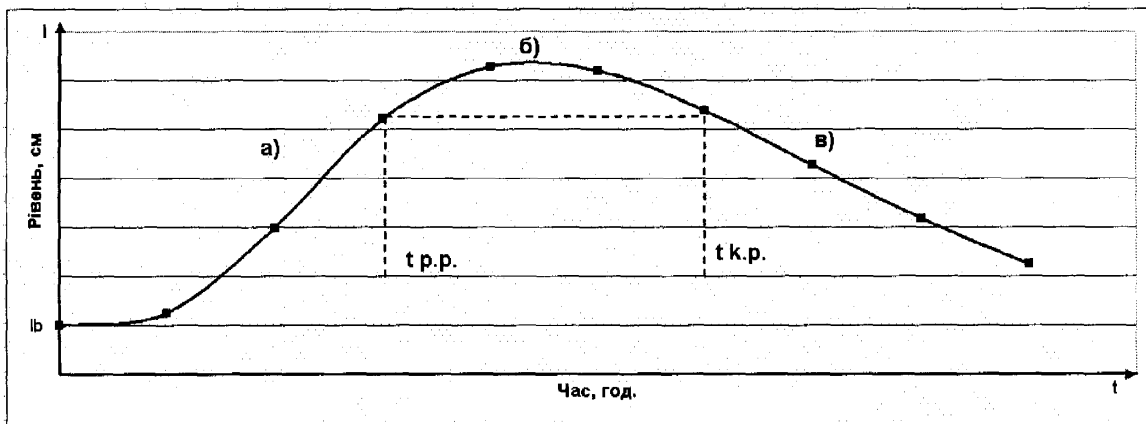


Рис. 2.3 Схема залежності між часом та рівнем паводкових вод

Необхідно відтворити аналітичну структуру функції, зображеної на рис. 2.3. З математичної точки зору ця функція повинна характеризуватись наступними умовами після переміщення осей у точку з координатами  $(0, lb)$ , де  $lb$  – базовий рівень підняття рівня паводкових вод:

$$\begin{cases} f(0) = 0; \\ \exists x_0 : f'(0) = 0; f''(x_0) < 0. \\ \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

На рис. 2.1 використано умовні позначення рівня  $i$  по осі  $Y$  відповідає рівню річки. Вісь  $X$  зміщено у точку, яка є висотою рівня ( $f(0) = 0$ ).

Очевидно, таким умовам відповідає багато функції, а отже задача побудови моделі розвитку паводку з математичної точки зору є некоректною [113, 114], для її регуляризації потрібно розробляти певні алгоритми, використовуючи додаткову інформацію про вид функції, яка б задовольняла умовам (2.1).

Найпростішою із вказаних функцій є функція:

$$y = t \cdot e^{-t}, \quad (2.2)$$

графік якої зображено на рис. 2.4, де  $y$  – рівень паводкових вод (Level),  $t$  – час (Time).

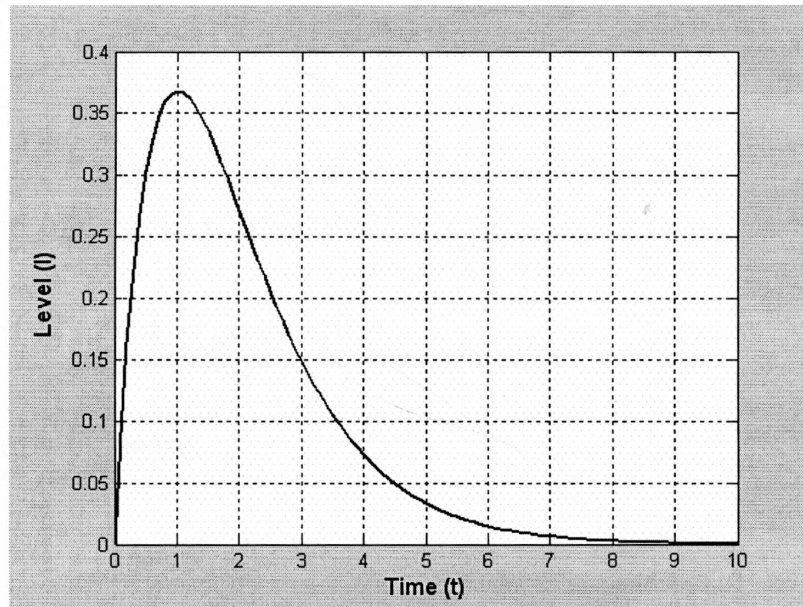


Рис. 2.4 Графік функції  $y = t \cdot e^{-t}$

Шляхом прямої перевірки встановлюється, що для функції (2.2) виконуються всі три умови (2.1):

$$1. f(0) = 0 \cdot e^{-0} = 0;$$

$$2. \exists f(x_0): f''(x_0) = 0;$$

$$(t \cdot e^{-t})' = e^{-t} - t \cdot e^{-t} = 0 \rightarrow t = 1;$$

$$f''(t) = -e^{-t} - e^{-t} + t \cdot e^{-t} = (-2 + t) \cdot e^{-t};$$

$$f''(1) = -e^{-1} < 0;$$

$$3. \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{e^t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{e^t} = 0.$$

Проте використання функції (2.2) для опису паводкових явищ пов'язано з деякими проблемами – її не можна змінювати та підбирати вид згідно з певними результатами експериментальних досліджень та аналізом статичних даних про паводки.

Для вирішення вказаної проблеми можна запропонувати функцію:

$$y = t \cdot e^{-at}, \quad a > 0, \quad (2.3)$$

яка, очевидно, також задовольняє вказаним умовам (рис. 2.4):

$$1. f(0) = 0 \cdot e^{-a \cdot 0} = 0;$$

$$2. \exists f(x_0): f'(x_0) = 0;$$

$$(t \cdot e^{-at})' = e^{-at} - a \cdot t \cdot e^{-at} = (1 - a \cdot t) \cdot e^{-at} = 0;$$

$$t = \frac{1}{a};$$

$$f''(t) = -a \cdot e^{-at} + (1 - a \cdot t) \cdot (-a) \cdot e^{-at} = e^{-at} \cdot (-2 \cdot a + a^2 \cdot t) = 0;$$

$$f''\left(\frac{1}{a}\right) = -e^{-1} \cdot (-2 \cdot a + a) = -ae^{-1} < 0;$$

$$3. \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{e^{at}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{a \cdot e^{at}} = 0.$$

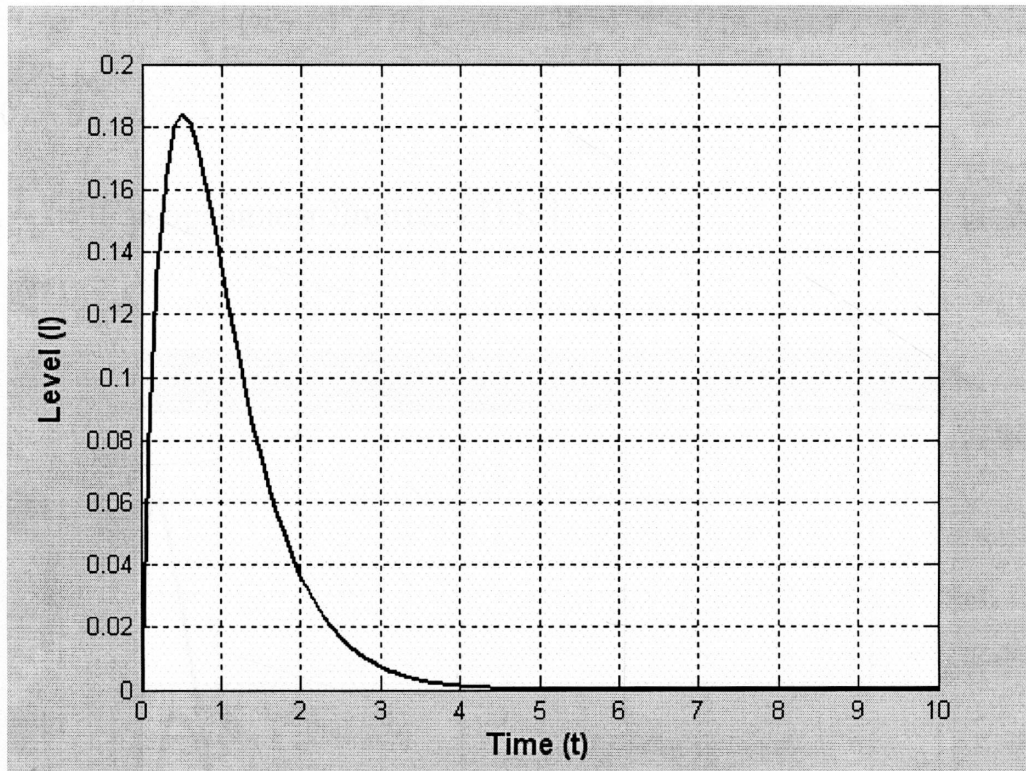


Рис. 2.5 Графік функції  $y = t \cdot e^{-at}$ ,  $a > 0$

Залежність (2.3) має параметр  $a > 0$ , що дозволяє одержати вже цілий спектр кривих, які є топологічно (за своїм просторовим розташуванням) подібними, що не дозволяє ввести багато параметрів, від яких залежить рівень підняття паводкових вод.

Тому пропонується наступна двопараметрична модель для визначення функції типу (2.1) виду (рис. 2.6).

$$y = t^n \cdot e^{-at}, \quad a > 0, \quad n > 0. \quad (2.4)$$

Для функції (2.6) всі умови (2.1) є визначеними:

$$(t^n \cdot e^{-at})' = n \cdot t^{n-1} \cdot e^{-at} - a \cdot t^n \cdot e^{-at} = t^{n-1} \cdot (n \cdot e^{-at} + a \cdot t \cdot e^{-at}) = t^{n-1} \cdot e^{-at} \cdot (n - a \cdot t) =$$

1.  $= 0 \rightarrow t = \frac{n}{a}$  ;

$$(t^n \cdot e^{-at})'' = -a \cdot e^{-at} \cdot t^{n-1} \cdot (n - a \cdot t) + e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot (n-1) \cdot (n - a \cdot t) + e^{-at} \cdot t^{n-1} \cdot (-a) =$$

$$= e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [(-a) \cdot t \cdot (n - a \cdot t) + (n-1) \cdot (n - a \cdot t) - a \cdot t] = e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [-a \cdot t \cdot n + a^2 \cdot t^2] +$$

$$+(n^2 - n - n \cdot a \cdot t + a \cdot t) - a \cdot t] = e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [-a \cdot t \cdot n + a^2 \cdot t^2 + n^2 - n - n \cdot a \cdot t] =$$

$$= e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [a^2 \cdot t^2 - 2 \cdot a \cdot t \cdot n + n^2 - n] = e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [(a \cdot t - n)^2 - n]$$
 ;

$$f''\left(\frac{n}{a}\right) = -e^{-n} \cdot \left(\frac{n}{a}\right)^{n-2} \cdot [(n - n)^2 - n] = -n \cdot e^{-n} \cdot \left(\frac{n}{a}\right)^{n-2} < 0;$$

2.  $f(0) = 0$ ;

3.  $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t^n}{e^{at}} = 0$  за правилом Лопіталя [115].

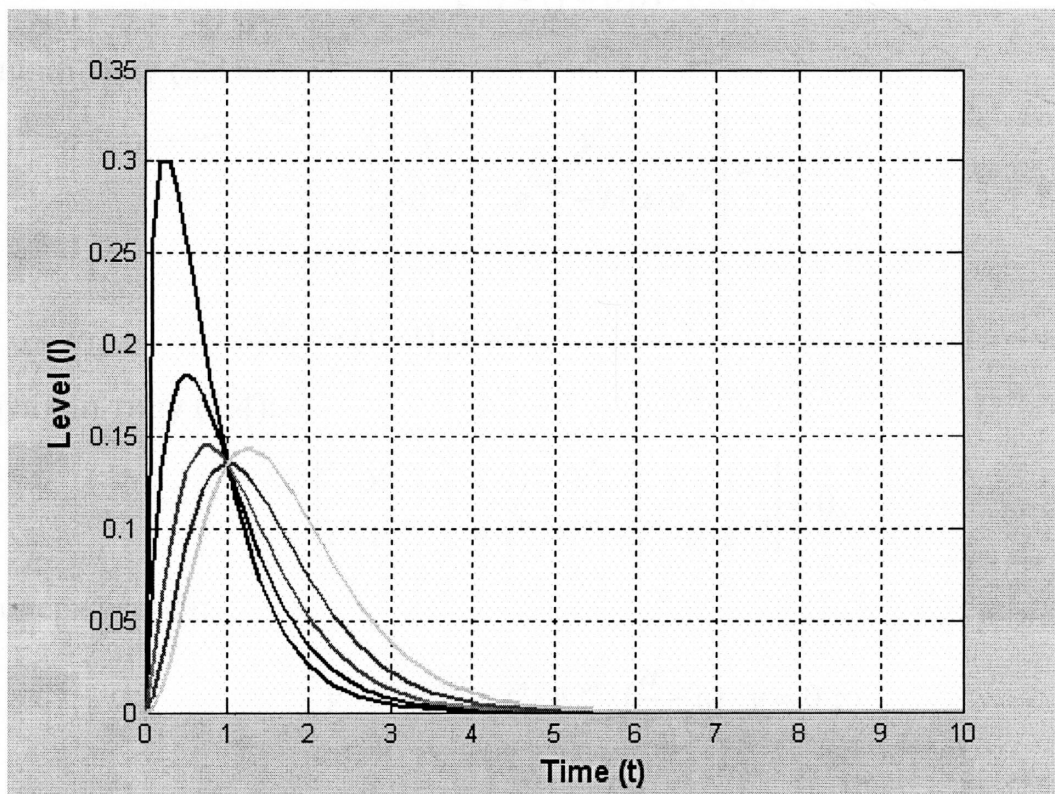


Рис. 2.6 Сімейство графіків функції  $y = t^n \cdot e^{-at}$ ,  $a > 0$ ,  $n > 0$

Використовуючи, наприклад, залежність (2.4), можна відновити диференціальне рівняння процесу, що описується кожною з функцій (2.2)-(2.4).

Для цього можна скористатись наступною властивістю лінійних систем: якщо функція  $y_1(x)$  задовольняє диференціальне рівняння першого порядку виду  $f(y, y') = 0$ , то виконується наступна умова [114, 116]:

$$\begin{vmatrix} y(x) & y'(x) \\ y_1(x) & y_1'(x) \end{vmatrix} = 0. \quad (2.5)$$

Тоді, при підстановці у визначник (2.5) функції  $y_1(x)$ , згідно з властивостями визначників, рівність (2.5) задовольняється тотожно. Проводячи подібні величини, можна одержати диференціальні рівняння, розв'язками яких є відповідні функції: для функції (2.2) рівняння (2.5) набуває виду:

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ t \cdot e^{-t} & e^{-t} - t \cdot e^{-t} \end{vmatrix} = 0$$

або після зведення подібних доданків:

$$y' \cdot t - (1 - t \cdot a) \cdot y = 0, \quad (2.6)$$

для функції типу (2.3):

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ t \cdot e^{-at} & e^{-at} - t \cdot a \cdot e^{-at} \end{vmatrix} = 0,$$

або:

$$y' \cdot t - (1 - t) \cdot y = 0, \quad (2.7)$$

а для функції типу (2.4):

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ t^n \cdot e^{-at} & n \cdot t^{n-1} e^{-at} - t^n \cdot a \cdot e^{-at} \end{vmatrix} = 0,$$

звідки одержується:

$$y' \cdot t^n \cdot e^{-at} - t^n \cdot e^{-at} \cdot \left(\frac{n}{t} - a\right) \cdot y = 0;$$

$$y' = \left(\frac{n}{t} - a\right) \cdot y. \quad (2.8)$$

Для кожного з рівнянь (2.6)-(2.8), а особливо для рівняння (2.8) необхідно поставити початкові умови виду:

$$y(t_0) = y_0, \quad (2.9)$$



задання умов у вигляді (2.9) дозволяє враховувати початковий рівень паводку:

$$y = y_0 \cdot e^{at_0} \cdot e^{-at} \cdot t_0^{-n} \cdot t^n = y_0 \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^n \cdot e^{-a(t-t_0)}.$$

Важливого значення набуває також встановлення фізичного змісту коефіцієнтів  $n$  та  $a$ , які можуть бути функціями виду:

$$\begin{cases} n = n(x_1, x_2, \dots, x_k, t); \\ a = a(x_1, x_2, \dots, x_k, t), \end{cases} \quad (2.10)$$

де величини  $x_k$  – вологість ґрунту та кількість атмосферних опадів, а змінна  $t$  – час. Виникає питання – яким чином визначаються числові значення параметрів у (2.10) для різних типів паводків та як обираються змінні в (2.10), які найбільш суттєвим чином впливають на вказані залежності. Необхідно також дати тлумачення компонентам рівняння (2.8). Функція  $y(t)$  – рівень паводкових вод у деякий момент часу, який змінюється пропорційно самому собі із знакозмінним коефіцієнтом виду:

$$k = \frac{n}{t} - a, \quad (2.11)$$

де  $n$  та  $a$  – емпірично визначені коефіцієнти. При  $k > 0$  інтенсивність паводку росте, при  $k < 0$  – спадає.

Нехай для деякого паводку відомими є статистичні дані про його перебіг  $(y_i, t_i)$ . Особливістю моделі типу (2.8) є те, що за даними значеннями  $(y_i, t_i)$   $i=1, \dots, N$ , де  $N$  – число спостережень, кількість яких у період інтенсивного паводку може бути досить значним через те, що контроль за рівнем паводкової води здійснюється регулярно, для оцінки параметрів  $n$  та  $a$  можна використати апарат лінійної регресії. З цією метою функція (2.4) може бути записана у вигляді (з використанням операції логарифмування):

$$\begin{aligned} \ln y &= n \ln t - at, \\ \frac{\ln y}{t} &= n \frac{\ln t}{t} - a, \end{aligned} \quad (2.12)$$

вводячи позначення  $\tilde{y} = \frac{\ln y}{t}$ ;  $\tilde{t} = \frac{\ln t}{t}$ ;  $\tilde{k} = n$ ;  $\tilde{b} = -a$ , одержуємо:

$$\tilde{y} = \tilde{k}\tilde{t} + \tilde{b}, \quad (2.13)$$

тобто, рівняння лінійної регресії. Використовуючи відомі формули [115] для коефіцієнтів лінійної регресії, одержується:

$$\tilde{k} = \frac{N \sum \tilde{y}_i \tilde{t}_i - \sum \tilde{y}_i \sum \tilde{t}_i}{N \sum \tilde{t}_i^2 - (\sum \tilde{t}_i)^2}, \quad (2.14)$$

$$\tilde{b} = \frac{1}{N} (\sum y_i - \tilde{k} \sum \tilde{t}_i)$$

Параметри  $n$  та  $a$  можуть бути визначені однозначно, що дозволяє говорити про побудований регуляризуючий алгоритм для некоректної задачі відновлення функції за умовами (2.1). Для визначення факторів, які впливають на процес, використовується методика [117] асоціативного аналізу, яка дозволяє виділити змінні та параметри, що впливають на процес підвищення паводкових вод.

Нехай за результатами експериментальних досліджень та аналізу статистичних даних встановлена кількісна характеристика деякого параметру  $x_i$ , діапазон зміни якого можна розділити на два відрізки, які відповідають приблизно рівноймовірним значенням величини  $x_i$ . При цьому будується табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Генерування даних для проведення асоціативного аналізу залежності між величинами  $f$  та  $x_i$**

	$x_i < x_i^c$	$x_i > x_i^c$	$\Sigma$
$f < f_0$	$A$	$B$	$A + B$
$f > f_0$	$C$	$D$	$C + D$
$\Sigma$	$A + C$	$B + D$	$N$

де  $x_i^c$  – середнє значення, яке ділить діапазон зміни досліджуваної величини, що впливає на підняття рівня паводкових вод,  $f$  – значення рівня паводкових вод,  $f_0$  – деяке середнє значення, яке ділить діапазон зміни паводкових вод на інтервали, в яких значення  $f$  розподіляються приблизно однаково за кількістю.  $A, B, C, D$  – число результатів порівняння, які відповідають вказаним значенням  $f$  та  $x_i$ .

Обчислюються величини:

$$A + B = n_1;$$

$$C + D = n_2;$$

$$A + C = n_3;$$

$$B + D = n_4.$$

Очевидно, загальна кількість дослідів дорівнює або  $n_1 + n_2$ , або  $n_3 + n_4$ .

Коефіцієнт контингенції обчислюється за формулами:

$$\psi = \frac{AD - BC}{\sqrt{(A + B)(C + D)(A + C)(B + D)}}. \quad (2.15)$$

Якщо  $\psi > 0,3$ , то зв'язок між величинами вважається підтвердженим, він повинен бути вивчений детальніше, якщо ж  $\psi < 0,3$ , то зв'язок між вказаними величинами можна вважати несуттєвим.

Пропонується наступна методика оцінки рівня паводкових вод та прогнозування їх розвитку. Нехай шляхом вивчення паводків, що мали місце в досліджуваному регіоні одержано за методикою (2.12)-(2.14) співвідношення:

$$f_i = t^{n_i} \cdot e^{-a_i t}, \quad i = 1, \dots, k, \quad (2.16)$$

де  $k$  – кількість досліджуваних паводків. Визначаються параметри  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , які впливають на формування та розвиток паводку – кількість атмосферних опадів, водно-фізичні властивості ґрунтів (водопроникність, водоемність), вологість повітря, напрям і швидкість вітру тощо. Вважається, що на підставі експериментальних досліджень ці величини є відомими для кожного з паводків  $x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i$ .

За методикою [117] асоціативного аналізу для кожної з величин  $x_s, s = 1, \dots, M$  визначається коефіцієнт контингенції (2.15) і встановлюється

рівень зв'язку між відповідними  $x_s$  та  $f$ . Таким чином число величин  $x_i, i=1, \dots, M$ , які впливають на  $f$ , скорочується, і в подальшому розглядаються лише ті  $x_j, j=1, \dots, M_0, M_0 \leq M$ , які впливають на процес.

Вказані результати дозволяють оптимізувати процедуру експериментальних досліджень – скорочується кількість параметрів  $x_j, j=1, \dots, M_0$ , для яких необхідно розробити методи експериментальної оцінки та контролю. При вивченні можливості паводку в даному регіоні визначаються значення  $x_j^p, j=1, \dots, M_0$  ( $x_j^p$  – прогнозовані значення), після чого використовується формула (2.16) та визначені для паводків  $f_i$  параметри  $x_j, j=1, \dots, M_0$ , які впливають  $f_i$ . Знаходиться величина:

$$\arg \min \left\{ \sum (x_j^i - x_j^p)^2 \right\} = j^*, \quad (2.17)$$

з метою одержання більш точного прогнозу знаходимо величини  $j_s^*, s=1, \dots, N_0, N_0(N_0=2)$ , які є найближчими до  $j^*$ . Вибираємо ті формули (2.17), які відповідають знайденим  $j_s^*$ . Використовуючи відповідні залежності  $f_i$  (2.17), знайдені для  $j_s^*$  (в найпростішому варіанті  $j_s^*$  є єдиним і  $j_s^* = j^*$ , знайденим за (2.17)), з використанням відповідних графіків вибираємо можливий рівень паводку та його інтенсивність [118].

### 2.3. Математичний апарат прогнозування рівня паводкових вод

При проведенні тестових розрахунків статистичних даних вимірів рівня р. Прут (метеорологічні станції Яремче, Чернівці та Коломия) у період паводкових вод (вихідні дані отримано у період 23.07-27.07.2008 р. [119]) встановлено, що залежність (2.4) у деяких випадках відображає поведінку реальних паводкових процесів з недостатнім рівнем точності (рис. 2.7-2.9).

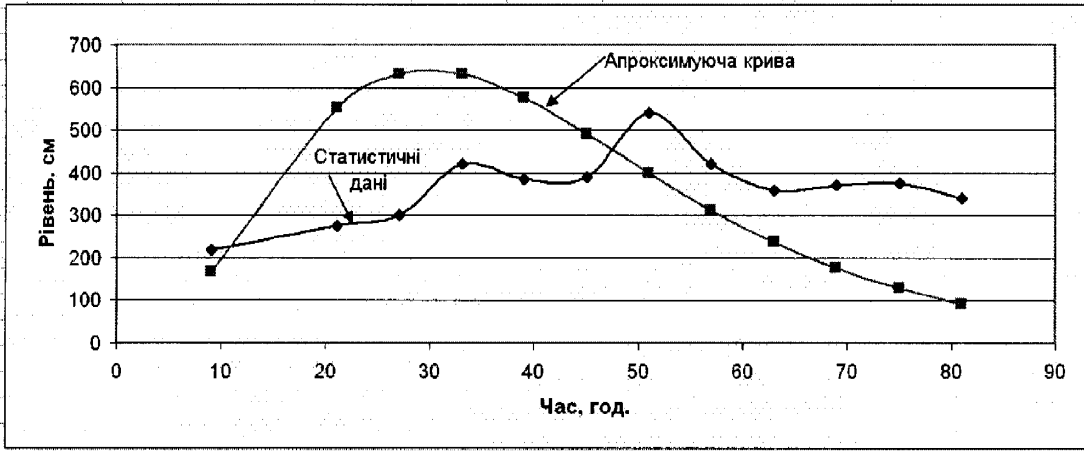


Рис. 2.7 Апроксимація за допомогою функції  $y = t^n \cdot e^{-at}$   
для р. Прут – м. Яремче

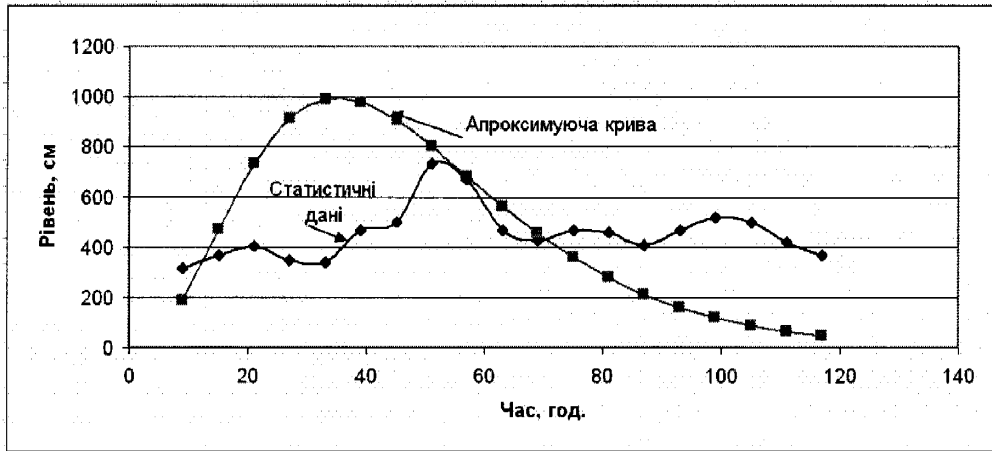


Рис. 2.8 Апроксимація за допомогою функції  $y = t^n \cdot e^{-at}$   
для р. Прут – м. Коломия

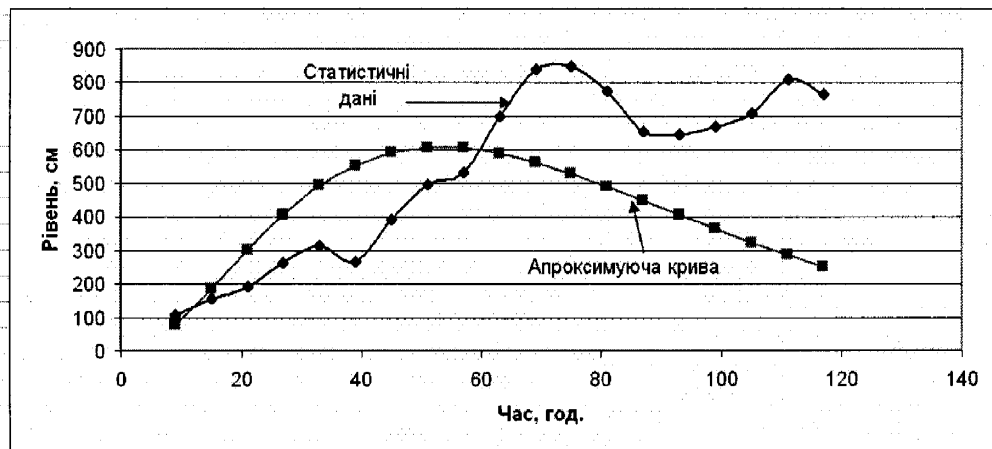


Рис. 2.9 Апроксимація за допомогою функції  $y = t^n \cdot e^{-at}$   
для р. Прут – м. Чернівці

У тих випадках, коли (2.4) дає значні похибки моделювання, з метою побудови апроксимуючих кривих, які будуть краще апроксимувати експериментальні дані [63] запропоновано замість формули (2.4) використовувати функцію виду:

$$y_i = \frac{c_j}{b_j \cdot (t - t_0)^2 + 1}, \quad j = 1, \dots, 2, \quad (2.18)$$

яка дозволяє розбити експериментальні дані на дві частини та проводити апроксимацію за даною формулою для кожної з цих частин зокрема. У формулі (2.18)  $c_j$ ,  $b_j$  – коефіцієнти, що знаходяться за методом найменших квадратів до моменту  $t = t_0$ , який відповідає піку паводку ( $j = 1$ ), та після цього пікового моменту ( $j = 2$ ). Це дозволяє розширити клас явищ, які описуються залежністю (2.18), оскільки у випадку прийняття єдиних значень  $c$  та  $b$  для всіх моментів часу функція (2.18) є парною, а це суттєво обмежує клас явищ, що розглядаються лише випадком симетричних процесів. У даному випадку виникає лише єдина проблема – функція (2.18) при різних  $b_j$  та  $c_j$  може бути розривною, проте це не обмежує її можливостей при описанні процесів у випадку невеликої різниці значень  $y_i$  в точці  $t_0$ .

Пропонується наступна схема обробки даних про поведінку паводку за відомими  $(y_i, t_i)$  [63]:

1. за відомими значеннями  $(y_i, t_i)$  і за відомою методикою будується залежність  $y = t^n \cdot e^{-at}$ . Знаходиться точка максимуму цієї функції:

$$\begin{cases} y' = n \cdot t^{n-1} \cdot e^{-at} - a \cdot t^n \cdot e^{-at} \\ t^{n-1} \cdot e^{-at} \cdot [n - a \cdot t] = 0 \\ t_0 = \frac{n}{a} \end{cases} \quad (2.19)$$

2. За знайденим значенням  $t_0 = \frac{n}{a}$  знаходяться коефіцієнти  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$

і формулах:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{c_1}{b_1 \cdot (t-t_0)^2 + 1} \\ y_2 = \frac{c_2}{b_2 \cdot (t-t_0)^2 + 1} \end{cases}, \quad (2.20)$$

за відомими значеннями  $(y_i, t_i)$  з використанням методу найменших квадратів.

Перетворення приводяться лише для  $j = 1, j = 2$ :

$$\begin{cases} y_{1,2} \cdot b_{1,2} \cdot (t-t_0)^2 + y_{1,2} = c_{1,2} \\ y_{1,2} = -b_{1,2} \cdot y_{1,2} \cdot (t-t_0)^2 + c_{1,2} \end{cases}, \quad (2.21)$$

$$\begin{cases} \tilde{y} = y_{1,2} \\ \tilde{t} = y_{1,2} \cdot (t-t_0)^2 \\ \tilde{k} = -b_{1,2} \\ \tilde{b} = c_{1,2} \end{cases}, \quad (2.22)$$

тому  $\tilde{y} = \tilde{k} \cdot \tilde{b} + \tilde{t}$ , і для знаходження  $\tilde{k}$  і  $\tilde{t}$  використовуються відомі співвідношення (2.14).

Здійснюючи обернені перетворення, знаходимо  $b_1$  та  $c_1$ . Результати проведених розрахунків засвідчують ріст точності апроксимації. У тому випадку, коли точність наближення продовжує залишатись невисокою, пропонується використання апроксимуючих функцій виду:

$$y = \frac{c}{b \cdot (t-t_0)^k + 1}, \quad (2.23)$$

де  $k = 0,8 \div 2,6$ . Коефіцієнт  $k$  визначає плавність апроксимуючої кривої [63].

За формулою типу (2.18) можна відтворити рівняння процесу розвитку паводку. З цією метою можна скористатись залежністю для побудови диференційного рівняння за його розвитком  $f(t)$ .

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ f(t) & f'(t) \end{vmatrix} = 0. \quad (2.24)$$

У даному випадку:

$$f(t) = \frac{c}{b \cdot (t-t_0)^k + 1}, \quad (2.25)$$

$$f'(t) = -\frac{2 \cdot b \cdot c \cdot (t - t_0)}{(b \cdot (t - t_0)^2 + 1)^2}, \quad (2.26)$$

з урахуванням (2.26) та (2.27):

$$\left| \begin{array}{c} y \\ c \\ \hline b \cdot (t - t_0)^2 + 1 \end{array} \quad \begin{array}{c} y' \\ -\frac{2 \cdot b \cdot c \cdot (t - t_0)}{(b \cdot (t - t_0)^2 + 1)^2} \\ \hline \end{array} \right| = 0. \quad (2.27)$$

Виходячи з під знаку визначника множник  $\frac{c}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1}$ , одержується:

$$\left| \begin{array}{c} y \\ 1 \\ \hline 1 \end{array} \quad \begin{array}{c} y' \\ -\frac{2 \cdot b \cdot (t - t_0)}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1} \\ \hline \end{array} \right| = 0, \quad (2.28)$$

що відповідає рівнянню:

$$y' = -\frac{2 \cdot b \cdot (t - t_0) \cdot y}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1}. \quad (2.29)$$

Очевидно, що при  $t \rightarrow \infty$   $y' \rightarrow 0$ , тобто має місце стабілізація рівня води, як правило, на до паводковому рівні.

Розв'язок рівняння є наступним:

$$\frac{dy}{y} = -\frac{2 \cdot b \cdot (t - t_0) \cdot dt}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1};$$

$$\ln y = -\ln(b \cdot (t - t_0)^2 + 1) + c;$$

$$y = \frac{c}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1}. \quad (2.30)$$

Приймаючи до уваги, що  $y(t_0) = y_0$ , залежність (2.30) запишеться у вигляді:

$$y = \frac{y_0}{b \cdot (t - t_0)^2 + 1}, \quad (2.31)$$

тобто, значення коефіцієнта  $c$  відповідає максимальному рівню паводкових вод.

На рис. 2.10 наведені наступні позначення: 1 – графік зміни рівня води річок у часі на основі статистичних даних, 2 – побудова апроксимуючих кривих за допомогою функції (2.16) та 3 – побудова апроксимуючих кривих за допомогою функції (2.20).



На рис. 2.10 зображені графік та дві апроксимуючі криві зміни рівня паводкових вод у часі. Даний рисунок підтверджує те, що раніше запропонована функція (2.16) не описує реально паводкові процеси і отримані прогнозовані значення рівня паводкових вод не є близькими до реальних, що не можна сказати про функцію (2.20), на рис. 2.10 – це позначення 3.

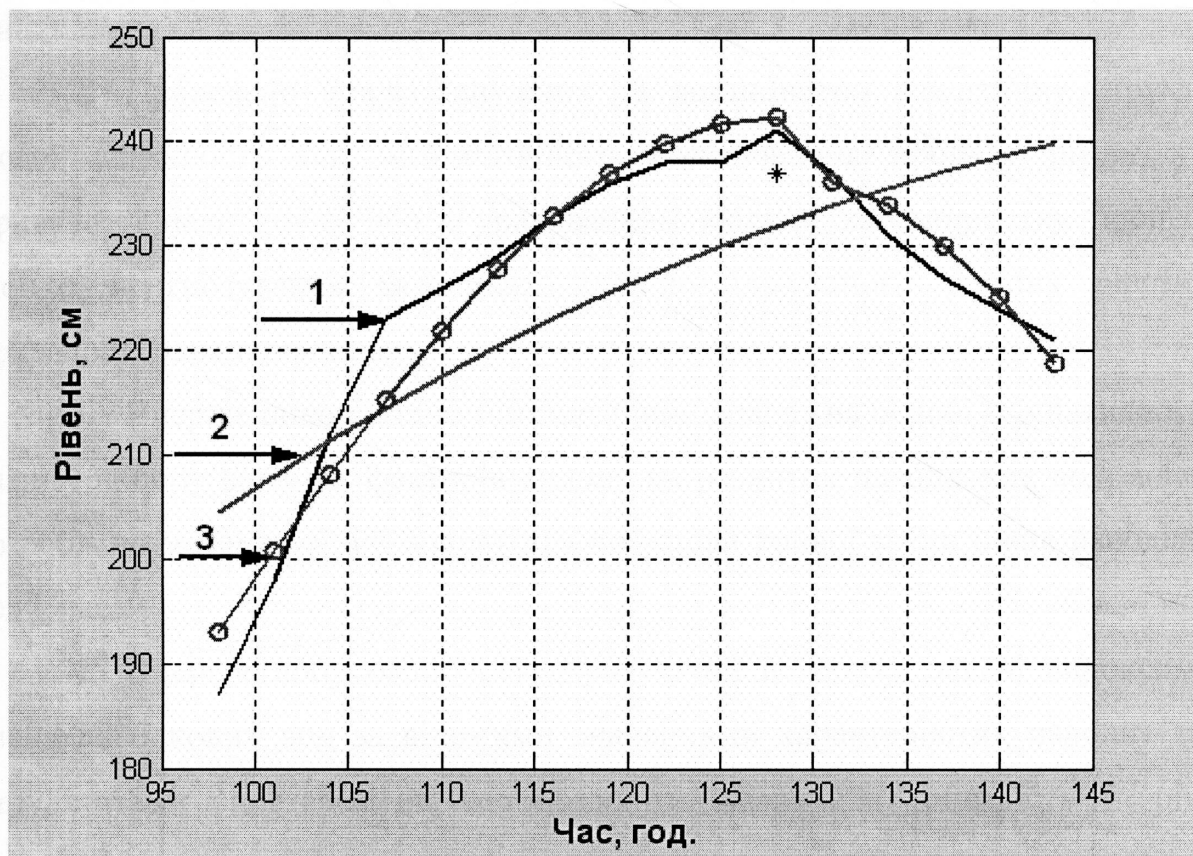


Рис. 2.10 Побудова апроксимуючих кривих для р. Тиса – м. Рахів (13.04-14.04.2013 р.)

Програма для побудови графіків написана у програмному середовищі Matlab і наведена у Додатку Б.

Аналіз точності апроксимуючих кривих наведено у розділі 3, п.п. 3.5.

Теоретичні передумови розроблення методу прогнозування рівня паводкових вод впроваджені у навчальний процес при вивченні дисциплін “Основи наукових досліджень і технічної творчості” та “Формалізація та моделювання систем” (Додадок Д, рис. Д.2)

## Висновки до розділу 2

1. Досліджено і детально вивчено процес підняття рівня води річок з метою ефективного контролю і прогнозування їх рівня у період паводків чи повеней, на основі якого, розроблена прогностична схема, що включає як природні фактори, так і антропогенні чинники, що призводять до їх виникнення.

2. Проведено аналіз існуючих та встановлено аналітичну структуру нової залежності для математичного моделювання процесу розвитку та тривалості паводкових вод з урахуванням якісних характеристик процесу з метою прогнозування можливих для досліджуваного регіону рівнів та тривалості паводкових вод.

3. Вперше використано математичний апарат на основі асоціативного аналізу вибору вагомих факторів впливу на розвиток паводкових вод, а також розроблено математичний апарат для побудови кривої зміни рівня паводкових вод у часі.

4. Вперше побудовано регуляризуючий алгоритм задачі апроксимації рівня паводкових вод за відомими значеннями характеристик паводку та за результатами спостережень, що дозволить визначити тривалість та рівень паводкових вод та у порівнянні з існуючими математичними моделями надає інформацію про критичні значення кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів досліджуваного басейну річки.

5. Вперше встановлено диференціальні рівняння I-го порядку для математичного опису процесу зміни рівня паводкових вод, що дозволяють використовувати для прогнозування метеорологічні дані (кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів).

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД

#### 3.1. Методика збору та обробки статистичних даних про паводок

Збір статистичних даних (метеорологічних даних та даних про рівень паводкових вод) здійснювався на основі отриманих значень з метеорологічних гідропостів чи автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем, які розміщуються на берегах річок та опорах мостів. Кількість АІВС чи гідропостів визначається, виходячи з того, яка площа досліджуваного басейну і яка частота появи паводкових вод.

Щодо часового інтервалу контролю вихідних даних (метеорологічних та даних про рівень паводкових вод), то його налаштування здійснюється працівниками (розробниками) центрами збору інформації, Міністерства надзвичайних ситуацій чи державної гідрометеорологічної служби України.

Обробка статистичних даних про рівень води річок [119, 120] у період паводків здійснювалась за результатами даних з гідропостів наступних міст (Івано-Франківської, Вінницької та Закарпатської областей):

- р. Тиса – м. Рахів у періоди 03.04-04.04.2013 р. та з 10.04.2013 р. по 14.04.2013 р. дані наведені у Додатку Г, табл. Г.1-Г.2;
- р. Дністер – м. Могилів-Подільський у періоди з 09.04.2013 р. по 12.04.2013 р. та з 21.09.2014 р. по 23.09.2014 р. (Додаток Г, табл. Г.3 та табл. Г.4);
- р. Латориця – м. Мукачеве, у періоди 22.05-24.05.2013 р., 12.05.-13.05.2014 р. та 22.05.-31.05.2013 р. (Додаток Г, табл. Г.5-Г.7);
- м. Яремче, м. Коломия та м. Чернівці для р. Прут у період катастрофічного паводку з 24.07.08 по 25.07.08, з 24.07.08 по 25.07.08 та з 24.07.08 по 26.07.08 відповідно (табл. 3.1).

Розрахунковий час вимірювання паводкових вод для річок Тиса, Дністер та Латориця становить 3 год., а для р. Прут – 6 год.

Обробки статистичних даних [121, 122], згідно 2.2-2.3, полягає у наступному:

- підрахунку математичного очікування для статистичних даних;
- встановленні факту існування взаємозв'язку між факторами впливу і рівнем води у річках здійснюється за методом асоціативного аналізу (2.15);
- аналізі отриманого значення коефіцієнта контингенції, а саме: якщо  $\psi > 0,3$ , то зв'язок між величинами вважається підтвердженим, він повинен бути вивчений детальніше, якщо ж  $\psi < 0,3$  – зв'язок між вказаними величинами можна вважати несуттєвим;
- побудові апроксимуючої кривої згідно п. 2.3, дозволяє що визначити тривалість та рівень паводкових вод.

Щодо вище описаного алгоритму обробки статистичних даних, то для більш детального аналізу використовувались метеорологічні дані (кількість атмосферних опадів (мм), дефіцит вологості повітря (гПа) та швидкість вітру (м/с) з гідропостів міст Яремче, Коломия та Чернівці для р. Прут у період катастрофічного паводку 2008 р. (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів контингенції з метеорологічних станцій Яремче, Коломия та Чернівці та даних про рівень води р. Прут**

№п/п	Дата (2008 р.)	Рівні води р. Прут, см			Метеорологічні станції та дані								
		м. Яремче	м. Коломия	м. Чернівці	м. Яремче			м. Чернівці			м. Коломия		
					Опади, мм	Дефіцит вологості,	Швидкість вітру	Опади	Дефіцит вологості	Швидкість вітру	Опади	Дефіцит вологості	Швидкість вітру
1	2	3	4	5	6			7			8		
1	24.07	300	348	264	3	0,6	0	2	2,0	2	-	1,6	2
2	24.07	420	338	314	28	0,8	2	2,0	1,0	4	34	0,8	2
3	24.07	385	468	265	18	0,6	4	25	1,3	4	-	0,8	2
4	24.07	390	498	392	4	0,2	0	5	1,4	5	43	1,0	4

## продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6			7			8		
5	25.07	540	734	497	82	0,4	0	0,6	2,4	3	43	0,4	3
6	25.07	420	668	532	7	0,6	1	6,4	1,3	5	16	0,2	2
7	25.07	360	468	700	7	0,8	0	0,5	2,9	0	2	6,1	3
8	25.07	370	428	840	15	0,6	0	1,5	1,5	4	1	1,9	1
9	26.07	375	468	850	18	0,6	0	8,0	1,4	5	24	0,4	1
10	26.07	340	458	775	7	1,1	0	31	1,4	6	12	0,7	5
11	26.07	370	408	655	11	1,1	1	0,3	4,1	5	11	2,9	4

Методика збору та обробки статистичних даних полягає у тому, що на основі даних гідрометеорологічної мережі про рівень води річок під час паводку та метеорологічних даних (кількість атмосферних опадів, дефіцит вологості повітря та швидкість вітру), які спостерігалися раніше – складається прогноз на можливість формування паводку в майбутньому (табл. 3.1).

Побудова апроксимуючих кривих дозволяє визначити тривалість та рівень паводкових вод, а також встановити критичні значення кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів для досліджуваного басейну річок.

### **3.2. Обробка статистичних даних про розвиток паводку, які одержані з гідрометеорологічних станцій басейнів річок Тиса, Прут, Дністер та Латориця**

#### **3.2.1. Виявлення вагомих факторів впливу на розвиток паводку**

З метою більш детального вивчення та обґрунтування впливу метеорологічних даних (кількість атмосферних опадів, дефіцит вологості повітря та швидкість вітру) на рівень паводкових вод здійснено розрахунок коефіцієнтів контингенції для кожних з двох параметрів впливу, наприклад залежність рівня води р. Прут за даними вимірів з метеорологічних станцій (Яремче, Чернівці, та Коломия) від кількості атмосферних опадів, дефіциту вологості повітря, швидкість вітру, а також вплив одних метеорологічних даних на інші.

Вихідними величинами для розрахунку коефіцієнтів контингенції є дані з метеорологічних станцій Яремче ( виділено світло-сірим кольором), Коломия (виділено сірим кольором) та Чернівці (виділено темно-сірим кольором) та даних про рівень води річки Прут, що наведені в табл. 3.1 [119].

У табл. 3.2 наведені розрахункові тестові значення коефіцієнтів контингенції на основі даних з метеорологічних станцій Яремче, Чернівці та Коломия та даних про рівень води р. Прут .

Таблиця 3.2

**Розрахункові тестові значення коефіцієнтів  
контингенції для р. Прут**

Метеорологічні станції	Коефіцієнти контингенції					
	Рівень води – кількість опадів	Рівень води –дефіцит вологості повітря	Рівень води – швидкість вітру	Кількість опадів – дефіцит вологості повітря	Кількість опадів – швидкість вітру	Швидкість вітру – дефіцит вологості повітря
1	2	3	4	5	6	7
Коломия	0,0833	-0,1636	0,135	-0,4629	0	-0,0833
Яремче	0,7303	-0,4472	-0,041	0,3162	0,1491	0,1886
Чернівці	0,2609	0,5222	-0,258	-0,4629	-0,4045	0,375

Аналізуючи результати в табл. 3.1, можна зробити наступні висновки:

– отримані розрахункові значення коефіцієнтів контингенції (рівень води – кількість опадів, стовпчик 2 табл. 3.2) для р. Прут – м. Яремче задовольняють умову  $\psi > 0,3$ , що дає підстави вважати, що кількість атмосферних опадів впливають на підняття рівня води річок у період паводків чи повеней (водопілля) [121, 122];

– підтвердженням взаємозв'язку кількість опадів – дефіцит вологості повітря – 0,3162 (м. Яремче, стовпчик 5, табл. 3.2) є те, що утворення атмосферних опадів відбувається при зниженні температури або з високою абсолютною вологістю повітря, що є складовою дефіциту вологості [96]. Щодо

взаємозв'язку рівень води – дефіцит вологості повітря – 0,5222 (м. Чернівці, стовпчик 3, табл. 3.2), то він правильний лише із затримкою в часі.

Щодо взаємозв'язку швидкість вітру – дефіцит вологості повітря (0,375, м. Чернівці, стовпчик 7, табл. 3.2), то згідно [123] вологість повітря змінюється у просторі й часі у зв'язку з зміною температури повітря, стану поверхні та переносу вологи.

Від'ємні і низькі взаємозв'язки досліджуваних величин вказують на те, що значну роль відіграють як природні фактори (рельєф, геологічна будова та ґрунтовий покрив, рослинний покрив, географічне положення), а також вони є меншими за умову п. 2.3 ( $\psi > 0,3$ ).

З метою більш детального вивчення взаємозв'язків рівня паводкових вод з метеорологічними даними здійснено розрахунок статистичних коефіцієнтів кореляції Пірсона (3.1) та Спірмена (3.2) для басейнів річки Прут з гідропостів Яремче, Коломия та Чернівці [119, 124]:

$$r_{P,x_k,y_k} = \frac{\sum (x_k - M_x)(y_k - M_y)}{\sqrt{\sum (x_k - M_x)^2 \sum (y_k - M_y)^2}}, \quad (3.1)$$

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{m(m^2 - 1)}, \quad (3.2)$$

де  $r_{P,x,y}$ ,  $\rho$  – коефіцієнти кореляції Пірсона та Спірмена [125] відповідно,  $x_k$ ,  $y_k$  – значення випадкових величин (кількість атмосферних опадів, дефіцит вологості та швидкість вітру),  $m$  – найбільший елемент послідовності рангів,

$M_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$ ,  $M_y = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k$  – оцінки математичного очікування випадкових

величин  $x_k$ ,  $y_k$ .

Коефіцієнт кореляції Пірсона є показником кореляції (лінійної залежності) між двома змінними  $x_k$ ,  $y_k$ , який набуває значень від -1 до +1 включно. Значення +1 означає, що залежність між  $x_k$ ,  $y_k$  є лінійною і відображає зростання  $Y$  при зростанні  $X$ . Значення -1 – відображає зменшення  $Y$  при зростанні  $X$ . Якщо коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0, то лінійної кореляції між змінними немає.

Рангова кореляція Спірмена є непараметричною мірою статистичної залежності між двома змінними, який визначають між рангами, тобто рядами одержаних кількісних значень, ранжованих у порядку спадання або зростання.

При  $\rho > 0$  зв'язок між показниками прямий, а при  $\rho < 0$  – обернений. Якщо  $\rho$  наближається до 1, між показниками існує тісний (сильний) зв'язок, якщо  $\rho < 0,3$  вважається, що взаємозв'язок практично відсутній.

Перевірка значимості коефіцієнтів кореляції Пірсона та Спірмена здійснюється на основі порівняння критичних (табличних значень коефіцієнтів кореляції Пірсона та Спірмена) і якщо вчислена по модулю величина буде меншою теоретичної, то взаємозв'язку між двома змінними  $x_k$ ,  $y_k$  немає. Мінімальне число критичних значень коефіцієнтів кореляції Пірсона та Спірмена становить 5, максимальне – 600 [126].

Отримані результати наведені у табл. 3.3. У таблиці сірим кольором виділені ступеня кореляції середні, високі та дуже високі.

Таблиця 3.3

**Розрахункові статистичні коефіцієнти для даних  
з метеорологічних станцій**

Метеорологічні дані та рівень води	Статистичні коефіцієнти для даних з метеорологічних станцій					
	Яремче		Коломия		Чернівці	
	Пірсона	Спірмена	Пірсона	Спірмена	Пірсона	Спірмена
1	2	3	4	5	6	7
Рівень води – кількість опадів	0,7908	0,9868	0,005	0,591	0,0235	-0,009
Рівень води – дефіцит вологості повітря	-0,3868	-0,3	-0,3487	0,3088	0,4183	0,4



продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7
Рівень води – швидкість вітру	-0,0886	0,1088	0,105	0,1735	-0,125	0,2206
Кількість опадів – дефіцит вологості повітря	-0,1891	0,1341	-0,4115	-0,2454	-0,4116	-0,7364
Кількість опадів – швидкість вітру	0,017	0,3846	-0,6188	-0,1863	0,6932	0,4364
Швидкість вітру – дефіцит вологості повітря	0,4123	0,5118	-0,078	0	-0,3563	0,1838

Аналізуючи результати (табл. 3.3), можна зробити наступні висновки:

– отримано розрахункове значення коефіцієнта Пірсона (рівень води – кількість опадів), яке становить 0,7908 для р. Прут – м. Яремче (стовпчик 2, табл. 3.3) і засвідчує високу ступінь кореляції досліджуваних величин [125]. Здійснюючи перевірку значимості отриманого коефіцієнта кореляції Пірсона [124] з критичним (табличним значенням коефіцієнта кореляції  $r$ -Пірсона), при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  і ступені свободи  $m - 2 = 12$  критичне значення коефіцієнта кореляції  $r$ -Пірсона дорівнює 0,591 [124], що дає підстави стверджувати проте, що отримане значення коефіцієнта Пірсона є більшим від теоретичного (критичного) і вказує на взаємозв'язок досліджуваних величин. Також згідно [124, 127, 128], ступені свободи коефіцієнта кореляції  $r$ -Пірсона розраховуються, як  $m - 2$ , де  $m$  – кількість величин у двох вибірках, і згідно [124] критичне значення коефіцієнта кореляції Пірсона становить 0,388 та при перевірці параметричної гіпотези  $m = 14 - 0,532$ , що теж є меншим за отримане розрахункове значення коефіцієнта кореляції;

– здійснено порівняння розрахункового значення коефіцієнта Спірмена (рівень води – кількість опадів), який становить 0,9868 р. Прут – м. Яремче (стовпчик 3, табл. 3.3) при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  та ступені свободи  $m - 2 = 10$  критичне значення коефіцієнта кореляції дорівнює 0,632, що є

меншими за 0,9868 і засвідчує про сильний взаємозв'язок, а також здійснено підтвердження наявності даного взаємозв'язку між двома змінними, використовуючи t-критерій Стьюдента (3.3). При рівні значимості  $\alpha = 0,05$  і ступенях свободи  $m - 2 = 10$  критичні значення t-критерія Стьюдента дорівнюють 2,228. При цьому, підставляючи критичне значення (табличне) у формулу (3.3) отримуємо  $t_{rs} = 0,6897$  і згідно умови  $\rho > t_{rs}$  вказує на те, що існує ранговий кореляційний зв'язок [126]:

$$t_{rs} = \rho_{kr} \cdot \sqrt{\frac{1 - \rho^2}{m - 2}}, \quad (3.3)$$

де  $\rho_{kr}$  – критична точка, яку знаходять за таблицею критичних точок розподілу Стьюдента (мінімальне число ступенів свободи при  $m - 2$  складає 3, максимальне – 350), за рівнем значимості  $\alpha$  і числі ступенів свободи  $m - 2$ ;

– отримано розрахункове значення коефіцієнта Пірсона (кількість опадів – швидкість вітру), яке становить 0,6932 для р. Прут – м. Чернівці (стовпчик 6, табл. 3.3) засвідчує середню тісноту взаємозв'язку досліджуваних величин [125].

Перевірка значимості отриманого коефіцієнта кореляції Пірсона [124] з критичним (табличним значенням коефіцієнта кореляції r-Пірсона), при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  і ступені свободи  $m - 2 = 9$  критичне значення коефіцієнта кореляції r-Пірсона дорівнює 0,666 [126], що дає підстави стверджувати проте, що отримане значення коефіцієнтів Пірсона є більшим, а згідно [127, 128] критичні значення коефіцієнта кореляції Пірсона становлять 0,444 та при перевірці параметричної гіпотези  $m = 11 - 0,602$ , що теж є меншим за отримане розрахункове значення коефіцієнта кореляції.

Отримані розрахункові статистичні результати коефіцієнтів кореляції Пірсона та Спірмена також підтвердили взаємозв'язок рівень води – кількість опадів (місто Яремче, стовпчики 2-3, табл. 3.3), які були отримані при розрахунку коефіцієнтів контингенції.

Щодо решти взаємозв'язків, то вони є низькими, оскільки кількість ступенів свободи при  $m - 2$  коливалась від 9 до 14, при яких критичні (табличні) значення коефіцієнтів кореляції r-Пірсона та Спірмена становлять

від 0,666 до 0,532, що є більшими від отриманих розрахункових значень коефіцієнтів кореляції (табл. 3.3) [124].

Дані розрахунки також підтверджують, що природні фактори та антропогенні чинники впливають на підняття рівня води річок у період паводків чи повеней [11, 124].

### 3.2.2. Побудова апроксимуючих кривих рівня паводкових вод

Побудова апроксимуючих кривих згідно методики, яка описана в п. 2.2-2.3 здійснювалася на основі вихідних даних про рівні води річок Тиса, Дністер, Латориця та Прут (Закарпатська, Вінницька та Івано-Франківська обл.) [120, 129].

При аналізі апроксимуючих кривих рівня води річок враховувалось, що середня глибина річки Тиса становить 1,5 м, Дністер – до 2 м, Прут – 1 м та Латориця – 1,5 м.

Час, з якого встановлювався для прогнозування передпаводкового рівня ґрунтувався на тривалому рівні (постійному рівні води річок).

Отримані результати апроксимуючих кривих на основі статистичних даних про рівень паводкових вод річок Тиса та Дністер показані на рис. 3.1-3.4.

Позначення на рис. 3.1-3.9.

- $y_{\max}$  – максимальне значення паводкових вод;
- $y_p$  – передпаводковий рівень;
- $\Delta y$  – спад рівня води річок у період паводків;
- $t_{p.p.}$  – час формування паводкових вод (початковий час);
- $t_{k.p.}$  – час, що інформує про спад рівня паводкових вод (кінцевий час).

Статистичні дані про рівень води річок та кількості атмосферних опадів проаналізовані через кожні три години [120].

Аналіз рівнів паводкових вод р. Тиса – м. Рахів (03.04-04.04.2013 р.) на рис. 3.1 показав, що передпаводковий рівень води ( $y_p$ ) в 20:00 год., 10.04.2013 р. становив 182 см і досяг максимального підняття 214 см ( $y_{\max}$ ).

Спад рівня паводкових вод ( $t_{k.p.}$ ) відбувся в 44:00 год. (згідно позначення на рис. 3.1 – це 20:00 год.), 04.04.2013 р.

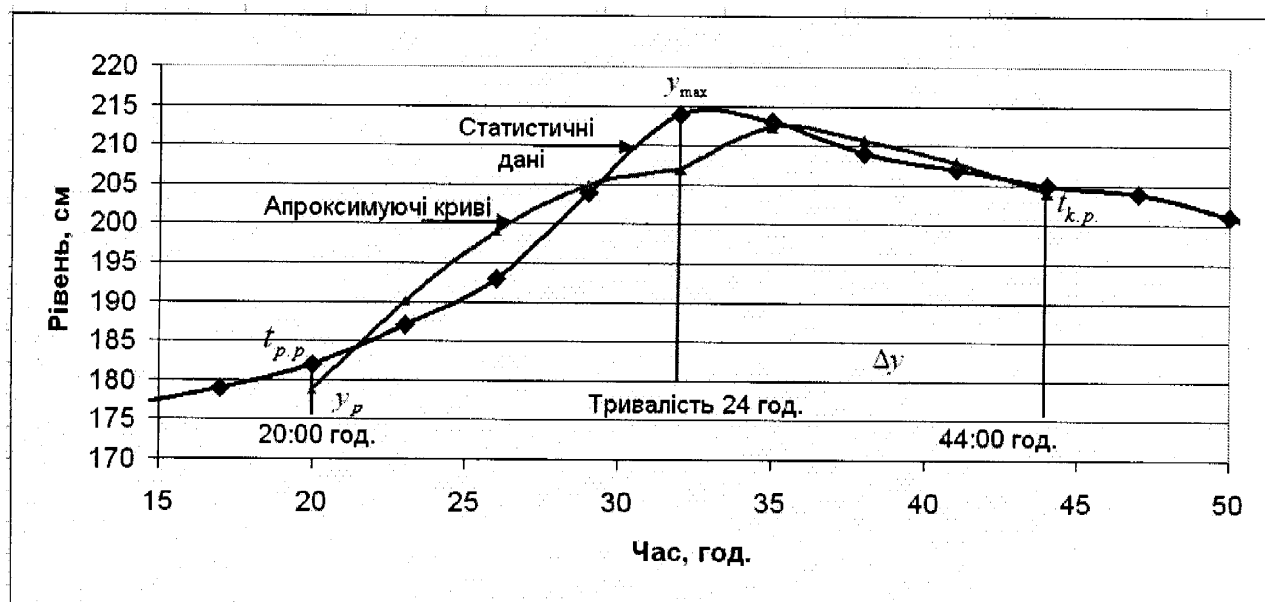


Рис. 3.1 Побудова апроксимуючих кривих для  
р. Тиса – м. Рахів (03.04-04.04.2013 р.)

Загальна тривалість паводку становила 24 год. (з них 12 год. – це час, протягом якого відбувався підйом рівня води р. Тиса і 12 год. – спад).

Під час обробки статистичних даних (рис. 3.1) у період паводку на р. Тиса – м. Рахів було встановлено, що протягом 24 год. випало 28 мм атмосферних опадів при цьому були відсутні дані кожні три години.

З метою більш детального аналізу статистичних даних (рис. 3.2) басейну р. Тиса – м. Рахів обрано два паводки у період 10.04-14.04.2013 р.

Отримані апроксимуючі криві (рис. 3.2) дозволяють сформулювати наступні висновки:

– формування паводкових вод ( $t_{p.p.1}$ ) становить 38:00 год. – це 14:00 год., (10.04.2013 р.) при цьому передпаводковий рівень води становить – 162 см і досяг максимального підняття 185 см ( $y_{max1}$ ). Другий паводок фіксується ( $t_{p.p.2}$ ) в 98:00 год. (02:00 год., 13.04.2013 р.) і  $y_{max2} = 241$  см;

– атмосферні опади під час паводків становили 11,2 мм та 45,6 мм відповідно;

– загальна тривалість паводків становить 30 год. при цьому річка піднялась на 23 см та 45 год. – 54 см .

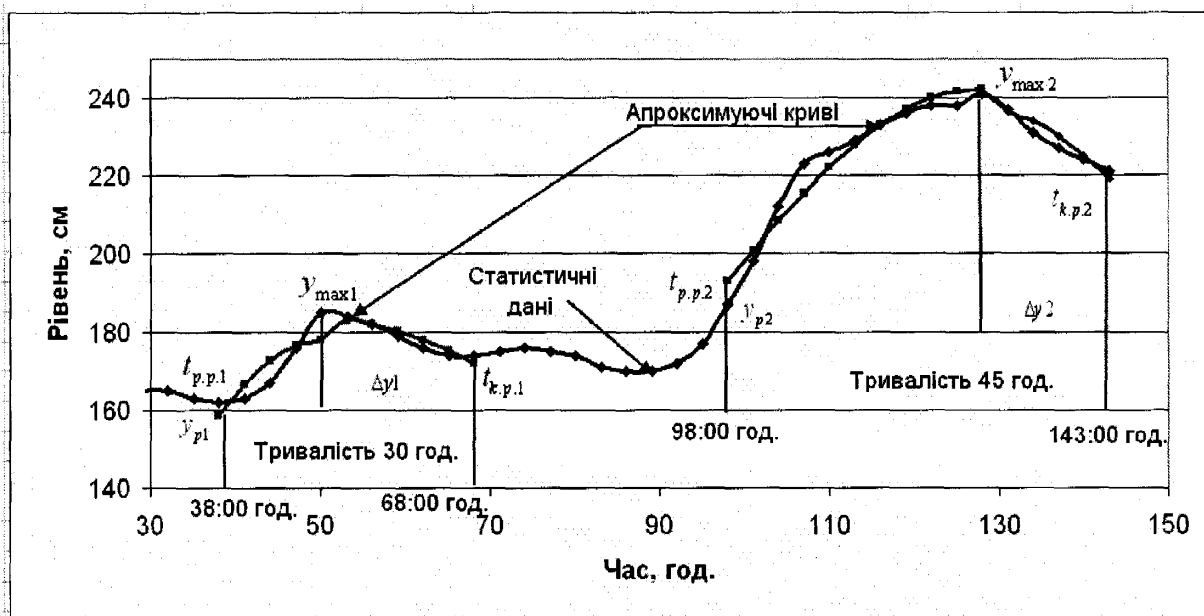


Рис. 3.2 Побудова апроксимуючих кривих для р. Тиса – м. Рахів (10.04-14.04.2013 р.)

Спад рівнів паводкових вод протягом 18 год. та 15 год. відбувся на 11 см в 68:00 год. ( $t_{k,p,1} = 20:00$  год., 11.04.2013 р.) та 20 см ( $t_{k,p,2} = 143:00$  год., що відповідає 14:00 год., 14.04.2013 р.). Кількість атмосферних опадів при підйомі та спаді води річок під час двох піків становили 59,2 мм при відсутності даних через кожні 3-9 год. (рис. 3.2).

Результати побудови апроксимуючих кривих для р. Дністер – м. Могилів-Подільський у період з 09.04.2014 р. по 12.04.2014 р. показані на рис. 3.3.

Тривалість паводкових вод (рис. 3.3) під час першого паводку становила 21 год. ( $t_{p,p,1} = 14:00$  год. (09.04.2014 р.)) і  $t_{k,p,1} = 35:00$  год., що відповідає 11:00 год., 10.04.2014 р. Другий паводок тривав 18 год.: 44:00-62:00 год., тобто з 20:00 год. по 14:00 год. (10.04-11.04.2014 р.), щодо часового інтервалу третього паводку, то його тривалість 15 год. –  $t_{p,p,3} = 65:00$  год. (17:00 год., 11.04.2014 р.) і  $t_{k,p,3} = 80:00$  год., що відповідає 08:00 год., 12.04.2014 р.

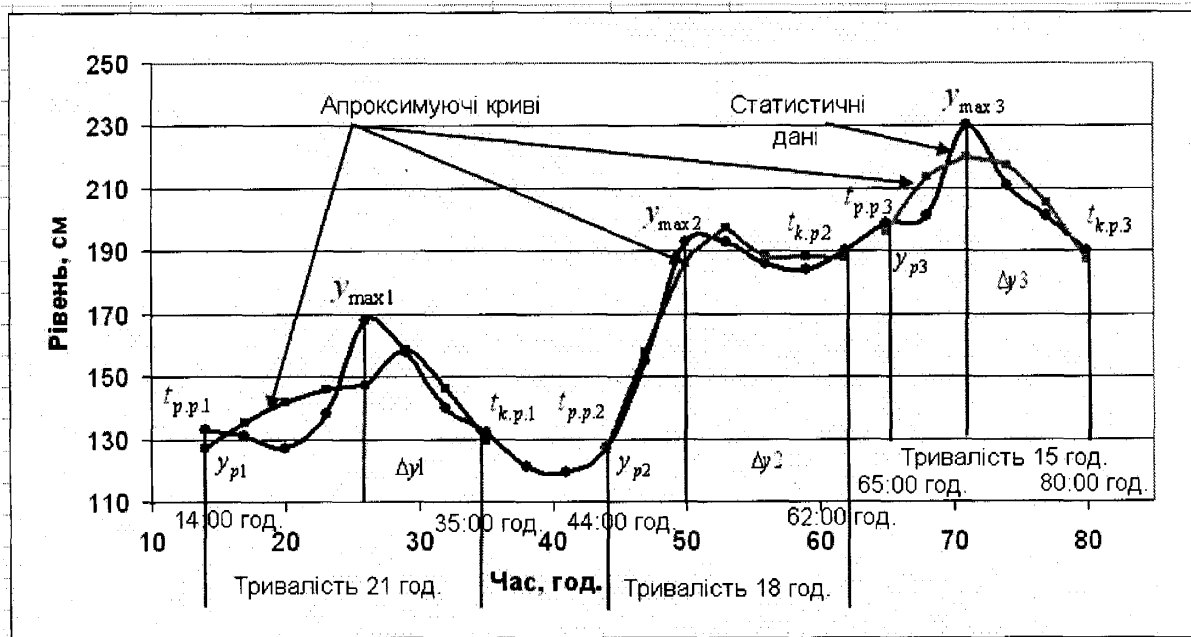


Рис. 3.3 Побудова апроксимуючих кривих для  
р. Дністер – м. Могилів-Подільський (09.04-12.04.2014 р.)

Аналіз апроксимуючих кривих (рис. 3.3) рівня паводкових вод для р. Дністер – м. Могилів-Подільський (09.04-12.04.2014 р.) показав, що:

- $y_{max1,2,3}$  – максимальні підняття рівнів паводкових вод дорівнюють 168 см, 193 см та 230 см відповідно;
- $y_{p1,2,3}$  – 133 см, 127 см та 199 см відповідно;
- підйом води відбувся на 35 см, 66 см та 6 см;
- $\Delta y1,2,3$  – спад рівнів води дорівнюють 36 см, 3 см та 40 см;
- кількість атмосферних опадів при тривалості 21 год. становить 17 мм, 18 год. – 16,5 мм і 15 год. – 30 мм (відсутні дані через кожні три-шість годин).

Для аналізу результатів апроксимуючих кривих рівня води р. Дністер – м. Могилів-Подільський у період паводків (рис. 3.4) обрано часовий інтервал з 21.09.2014 р. по 23.09.2014 р.

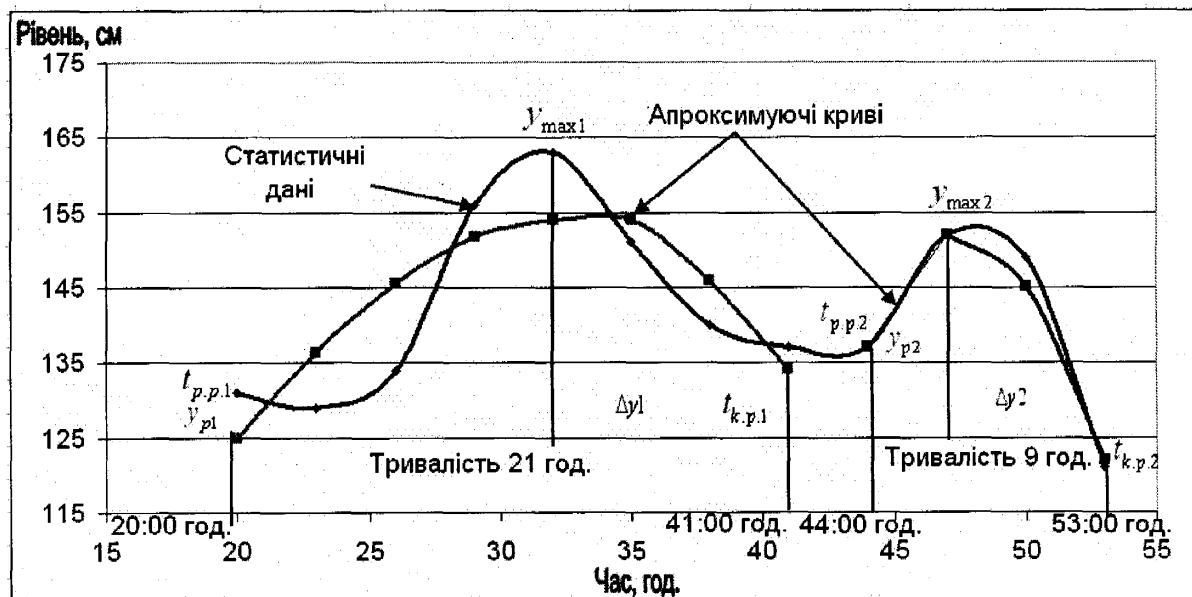


Рис. 3.4 Побудова апроксимуючих кривих

для р. Дністер – м. Могилів-Подільський (21.09-23.09.2014 р.)

Отримані результати (рис. 3.4) дозволили сформулювати наступні висновки:

- $y_{\max 1,2}$  – 163 см ( $t_{p.p.1} = 20:00$  год., 21.09.2014 р.) та 152 см ( $t_{p.p.2} = 44:00$  год. – 23:00 год., 22.09.2014 р.);
- $t_{k.p.1} = 41:00$  год. (17:00 год., 22.09.2014 р.) і  $t_{k.p.2} = 53:00$  год. (05:00 год., 23.09.2014 р.);
- $y_{p1,2}$  – 131 см та 137 см;
- підйом води відбувся на 32 см та 15 см;
- $\Delta y_{1,2}$  становив 26 см та 31 см;
- кількість атмосферних опадів при тривалості 21 год. становить 30 мм і 9 год. – 18 мм (відсутні дані через кожні три-шість годин).

Аналізуючи вище представлену інформацію, встановлено що тривалі атмосферні опади інтенсивністю 1 мм кожену годину протягом двох діб спричиняють підняття рівня води річок Тиса і Дністер при обраних досліджуваних областях на 20-55 см [129].

Тривалість паводкових вод становить мінімум 9 год. та максимум 45 год.

Здійснено також побудову апроксимуючих кривих для р. Латориця – м. Мукачеве (Закарпатська обл.) на основі даних з гідрометеорологічного центру в

період з 22.05.2013 р. по 24.05.2013 р. та 12.05-14.05.2014 р відповідно (рис. 3.5 та рис. 3.6) [120].

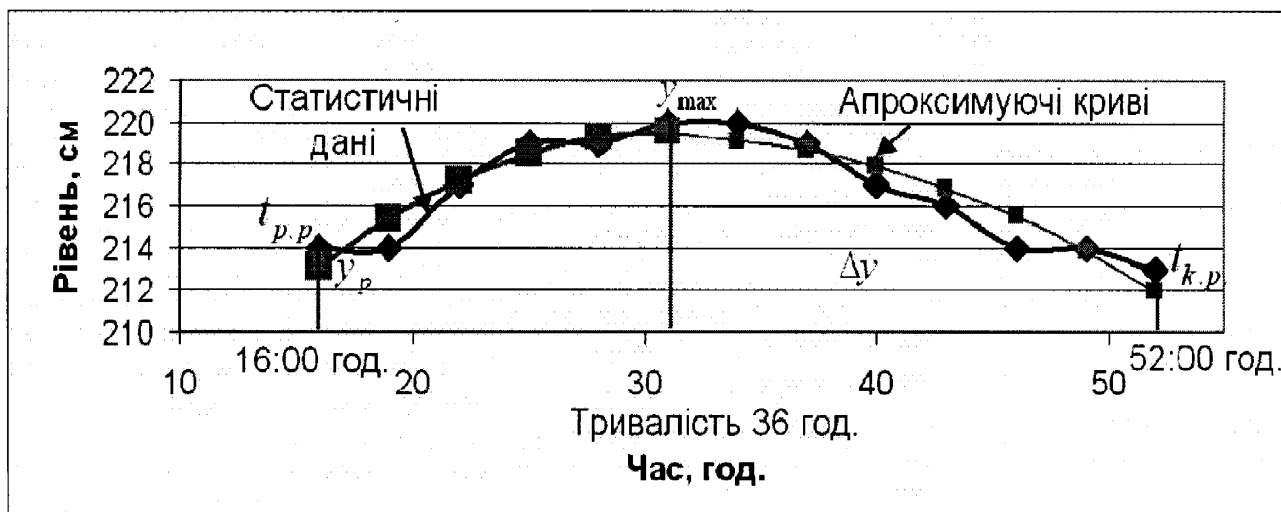


Рис. 3.5 Побудова апроксимуючих кривих для р. Латориця – м. Мукачеве (22.05-24.05.2013 р.)

Аналізуючи рис. 3.5, можна зробити наступні висновки про метеорологічні дані (протягом 2,5 доби) під час паводкового процесу на р. Латориця – м. Мукачеве:

- передпаводковий рівень ( $y_p$ ) в 17:00 год. (22.05.2015 р.) становив 214 см;
- максимальне підняття рівня води ( $y_{max}$ ) під час паводку становило 220 см;
- підняття рівня води річки – 6 см;
- спад рівня паводкових вод ( $\Delta y$ ) відбувся на 7 см і завершився в  $t_{k.p.} = 52:00$  год. (04:00 год., 24.05.2015 р.);
- тривалість паводкових вод становила 36 год. (15 год. – підйом паводкових вод, спад становив – 21 год.).

Побудова апроксимуючих кривих для р. Латориця – м. Мукачеве (12.05-14.05.2014 р.) показано на рис. 3.6.



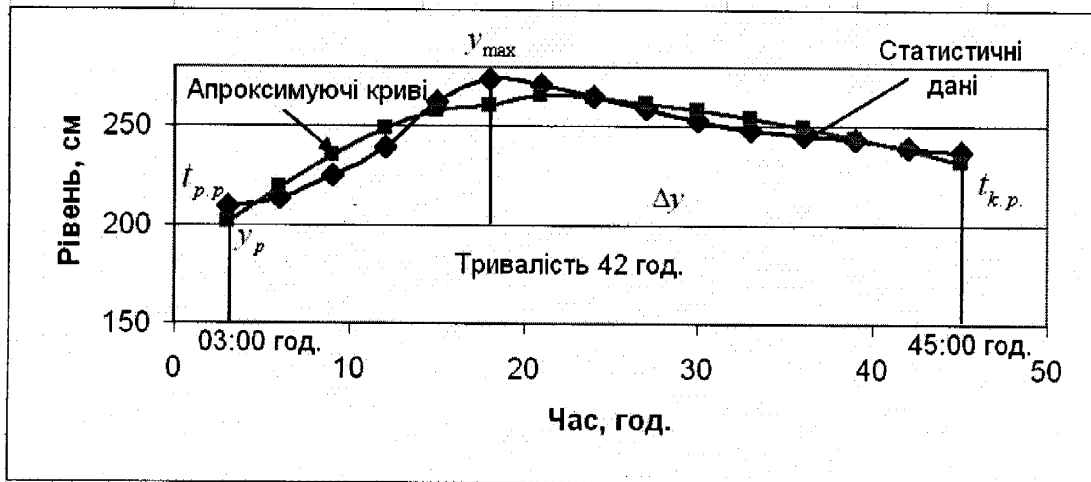


Рис. 3.6 Побудова апроксимуючих кривих для р. Латориця – м. Мукачеве (12.05-14.05.2014 р.)

Метеорологічні дані (протягом 2,5 доби, рис. 3.6) під час паводкового процесу:

- $y_p$  дорівнює 209 см в 03:00 год. (12.05.2014 р.);
- максимальне підняття рівня води ( $y_{max}$ ) під час паводку становило 274 см;
- підняття рівня води річки – 65 см;
- спад рівня паводкових вод на  $\Delta y = 37$  см;
- тривалість паводкових вод становила 42 год. (15 год. – підйом паводкових вод, спад становив – 27 год.).

Отримані результати дозволяють зробити висновки проте, що кожную годину підйом рівня води р. Латориця відбувався на 4,33 см, а тривалість паводкових вод становить 36-42 год.

Крива прогнозу (рис. 3.7) зміни рівня паводкових вод у часі для р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.) дозволила сформулювати наступні висновки: формування паводкових вод відбулось в 24:00 год. ( $t_{p.p.}$ ) при цьому рівень річки становив ( $y_p$ ) 167 см. Підняття рівня річки Дністер відбулось на 77 см ( $y_{max}$ ), а спад рівня води річки, через 42 год., становив 72 см. Загальна тривалість підняття рівня води р. Дністер у період паводків становило 105 год. ( $t_{k.p.}$ ). Кількість атмосферних опадів у період паводкових вод становила 30 мм (при відсутності даних через 3 год.).

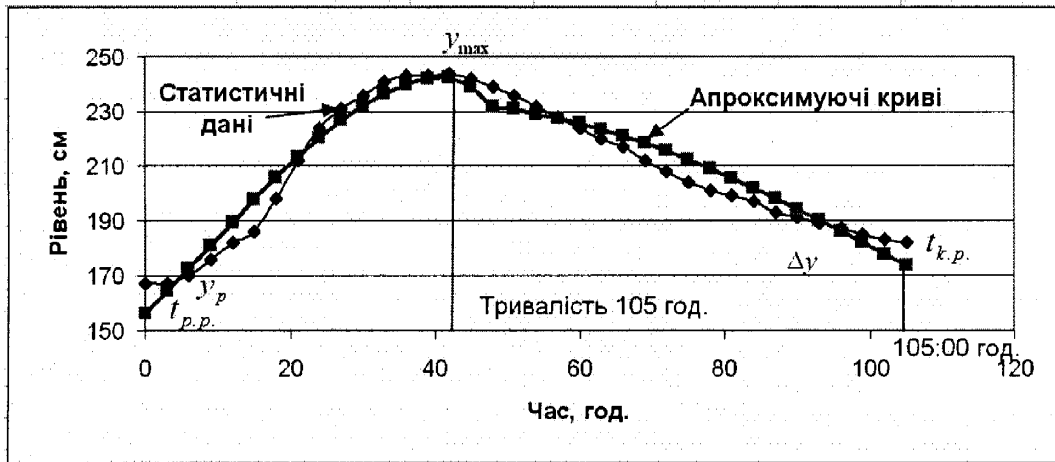


Рис. 3.7 Побудова апроксимуючих кривих для  
р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.)

З точки зору екологічної безпеки, затоплення прилеглих житлових масивів та руйнування природних ландшафтів не спостерігалось, оскільки підйом води дорівнював її спаду (рис. 3.7).

Здійснено побудову апроксимуючих кривих для р. Тиса, басейн Угорщина, пост Захонь у період 12.03-16.03.2013 р. (рис. 3.8).

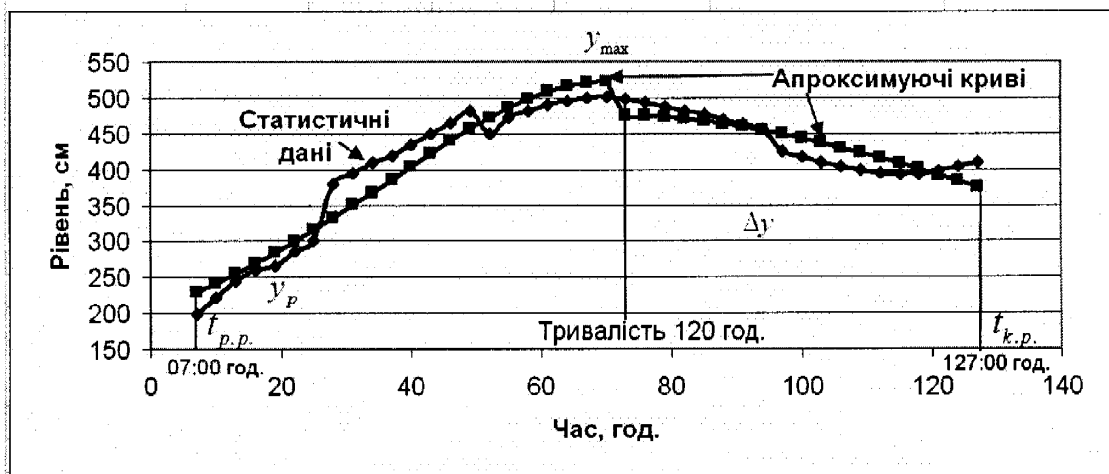


Рис. 3.8 Побудова апроксимуючих кривих для  
р. Тиса – пост Захонь (12.03-16.03.2013 р.)

Згідно рис. 3.8, отримано наступні дані про паводкові води:

- $y_p = 198$  см в 07:00 год. (11.03.2013 р.);

- $y_{max} = 502$  см;
- підняття рівня води р. Тиса – 304 см;
- $\Delta y = 92$  см;
- підйом паводкових вод становив 63 год., спад становив – 57 год.

Тривалість паводкових вод на р. Тиса становила 120 год.

З кінця січня до квітня 2013 (рис. 3.1, 3.2 та 3.8) у басейні Тиси сформувалися та пройшли сніго-дощові та дощові паводки з амплітудою від 1,6 м до 7 м. При цьому найбільше постраждали житлові масиви.

На рис. 3.9 здійснено побудову кривої прогнозу зміни рівня води річок у часі для р. Тиса – м. Тячів з 04.04.2013 р. до 05.04.2013 р. Аналіз отриманих результатів є наступним: передпаводковий рівень станом на 01:00 год. 04.04.2013 р. становив 119 см і досяг максимуму 240 см. Підйом рівня води становив 121 см, тривалість паводкових вод – 42 год. Кількість атмосферних опадів становила 28 мм (при відсутності даних через 3 год.).

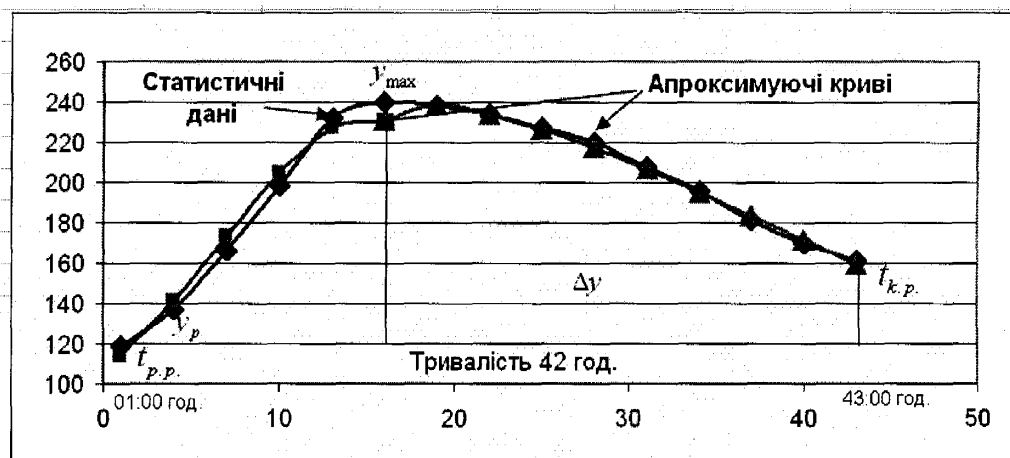


Рис. 3.9 Побудова апроксимуючих кривих для р. Тиса – м. Тячів (04.04-05.04.2013 р.)

Також здійснено побудову апроксимуючих кривих за даними вимірів з метеорологічних станцій Яремче, Коломия та Чернівці для р. Прут у період катастрофічного паводку 2008 р. (табл. 3.1, досліджувані області у таблиці виділені сірим, світло-сірим та темно-сірим кольорами відповідно).

Згідно позначень на рис. 3.10-3.12:

- $y_p$  – передпаводковий рівень;
- $\Delta y$  – підняття рівня паводкових вод;
- $\Delta y_1$  – спад рівня води річок у період паводків.

Рівень р. Прут – м. Яремче протягом доби (рис. 3.8, передпаводковий рівень води становив  $y_p = 300$  см) піднявся на 240 см ( $\Delta y$ ) і досяг максимального підняття 540 см ( $y_{max}$ ). Протягом 12 год. відбувся спад рівня паводкових вод на 180 см ( $\Delta y_1$ ) і кількість атмосферних опадів становила 14 мм. Загальна тривалість паводку становила 36 год. (з них 24 год. – це час, протягом якого відбувався підйом рівня води річки Прут і 12 год. – спад).

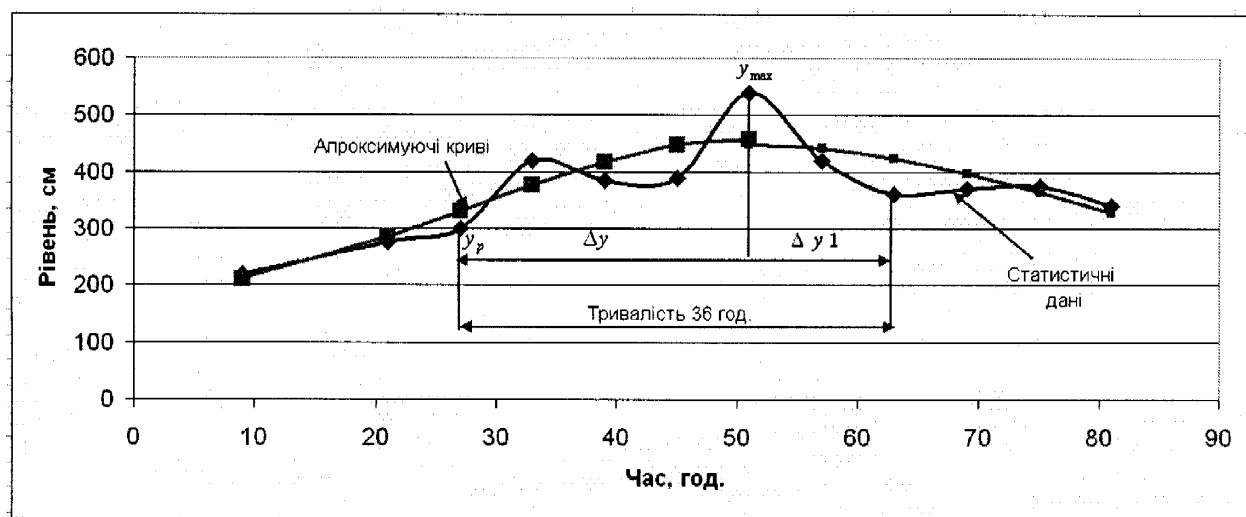


Рис. 3.10 Побудова апроксимуючих кривих для р. Прут – м. Яремче

Під час обробки статистичних даних (рис. 3.10) під час паводку на р. Прут – м. Яремче встановлено, що протягом 24 год. випало 135 мм атмосферних опадів; дефіцит вологості повітря в середньому при цьому становив 0,5 гПа; середня швидкість вітру – 1 м/с.

Під час паводку (рис. 3.11) на р. Прут – м. Коломия метеорологічні умови та рівень паводкових вод були наступними:

- атмосферні опади – 120 мм (відсутні дані за 12 год.);
- середнє значення дефіциту вологості повітря – 0,92 гПа;
- середня швидкість вітру – 2,6 м/с;
- максимальне підняття рівня води під час паводку становило 734 см;

- підняття рівня води річки ( $\Delta y$ ) – 386 см;
- загальна тривалість паводку становила 36 год. (24 год. – підйом рівня води і 12 год. – спад).

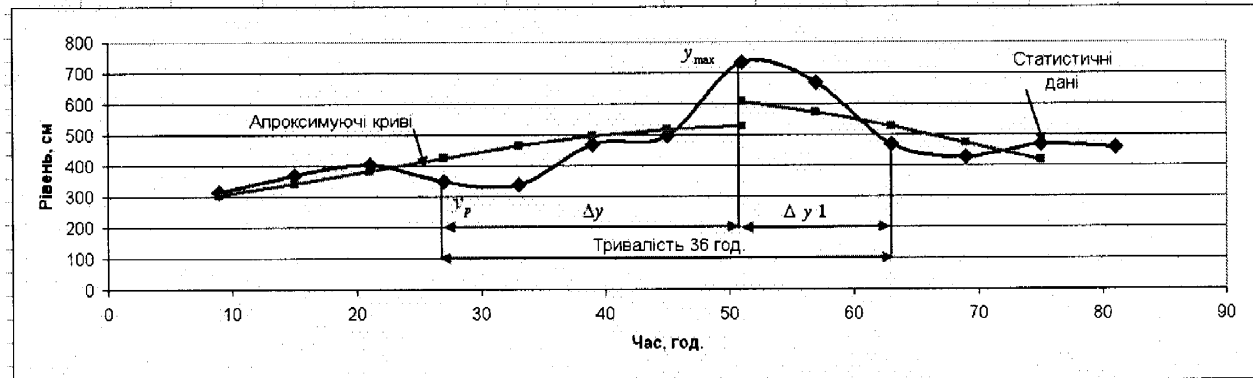


Рис. 3.11 Побудова апроксимуючих кривих для р. Прут – м. Коломия

Протягом наступних 12 год. відбувся спад рівня паводкових вод на  $\Delta y_1 = 266$  см і кількість атмосферних опадів – 18 мм (рис. 3.11) [63].

З метою більш детального аналізу статистичних даних (табл. 3.1, область дослідження виділена темно-сірим кольором) для р. Прут – м. Чернівці обрано часовий проміжок 42 год. (рис. 3.12):

- передпаводковий рівень води ( $y_p$ ) – 392 см;
- атмосферні опади – 53,3 мм;
- середнє значення дефіциту вологості повітря – 1,82 гПа;
- середня швидкість вітру – 2,05 м/с;
- максимальне підняття рівня води під час паводку – 850 см;
- підняття рівня води річки ( $\Delta y$ ) – 458 см;
- загальна тривалість паводку становила 42 год. (30 год. – підйом рівня води р. Прут – м. Чернівці).

Вибір даного часового проміжку для р. Прут – м. Чернівці обумовлений також 2 піками підйому рівня паводкових вод до 840 см та 850 см [63].

Спад рівня паводкових вод протягом наступних 18 год. відбувся на  $\Delta y_1 = 195$  см і кількість атмосферних опадів – 31,3 мм (рис. 3.12).

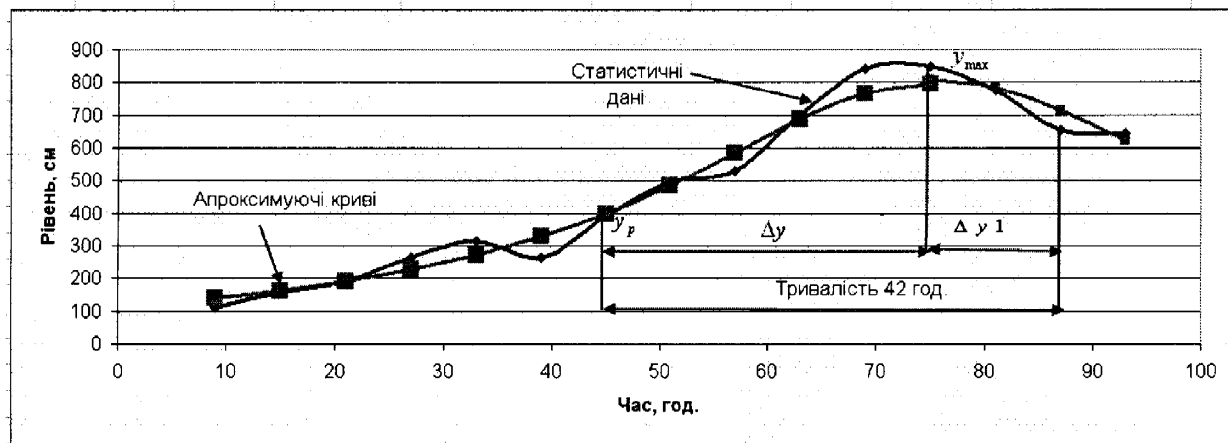


Рис. 3.12 Побудова апроксимуючих кривих для р. Прут – м. Чернівці

Аналізуючи представлену інформацію на рис. 3.1-3.12 встановлено, що кількість атмосферних опадів 20 мм/добу (опади вважаються особливо небезпечним явищем в Україні при кількості більше 50 мм/добу) є критичною для формування паводку, що підтверджує [23].

Аналіз отриманих апроксимуючих кривих на рис. 3.7-3.9 виділив наступні висновки:

- якщо кількість атмосферних опадів приблизно 30 мм при повній вологоємності ґрунту (за шість годин), то рівень води в цей час підніметься на 60 см, що дає можливість зробити прогноз через кожну годину (5 мм/год. – 10-12 см підняття рівня паводкових вод);
- швидкість вітру в період паводкових вод не є нижчою 1 м/с;
- середнє значення дефіциту вологості повітря через 6 год. у межах 0,5-1,8 гПа;
- тривалість паводкових вод становить 36 год.

Побудова апроксимуючих кривих (рис. 3.1-3.12) за даними вимірів з автоматизованих гідропостів, дозволили виділити наступні прогнозовані висновки:

- тривалість паводкових вод становить 3-5 діб;
- кількість атмосферних опадів 5 мм/год. спричиняє підняття рівня паводкових вод на 10-12 см (катастрофічний паводок 2008 р.), а щодо середніх – 4,33 см (р. Латориця);
- для оптимального прогнозу підняття рівня паводкових вод потрібно

мати дані про мінімум 2 паводки на одній ділянці досліджуваного басейну річки.

Згідно статистичних даних рівня води р. Латориця – м. Мукачеве у період 10.05-31.05.2013 р. на основі перших двох паводків (на рис. 3.13 позначення 1 та 2) на досліджуваній ділянці здійснено прогнозування третього можливого паводку та встановлено, що  $j^*$  (2.17) для першого паводку дорівнює 8,925705, а для другого – 31,38612. Мінімальним є значення першого паводку, тому прогнозування майбутнього паводку (у даному випадку) є наступним:

- тривалість паводкових вод становитиме 36 год.;
- підняття рівня води у період паводків становитиме 6-15 см;
- для прогнозування паводкових вод потрібно мінімум два паводки, які були раніше.

Дані висновки підтверджують графіки на рис. 3.10 та отримане значення  $j^*$ , яке становить для третього паводку 10,62 (на рис. 3.10 позначення 3), що є близьким до отриманого значення ( $j^*$ ) першого досліджуваного паводку (8,9257).

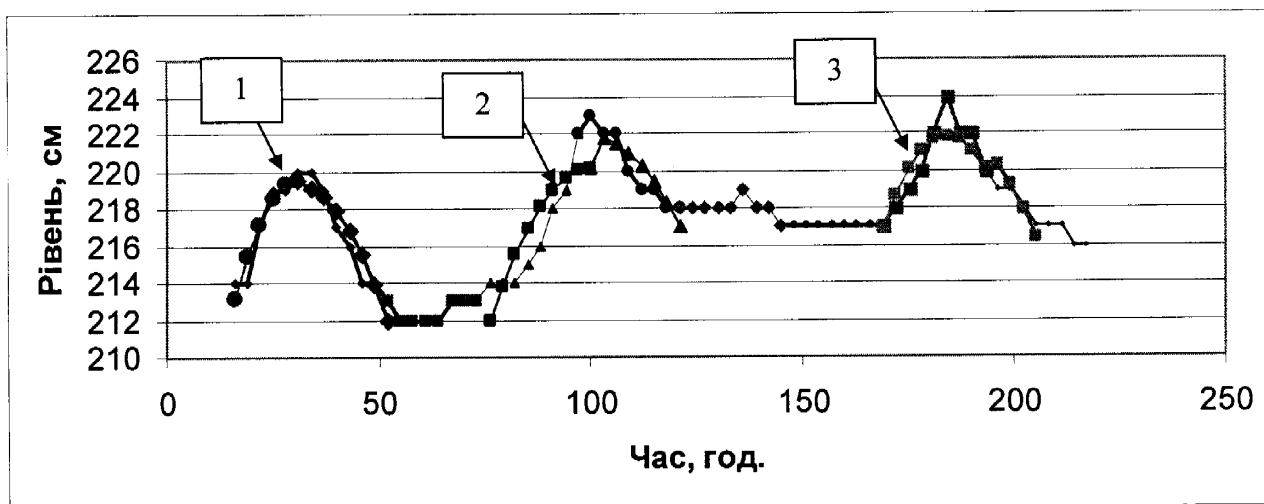


Рис. 3.13 Статистичні дані про рівень р. Латориця – м. Мукачеве (10.05-31.05.2013 р.)

Статистичні дані про паводкові води р. Латориця (м. Мукачеве, 10.05.-31.05.2013 р.) зведено до безрозмірного вигляду (рис. 3.14) з фіксацією базового рівня у точці (0,1).

Зведення до безрозмірного вигляду зводилось шляхом покрокового ділення статистичних даних на передпаводковий рівень води річок у період паводків.

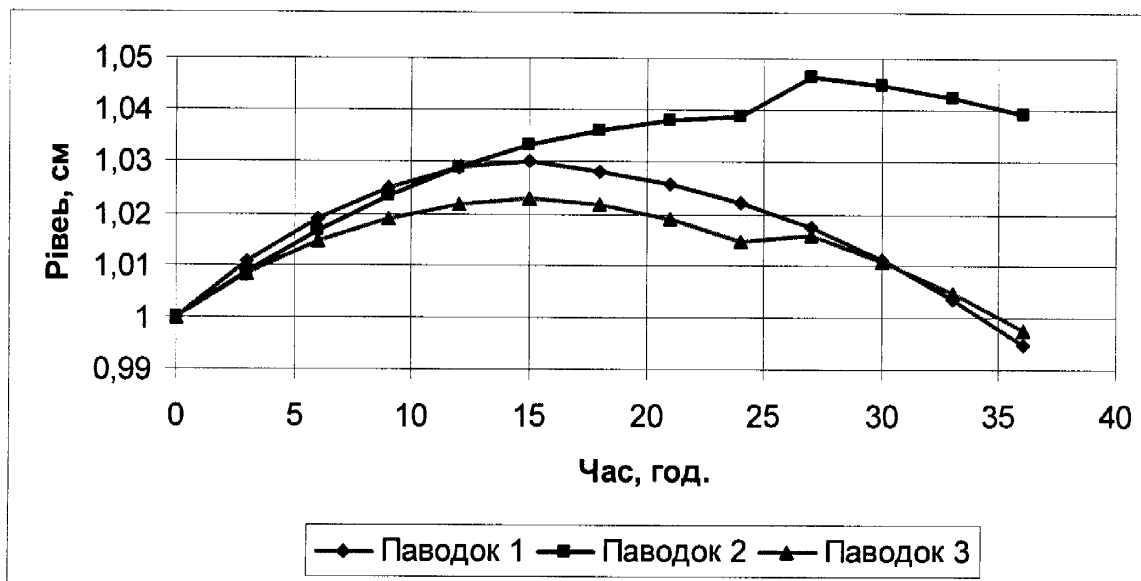


Рис. 3.14 Паводкові води у безрозмірних одиницях

Аналізуючи дані рис 3.14 (у даному розглянутому випадку), можна зробити наступні висновки:

- для встановлення точності прогнозу потрібно мінімум 2 паводки на одній ділянці, щоб встановити момент часу, з якого починається формування паводкових вод;
- тривалість паводкових вод становить 36 год.

Апроксимуючі криві, а також визначення коефіцієнтів контингенції дозволяють спрогнозувати (точність прогнозування наведена у п.п. 3.3) формування паводкових вод, проконтролювати рівень їх зміни і встановити, при яких метеорологічних характеристиках відбувається процес їх формування, а також визначати можливу тривалість паводкових вод у певній місцевості [63].



### 3.3. Розроблення методу прогнозування рівня паводкових вод

Метод прогнозування рівня паводкових вод належить до методів екологічного контролю і може знайти застосування в екологічній експертизі при оцінці небезпеки та прогнозуванні дії паводкових вод, та розробці математичних методик і пристроїв їх прогнозування.

Проблема оцінки рівня паводкових вод є актуальною науково-технічною задачею у світлі складних геокліматичних процесів, що відбуваються у країнах Європи та призводять до катастрофічних повеней.

В основу методу поставлено задачі вибору вагомих метеорологічних і фізико-географічних параметрів водозбору, та з метою зниження складності формування прогнозу та побудови кривих прогнозу зміни рівня паводкових вод у часі із визначенням допустимого рівня води річок у точці прогнозу.

Відмінними рисами запропонованого методу, в порівнянні з відомими методами та підходами [79, 80, 81, 82, 83], є можливість спрогнозувати рівень паводкових вод, врахування водно-фізичних властивостей ґрунтів (водопроникність, вологоємність), метеорологічних даних та геофізичної інформації про водозбори на основі статистичних даних на досліджуваній ділянці.

Метод прогнозування рівня паводкових вод реалізується наступним чином [130]:

1 Визначається набір параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , які впливають на формування та розвиток паводку (наприклад, метеорологічні дані (кількість атмосферних опадів, вологість та температура повітря, напрям і швидкість вітру, атмосферний тиск); морфометричні характеристики басейну (площа водозбору, похил місцевості) і т.д.) на основі статистичних даних про параметри  $x_1, x_2, \dots, x_k$  та відповідний їм рівень паводкових вод, які отримані в паводковий період, за методикою асоціативного аналізу [117] проводиться вибір найбільш вагомих факторів, що впливають на зміну рівня паводкових вод. Відбір вагомих факторів проводиться наступним чином:

1.1 проводиться підрахунок математичного очікування для статистичних даних (кількість атмосферних опадів, дефіцит вологості та швидкість вітру) з подальшим обчисленням частот  $A, B, C, D$  взаємного поєднання у кожен інтервал двох альтернативних ознак;

1.2 обчислюється коефіцієнт контингенції  $\psi$  для  $x_i$  параметру за формулою (2.15);

1.3 здійснюється відбір вагомих факторів, що впливають на зміну рівня паводкових вод проводиться шляхом аналізу коефіцієнта контингенції  $\psi$ : якщо  $\psi > 0,3$ , то вплив фактору  $x_i$  вважається підтвердженим; якщо  $\psi < 0,3$  – вплив фактору  $x_i$  вважається несуттєвим [114, 121, 122].

2 На основі статистичних даних про декілька паводків, для кожного з них вибираємо  $N$  вимірювань рівня  $(y_i, t_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ , де  $y_i$  – рівень паводкових вод у момент часу  $t_i$ ; визначаються характерні параметри  $n$  та  $a$  для побудови кривої прогнозу зміни рівня паводкових вод за формулою (2.4), при цьому залежність (2.4) приводяться до лінійного виду і для оцінки  $n$  та  $a$  обчислюються коефіцієнти  $\tilde{k}$  та  $\tilde{b}$  (2.14). У випадку використання підходів пов'язаних з застосуванням залежностей типу (2.24) реалізується методика (2.19)-(2.24) [130].

3 Побудова апроксимуючих кривих згідно п. 2.2, 2.3 та п. 3.1, 3.2, для кожного з паводків.

4 На основі побудованих апроксимуючих кривих про формування мінімум двох паводків визначається момент початку паводку за статистичними даними про мінімальний приріст рівня паводкових вод та атмосферних опадів (базові значення) і тривалість паводку.

5 З використанням даних АІВС у реальному часі здійснюється збір даних про рівень паводкових вод та кількість атмосферних опадів. Проводиться аналіз приросту рівня паводкових вод та кількості атмосферних опадів, якщо для даного об'єкту значення більше/рівне за базові, то здійснюємо прогнозування:

5.1 за прогнозованими метеорологічними даними про вагомі фактори розвитку (п. 1) обчислюється критерій відповідності  $j^*$  (2.17) для кожного з минулих паводків;

5.2 крива прогнозу відповідає мінімальному значенню  $j^*$ .

Отже, застосування вказаного методу прогнозування рівня паводкових вод дозволяє ефективно спрогнозувати їх тривалість та рівень, а також визначити метеорологічні дані, які впливають на формування паводкових вод.

### 3.4. Дослідження оцінок адекватності моделі та точності прогнозування

У п. 2.2., 2.3, 3.2.2. та 3.4 описаний математичний апарат для контролю та прогнозування рівня паводкових вод [63, 114, 118, 130], який ґрунтується на побудові апроксимуючих кривих експериментальних (статистичних) даних.

Адекватність розробленої математичної моделі прогнозування рівня паводкових вод перевірялась коефіцієнтом кореляції  $r_{Y_i, y_i}$ :

$$r_{Y_i, y_i} = \frac{N \sum_{i=1}^n Y_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{(N \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2) \cdot (N \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}}, \quad (3.4)$$

де  $N$  – кількість статистичних даних;  $Y_i$  – реальні експериментальні (статистичні) дані;  $y_i$  – значення на виході моделі.

Коефіцієнт кореляції відображає тісноту взаємозв'язків між досліджуваними факторами на всьому інтервалі та доцільність його використання обумовлюється тим, що всі прогнозовані залежності можна привести до лінійного виду.

Кількість статистичних даних – це кількість даних з досліджуваних областей рис. 3.1.-3.3 (з 24.07.2008 р. по 25.07.2015 р., 24.07-25.07.2008 р. та з 24.07.2008 р. по 26.07.2008 р.), їх кількість становить 7, щодо досліджуваної області р. Прут – м. Чернівці – 8. У табл. 3.1 досліджувані області статистичних

даних у таблиці виділені сірим, світло-сірим та темно-сірим кольорами відповідно.

Вихідні дані для розрахунків оцінок адекватності та точності прогнозування наведені у табл. 3.4. Для їх обчислення використовувались програмні забезпечення Matlab та Microsoft Office Excel.

У табл. 3.5 представлені розрахункові значення коефіцієнтів кореляції.

Аналізуючи результати табл. 3.5, можна зробити наступні висновки проте, що ступінь кореляції є високою між статистичними та розрахунковими даними для р. Прут – м. Чернівці – 0,9648, а ступеня кореляції між даними р. Прут – м. Яремче та р. Прут – м. Коломия (0,6773 та 0,6933 відповідно) – середнього [131, 132].

Таблиця 3.4

**Вихідні дані для встановлення точності прогнозу та  
розрахунків оцінок адекватності**

Метеорологічні станції					
Яремче		Коломия		Чернівці	
Рівні р. Прут, см					
Статистичні дані ( $Y_i$ )	Дані отримані на виході моделі ( $y_i$ )	Статистичні дані ( $Y_i$ )	Дані отримані на виході моделі ( $y_i$ )	Статистичні дані ( $Y_i$ )	Дані отримані на виході моделі ( $y_i$ )
1	2	3	4	5	6
300	331	348	425	392	400
420	376	338	464	497	487
385	418	468	497	532	586
390	447	498	519	700	686
540	458	734	526	840	764
420	442	668	606	850	794
360	424	468	574	775	782
				655	713

**Розрахункові тестові значення коефіцієнтів  
кореляції для р. Прут**

Розрахункові значення коефіцієнтів кореляції	Метеорологічні станції		
	Яремче	Коломия	Чернівці
	0,6773	0,6933	0,9648

Побудовано рівняння регресії для даних, наведених у табл. 3.4. Отримані коефіцієнти (рис. 3.15-3.17 відповідно)  $y = 0,4173 \cdot y_i + 245,92$ ,  $y = 0,2864 \cdot y_i + 371,76$  та  $y = 0,8387 \cdot y_i + 102,06$  вказують на прямий зв'язок між даними (реальними  $Y_i$  (Real value) та даними, отриманими на виході моделі  $y_i$  (Obtained value)), оскільки отримані значення коефіцієнтів регресії є додатними.

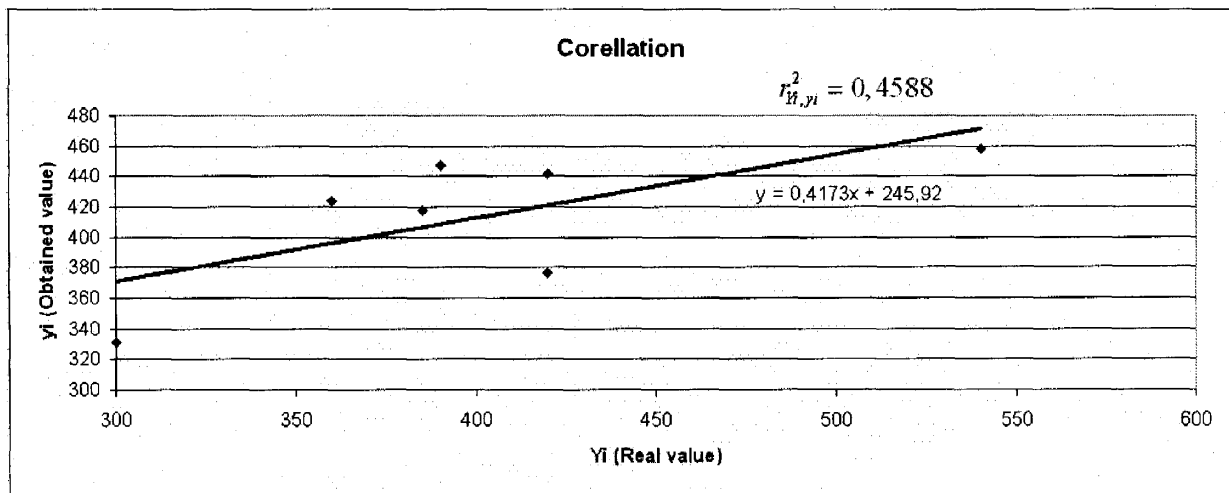


Рис. 3.15 Побудова лінійної апроксимації для р. Прут – м. Яремче

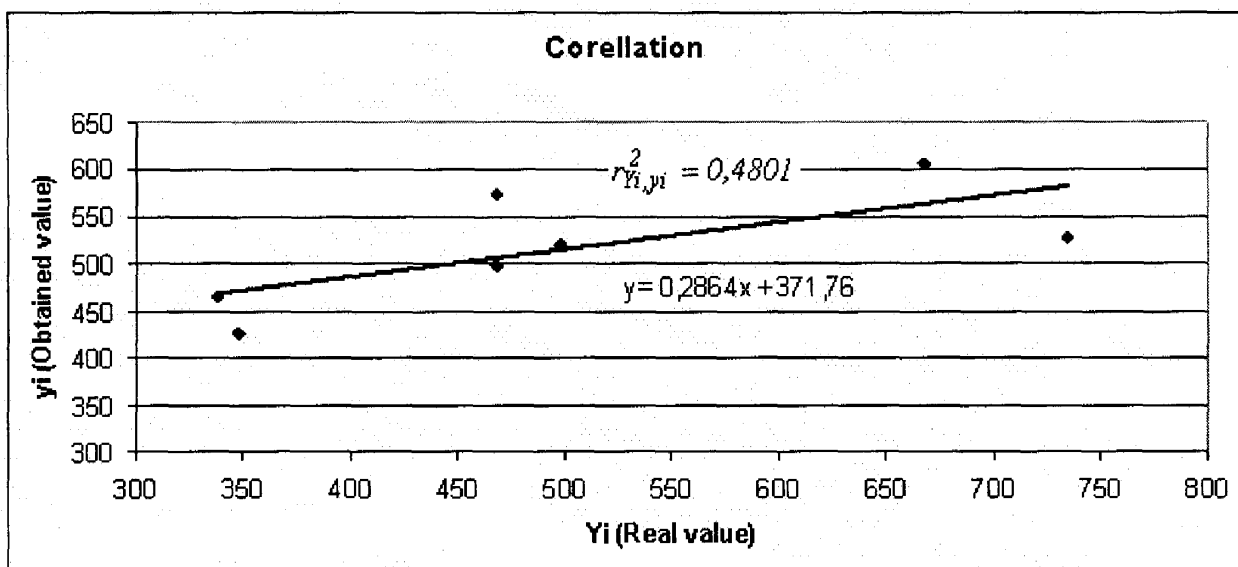


Рис. 3.16 Побудова лінійної апроксимації для р. Прут – м. Коломия

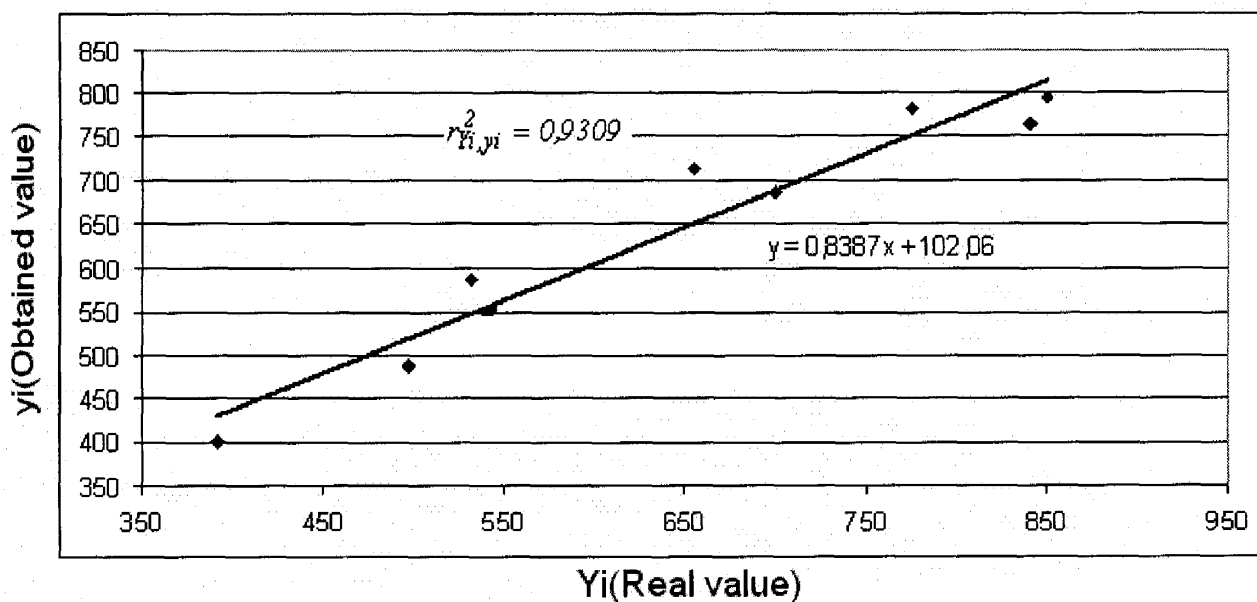


Рис. 3.17 Побудова лінійної апроксимації для р. Прут – м. Чернівці

На рис. 3.15-3.17 позначенню  $r_{Yi,yi}^2$  відповідає коефіцієнт детермінації для визначення щільність зв'язку між двома показниками.

При цьому точності побудови апроксимуючих кривих є середніми 46 %; 48 % та високою 93 %, решта – 54 %; 52 % та 7 % пояснюються некерованими факторами, що не враховані в моделі.

Пораховані також значимості коефіцієнтів кореляції за формулою (3.5).

$$t_{nabl} = r_{Yi,yi} \cdot \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_{Yi,yi}^2}}, \quad (3.5)$$

де  $r_{Y_i, Y_i}$  – коефіцієнт кореляції.

Отримані розрахункові значення  $t_{nabl}$  порівнюють по таблиці критичних точок розподілу Стюдента  $t_{krut}$  згідно заданому рівню значимості  $\alpha$  (0,05) і числу ступеня свободи  $k = N - 2$ .

Розрахункові значення  $t_{nabl}$  наведені у табл. 3.6 [133].

Проведено перевірку значимості моделі з використанням F-критерію Фішера (3.6), розрахункове значення якого знаходиться як відношення дисперсії вихідного ряду досліджуваного показника і оцінки дисперсії до кінцевої послідовності даної моделі:

$$F = \frac{r_{Y_i, Y_i}^2}{1 - r_{Y_i, Y_i}^2} \cdot \frac{N - m - 1}{m}, \quad (3.6)$$

де  $m$  – кількість змінних.

Отримані розрахункові значення  $F$  також звіряються з табличними  $F_{tabl}$  (таблиця розподілу Фішера), згідно заданому рівню значимості  $\alpha$  (0,05) і ступенях свободи  $k_1 = (m)$  та  $k_2 = (N - m - 1)$ . Отримані дані наведені у табл. 3.6.

Якщо розрахункові значення  $t_{nabl}$  та  $F$  є більшими за табличні, то отримані значення є значимі.

Таблиця 3.6

**Розрахункові значення значимості коефіцієнтів кореляції  
та F-критерію Фішера**

Метеорологічні станції											
Яремче				Коломия				Чернівці			
$t_{nabl}$	$t_{krut}$	$F$	$F_{tabl}$	$t_{nabl}$	$t_{krut}$	$F$	$F_{tabl}$	$t_{nabl}$	$t_{krut}$	$F$	$F_{tabl}$
2,059	2,571	4,2383	6,61	2,15	2,571	4,63	6,61	8,99	2,447	80,83	5,99

Аналізуючи дані табл. 3.6, можна зробити висновки, що при дослідженні експериментальних (реальних) даних про рівень р. Прут (метеорологічні станції Коломия та Яремче) коефіцієнти кореляції та F-критерій Фішера є незначними.

Значним є коефіцієнт кореляції р. Прут, метеорологічна станція Чернівці, що дає підстави стверджувати, що запропонована прогностична математична модель описує реальні паводкові процеси, що мали місце у минулому, а також дозволить, з використанням вказаної методики, поширити їх на майбутні прогнози.

Оцінка точності прогнозування на основі математичної моделі може бути проведена з використанням критерію регулярності  $\Delta^2(S)$  (3.7), який полягає в мінімізації середньоквадратичної помилки на точках контрольної послідовності [118, 133, 134]:

$$\Delta^2(S) = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N Y_i^2}. \quad (3.7)$$

Значення критерію  $\Delta^2(S) \leq 0,5$  вказує на високу якість прогнозу, при  $\Delta^2(S) \leq 0,8$  прогноз задовільний, при  $\Delta^2(S) > 1$  – модель не точна (значне відхилення від реального процесу) [133].

Обчислення значень коефіцієнтів регулярності для встановлення точності прогнозу здійснювалось за вихідними даними табл. 3.3 та з використанням програмного середовища Matlab і внаслідок чого отримані наступні результати:

- р. Прут – м. Яремче – 0,0159;
- р. Прут – м. Коломия – 0,0427;
- р. Прут – м. Чернівці – 0,0043.

Вихідні дані для розрахунків коефіцієнтів кореляції ( $r_{Y_i, y_i}$ ), детермінації ( $r_{Y_i, y_i}^2$ ), значимості коефіцієнтів кореляції ( $t_{nabl}$ ), розподілу Стюдента ( $t_{krut}$ ), F-критерію Фішера ( $F$ ), табличних значень Фішера ( $F_{tabl}$ ) та критерію регулярності ( $\Delta^2(S)$ ) для р. Латориця – м. Мукачеве наведені у табл. 3.7 [120].



Для їх обчислення використовувались програмні забезпечення Matlab та Microsoft Office Excel, отримані результати наведені у табл. 3.7.

Таблиця 3.7

## Вихідні дані для р. Латориця – м. Мукачеве

Метеорологічні станції			
Мукачеве, 22.05-24.05.2013 р.		Мукачеве, 12.05-14.05.2014 р.	
Рівні р. Латориця, см			
Статистичні дані ( $Y_i$ )	Дані отримані на виході моделі ( $y_i$ )	Статистичні дані ( $Y_i$ )	Дані отримані на виході моделі ( $y_i$ )
1	2	3	4
214	213,1244	209	200,8034
214	215,3899	213	218,8745
217	217,1855	225	235,3478
219	218,4865	239	248,7188
219	219,2747	262	257,4964
220	219,5386	274	260,5616
220	219,0963	271	265,4945
219	218,6374	265	264,0559
217	217,877	259	261,6924
216	216,8212	253	258,4538
214	215,4788	248	254,4059
214	213,8604	245	249,6273
213	211,9788	243	244,2063
		239	238,2368
		237	231,8146

Здійснювалась також перевірка адекватності запропонованої прогностичної моделі за критерієм Пірсона  $\chi_{eks}^2$  (3.8) на основі статичних даних [120] та даних, отриманих на виході моделі (табл. 3.8).

$$\chi_{eks}^2 = \sum_{j=1}^N \frac{(f_j - \tilde{f}_j)^2}{\tilde{f}_j}, \quad (3.8)$$

де  $\tilde{f}_j = y_i$  – дані отримані на виході моделі та  $f_j = Y_i$  – статистичні дані.

## Розрахункові значення коефіцієнтів для р. Латориця

Метеорологічні станції													
р. Латориця – м. Мукачеве (22.05-24.05.2013 р.)							р. Латориця – м. Мукачеве (12.05-14.05.2014 р.)						
$r_{Y_i, y_i}$	$r_{Y_i, y_i}^2$	$t_{nabl}$	$t_{krut}$	$F_{tabl}$	$F$	$\Delta^2(S)$	$r_{Y_i, y_i}$	$r_{Y_i, y_i}^2$	$t_{nabl}$	$t_{krut}$	$F_{tabl}$	$F$	$\Delta^2(S)$
0,94	0,89	9,48	2,20	4,84	89,8	$1,46 \cdot 10^{-5}$	0,94	0,88	9,6	2,16	4,61	92,1	$7,3 \cdot 10^{-4}$

Якщо  $\chi_{eks}^2 < \chi_{teor.}^2$ , то рівень надійності запропонованої математичної моделі є задовільним.  $\chi_{teor.}^2$  задається параметрами входу:  $\alpha$  – рівень значимості і степеня свободи,  $r = k - m$ , де  $k = N$ ,  $m = 2$ , оскільки у формулі 3.8 є два незалежні параметри.  $\chi_{teor.}^2$  одержується з таблиці розподілу  $\chi_{teor.}^2(\alpha, r)$  і становить при цьому 19,68 при рівні значимості 0,05 і  $r = 13$ , при  $r = 15 - 22$ , 26.

Отримані результати (табл. 3.8) засвідчують про високу точність прогнозування ( $1,46 \cdot 10^{-5}$  та  $7,3 \cdot 10^{-4}$ ) та адекватність запропонованої прогностичної моделі (0,94).

Здійснивши розрахунки за формулою (3.8), встановлено, що  $\chi_{eks}^2$  для р. Латориця – м. Мукачеве (10.05-31.05.2013 р.) та р. Латориця – м. Мукачеве (12.05-13.05.2014 р.) становлять 0,041367 та 2,7266 відповідно і є меншим за  $\chi_{teor.}^2$ . Це свідчить про адекватність запропонованої прогностичної моделі.

Наведені результати встановлення адекватності запропонованої моделі та точності прогнозування на прикладах басейнів р. Прут – м. Чернівці (табл. 3.6) та р. Латориця – м. Мукачеве (табл. 3.8) вказують на можливість застосування даного підходу до моделювання розвитку паводкових вод за умови наявності достатнього об'єму статистичних даних, що дозволить виділити контрольну вибірку для оцінки точності прогнозу.

У табл. 3.9-3.10 наведені отримані результати оцінок точності прогнозування та адекватності моделі для річок Дністер та Тиса. У таблицях використано позначення похибки апроксимації ( $A$ ) [135], яка не повинна перевищувати 10-15 % (3.9):

$$A = \frac{\sum (Y_i - y_i)}{y_i \cdot n} \cdot 100\%, \quad (3.9)$$

де  $n$  – кількість досліджуваних величин.

Таблиця 3.9

### Розрахункові значення коефіцієнтів для р. Дністер

Метеорологічні станції									
р. Дністер – м. Могилів-Подільський, (09.04-12.04.2014 р.)					р. Дністер – м. Могилів-Подільський (21.09-23.09.2014 р.)				
Адекватність моделі		Точність прогнозування			Адекватність моделі		Точність прогнозування		
$r_{Y_i, y_i}$	$\chi_{eks}^2$	$\Delta^2(S)$	$F$	$A$	$r_{Y_i, y_i}$	$\chi_{eks}^2$	$\Delta^2(S)$	$F$	$A$
0,67/ 0,97	0,76/ 0,97	0,005/ 9,23· 10 <sup>-4</sup>	5/ 189,36	4,81/ 2,42	0,88	0,23	16·10 <sup>-4</sup>	34,29	3,1

Розраховані вище показники дають підставити стверджувати, що похибки апроксимації ( $A$ ) для річок Дністер та Тиса (табл. 3.9-3.10), та для р. Прут (метеорологічні станції Яремче, Коломия та Чернівці) становлять 7,09 %, 6,31 %, та 5,23 % відповідно; р. Латориця – м. Мукачеве у період 22.05-24.05.2013 р. – 3,2 % та р. Латориця – м. Мукачеве (12.05-14.05.2014 р.) становить 2,14 %.

Згідно отриманих значень похибки апроксимації не перевищують 3 % при кількості досліджуваних точок (рівнів паводкових вод) у діапазоні від 10 до 15.

**Розрахункові значення коефіцієнтів для р. Тиса**

<b>Метеорологічні станції</b>									
<b>р. Тиса – м. Рахів (03.04-06.04.2013 р.)</b>					<b>р. Тиса – м. Рахів (09.04-14.04.2013 р.)</b>				
<b>Адекватність моделі</b>		<b>Точність прогнозування</b>			<b>Адекватність моделі</b>		<b>Точність прогнозування</b>		
$r_{Y_i, y_i}$	$\chi_{eks}^2$	$\Delta^2(S)$	$F$	$A$	$r_{Y_i, y_i}$	$\chi_{eks}^2$	$\Delta^2(S)$	$F$	$A$
0,95	0,90/ 0,97	$3,07 \cdot 10^{-4}$	58,76	1,33	0,90/ 0,97	0,90/ 0,97	0,0618	38,43/ 251,07	1,41/ 1,21

Використовуючи математичний пакети Matlab 6.1, на основі вихідних даних (Додаток Г, табл. Г.8-Г10), здійснено розрахунки коефіцієнтів кореляції та контингенції, а також середніх похибок апроксимації для р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.), р. Тиса – пост Захонь (11.03-16.03.2013 р.) та м. Тячів – р. Тиса (04.04-05.04.2013 р.).

Розраховані показники для дослідження адекватності (коефіцієнт кореляції) запропонованої математичної моделі є наступними:

- р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.) становить 0,945;
- р. Дністер – пост Захонь (11.03-16.03.2013 р.) – 0,959;
- р. Тиса – м. Тячів (04.04-05.04.2013 р.) – 0,998.

Отримані показники коефіцієнтів кореляції є високими.

Значення точності прогнозування з використанням критерію регулярності є наступними:

- р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.) становить  $6,5 \cdot 10^{-4}$ ;
- р. Тиса – пост Захонь (11.03-16.03.2013 р.) – 0,003;
- р. Тиса – м. Тячів (04.04-05.04.2013 р.) –  $4,55 \cdot 10^{-4}$ .

Точність прогнозування є високою, оскільки отримані значення є меншими за 0,5.

Похибки апроксимації ( $A$ ) для річок Тиса (м. Галич та пост Захонь) та Дністер (м. Тячів) є наступними: 2,1 %, 4,54 % та 1,78 % відповідно, що також

не перевищують 10-15 %.

Отримані вище результати для дослідження оцінок адекватності та точності прогнозування підтвердили, що запропонований математичний апарат побудови апроксимуючих кривих зміни рівня паводкових вод у часі для р. Дністер – м. Галич (07.05-11.05.2015 р.), р. Тиса – пост Захонь (11.03-16.03.2013 р.) та р. Тиса – м. Тячів – (04.04-05.04.2013 р.) та точність прогнозування є високими.

### **Висновки до розділу 3**

1. Вперше запропонована методика обробки статистичних даних з метеорологічних станцій з метою побудови кривої прогнозу для контролю і прогнозування рівня паводкових вод.

Методика дозволяє виявити взаємозв'язки між факторами впливу та підняттям рівня паводкових вод у часі.

2. Здійснено розрахунок статистичних коефіцієнтів контингенції для виявлення взаємозв'язку даних з метеорологічних станцій та рівня води річок для прогнозування рівня води річок у період природних катаклізмів (паводків, повеней).

Отримані результати табл. 3.2-3.3 дозволили виявити вагомий природний фактор впливу на підняття рівня паводкових вод – атмосферні опади.

3. Вперше розроблено метод контролю та прогнозування рівня паводкових вод.

4. Отримані значення коефіцієнтів кореляції (0,67-0,99) свідчать про те, що адекватність математичної моделі є високою. Результати розрахунку точності прогнозування з використанням критерію регулярності для запропонованої математичної моделі свідчать про високу точність результатів прогнозування рівня паводкових вод та задовольняють умову  $\Delta^2(S) \leq 0,5$ .

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД

#### 4.1. Розроблення структурної схеми системи контролю рівня паводкових вод

Розроблена система контролю “Flood\_2015” за рівнем паводкових вод в зонах екологічно проблемних об’єктів (хімічні підприємства, сховища зберігання шкідливих речовин, кладовища, забруднення колодязів питної води тощо) дозволить попередити катастрофічний розвиток подій.

Проведений аналіз існуючих АІВС та технічних засобів у розділі 1.3 показав, що недоліками розглянутих систем: висока вартість на розроблення систем контролю рівня паводкових вод, використання великої кількості електронних компонентів та відсутній контроль за вологістю ґрунтів перед паводком, від якої залежить втрата дощової води на затримання її на поверхні та на фільтрацію.

Враховуючи вище сказане, автором запропоновано структурну схему, на основі якої базуватиметься розроблення АІВС, яка включатиме і контролюватиме три основні природні фактори, а саме: кількість опадів, рівень води під час паводків та зволоженість водозбору (рис. 4.1) [136].

Аналогом розробленої системи є система моніторингу рівня паводкових вод у реальному часі з використанням програмного забезпечення WinCC. Дана система призначена для збору, обробки та аналізу в реальному часі вихідних даних з датчиків (рівень води річок під час паводкових вод, кількість атмосферних опадів та вологість ґрунтів) у досліджуваній місцевості [137].

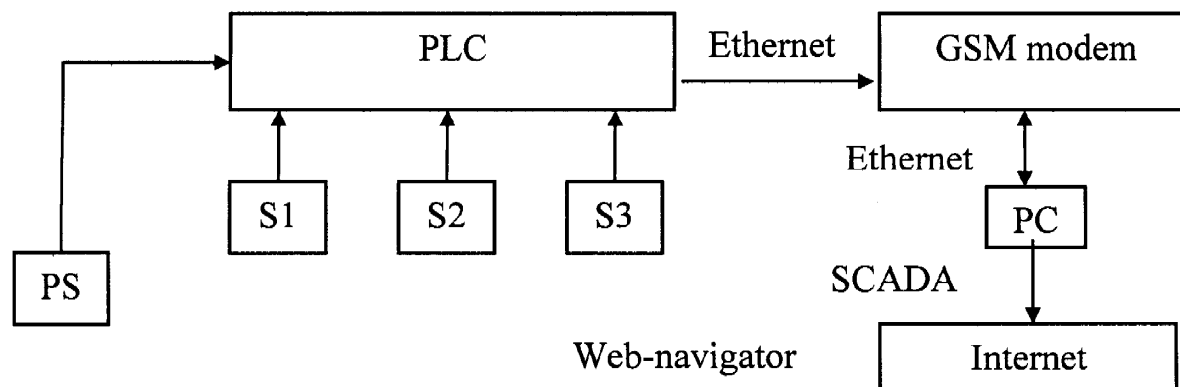


Рис. 4.1 Структурна схема системи контролю рівня паводкових вод

Пояснення до рис. 4.1:

- PLC – програмований логічний контролер (Programmable Logic Controller);
- S1 – давач вологості ґрунтів (S1, sensor 1);
- S2 – давач рівня (S2, sensor 2);
- S3 – опадомір (S3, sensor 3);
- PS – блок живлення (Power Supply);
- PC – персональний комп'ютер (Personal Computer);
- GSM – глобальна система мобільного зв'язку (Global System for Mobile Communications);
- Ethernet – базова технологія локальних обчислювальних (комп'ютерних) мереж з комутацією пакетів та Internet – всесвітня система взаємополучених комп'ютерних мереж;
- SCADA – система диспетчеризації, управління та збору даних (Supervisory Control And Data Acquisition) та Web-navigator – програма для віддаленого доступу до SCADA [136].

#### 4.2. Обґрунтування і вибір апаратних засобів для побудови системи контролю рівня паводкових вод

Обробка статистичних даних та виявлення вагомих факторів впливу на розвиток паводкових вод, що описані у розділі 3 (п. 3.2), дозволили виявити ювний метеорологічний фактор впливу – кількість атмосферних опадів,

також внесено додатковий фактор впливу – вологість ґрунту. Для постійного контролю вологості та температури ґрунту використовується трансмітер MTR-732 (рис. 4.2). Давач має водозахищений корпус із нержавіючої сталі з рівнем захисту IP65 (захист від пилу та водяних струменів).

У зв'язку з цим для реалізації і розробки системи контролю рівня паводкових вод використовуватимуться технічні засоби, що наведені на рис. 4.2.

Згідно рис. 4.2:

- Sitrans XPS10 – ультразвуковий давач вимірювання рівня;
- MultiRanger 100 – первинний перетворювач;
- ARG 100 – опадомір;
- MTR-732 – давач для вимірювання вологості ґрунтів;
- GSM – глобальна система мобільного зв'язку (Global System for Mobile Communications);
- Ethernet – базова технологія локальних обчислювальних (комп'ютерних) мереж з комутацією пакетів;
- контролер S7-300 фірми Siemens;
- SCADA – система диспетчеризації, управління та збору даних (Supervisory Control And Data Acquisition).



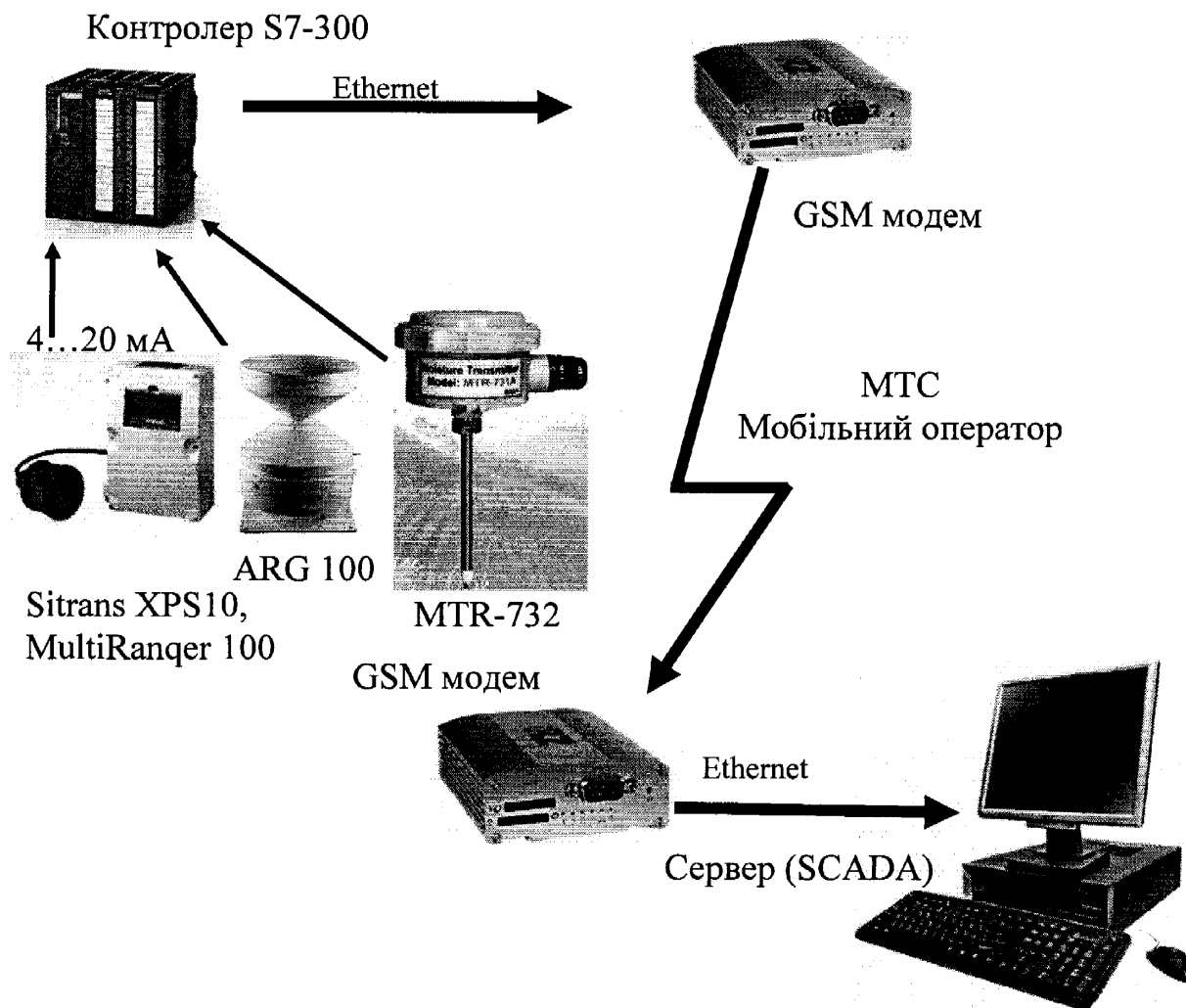


Рис. 4.2 Структурна схема системи контролю рівня паводкових вод

Основні технічні характеристики давача для вимірювання рівня паводкових вод наведено у табл. 4.1 [138].

Таблиця 4.1

**Основні технічні характеристики MultiRanger 100**

Технічні характеристики	Діапазон
1	2
Діапазон вимірювання	0,3-15 м
Похибка вимірювання	0,25 %
Програмування	Програмування через ручний програматор або через PC з ПЗ Dolphin Plus
Інтерфейс індикації і управління	100x40 мм багато позиційний ЖКД з фоновим підсвічуванням
Комунікація	RS 232, RS 485
Діапазон температури	від -20°C до +50°C (-5°F до 122°F)

Основні технічні характеристики давача вимірювання кількості атмосферних опадів ARG100 [139]:

- діаметр воронки: 254 мм (10,0 дюйма);
- висота воронки: 340 мм (13,4 дюйма);
- вага: 1000 г;
- вимоги до живлення: відсутні;
- максимально допустимий струм: 300 mA;
- межа чутливості: 0,20 мм опадів.

У табл. 4.2 наведені основні технічні характеристики давача вимірювання вологості ґрунтів [140].

Таблиця 4.2

#### Основні технічні характеристики MTR-732

Технічні характеристики	Діапазон
1	2
Діапазон вимірювання	Температура: -40~60°C, 20~80°C Вологість: 0,0 ~ 100 % Абсолютна вологість: 6,0~56,0 %
Точність (при 25°C)	Температура $\pm 0,4^\circ\text{C}$ Вологість $\pm 2\%$
Стабільність	1 % на рік
Температурна компенсація	$\pm 0,02\%$
Вологість: 0,0~100 % Температура: -40~60°C	Температура: 4~20 mA. Напруга 0~2 В. Вологість :4~20 mA.
Блок живлення	12~40 В, 120 mA
Робоча температура	-40~60°C
Вага	Близько 190 г
Габарити	Прилад: діаметр 90 мм, товщина 54 мм. Електрод: діаметр 8 мм, довжина 150 мм. Довжина електрода може бути індивідуальною.

Вибір апаратних засобів обґрунтований наступними характеристиками:

- можливістю моніторингу рівня паводкових вод, кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів у реальному часі, а також архівування отриманих даних;
- діапазоном температури навколишнього середовища від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;
- точністю вимірювання: рівень паводкових вод:  $\pm 0,25\%$ , вимірювання вологості  $\pm 2\%$  та кількість атмосферних опадів  $\pm 0,2$  мм.

Принцип роботи комп'ютеризованої АІВС: давачі Sitrans XPS10 та ARG 100 відповідно призначені для контролю за зміною рівня води у ріці в період паводкових вод чи повеней та для вимірювання кількості атмосферних опадів можуть бути встановлені у боксі чи щиті та встановлюватись як на березі річки, так і кріпитись на опори мостів.

Sitrans XPS10 фірми Siemens – ультразвуковий давач для вимірювання рівня, який у своєму корпусі містить випромінювач і приймач, тобто для вимірювання рівня води застосовується акустичний метод вимірювання. Даний метод заснований на вимірюванні часу проходження звукового імпульсу, що відбитий від поверхні води річки.

Випромінювач надсилає імпульс звуку в напрямку водної поверхні, звук відбивається і повертається. Приймач фіксує відбитий імпульс, а час, який пройшов з моменту посилання імпульсу, дозволяє визначити відстань до водної поверхні. Відстань розраховується досить просто, достатньо помножити час проходження коливання на швидкість поширення коливань у середовищі. Найчастіше середовищем поширення ультразвукового імпульсу є повітря. Швидкість поширення коливань в повітрі дорівнює 331 м/с.

Sitrans XPS10 має діапазони вимірювання до 40 м і температурою до  $95^{\circ}\text{C}$ . Особливістю рівнемірив Siemens Echomax XPS10 є вбудована температурна компенсація, хімічна стійкість, широкий температурний діапазон експлуатації та самоочищення.

MultiRanger (рис. 4.2) – високоефективний ультразвуковий контролер для контролю рівнів у відкритому середовищі або резервуарах забезпечує надійні і достовірні результати вимірювань.

При цьому, використовуючи безконтактну ультразвукову технологію, пристрій забезпечує ефективний безперервний контроль рівня речовин практично у всіх сферах застосування при малому або середньому діапазоні виміру до 15 м.

MultiRanger контролює рівень речовини одночасно в двох точках, має вбудований протокол зв'язку Modbus RTU для цифрового зв'язку через RS-485, може працювати під програмне забезпечення Dolphin Plus, що дає можливість конфігурації і налаштування з ПК. MultiRanger 100 забезпечує економічну сигналізацію рівня, двопозиційний або періодичний контроль насосів. MultiRanger сумісний з хімічно стійкими датчиками і може використовуватися для роботи в агресивних середовищах при температурах до 145°C. MultiRanger має декілька особливостей: цифровий вхід для блокування сигналом від сигналізатора рівня і вбудований протокол зв'язку Modbus RTU для цифрового зв'язку через RS-485.

Також у цьому перетворювачі присутній контроль до двох точок та автопридушення помилкового еха для уникнення перешкод від нерухомих перешкод.

MultiRanger 100 перетворює дані з датчика у 4-20 мА, по якому визначають значення рівня.

Датчик для вимірювання кількості атмосферних опадів ARG 100 працює за принципом перекидання ковша-дощоміра. Оподи збираються у воронці, і передається в одному з двох ковшів, розташованих на обох кінцях короткого коромисла. Коли перший ківш переповнюється, то відбувається спорожнення і спрацьовує другий ківш.

Передача вихідних даних (рівня води річки, вологості ґрунтів та кількості атмосферних опадів) передається на контролер фірми Siemens S7-300, де сигнали перетворюються у цифрові дані (АЦП).

GSM модем фірми IRZ – має стандартний промисловий інтерфейс RS-485.

Завдяки вбудованому TCP/IP-стеку різні дані, наприклад отримання даних від різних давачів та контролерів, можуть бути передані на центральний сервер (SCADA) через мобільні оператори.

За допомогою Web-navigator (програма для віддаленого доступу до SCADA) у мережі Інтернет можливий перегляд природних ситуацій на даній точці моніторингу.

### **4.3. Розробка нижнього рівня системи контролю рівня паводкових вод**

На основі запропонованих апаратних засобів відбувалось створення нижнього рівня системи у програмному середовищі STEP 7, де визначається тип та директорія збереження файлів проекту для розроблювальної системи (рис. 4.3).

STEP 7 – це програмне забезпечення для контролерів S7-300/400 та основний інструмент для вирішення задач автоматизації в SIMATIC-менеджер (SIMATIC Manager).

Програма SIMATIC S7 структурована, тобто вона складається з блоків з певними функціями, утворених з мереж (networks) або ланцюгів (rungs). STEP 7 працює із змінними різних типів даних, починаючи з бінарних змінних (тип даних BOOL – логічний), далі з числовими змінними (типи даних INT або REAL для обчислювальних задач), закінчуючи складними або комплексними типами даних, такими як масиви або структури (формування однієї змінної з комбінації змінних різних типів).

Дає можливість нагляду за поточним станом програми, доступне при використуванні будь-якої мови програмування, забезпечує не тільки відладку програмного забезпечення, але і пошук несправностей в устаткуванні, що підключається, навіть якщо воно не має засобів діагностики.

У проект STEP 7 можуть бути, включені системи людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ), наприклад операторські панелі, що конфігуруються за допомогою виготовленого Siemens програмного забезпечення ProTool або WinCC Flexible, або персональний комп'ютер з програмним забезпеченням WinCC.

Станція автоматизації (АС) на базі контролера S7-300 складається з:

- стійки (Rack), яка забезпечує механічні та електричні з'єднання між модулями S7-300;
- джерела живлення (power supply – PS) для перетворення напруги (змінного струму 120/230 В або постійного струму 24 В) у 5 В і 24 В (постійний струм) у необхідну для живлення S7-300;
- CPU (Central Processing Unit – центральний процесор), що виконують програму користувача, взаємодіють з іншими CPU, програмними пристроями (PG), операторськими панелями (operator panels – OP) і польовими пристроями PROFIBUS-DP.

SIMATIC S7-300 – сімейство контролерів середньої продуктивності фірми Siemens AG з сімейства пристроїв автоматизації SIMATIC S7. У лінійці контролерів цього сімейства за своєю продуктивності займає проміжне положення між сімействами S7-200 і S7-400. Кількість підтримуваних логічних входів і виходів до 65536 дискретних і 4096 аналогових каналів.

Конструкція контролера модульна, модулі монтується на профільній шині (рейці). SIMATIC S7-300 – програмований контролер, призначений для побудови систем автоматизації низького і середнього ступеня складності.

Програмований контролер S7-300 має модульну побудову. Модулі, з яких він складається, можуть бути центральними (розташованими поряд з CPU) або розподіленими без обов'язкових спеціальних установок або призначень параметрів.

У системах SIMATIC S7 розподілений вхід/вихід (I/O) є інтегрованою частиною системи. CPU з його різними областями пам'яті формує апаратну основу для обробки призначених для користувача програм. Завантажувальна пам'ять (load memory) містить програму користувача в повному об'ємі: частини

програми відповідно до її виконання в будь-який даний момент часу знаходяться в робочій пам'яті (work memory), малий час доступу до якої необхідний для швидкої обробки програми.

Основні особливості контролера:

- модульна конструкція, монтаж модулів на профільній шині (рейці);
- застосування локального і розподіленого вводу-виводу;
- можливості комунікацій по мережах MPI, Profibus, Industrial Ethernet, PROFINet, AS-i, BACnet, MODBUS TCP;
- підтримка на рівні операційної системи функцій, що забезпечують роботу в реальному часі;
- підтримка на рівні операційної системи апаратних переривань;
- підтримка на рівні операційної системи обробки апаратних і програмних помилок;
- можливість використання розподілених структур вводу-виводу і просте включення в різні типи промислових мереж.

Розроблена автором програма в STEP 7 створюється на мові програмування LAD. Структура програми складається з чотирьох функцій FC1, FC2, FC3 та FC4 (рис. 4.4-4.5), а саме:

- FC1 – функція нормування аналогових сигналів;
- FC2 – функція порівняння поточних значень з заданими значеннями рівня (середнім та критичним);
- FC3 – функція порівняння поточних значень з заданими значеннями опадів (критичними);
- FC4 – функція порівняння поточних значень з заданими критичними значеннями вологості ґрунтів (рис. 4.5).

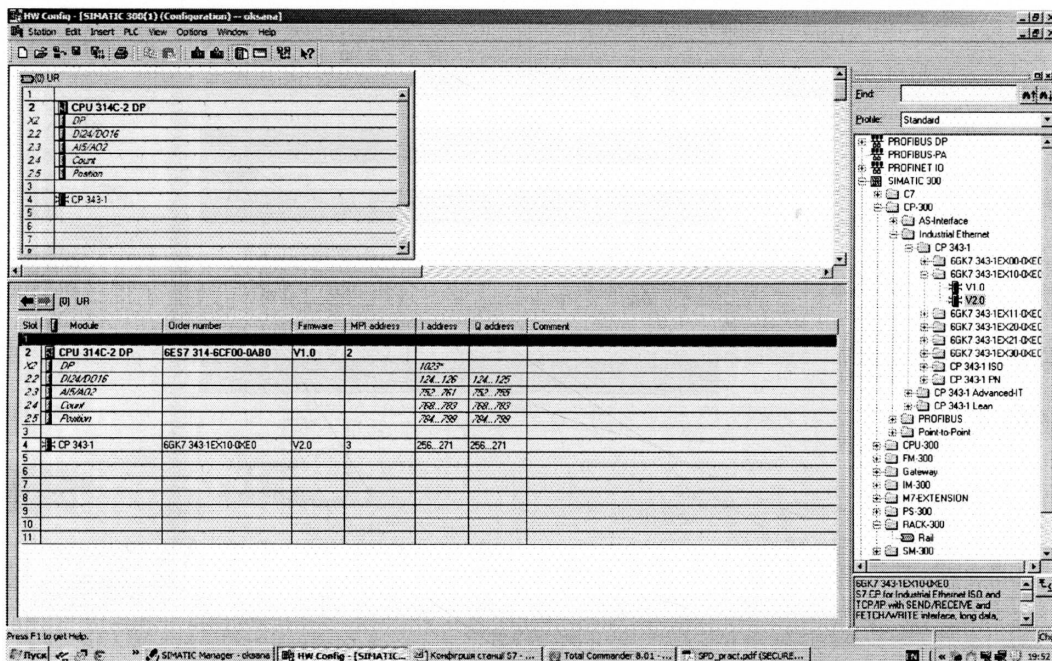


Рис. 4.3 Конфігурація станції S7-300

На рис. 4.3 CP 343-1 – інтерфейсний модуль для зв'язку по протоколу TCP/IP мережі Ethernet, який необхідний для зв'язку з GSM модемом (рис. 4.4).

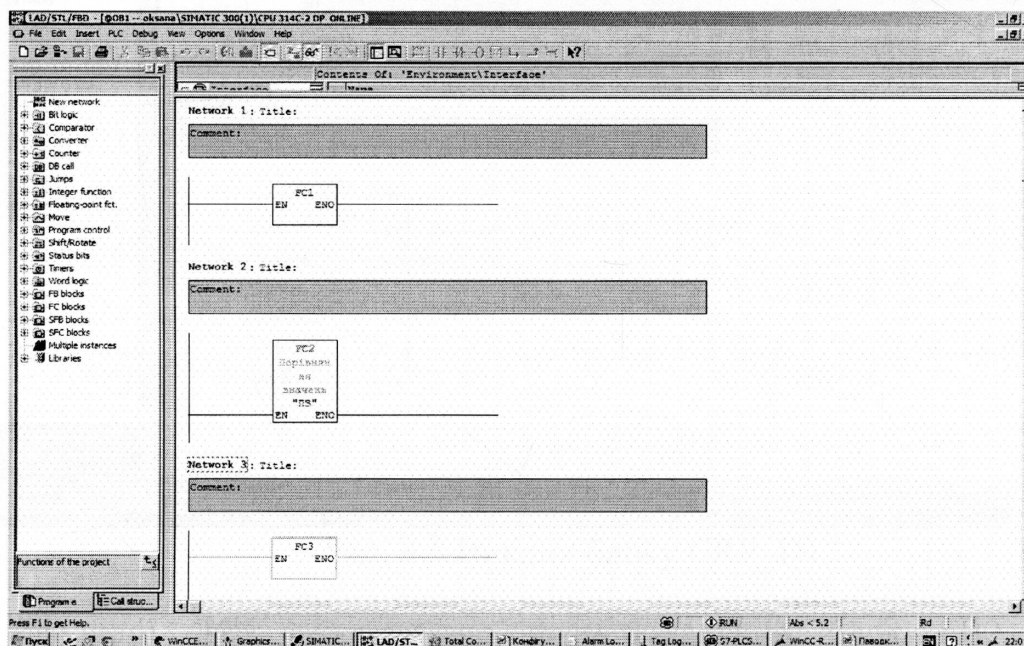


Рис. 4.4 Структура програми

На рис. 4.5 MD140 відповідає значення датчика вологості ґрунту, а MD200 – критичне значення, яке задається користувачем системи.



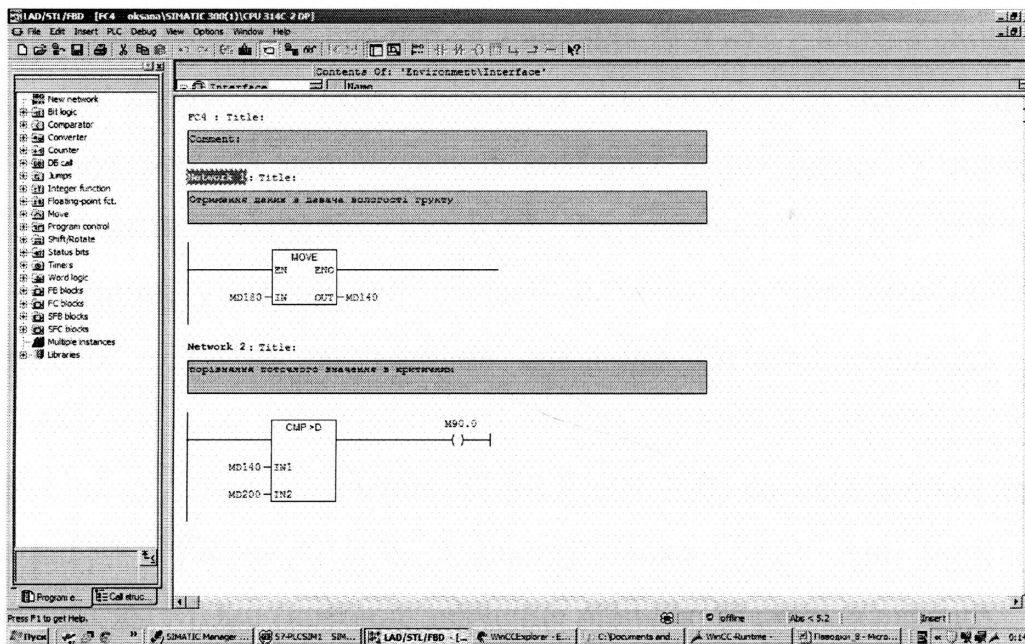


Рис. 4.5 Порівняння вологості ґрунту (поточної та критичної)

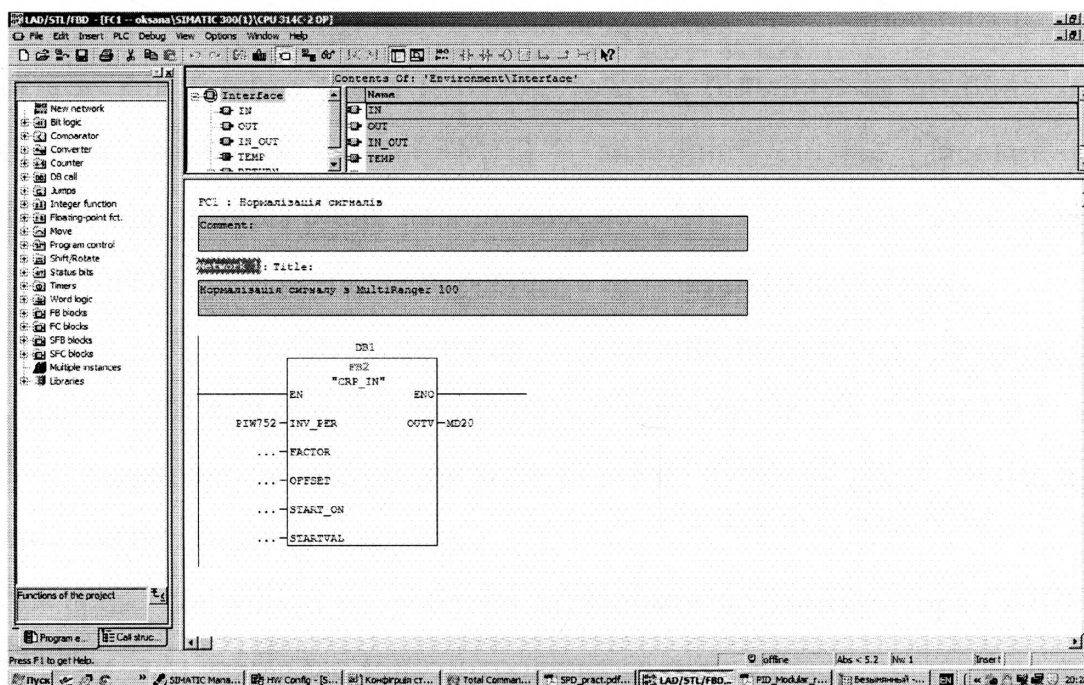


Рис. 4.6 Виклик блоку CRP\_IN

У функції FC1 використано функціональний блок FB2 CRP\_IN MODCONT для нормування сигналу з давача рівня MultyRanger 100 → Milltronics XPS 10 (рис. 4.6).

CRP\_IN використовується для зчитування і показу даних з давача рівня Milltronics XPS 10. У блоці проводиться приведення значень з діапазону значень аналогових входів і виходів у відповідність з внутрішнім представленням чисел у модульному регуляторі.

У змінну INV\_PER вводиться значення PIW752 – адреса входу даних.

У значення входу FACTOR вводиться значення типу Real – це значення використовується для масштабування вихідних даних блоку. У значення входу OFFSET вводиться значення типу Real – це значення вказує постійне зміщення даної величини; у START\_ON задається значення типу Boolean, коли воно встановлено в 1, то на вихідне значення OUTV передається значення STARVAL.

У випадку, коли значення START\_ON – 0, то передається нормований сигнал з INV\_PER на OUTV. З виходу блока OUTV дані присвоюються в область пам'яті MD20 (поточне значення рівня води річок з давача).

Для контролю і попередження виникнення паводкових вод використовуємо функцію FC2 «Порівняння значень». Даний блок дозволяє попередити про виникнення паводкових вод, а саме: значення рівня паводкових вод досягає критичного рівня (MD30), тобто є більшим за поточне значення включається аварійний сигнал (M1.2 – аварійний сигнал (високий рівень)) оповіщення про підйом рівня паводкових вод. M1.1 – маркер, який повідомляє про те, що рівень води річок не перевищує поточний (рис. 4.7).

На рис. 4.8 розроблена функція порівняння поточного значення (MD20) рівня паводкових вод з меженню (MD10), мережа Network 2. M1.3 – маркер, який повідомляє про те, що рівень води річок не падає до рівня MD10, а M1.4 – аварійний сигнал межень (посуха).

У мережі Network 3 розроблено за допомогою компаратора CMP>R (рис. 4.8) систему, яка дозволяє проконтролювати підвищення рівня води р. Прут. Основні вихідні величини: Md40 – середнє значення Прута (1,5 м), Md50 – високе значення Прута (8 м), Md60 – підйом вище середнього.

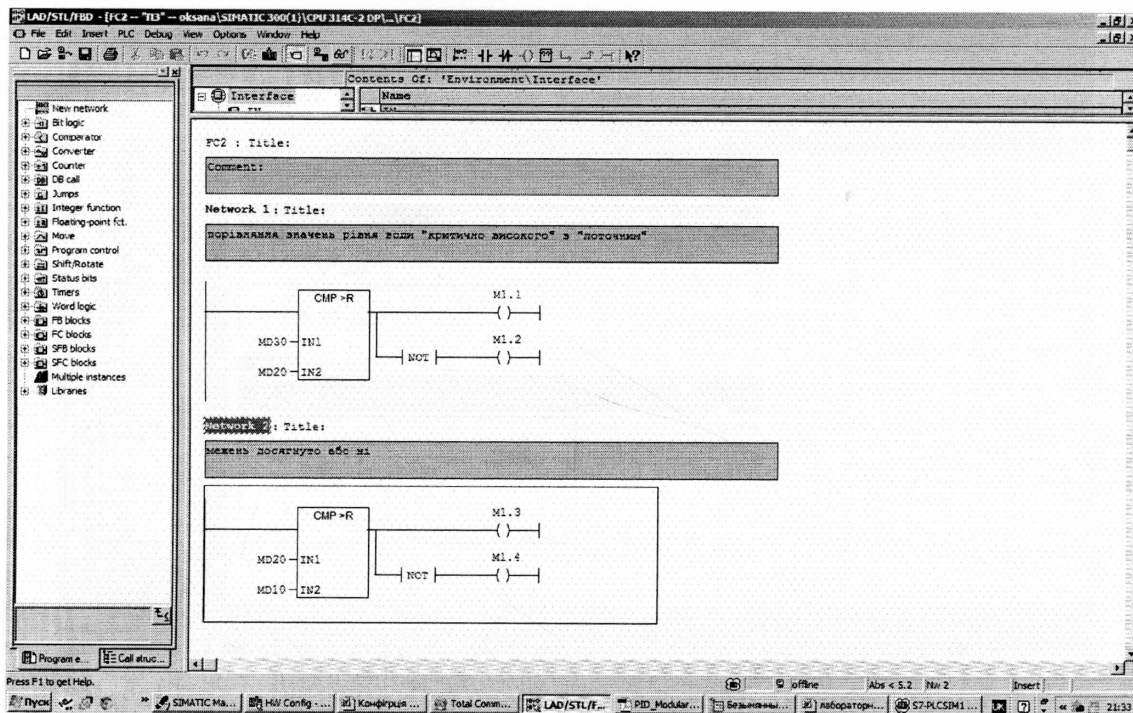


Рис. 4.7 Контроль за підвищенням/пониженням рівня води річок

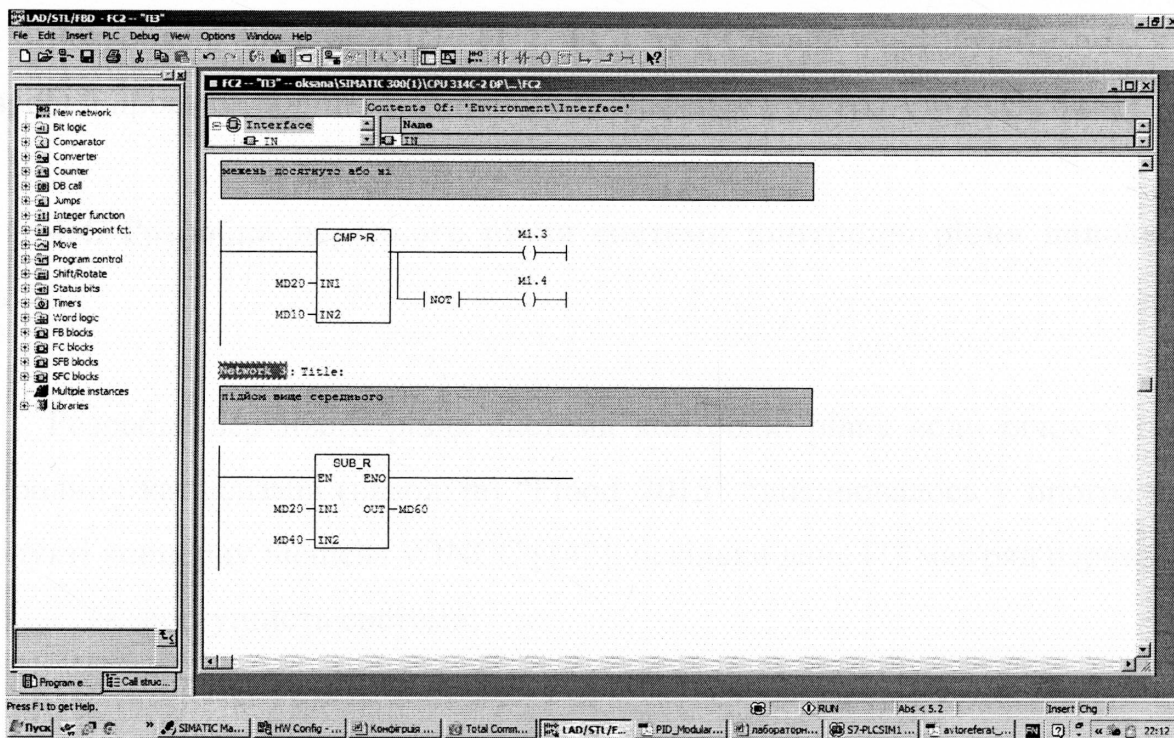


Рис. 4.8 Контроль рівня води річки Прут

У FC3 (рис. 4.9) здійснюється порівняння поточного значення кількості атмосферних опадів (Md110) з критичним (Md120).

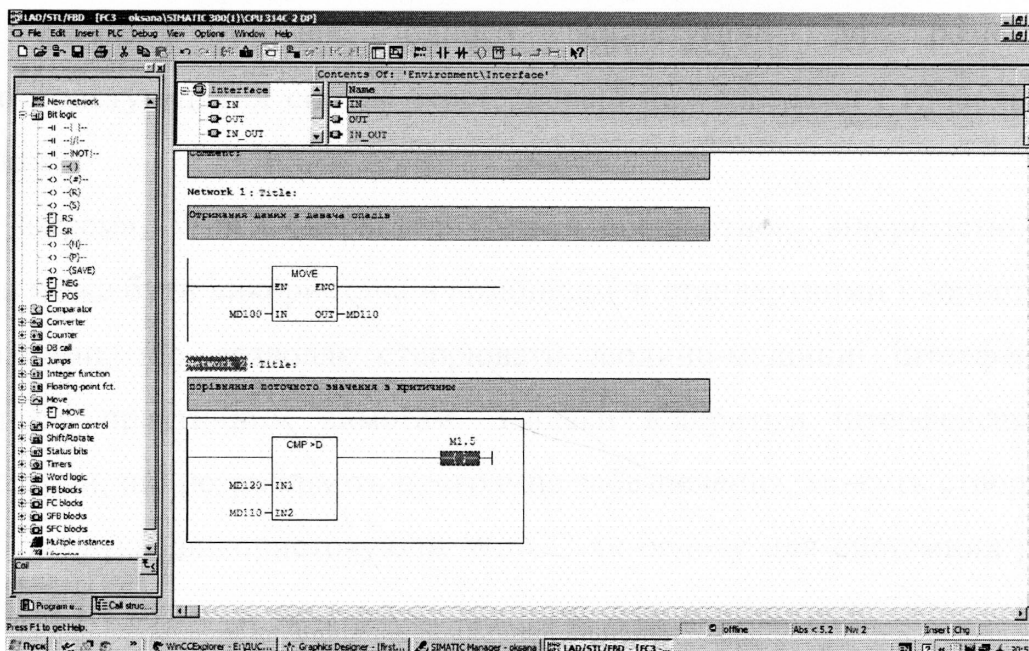


Рис. 4.9 Порівняння кількості атмосферних опадів (поточні та критичні)

Розроблені функції FC1, FC2, FC4 та FC3 використовуватимуться для розробки проекту людино-машинного інтерфейсу в SCADA WINCC [141].

#### 4.4. Розробка верхнього рівня системи контролю рівня паводкових вод

Розробка верхнього рівня системи контролю рівня води річок у період природних катаклізмів (паводків) “Flood\_2015” здійснювалось у програмному продукті концерну Siemens WINCC [142], оскільки дане ПЗ має ряд переваг:

- доступність системи;
- підтримка різних промислових інтерфейсів зв’язку;
- зручність у користуванні;
- універсальність;
- можливість розробки графічних моделей;
- можливість архівування даних.

SIMATIC WinCC представляє собою масштабовану систему візуалізації процесів, що володіє потужними функціями для контролю автоматизованих процесів. WinCC надає всі функціональні можливості SCADA під Windows для

всіх галузей – від одного користувача до розподілених багатокористувацьких систем з резервованими серверами і глобальними web-клієнтами.

Зокрема, WinCC характеризується абсолютною відкритістю. Вона без зусиль може бути використана в комбінації зі стандартними і користувацькими програмами, що дозволяє створювати людино-машинні інтерфейси, точно відповідні практичним вимогам. Завдяки відкритим інтерфейсам системні інтегратори, що розробляють програмне забезпечення, можуть створювати свої власні додатки, використовуючи WinCC як основу для системних розширень. WinCC – це сучасна система зі зручним для користувача інтерфейсом. Вона підходить для застосування як в офісах, так і на виробництві, функціонально закінчена і надійна в роботі, ефективно проектується і легко пристосовується до вирішення як простих, так і складних завдань.

WinCC разом з вбудованою базою даних утворює інформаційний центр для вертикальної інтеграції всього підприємства і за допомогою набору засобів Plant Intelligence збільшує прозорість виробництва. Для обох систем справедливе твердження про те, що комплексна автоматизація (Totally Integrated Automation) скорочує витрати як на розробку, так і на забезпечення життєвого циклу системи. Так, наприклад, програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу має безпосередній доступ до бази змінних і повідомлень контролера SIMATIC, а також використовує їх комунікаційні параметри для налаштування зв'язку. Це дозволяє з самого початку уникнути великих витрат часу на багатократне введення даних і додаткових джерел помилок. Крім того, вбудовані діагностичні можливості забезпечують підтримку обслуговуючого персоналу на протязі всього життєвого циклу системи.

Загальними функціями SCADA є:

- збір поточної інформації про роботу устаткування з датчиків і контролерів;
- первинне перетворення зібраної інформації;
- збереження поточної інформації;
- представлення поточної інформації у вигляді гістограм, таблиць,

графіків;

- друк звітів і протоколів про роботу одиниць устаткування;
- передача і введення в пристрої керування команд диспетчера та використання поточної інформації для вирішення завдань управління виробництвом;

- організація зв'язку з пристроями, підключеними до інформаційної мережі.

SCADA-система зазвичай містить такі підсистеми:

- людино-машинний інтерфейс (HMI англ. Human Machine Interface)
- інструмент, який подає дані про хід процесу людині-операторові;
  - диспетчерська система (MTU англ. Master Terminal Unit), яка збирає дані про процес і відправляє команди процесору керування;
  - абонентський кінцевий блок або віддалений термінал (RTU англ. Remote Terminal Unit), що під'єднується до давачів процесу, перетворює сигнал з давача в цифровий код і відправляє дані в диспетчерську систему;
  - програмований логічний контролер (PLC англ. Programmable Logic Controller) використовується як польовий пристрій з вищою спеціального призначення економічністю, універсальністю і гнучкістю, ніж у RTU;
  - комунікаційна інфраструктура (CS англ. Communication System) для реалізації промислової мережі.

У 90-х роках з'явилися системи SCADA, що працюють в середовищі Windows. Найвідоміші пакети Genesis 32 («Iconics», USA), Factory Suite («Wonder-ware», USA), Modicon Factory Link («US Data», USA), Genie («Advantech», USA), Simplicity HMI («GE Fanuc Automation», Японія), WinCC («Siemens AG», Німеччина). SCADA системи забезпечують:

- наочну інформацію про хід виробництва;
- відображення стану приводів і технологічного устаткування;
- деталізацію вибраних диспетчером частин процесу;
- розрахунок показників процесу в динаміці і виведення узагальненої інформації у вигляді графіків, таблиць або рисунків;
- розпізнавання передаварійних і аналіз аварійних ситуацій з

рекомендаціями послідовності дій диспетчера;

- можливість управління виконавчими пристроями об'єкта з пульта диспетчера;
- створення архіву аварій, подій і поведінки процесу в часі;
- захист від не дозволеного доступу до збору інформації і управління.

З'єднання між WINCC і системою автоматизації встановлюється з допомогою комунікаційних драйверів або драйверів зв'язку. Дані створені системою автоматизації або проектом WINCC, передаються з допомогою тегів. Щоб дістати доступ з WINCC до поточних даних процесу системи автоматизації, необхідно конфігурувати з'єднання WINCC і контролером. Обмін даними між WINCC і контролером здійснюється за допомогою спеціальних драйверів зв'язку, наприклад GSM модем (рис. 4.1). У WINCC теги, як отримують значення від процесу, вважаються зовнішніми тегами або тегами процесу. Для тегів процесу Tag Management визначає комунікаційний драйвер, за допомогою якого WINCC з'єднується з системою автоматизації, а також параметри обміну даними. Відповідні теги створюються у теці цього комунікаційного драйвера. Теги, які не одержують значень від процесу, називаються внутрішніми тегами і створюються у теці Internal Tags.

Для відображення даних у SCADA використано наступні теги (рис. 4.10).

Name	Type	Parameters	Last Change
riven_h	Binary Tag	M1.2	10/31/2014 9:57:19 PM
level_first_poin	Floating-point number 32-b...	MD20	11/3/2014 10:07:12 PM
serriv	Floating-point number 32-b...	MD40	11/3/2014 10:03:53 PM
max_level	Floating-point number 32-b...	MD30	11/3/2014 10:11:32 PM
Pid/spad	Floating-point number 32-b...	MD60	11/3/2014 10:16:25 PM
opadu_potocni	Unsigned 32-bit value	MD110	11/5/2014 9:10:15 PM
vologist_krutuoni	Floating-point number 32-b...	MD200	8/24/2007 2:06:02 AM
opadu_h	Binary Tag	M1.5	11/5/2014 9:01:34 PM
vologist_potocni	Floating-point number 32-b...	MD140	8/24/2007 3:02:39 AM
Vologyst_h_riven	Binary Tag	M90.0	8/24/2007 2:01:44 AM
opadu_krutuoni	Floating-point number 32-b...	MD120	8/24/2007 2:13:58 AM

Рис. 4.10 Вікно створених тегів у WINCC

На рис. 4.11 представлено список можливих повідомлень: Критичний рівень, Критична кількість опадів та Критична вологість ґрунту.

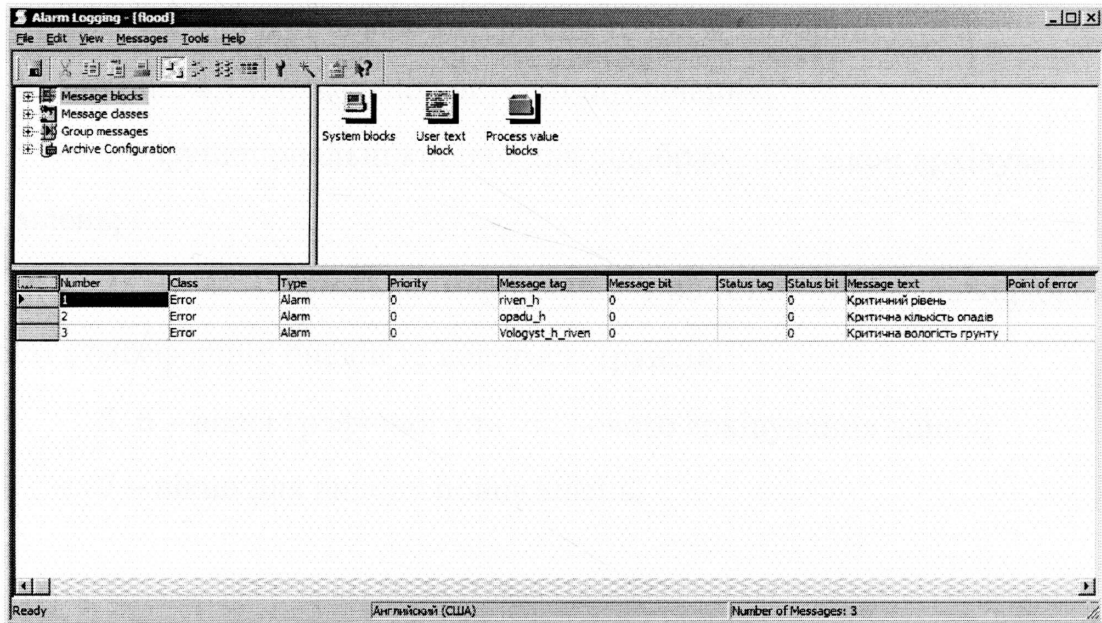


Рис. 4.11 Створення повідомлень

Для графічного та числового архівування даних створено два архіви: Archive\_level для архівування значення рівня паводкових вод, Archive\_opadu – кількості атмосферних опадів та Archive\_vologyst – архівування значень вологості ґрунтів (рис. 4.12).

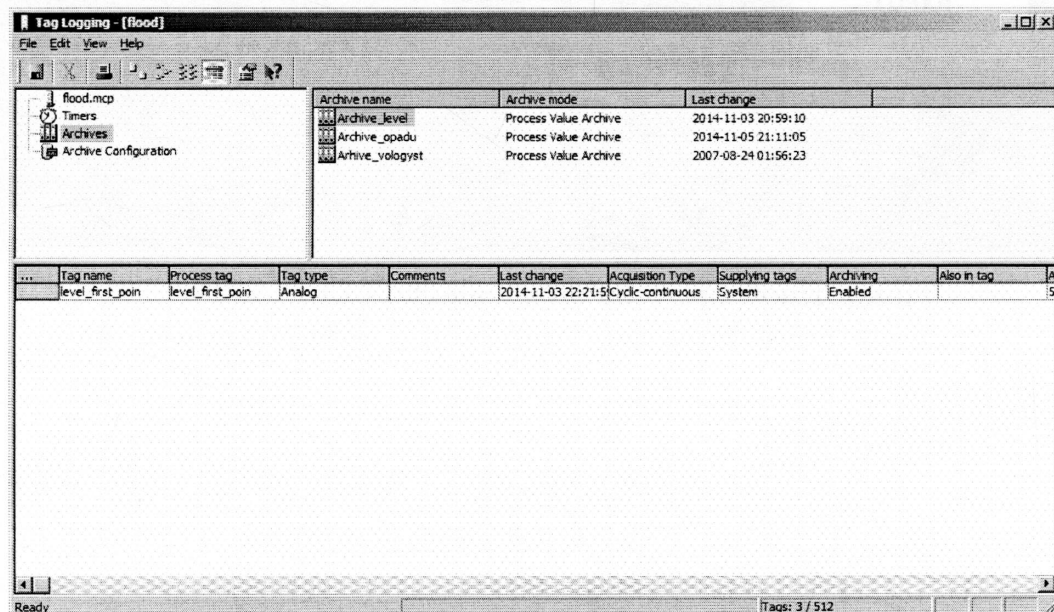


Рис. 4.12 Створення архівів



SCADA складається з головного вікна та трьох точок (при необхідності кількість точок контролю може бути збільшена) моніторингу (рис. 4.13).

На рис. 4.14 представлено інтерфейс точок моніторингу.

Згідно рис. 4.14, наведено наступні позначення:

- 1 – функціональні кнопки для відображення вікон архівування та повідомлень;
- 2, 3, 4 – загальна інформація про стан рівня паводкових вод, кількості атмосферних опадів та вологості ґрунтів;
- 5, 6 – вікна графічного та числового архівування даних;
- 7 – вікно для виводу повідомлень.

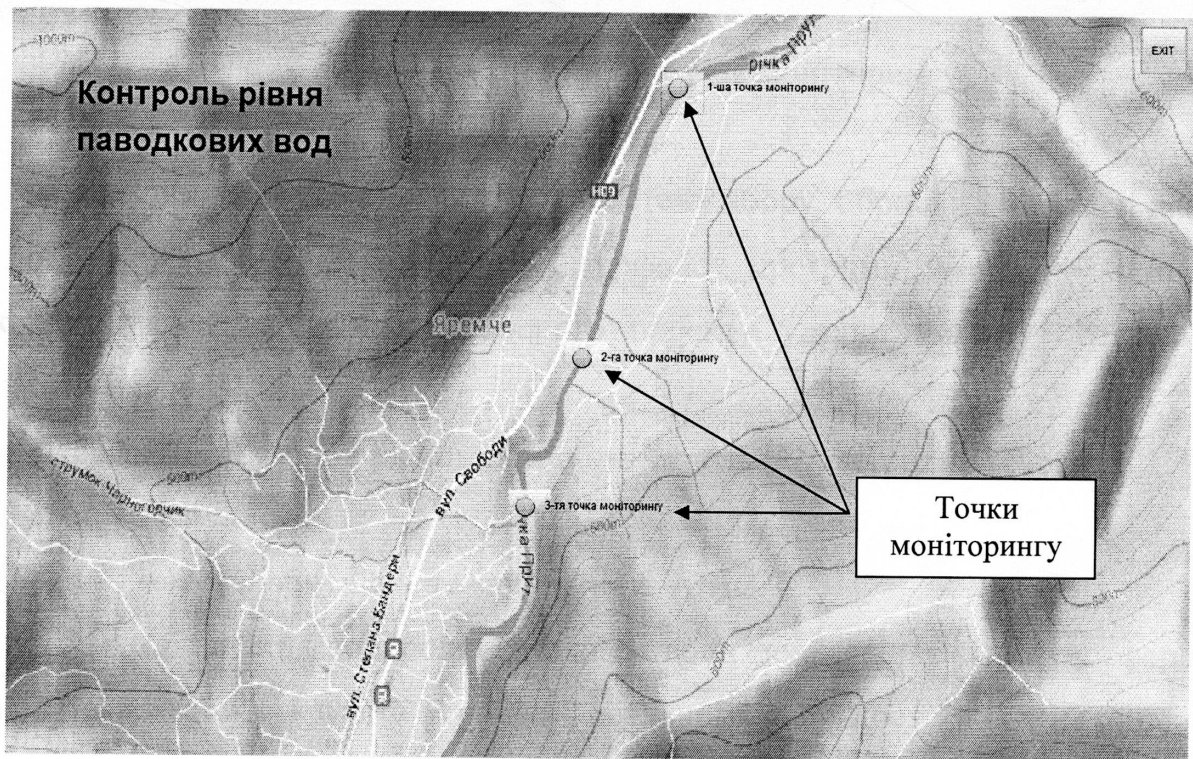


Рис. 4.13 Головне вікно системи моніторингу

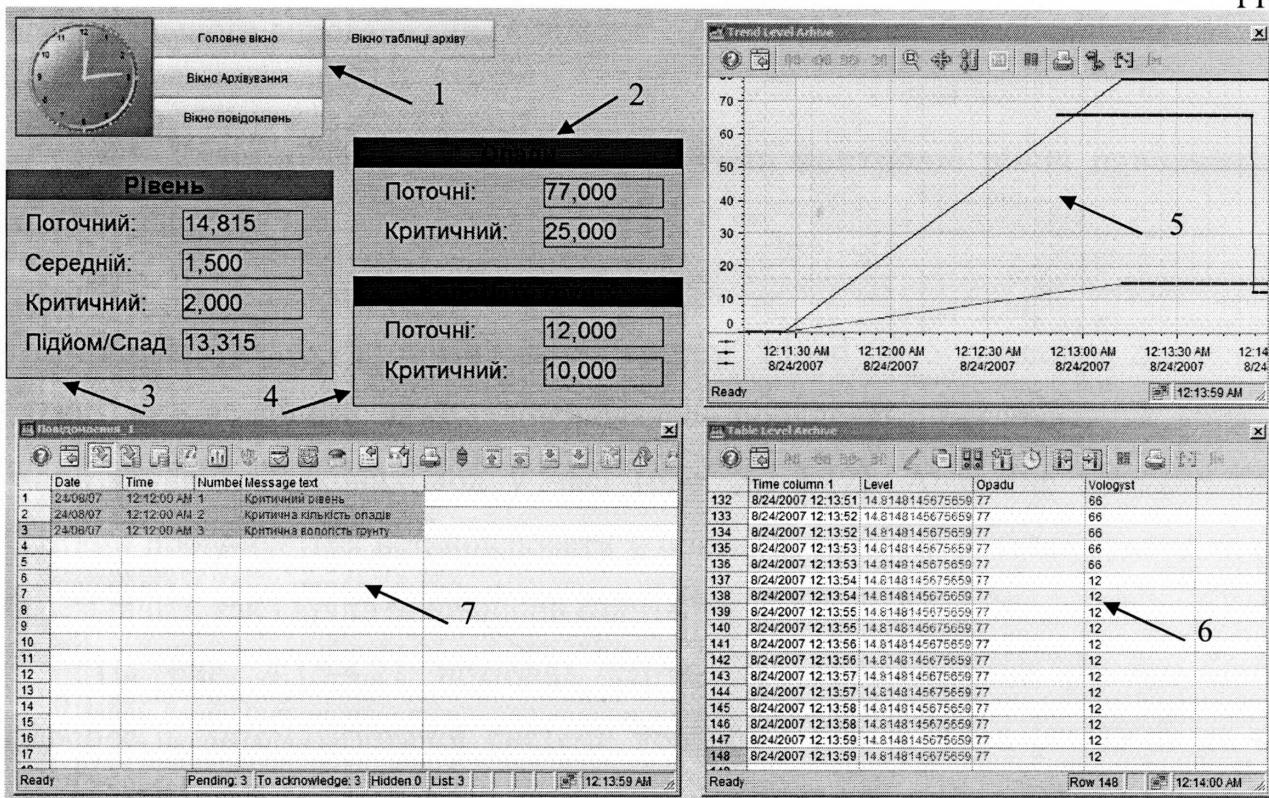


Рис. 4.14 Інтерфейс точок моніторингу

Таким чином було спроектовано систему збору, обробки і передачі даних за допомогою людино-машинного інтерфейсу програми WinCC v7.0 SP1 з використанням попередньо створеного проекту у програмному середовищі Simatic Manager [142].

Переваги запропонованої розробленої AIBC контролю “Flood\_2015” у порівнянні з існуючими є:


- малогабаритність та мобільність AIBC;
- здійснення контролю за рівнем води річок, кількістю атмосферних опадів та вологістю ґрунтів у режимі реального часу постійно, а не тільки у період паводків;
- зручний інтерфейс у користуванні;
- економічна вигідність;
- переваги апаратних засобів та ПЗ, що описані у п. 4.2, 4.4.

Розроблена на кафедрі КТіСУ система контролю і моніторингу рівня паводкових вод (водних ресурсів) пройшла промислову апробацію у Долинському ВУВКГ, в період з січня 2014 по березень 2015 року та прийнята

для подальшого впровадження (Додаток Д, рис. Д.1).

#### 4.5. Розташування гідропостів системи контролю рівня паводкових вод “Flood\_2015”

Розташування автоматизованих систем “Flood\_2015” показано для річок, за вихідними даними яких, здійснювалась побудова апроксимуючих кривих зміни рівня паводкових вод у часі (рис. 3.1-3.12). Апаратне забезпечення системи пропонується встановлювати у бокси чи щити та розташовувати як на березі річки, так і кріпити на опори мостів.

На рис. 4.15-4.21 показана карта, де запропоноване розташування гідропостів автоматизованої системи контролю для р. Тиса (м. Тячів та м. Рахів). Згідно рис. 4.15-4.21, позначенню  [143] відповідає геодезичний пункт, у даному випадку, це гідропости, чорні прямокутники – це територіальне розміщення досліджуваної області.

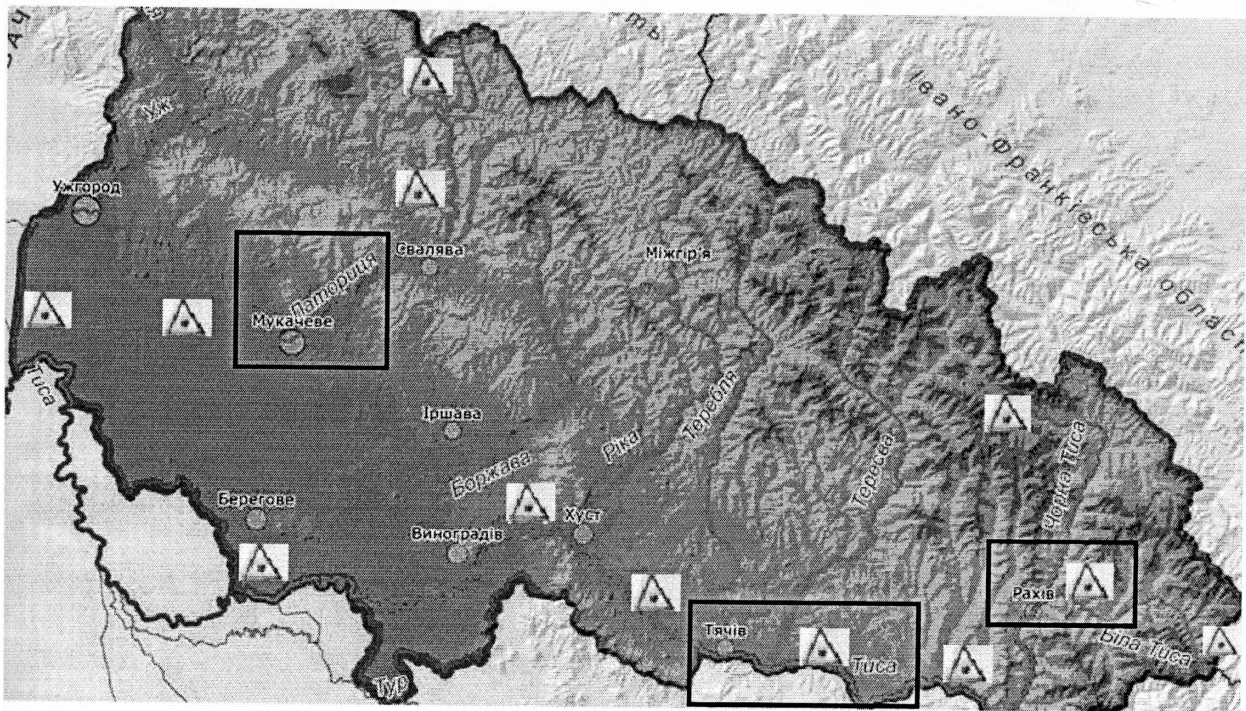


Рис. 4.15 Розміщення гідропостів р. Тиса (м. Тячів, м. Мукачеве та м. Рахів)

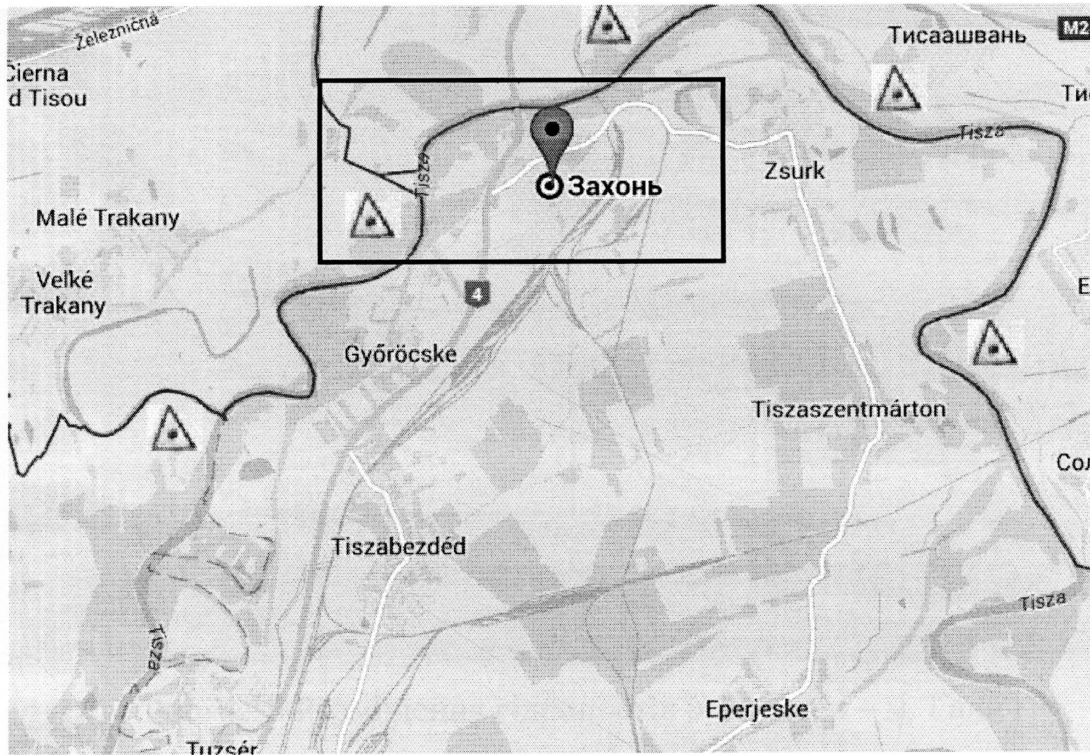


Рис. 4.16 Розміщення гідропостів р. Тиса – пост Захонь

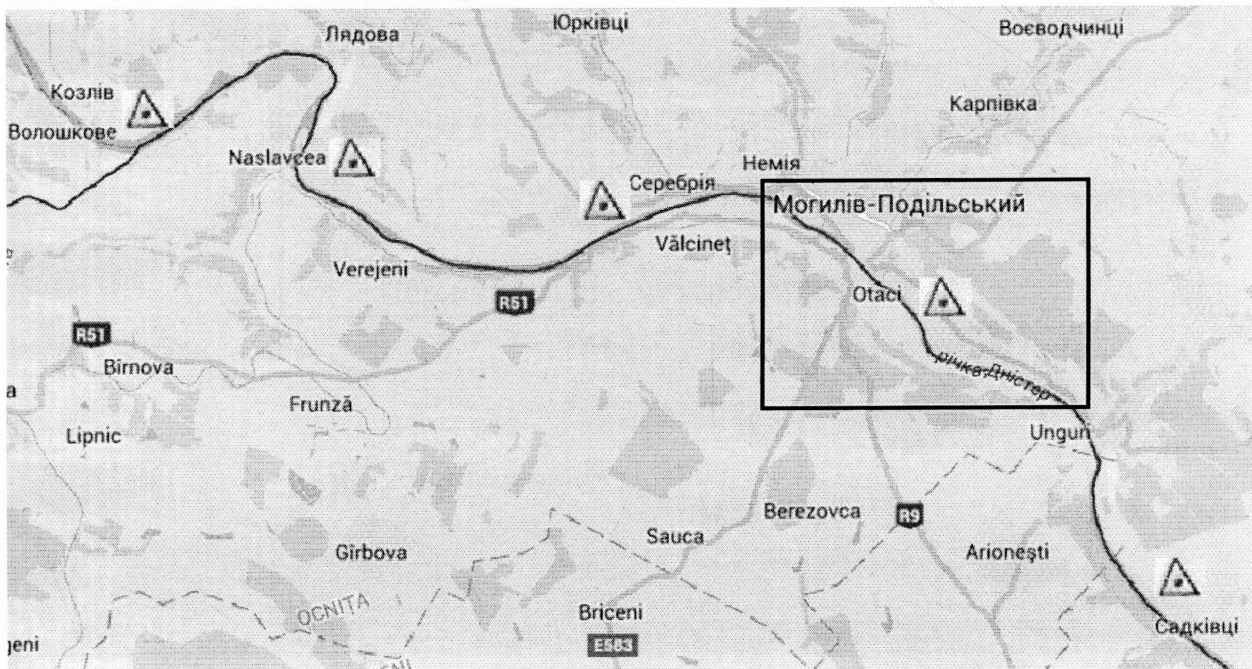


Рис. 4.17 Розміщення гідропостів р. Дністер – м. Могилів-Подільський

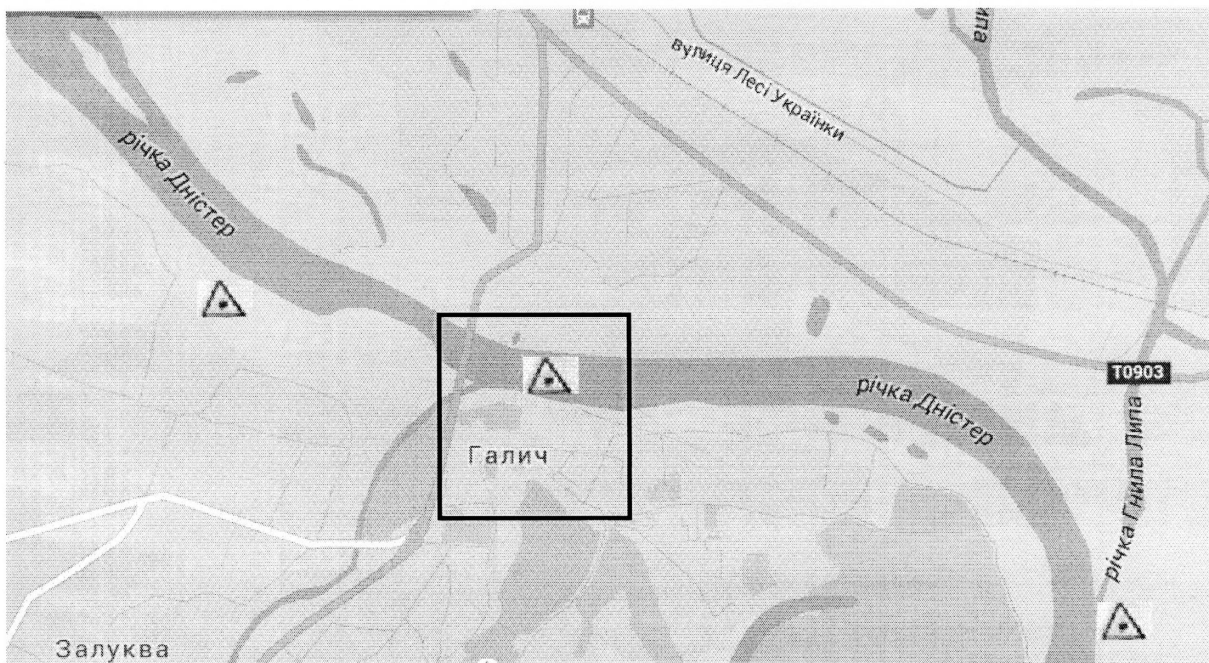


Рис. 4.18 Розміщення гідропостів р. Дністер – м. Галич



Рис. 4.19 Розміщення гідропостів р. Прут – м. Чернівці

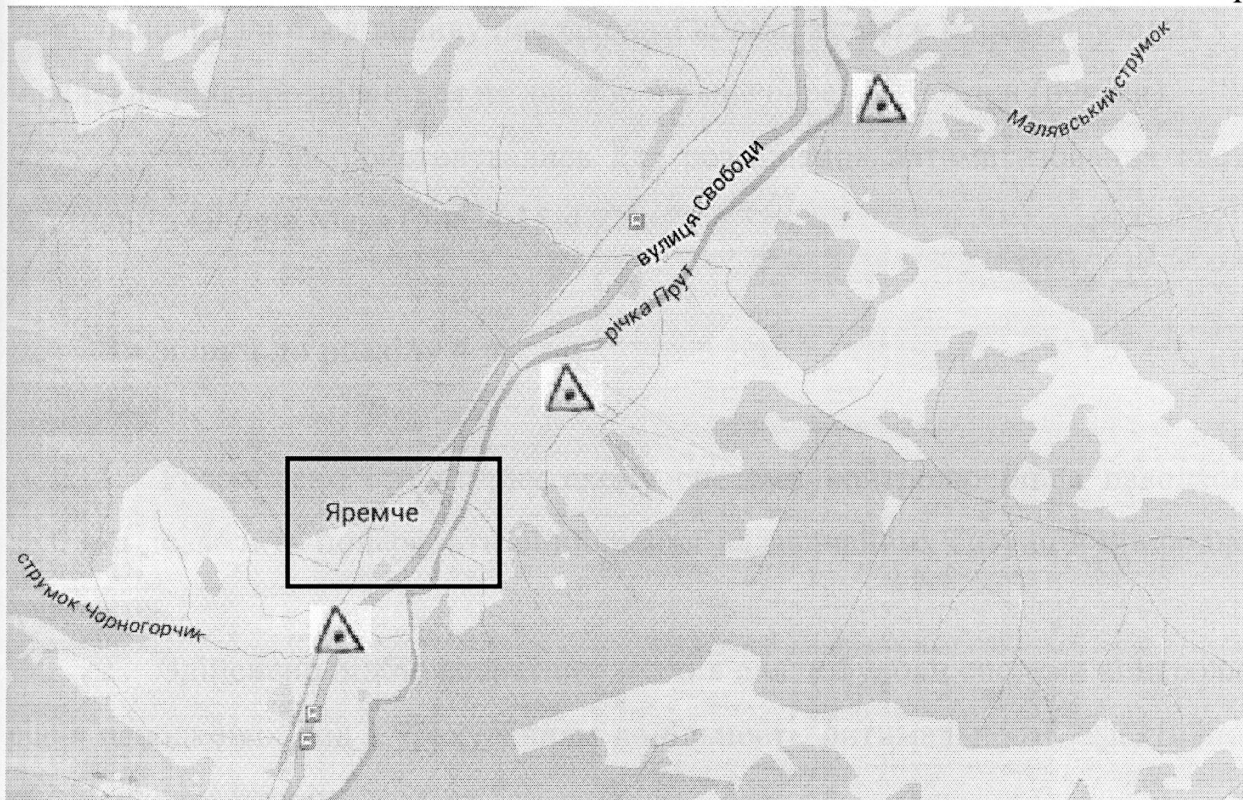


Рис. 4.20 Розміщення гідропостів р. Прут – м. Яремче



Рис. 4.21 Розміщення гідропостів р. Прут – м. Коломия

Вибір точок моніторингу (автоматизованих гідропостів) за рівнем паводкових вод та метеорологічними даними (вологістю ґрунтів та кількістю атмосферних опадів) зумовлений прилеглими ділянками до річок, які

найбільше піддаються впливу паводковим водам, а також їх розташування у місцях, де річка розділяється на два або більше окремих потоки (рукави).

Карти, які використовувались для розміщення автоматизованих систем отримано з Google.Maps (рис. 4.15-4.21).

#### **Висновки до розділу 4**

1. Розроблено структурну схему системи контролю рівня паводкових вод, яка дозволить попередити виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру.

2. Здійснено підбір апаратних засобів для побудови системи контролю рівня паводкових вод з урахуванням доцільності, оптимальності, ефективності та фінансових сторін.

3. Розроблено нижній рівень системи контролю рівня води річок у період паводків, який включає у себе функції порівняння поточних значень з заданими значеннями рівня (середнім та критичним) та порівняння поточних значень з заданими значеннями опадів та вологістю ґрунтів (критичними).

4. Вперше розроблено проект людино-машинного інтерфейсу в SCADA WINCC, який відноситься до верхнього рівня системи контролю рівня паводкових вод у реальному часі, а також дозволяє здійснювати моніторинг за кількістю атмосферних опадів та вологістю ґрунтів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-технічну проблему забезпечення екологічної безпеки довкілля шляхом створення математичного апарату для прогнозування рівня паводкових вод та розроблення технічних засобів оперативного контролю рівня річок при паводках.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проаналізовано вплив паводкових вод на екологічну безпеку довкілля. На основі проведеного аналізу існуючих методів і моделей прогнозування рівня паводкових вод, відомих апаратних засобів та АІВС їх контролю встановлено, що їх використання не забезпечує оперативного прогнозування паводкових вод, а системи моніторингу не здійснюють контроль за зволоженістю водозбору, чим не забезпечується ефективна екологічна безпека довкілля.

2. З використанням апроксимуючих кривих для прогнозування рівня паводкових вод та асоціативного аналізу перше розроблено математичну модель прогнозування рівня паводкових вод, обґрунтовано вибір вагомих факторів впливу на підняття їх рівня та запропоновано рівняння для опису процесу розвитку паводкових вод.

3. Вперше з використанням сучасних апаратно-програмних засобів провідних фірм світу (Siemens, 7Volt і ін.) та новітнього програмного продукту Step-7 розроблено нижній рівень системи контролю рівня води річок у період паводків, який включає у себе функції порівняння поточних значень з заданими значеннями рівня (середнім та критичним) та порівняння поточних значень з заданими значеннями опадів та вологістю ґрунту (критичними), що дозволяє проводити оперативне прогнозування рівня паводкових вод.

4. Розроблено проект людино-машинного інтерфейсу в SCADA WINCC (верхній рівень), що дозволяє контролювати і передавати через визначені проміжки часу інформацію про зміну рівня води річок, а у період паводкових вод передавати цю інформацію у реальному режимі часу, а також контролювати кількість атмосферних опадів та вологість ґрунтів, що дозволяє підвищити точність прогнозу.



5. Проведена апробацію методики прогнозування рівня паводкових вод за офіційними метеорологічними даними Українського гідрометеорологічного центру про рівень води річок Тиса, Дністер, Латориця та Прут у період паводків, яка підтвердила адекватність розрахункових даних та ефективність розробленої методики, а технічні засоби контролю рівня води були апробовані в Долинському управлінні водоканалізаційного господарства при контролі рівня питної води в резервуарах “Телевишка” та “Гошів” і за результатами апробації були рекомендовані до впровадження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Димань Т. М. Екологія людини: підручн. / Т. М. Димань – К: ВЦ “Академія”, 2009 – 376 с. (Серія “Альма-матер”). ISBN 978-966-580-293-8
2. Manual on flood forecasting and warning // World Meteorological Organization. – Switzerland. – 201 – №. 1072 – 142 p. ISBN 978-92-63-11072-5
3. Англо-український та українсько-англійський словник. – 1-е вид.: [близько 100 000 слів / уклад. В. І. Ребрик]. – К., 2010. – 752 с. – ISBN 978-966-2064-00-1
4. Солодкий В. Д. Програма запобігання негативним стихійним явищам Карпатського регіону / В. Д. Солодкий, Р. І. Беспалько, І. І. Казімір // Екологічна безпека (Управління екологічною безпекою). – 2013. – № 1/2013(15). – С. 20-23.
5. Парнеровська С. В. Обґрунтування можливостей комплексного прогнозування гідро екологічного ризику / С. В. Парнеровська // Екологічна безпека (Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля). – 2013. – № 1/2013(15). – С. 92-95.
6. Семчук Я. М. Наука виживання: навч. підручн. / Я. М. Семчук, Р. З. Борисюк, М. В. Остпчук, Є. Т. Піндус, М. Б. Поливняний, Й. І. Рошак, Л. Я. Савчук – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014 – 101 с.
7. Заміховський Л. М. Захист і обслуговування магістральних газопроводів від негативного впливу паводкових вод / Заміховський Л. М., О. І. Клапоущак, Б. С. Незамай // Scientific and technical progress of the XXI century: VIII International research and practice conference, 15-17 December 2012 у.: thesis of conference reports. – Donetsk: Scientific journal “Aspect”, 2012. – Р. 5-7.
8. Яців М. Ю. Екологічний контроль стану гідроекосистем басейнів річок (на прикладі басейну р. Прут): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 “Екологічна безпека. – К., 201 – 23 с.
9. Петрук І. Р. Економіко-екологічне обґрунтування протипаводкових заходів у Карпатському регіоні: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.

економ. наук: спец. 08.00.06 “ Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища. – Рівне., 2009. – 22 с.

10. Стан довкілля в Івано-Франківській області (за результатами моніторингових досліджень) [Електронний ресурс]: Івано-Франківська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.if.gov.ua/files/%D0%91%D1%8E%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%8C%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%20%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%96%D0%BB%D0%BB%D1%8F%20%D0%86%D0%86%20%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0%D0%BB%202014.pdf>

11. Консевич Л. М. Загальна гідрологія / Л. М. Консевич – Івано-Франківськ: Факел, 2004. – 131 с.

12. Географический словарь [Електронний ресурс]: Межень, меженный период. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://www.ecosystema.ru/07referats/slovgeo/460.htm>

13. Ward R. C. Floods. – (Focal problems in geography) / R. C. Ward – London etc: – Macmillan, 1978. – 244 p. ISBN 0333148924; ISBN 9780333148921

14. Причини катастрофічних паводків у Закарпатті, їх прогноз та заходи боротьби [Електронний ресурс] // Український лісовод. – Режим доступу:

<http://www.lesovod.org.ua/node/39>

15. Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-п](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-п)

16. Коваль Я. В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрями запобігання їм / Я. В. Коваль // Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 6 – С. 47 – 50–  
Бібліогр.: с. 50. ISSN: 1991-606X

17. Олійник В. С. Фактори виникнення паводкового стоку води в гірських лісах Карпат / В. С. Олійник // Науковий вісник НЛТУ України: Зб. наук.-техн. праць – Львів: НЛТУ України, 2012. – Вип. 22.2. – С.20 – 27.

18. Библюк Н. І. Небезпечні стихійні явища в Карпатах: причини виникнення та шляхи їх мінімізації. [Текст] / Н.І. Библюк, І.П. Ковальчук, О.С. Мачуга // Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць / НЛТУ України, Лісівнича академія наук України. – Львів: НЛТУ України, 2009. – Вип. 6. – С. 105-119. – Бібліогр.: с. 119. – Режим доступу: URL: [http://www.nbu.gov.ua/ujrn/Chem\\_biol/nplanu/2008\\_6/LAN\\_6\\_Bybluk.pdf](http://www.nbu.gov.ua/ujrn/Chem_biol/nplanu/2008_6/LAN_6_Bybluk.pdf)

19. Шинкарук Л. А. Огороджувальні дамби на гірських річках Українських Карпат: оцінка роботи, проблеми, альтернативи покращення / Л. А. Шинкарук, Б. С. Сеневиц // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – 2008. – № 33. – С. 87-93.

20. Шинкарук Л. А. Оцінка роботи споруд протипаводкового захисту на річках Українських Карпат після проходження паводка в липні 2008 року /

Л. А. Шинкарук, М. М. Хлапук // Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. – 2009. – Випуск 1 (45). – С. 63-73.

21. Протипаводковий захист. Інформаційно-аналітична довідка щодо проблем комплексного протипаводкового захисту територій регіонів України від катастрофічних паводків та мінімізації збитків від шкідливої дії вод [Електронний ресурс]: Протипаводковий захист / Державне агенство водних ресурсів України. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://www.scwm.gov.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=512&Itemid=39](http://www.scwm.gov.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=512&Itemid=39)

22. Коноваленко О. С. Гідроморфодинамічна оцінка руслових процесів гірських річок на прикладі басейну Верхньої Тиси: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 “Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія” / О. С. Коноваленко. – К., 2007. – 14 с.

23. Режим формування історичних паводків в українських Карпатах. TextReferat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua.textreferat.com/referat-4484.html>

24. В Западной Украине – угроза нового паводка. [Электронный ресурс]: Комсомольська правда в Україні. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://kp.ua/daily/260609/184788/print/>

25. В Украине начинаются сильные паводки. Власть готовится к большой воде и ледоходу. [Электронный ресурс]: Главные новости дня / 28 февраля 2010 20:49. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://for-ua.com/main/2010/02/28/204930.html>

26. Паводок: в трех областях Украины затоплены дороги. [Электронный ресурс]: Корреспондент.net Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://korrespondent.net/ukraine/events/1059085>

27. На Западе Украины начинается паводок. [Электронный ресурс]: Корреспондент.net. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://korrespondent.net/ukraine/events/1195609-na-zapade-ukrainy-nachinaetsya-pavodok>

28. В Украине начался сезон паводков, подтоплены Луганская и Черниговская области. [Электронный ресурс]: Подробности / Офіційний сайт – <http://podrobnosti.ua/video/podrobnosti/2012/03/20/826793.html>

29. Стихія вирує на Закарпатті. [Электронный ресурс]: ТСН Вражає / Офіційний сайт – <http://tsn.ua/video/video-novini/stihiya-viruye-na-zakarpatti.html?page=2&items=50323&type=0>

30. Негода в Україні: на Заході загроза паводків. [Электронный ресурс]: BBC Україна / Офіційний сайт – [http://www.bbc.co.uk/ukrainian/entertainment/2012/06/120611\\_rains\\_ukraine\\_ko.shtml](http://www.bbc.co.uk/ukrainian/entertainment/2012/06/120611_rains_ukraine_ko.shtml)

31. Оперативна інформація про гідрометеорологічну обстановку на річках Закарпатської області станом на 6 лютого 2013 року [Электронный ресурс]: Державне агентство водних ресурсів України / Офіційний сайт – [http://www.scwm.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1769:2013-02-06-14-30-20&catid=118:2013-02-01-12-48-28&Itemid=222](http://www.scwm.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=1769:2013-02-06-14-30-20&catid=118:2013-02-01-12-48-28&Itemid=222)

32. В Україні продовжуються паводки [Електронний ресурс]:  
Подробности / Офіційний сайт –  
<http://podrobnosti.ua/podrobnosti/2013/04/09/898840.html>

33. Гидрометцентр: Україна пережила весенніе паводки. [Електронний ресурс]:  
Корреспондент.net. / Офіційний сайт –  
<http://korrespondent.net/ukraine/events/1541418-gidrometcentr-ukraina-perezhila-vesennie-pavodki>

34. Одещина потерпає через паводки. [Електронний ресурс]: NEWS one channel / Офіційний сайт – [http://newsone.ua/video/ukraine/?media\\_id=48744](http://newsone.ua/video/ukraine/?media_id=48744)

35. В Закарпаттє за один день выпала полумєсячна норма осадков [Електронний ресурс]: Ua-Reporter.com – Режим доступу: <http://ua-reporter.com/novosti/151116>

36. На ріках на Прикарпатті триватимуть підйоми рівнів води. Бистриця Солотвинська вже вирує [Електронний ресурс]: Телебачення Радіо 107 FM vezha.org – Режим доступу: <http://vezha.org/na-riках-na-prykarpatti-tryvatymut-pidjomu-rivniv-vody-bystrytsya-solotvynska-vzhe-vyruye/>

37. На Прикарпатті підраховували загальну кількість паводків із 1954 року, та суму збитків від них. [Електронний ресурс]: Стик / Офіційний сайт – <http://styknews.info/novyny/kryminal/2012/06/05/na-prykarpatti-pidrakhuvaly-zagalnu-kilkist-pavodkiv-iz-1954-roku-ta-sumu>

38. Закон України “Про правові засади цивільного захисту” [Електронний ресурс]: Закон України / Офіційний інформаційний портал. Міністерство надзвичайних ситуацій України. Офіційний сайт. – Режим доступу:  
<http://www.mns.gov.ua/txt/?doc=laws/laws/zakDCZ%20pro%20prav%20zasady%20tsyv%20zahystu>

39. Клапоушак О. І. Сучасний стан контролю та прогнозування паводкових вод / О. І. Клапоушак // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: 6-та Міжнародна науково-технічна

конференція і виставка, 29 листопада-2 грудня 2011 р.: збірник тез доповідей. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 201 – С. 209-214.

40. Сукач Ю. Г. Основи прогнозування повеней / Ю. Г. Сукач, О. Ф. Бабаджанова // Збірник тез другої міжнародної науково – практичної конференції “Техногенна безпека: теорія, практика, інновації” – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 201 – С. 21-22.

41. Кількісні характеристики річкового стоку [Електронний ресурс]: Пізнавальний сайт “Географія” / Офіційний сайт – [http://geoknigi.com/book\\_view.php?id=274](http://geoknigi.com/book_view.php?id=274)

42. Гідрометеорологічне забезпечення та обслуговування. [Електронний ресурс]: Державна служба України з надзвичайних ситуацій / Офіційний інформаційний портал. Офіційний сайт – <http://www.mns.gov.ua/content/zabezpe4.html>

43. Пархісенко Я. Прогнозування та оцінка наслідків надзвичайних паводкових ситуацій / Я. Пархісенко // Природний камертон. Природа. Людина Суспільство. Видання УІНСіР при Раді національної безпеки і оборони України. – 2002 р., №3. – С. 18-21

44. Шинкарук Л. А. До питання моніторингу пропускної здатності русел гірських річок в умовах збільшення ризику виникнення катастрофічних паводків / Л. А. Шинкарук // Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 3 (47). – С. 573 – 289

45. WO2013063699, G08B 31/00 (2006.01), G01M 99/00 (2011.01), G06Q 40/08 (2012.01). System and method for predication flooding [Text] / Moss, Ian; Tremblay, Robert; Insurance bureau of Canada. - PCT/CA2012/050772; international filing 31.10.2012; publication 10.05.13

46. JP2002107462, G01W 1/10. Rainfall food forecasting system [Text] / Sadamichi Shigemi; Foundation of river & basin integrated communications Japan. - 2000296115; application Date 31.10.2012; publication A 10.04.2002

47. CN102289570, G06F 19/00. Flood forecast method based on rainfall-runoff-flood routing calculation [Text] / Ran Qihua, Wang Zhenyu, He Zhiguo;

Zhejiang University. - 102289570; application Date 23.07.2011; publication A 21.12.2011

48. US 2013/0116920 A1, G01 C 21/00 (2006.01). System, method and program product for flood aware travel routing [Text] / Victor Fernandes Cavalcante, Bruno Da Costa Flach, Maira Athanazio de Cerqueira Gatti, Ricardo Guimaraes Herrmann, Kiran Mantripragada, Marco Aurelio Stelmar Netto, Lucas Correia Villa Real, Paula Aida Sesini, Cleidson Ronald Botelho De Souza, Bianca Zadrozny; International Business Machines Corporation, Armonk, NY (USA). - 13/290,334; application Date 07.11.2011; publication 03.05.2013

49. Пат. 2480825 Российская Федерация, G06N 3/02. Способ прогнозирования времени наступления и уровня паводков [Текст] / Варшанина Т. П., Плисенко О. А., Коробков В. Н.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования " Адыгейский государственный университет" ( ФГБОУ ВПО" АГУ"). - № 2010140576/08; заявл. 04.10.2010; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 10.

50. Alexandra Matei. An ANN Based Flood Prediction System / Alexandra Matei // BULETINUL Universităţii Petrol – Gaze din Ploieşti. – Vol. LXI No. 3/2009 – 353 – 358 pp. – (Seria Tehnică)

51. Методы экологического мониторинга. [Электронный ресурс]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Методы\\_экологического\\_мониторинга](http://ru.wikipedia.org/wiki/Методы_экологического_мониторинга)

52. Геоінформаційна система. [Электронный ресурс]: Вікіпедія. Вільна енциклопедія. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна\\_система](http://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна_система)

53. CN101634721, G06F 17/30, G01C 13/00, G01W 1/10. Historical data based intelligent early warning system for typhoon and flood [Text] / Hu Yizhi; No.2 Secondary School Attached to East China Normal University. - 200910049327.7; application Date 200910049327.7; publication B 31.08.2011



54. Скакун С. В. Нейромережевий метод картографування повеней на основі супутникових зображень / С. В. Скакун // Наукові праці ДонНТУ серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" – 200 – Вип. 10 (153) – С. 52-58. – Режим доступу: URL:

<http://inform.ikd.kiev.ua/content/ua/publications/articles/content/09ssvosd.pdf>

55. Ошуркевич О. Є. Стокорегулювальний вплив лісів на водозборах малих річок Бескид: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. сільськогосподарських наук: спец. 06.03.03 “ лісознавство і лісівництво ” / О. Є. Ошуркевич – Львів, 2010. – 23 с.

56. Модель Сакраменто (Модель «Сакраменто» [Електронний ресурс]: Hydrological forecasting Systems & Software / Stepwise Linear Search. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://www.slsplus.net/rus\\_models.html](http://www.slsplus.net/rus_models.html)

57. MIKE FLOOD Описание решения. [Электронный ресурс]: Описание решения / НКФ Волга Начная консалтинговая фирма. Официальный сайт. – Режим доступа: [http://volgaltd.ru/rus/programs/program/program\\_6.html](http://volgaltd.ru/rus/programs/program/program_6.html)

58. Application of mathematical model for studing flood in Xebanghieng river basin. [Electronic resource]: Introduction / Oudomsack Philavong, Oulaphone Ongkeo, Chanseng Phongpachith. Official site. – Access mode: [http://www.icharm.pwri.go.jp/training/2009seminar/progressreport2009\\_lao.pdf](http://www.icharm.pwri.go.jp/training/2009seminar/progressreport2009_lao.pdf)

59. Новая версия FloodWorks позволяет автоматически публиковать в Интернете прогнозы затоплений и наводнений [Электронный ресурс]: Новости / Мижрегиональная общественная организация содействия развитию рынка геоинформационных технологий и услуг. Официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/26900.html>

60. Приймаченко Н. В. Обґрунтування системи розрахунку характеристик паводків на гірських річках басейну Дністра на основі математичного моделювання процесів формування дощового стоку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 “Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія” / Н. В. Приймаченко.. – К., 2010. – 22 с

61. Сусідко М. М. Комплексна басейнова система прогнозування у Закарпатті: методична та технологічна база її складових / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 234-249

62. Лук'янець О. І. Система прогнозування паводків у Закарпатті на основі дослідження та математичного моделювання процесів формування стоку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 “Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія” / О. І. Лук'янець.. – К., 2004. – 25 с.

63. Клапоушак О. І. Методика побудови апроксимуючих кривих для оцінки і прогнозування рівня паводкових вод / О. І. Клапоушак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – Харьков: Технологический центр, 2014. – № 2/4 (68) – С. 50-54. ISSN: 1729-3774

64. Клапоушак О. І. Аналіз моделей контролю і прогнозування паводкових вод / О. І. Клапоушак // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций “РТ-2014”: 10-й междунар. молодежной науч.-тех. конф., 12-17 мая 2014 г.: материалы науч.-тех. конф.: Севастоп. нац. тех. ун-т; науч. ред. Ю. Б. Гимпилевич. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – С. 230. ISBN 978-317-612-072-8

65. Заміховський Л. М. Аналіз методів і систем контролю та прогнозування рівня паводкових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушак // Нафтогазова енергетика: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 201 – Вип. 2(15) – С. 99-105. ISSN 1993-9868

66. Клапоушак О. І. Аналіз існуючих автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем контролю паводкових вод / О. І. Клапоушак // Наукові вісті Галицької академії. – Вип. 2(22). – Івано-Франківськ, 2012, С. 36-43. ISSN 2225-9716

67. Басейнове управління водних ресурсів річки Тиса. [Електронний ресурс]: Державне агенство водних ресурсів України. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://www.vodhosp.uzhgorod.ua/aivs\\_tisa.html](http://www.vodhosp.uzhgorod.ua/aivs_tisa.html)

68. Живиця В. А. Автоматизована інформаційно-вимірювальна система “Тиса” для прогнозування повеней в Закарпатській області / В. А. Живиця, Д. М. Керечан // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Зб. наук.-техн. праць – Рівне: НУВГП, 2007. – Вип. 32. – С.17 – 23

69. Presentation\_Yatsiuk\_ukr.pdf [Електронний ресурс]: Пленарне засідання і актуальні питання і актуальні питання попередження та ліквідації наслідків катастроф / Рахункова палата України. Офіційний сайт. – Режим доступу:

[http://www.acrada.gov.ua/control/eurosai/uk/publish/printable\\_article/16728817;jsessionid=A3210F2FA2DFAD24400087FD790F3A78](http://www.acrada.gov.ua/control/eurosai/uk/publish/printable_article/16728817;jsessionid=A3210F2FA2DFAD24400087FD790F3A78)

70. Угорщина розробить план для Тиси за півмільйона євро [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zaholovok.com.ua/ugorshchina-rozrobit-plan-dlya-tisi-za-pivmilionajevro>

71. Швейцарія виділила \$300 тис. на захист басейну Тиси від паводків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rionews.com.ua/mixed/socio/now/n1214893754>

72. Створення комп’ютерної системи з автономними інтелектуальними датчиками для контролю оточуючого середовища [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.geos.com.ua/ru/logger/logger1.htm>

73. Комп’ютерна система з автономними інтелектуальними датчиками [Електронний ресурс]: Державне агентство водних ресурсів України / Дністровсько-Прутське басейнове управління водних ресурсів. Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://dpbuvr.org.ua/news/oglnews/97-2011-02-04-19-18-53.html>

74. У Маріямполі збудують протипаводковий полігон [Електронний ресурс]: [Firtka.if.ua](http://firtka.if.ua). Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://firtka.if.ua/?action=show&id=18523>

75. Адаменко О. М. Причини катастрофічних повеней та захист від них у Прикарпатському регіоні [Текст] / О. М. Адаменко, М. В. Палійчук // Зелені Карпати. – 2012. – №1-2. – С. 51-53. – Бібліогр.: с. 116.

76. Мамонтова Л. С. Акустична система контролю висоти рівня води в ріці або водоймі / Л. С. Мамонтова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия "География". – 2012. – Том 25 (64), №2. – С. 69-73.

77. На Буковині встановлюють гучномовці та опадоміри. [Електронний ресурс]: Телеканал "Чернівці". Офіційний сайт. – Режим доступу: <http://mtrk.com.ua/news/19311-2011-05-25-15-17-51.html>

78. Inyiyama H. C. Designing Flood Control Systems Using Wireless Sensor Networks / H. C. Inyiyama, M. E. Obota // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) – Vol. 3, Issue 1, January -February 2013, pp. 1374-1382. ISSN: 2248-9622

79. Пат. 2039066(13) С1 Российская Федерация, МПК6 G08B23/00. Устройство для оповещения о паводке или селе [Текст] / Дикарев В. И., Манойлов С. Е., Федоров В. В., Шилим И. Т.; заявитель и патентообладатель Дикарев В. И., Манойлов С. Е., Федоров В. В., Шилим И. Т. - № 5050023/24; заявл. 15.06.92 ; опуб. 09.07.95.

80. Пат. 2150751(13) С1 Российская Федерация, МПК7 G08B23/00. Устройство для оповещения о паводке или селе [Текст] / Дикарев В. И., Доронин А. П., Петроченко В. М.; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-космический университет им. А. Ф. Можайского. - № 99100767/09; заявл. 10.01.99; опуб. 10.06.00

81. Пат. 2167451(13) С1 Российская Федерация, МПК7 G08B21/00. Устройство для оповещения о паводке или селе [Текст] / Рогалев В. А., Денисов Г. А., Дикарев В. И.; заявитель и патентообладатель Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы. - № 99127429/09; заявл. 21.12.99; опуб. 20.05.01

82. Пат.2190255(13) С2 Российская Федерация, МПК7 G08B23/00. Устройство для оповещения о паводке или селе [Текст] / Рогалев В. А., Денисов Г. А., Дикарев В. И.; заявитель и патентообладатель Международная академия

наук екології, безпеки людини та природи. - № 200310132315/09; заявл. 13.12.00; опуб. 27.09.02

83. Пат. 2235364(13) С1 Російська Федерація, МПК7 G08B21/10. Устрій для оповіщення про паводок або селе [Текст] / Заренков В. А., Заренков Д. В., Дикарев В. І.; заявитель та патентобладатель Заренков В. А., Заренков Д. В., Дикарев В. І. - № 2003101311/09; заявл. 08.01.03; опуб. 27.08.04

84. Siva Kumar Subramaniam. Flood level indicator and risk warning system for remote location monitoring using Flood Observatory System / Siva Kumar Subramaniam, Vigneswara Rao Gannapathy, Sivarao Subramoniam, Abdul Hamid Hamidon // WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS and CONTROL – Симферополь, Issue 3, Volume 5, March 2010, pp.153-163. ISSN: 1991-8763

85. Шуфнарович М. А. Інтелектуальна система прийняття рішень при прогнозуванні повеней / М. А. Шуфнарович, М. І. Горбійчук // Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості: Всеукраїнська науково-практична конференція, Луганськ, 31 травня – 1 червня 2012.: збірник тез доповідей. – Івано-Франківськ, 2013 – С.175-180

86. Про Zikk сила інформації [Електронний ресурс]: В Україні створюється система загальнонаціонального протиповеневого моніторингу. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://zik.ua/ua/news/2015/01/26/v\\_ukraini\\_stvoryuietsya\\_kompleksna\\_systema\\_zag\\_alnonatsionalnogo\\_prottypovenevogo\\_monitoryngu\\_559298](http://zik.ua/ua/news/2015/01/26/v_ukraini_stvoryuietsya_kompleksna_systema_zag_alnonatsionalnogo_prottypovenevogo_monitoryngu_559298)

87. Про внесення змін до рішення обласної ради від 23.03.2012. № 461-13/2012 "Про розподіл коштів бюджету розвитку обласного бюджету на 2012 рік [Електронний ресурс]: Рішення від 06.04.2012. № 471-13/2012 м. Івано-Франківськ. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://www.orada.if.ua/fileadmin/documents/Rishennja/06\\_13/471-13.pdf](http://www.orada.if.ua/fileadmin/documents/Rishennja/06_13/471-13.pdf)

88. Заміховський Л. М. Розробка прогностичних схем підняття рівня паводкових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоущак // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2012. – Ч.2, № 8(179). – С. 40 – 44. ISSN 1998-7927

89. Клименко В. Г. Гідрологія України [Текст]: навч. посіб. /В. Г. Клименко. –Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 124 с.

90. Водні потоки Українських Карпат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.carpathians.eu/vodni-potoki.html>

91. Клімат України [Електронний ресурс] // Пізнавальний сайт “Географія”. – Режим доступу: [http://geoknigi.com/book\\_view.php?id=796](http://geoknigi.com/book_view.php?id=796)

92. Шлапак В. П. Лісівнича оцінка стихійних явищ у горах / В. П. Шлапак // – Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наукових праць. Львів – 2004.– Вип. 3 – С. 35 – 38. ISSN: 1991-606X

93. Клапоушак О. І. Информационная система контроля количественных характеристик стока / О. І. Клапоушак, О. Л. Заміховська // “Современная наука: тенденции развития”: Материалы V Международной научно-практической конференции, 23 июля 2013 г.: сборник научных статей. – Краснодар: Начно-издательский центр Априори, 2013. – Т. II. – С. 92-96. ISSN 2308-667X

94. Заміховський Л. М. Розробка методик розрахунків максимальних витрат води в період повеней та паводкових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушак // Наукові вісті Галицької академії. – Вип. 1(20). – Івано-Франківськ, 2012, С. 26-30. ISSN 2225-9716

95. Сусідко М. М. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки / М. М.Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 196-204/

96. Руденко Ф. А. Гідрогеологія / Ф. А. Руденко, О. Є. Попов – Київ: КДУ, 1959 – 271 с.

97. Маслова Т. В. Оцінювання зволоженості гірських водозборів при математичному моделюванні дощових паводків. / Маслова Т. В., М. М. Сусідко // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 233-238

98. Заміховський Л. М. Розробка інформаційної системи для математичного моделювання швидкості фільтрації / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушак // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці,

освіті та економіці: VI Всеукраїнська науково-практичної конференції, 31 травня-1 червня 2012 р.: тези доп. і повідомл. – Луганськ: Phoenix, 2012. – С. 35-38.

99. Заміховський Л. М. Математичне моделювання процесу фільтрації в задачах оцінки рівня паводкових та ґрунтових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушак // Контроль управління в складних системах (КУСС-2012): XI Міжнародна конференція, 9-11 жовтня 2012 р.: тези доп. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 115-116. ISBN 978-966-641-484-0

100. Олійник А. П. Математичне моделювання процесу фільтрації в задачах оцінки рівня паводкових та ґрунтових вод [Текст]: монографія / А. П. Олійник, Л. О. Штаєр, О. І. Клапоушак // Задачі термодифузії та методи їх розв'язку // під ред. д.т.н. В. П. Ляшенка – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2012. – С. 62-70. ISBN 978-617-641-014-0

101. Заміховський Л. М. Математичне моделювання аерогідродинамічних процесів в задачах оцінки технічного стану трубопровідних систем / Л. М. Заміховський, А. П. Олійник, Л. О. Штаєр, Н. І. Іванюк, О. І. Клапоушак // Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2012: збірник доповідей 7-ї Національної науково-технічної конференції, 20-23 листопада 2012.: матеріали конференції – Київ: УТ НКТД. – С. 344-347.

102. Олійник А. П. Математичне моделювання фільтраційних процесів в задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод / А. П. Олійник, Л. О. Штаєр, О. І. Клапоушак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – Харьков: Технологический центр, 2013. – № 1/4 (61) – С. 15-18. ISSN 1729-3774

103. Заміховський Л. М. Математичне моделювання процесу фільтрації в задачах оцінки рівня паводкових та ґрунтових вод / Л. М. Заміховський, А. П. Олійник, Л. О. Штаєр, О. І. Клапоушак // Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття: каталог перспективних винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій Галицьких кмітливців. – Івано-Франківськ, 2013. – С. 39-41.

104. Олійник В. С. Вологість і промерзання ґрунтів у смерекових лісах Карпат / В. С. Олійник // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць – Львів: НЛТУ України, 201 – Вип. 21.15. – С.8 – 13.

105. Шлапак В. П. Лісівнича оцінка стихійних явищ у горах / В. П. Шлапак // – Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наукових праць. Львів – 2004.– Вип. 3 – С. 35 – 38. ISSN: 1991-606X

106. Проект Закону про мораторій на проведення суцільних рубок та вивезення за кордон деревини та пиломатеріалів [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb\\_n/webproc4\\_1?pf3511=33118](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb_n/webproc4_1?pf3511=33118)

107. Олійник В. С. Перерозподіл атмосферних опадів наметом гірських лісів Карпат / В. С. Олійник // Науковий вісник НЛТУ України: Зб. наук.-техн. праць – Львів: НЛТУ України, 2008. – Вип. 18.6. – С.12 – 18.

108. Назаренко І. І. Ґрунтознавство: підручн. / І. І. Назаренко, В. А. Нікорич, С. М. Польчина – Чернівці: Книги-XXI, 2004 – 400 с. ISBN 966-8029-45-3

109. Чи буде повторення паводків? [Електронний ресурс]. – Режим доступу:[http://www.ekoinform.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25%3A2009-07-07-14-16-05&catid=7%3A2009-07-06-09-51-16&Itemid=41&lang=ru](http://www.ekoinform.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=25%3A2009-07-07-14-16-05&catid=7%3A2009-07-06-09-51-16&Itemid=41&lang=ru)

110. Заміховський Л. М. Прогнозування кількості атмосферних опадів методом ковзного середнього / Заміховський Л. М., О. І. Клапоуцак // "Dynamical System Modeling and Stability Investigations" (DSMSI-2013): XVI International Conference: Modeling&Stability, 29-31 May 2013 у.: abstracts of conference reports. – Kiev, 2013. – P. 193. ISBN 978-617-571-0895-0

111. Клапоуцак О. І. Порівняльний аналіз методів прогнозування атмосферних опадів з метою попередження виникнення паводкових вод / О. І. Клапоуцак, О. Л. Заміховська // Наука України: перспективи і потенціал: VII Всеукраїнська науково-практична заочна конференція, 30 травня-31 травня 2013 р.: збірник матеріалів. – Одеса: Нова Освіта, 2013 – С.176-179.



112. Заміховський Л. М. Інформаційна система для прогнозування кількості атмосферних опадів / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушчак // Усеукраїнська наукова конференція “Математичне моделювання та математична фізика” присвячена 90-річчю від дня народження Віктора Михайловича Глушкова, 23-27 вересня 2013 р.: матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ ім. Остроградського, 2013. – С. 47-48. ISSN 2224-5979

113. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 285 с.

114. Zamikhovskii L. M., Oliinyk A. P., Klapoushchak O. I., Shtaiyer L. O. The flood process mathematical modelling an their prediction methods based on static data // Life Science Journal. – 2014. – №11(8s). – pp. 473-477. ISSN: 1097-8135 (Print) / ISSN: 2372-613X (Online); Impact Factor 2012: 0.165

115. Зорич В. А. Математический анализ / В. А. Зорич. – М.: Наука, 1981, 1984. – Т.1, 2. – 1084 с.

116. Филиппов А. Ф. Введение в теорию дифференциальных уравнений / А. Ф. Филиппов. – М.: КомКнига, 2007. – Изд. 2-е. – 240 с. – ISBN 978-5-484-00786-8

117. Берестнева О. Г. Прикладная математическая статистика / О. Г. Берестнева, О. В. Марухина, Г. Е. Шевелёв. – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2012. – 200 с.

118. Клапоушчак О. І. Математичне моделювання процесу розвитку паводків / О. І. Клапоушчак, А. П. Олійник // Вісник Вінницького політехнічного інституту – Вінниця: ВНТУ, 2014. – № 6 (117) – С. 52-56. ISSN: 1997-9266

119. Гребінь В. В. Оцінка можливості оперативного прогнозування дощових паводків на річках басейнів Прута та Сірету / В. В. Гребінь, О. І. Лук'янець, І. І. Ткачук // Український гідрологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 164 – 175

120. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс]: Автоматичні гідрологічні станції / Офіційний сайт – <http://hydro.meteo.gov.ua/>

121. Заміховський, Л. М., А. П. Олійник, Л. О. Штаер and О. І. Клапоущак, 2014. Метод виявлення вагомих факторів, які впливають на розвиток паводку. X X Mezinárodní Vě Decko - Praktická Konference “Moderní Vymoženosti Vědy – 2014” (t. Praha, the Czech Republic, 2014 p.)”, 27 ledna - 05 unora 2014 roku (issue Díl 31), Praha Publishing House "Education and Science" s.r.o, pp: 76-78. ISBN 978-966-8736-05-6

122. Klapoushchak O. I., Zamikhovska O. L. The calculation contingency of factor for predication level of floodwater // Science and Education: Materials of the international research and practice conference Vol. I. – Munich, Germany: Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, February 27th-28th, 2014. – pp. 236-238. ISBN 978-3941352-86-5

123. ВОДА В АТМОСФЕРІ [Електронний ресурс]: Розподіл вологості в просторі й часі. / Офіційний сайт – [http://npu.edu.ua!/e-book/book/html/D/ipgoe\\_kfg\\_Zagalne\\_zemleznavstvo\\_Voloshun/160.html](http://npu.edu.ua!/e-book/book/html/D/ipgoe_kfg_Zagalne_zemleznavstvo_Voloshun/160.html)

124. Клапоущак О. І. Встановлення тісноти взаємозв'язку між даними метеорологічних станцій та даними рівня води річки Прут / О. І. Клапоущак // Людина та довкілля. Проблеми неоекології – Харків: Науковий журнал Харківського національного Університету імені В. Н. Каразіна, 2014. – № 1-2 – С. 30-35. ISSN: 1992-4224

125. Коэффициент корреляции, коэффициент Пирсона [Електронний ресурс]: [economyreview.ru](http://economyreview.ru) / Офіційний сайт – <http://economyreview.ru/analiz-informacii/koefficient-korrelyacii-koefficient-pirsona>

126. Статистический анализ эмпирических исследований [Електронний ресурс]: Критические значения коэффициентов корреляции r-Пирсона (r-Спирмена) / Офіційний сайт – <http://statexpert.org/articles>

127. Математическая статистика для психологов [Електронний ресурс]: Таблица критических значений корреляции Пирсона / Офіційний сайт – <http://statpsy.ru/pearson/tablica-pirsona/>

128. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс]: Новосибирский Государственный Университет / Офіційний сайт – <http://www.nsu.ru/phorum/read.php?f=6&i=9083&t=9083>

129. Олійник А. П. До математичного прогнозування рівня паводкових вод / А. П. Олійник, О. І. Клапоущак // Прикарпатський вісник НТШ серія "Число" – Івано-Франківськ: Івано-Франківський осередок наукового товариства ім. Шевченка, 2014. – № 1 (28) – С. 246-253.

130. Клапоущак О. І. Розроблення методу контролю та прогнозування рівня паводкових вод / О. І. Клапоущак // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: XXIV Всеукраїнська наукова конференція аспірантів та студентів, 15-17 квітня 2014 р.: збірка доп. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – Т. I. – С. 224-226. ISBN 978-966-377-180-9, ISBN 978-966-377-181-6

131. WebResearch [Электронный ресурс]: Коэффициенты корреляции Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://www.datuapstrade.lv/rus/spss/section\\_11/4/](http://www.datuapstrade.lv/rus/spss/section_11/4/)

132. Олійник А. П. Оцінка адекватності моделі прогнозування рівня паводкових вод / Олійник А. П., Заміховська О. Л., Незамай Б. С., Клапоущак О. І. // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2014: Международное научное издание 01-12 октября 2014 р.: Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – Выпуск №3 (36), 2014 – С. 14-16. ISSN 2224-0187. ЦИТ: 314-238

133. Клапоущак О. І. Дослідження адекватності моделі прогнозування рівня води басейну ріки Прут / Клапоущак О. І., Штаєр Л. О. // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2014: Международное научное издание 16-26 декабря 2014 р.: Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – Выпуск №4 (37), 2014 – С. 29-33. ISSN 2224-0187. ЦИТ: 414-034

134. Ивахненко А. Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер – К.: Техника, 1985; Берлин: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с.

135. Репова М. Л. Эконометрика: метод, указания и задания к выполнению контрольной работы / М. Л. Репова. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2010.-32 с.

136. Клапоущак О. І. Розроблення структурних схем для контролю рівня паводкових вод / О. І. Клапоущак, О. Л. Заміховська // “Розвиток наукових досліджень "2013””: Дев'ята Міжнародно-науково практична конференція, 25-27 листопада 2013 р.: тези доп. – Полтава: ІнтерГрафіка, 2013. – Т. V. – С. 13-15.

137. Klapoushchak, O. I., O. L. Zamikhovska and A.Y. Beley, 2014. Development of a monitoring system for flood waters. European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. 1st International scientific conference (issue February 17, 2014), «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, Vienna, pp: 64-66. ISBN 13 978-3-902986-78-8

138. Instruction Manual April 2006 [Електронний ресурс]: MultiRanger 100/200 - Siemens. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tg/Tg0MTMwNQAA\\_37186213\\_HB/7ML19981FB05.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tg/Tg0MTMwNQAA_37186213_HB/7ML19981FB05.pdf)

139. Measurement & Control Products for Long-term Monitoring [Електронний ресурс]: ARG100 Specifications and Technical Data. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.campbellsci.co.uk/arg100-specifications>

140. 7Volt з нами вимірювати просто [Електронний ресурс]: Датчик вологості/температури ґрунту RIXEN MTR-732. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.campbellsci.co.uk/arg100-specifications>

141. Заміховський, Л. М., О. І. Клапоущак, 2015. Разработка нижнего уровня системы контроля уровня паводковых вод в программной среде STEP 7. Modern Science – Moderní Vědy. – Praha. – České Republika. – 2015. – №1, pp: 194-200. ISSN 2336-498X

142. Заміховський Л. М. Розробка верхнього рівня системи контролю

рівня паводкових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоуцак // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: 7-ма Міжнародна науково-технічна конференція і виставка, 25-28 листопада 2014 р.: збірник матеріалів доповідей. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – С. 302-305.

143. Условные обозначения на картах [Електронний ресурс]: Постройки и сооружения / Офіційний інформаційний портал. Официальный сайт – <http://i-survive.ru/karti1.html>

## ДОДАТКИ

## Додаток А

**Структурні схеми, загальний вигляд і електронні компоненти пристроїв  
для оповіщення паводків та селей. Показники якості води р. Прут**

Таблиця А.1

**Середньобагаторічні значення показників якості води  
річки Прут вище м. Чернівці**

Показник якості води	Період Одиниці вимір.	1955- 1965рр.	1966- 1975рр.	1976- 1983рр.	1984- 1995рр.	1996- 2008рр.
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	42,58	50,19	44,29	71,54	31,89
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	20,59	30,06	30,08	41,16	31,40
Магній	мг/дм <sup>3</sup>	6,84	10,62	14,91	12,86	11,60
Азот нітритний	мг/дм <sup>3</sup>	0,028	0,114	0,018	0,009	0,020



Рис. А.1 Загальний вигляд розмітки на опорі моста

Фото зроблено 30.08.2012 р. у с. Грабівці, Богородчанського району, Івано-Франківської обл. Міст розташований на р. Бистриця Надвірнянська

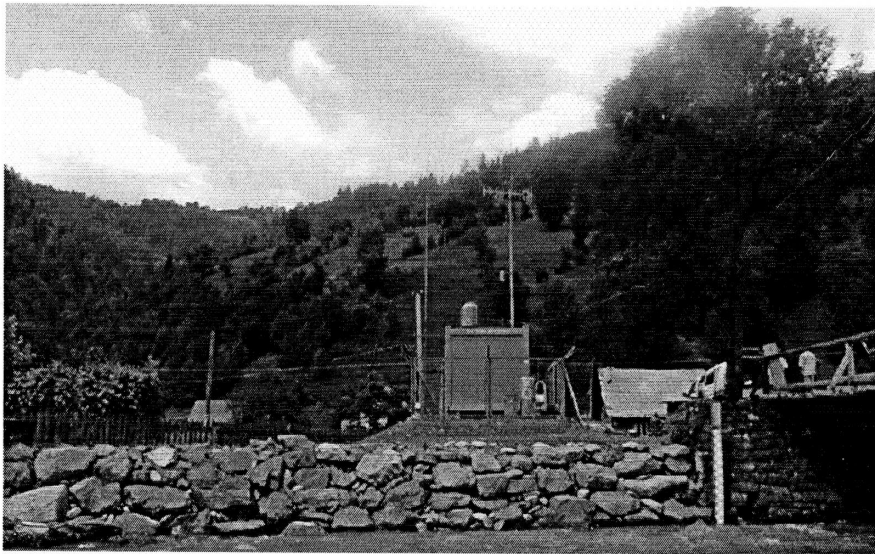


Рис. А.2 Загальний вигляд АІВС на р. Біла Тиса, с. Луги

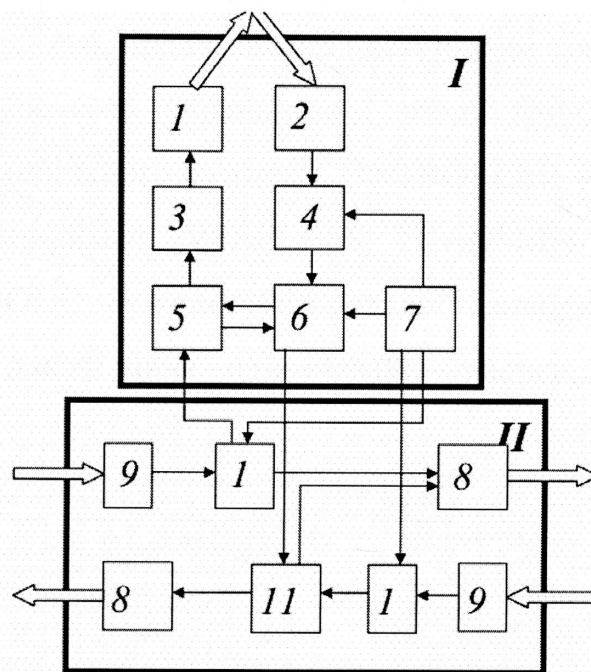


Рис. А.3 Блок-схема системи контролю рівнів води (СКРВ)

Позначення, згідно рис. А.3: I – зоніт-ехолот (для вимірювання висоти водної поверхні відносно палі), де 1 – УЗВ випромінювач, 2 – УЗВ приймач, 3 – УЗВ генератор, 4 – підсилювач, 5 – блок управління, 6 – блок обробки інформації, 7 – блок живлення; II – приймально-передавальний модуль: 8 – УЗВ випромінювач з перетворенням в УЗВ сигнал, 9 – УЗВ приймач з перетворенням в електронний код, 10 – підсилювач, 11 – приймально-передавальний блок.



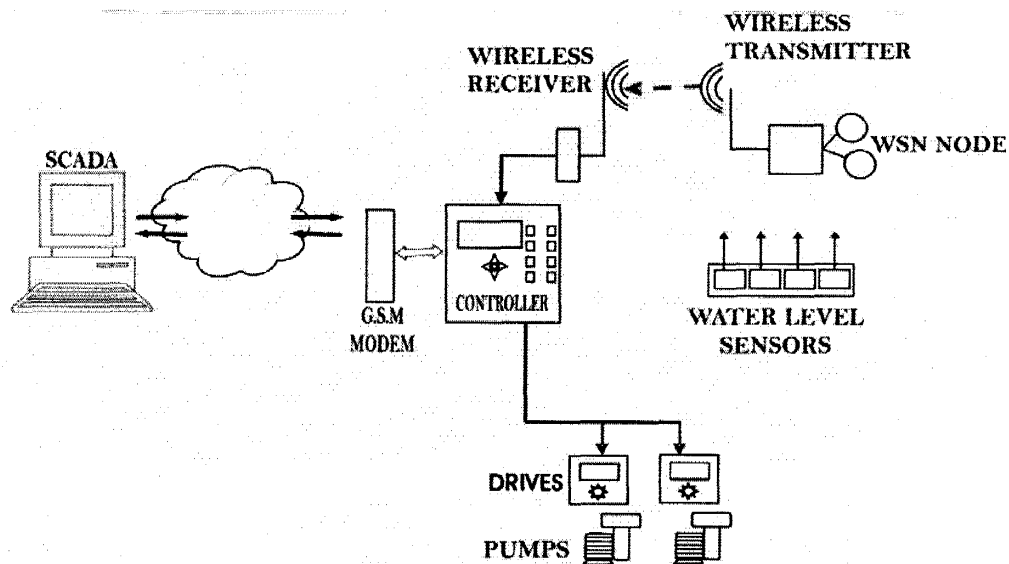
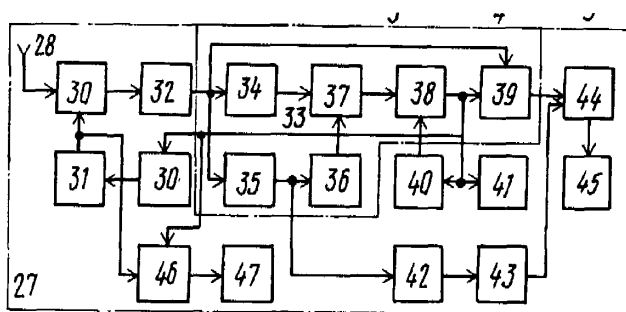
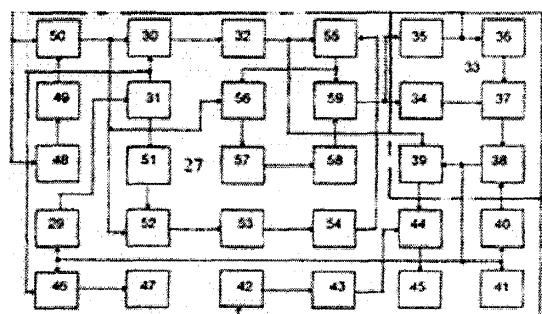


Рис. А.4 Схематична діаграма автоматизованої системи

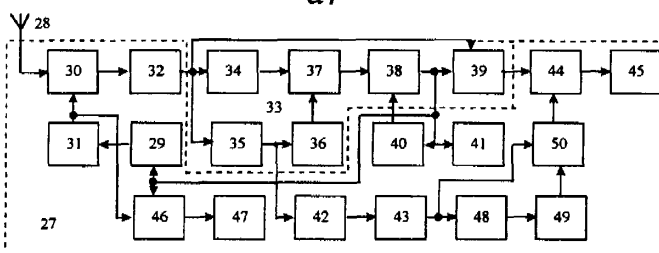
Система на рис. А.4, представлена наступними компонентами: SCADA – система диспетчерського управління і збору даних; GSM MODEM – глобальна система мобільного зв'язку; CONTROLLER – контролер; WATER RECEIVER – водоприймач; WIRELESS TRANSMITTER – бездротовий передавач; WSN NODE – вузол бездротової сенсорної мережі; WATER LEVEL SENSORS – давачі рівня води; PUMPS – насоси.



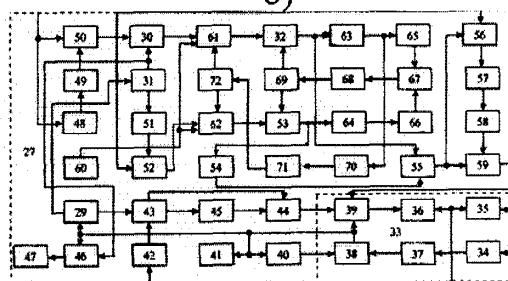
а)



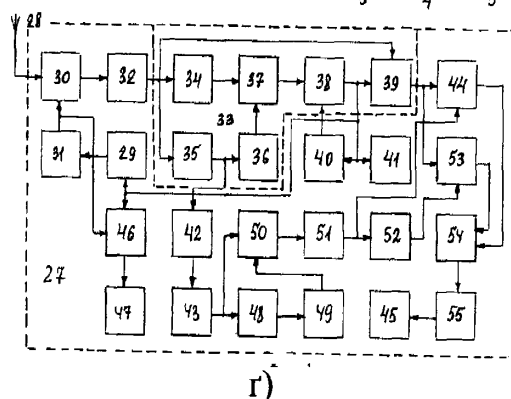
б)



в)



г)



а) 1995 р., б) 2000 р., в) 2001р., г) 2002 р, г) 2004 р.

Рис. А.5 Структурні схеми пристроїв оповіщення про паводки та селеві потоки

Таблиця А.2

Електронні компоненти пристроїв для оповіщення паводків та селей

№п\п	Елементи (позначення на схемі)	№п\п	Елементи (позначення на схемі)
1	2	3	4
1	Радіопередавач (1,1,1,1,1)	18	Резистор (18,18,18,18,18)
2	Мультивібратор (2,2,2,2,2)	19	1-е джерело живлення (19,19,19,19,19)
3	1-ий давач рівня (3,3,3,3,3)	20	2-е джерело живлення (20,20,20,20,20)
4	2-ий давач рівня (4,4,4,4,4)	21	3-є джерело живлення (21,21,21,21,21)
5	3-ий давач рівня (5,5,5,5,5)	22	Задаючий генератор (22,22.1, 22.1,22.1,22.1)
6	1-ий чутливий елемент (6,6,6,6,6)	23	Телеграфний ключ (48,22.2, 22.2,22,2, 22.2)
7	2-ий чутливий елемент (7,7,7,7,7)	24	Фазовий маніпулятор (24,24,24,24,24)
8	3-ій чутливий елемент (8,8,8,8,8)	25	Генератор модуючого коду (23,23,23,23,23)
9	1-е реле (9,9,9,9,9)	26	Підсилювач потужності (25,25,25,25,25)
10	2-е реле (10,10,10,10,10)	27	Передавальна антена (26,26,26,26,26)

1	2	3	4
11	3-є реле (11,11,11,11,11)	28	Радіоприймач (27,27,27,27,27)
12	1-ий нормально відкритий контакт (12,12,12,12,12)	29	Приймальна антена (28,28,28,28,28)
13	2-ий нормально відкритий контакт (13,13,13,13,13)	30	Фазоінвертор (-,49,-,49,-)
14	3-і нормально відкритий контакт (14,14,14,14,14)	31	1-ий суматор (-,50,-,50,-)
15	4-ий нормально відкритий контакт (15,15,15,15,15)	32	2-ий суматор (-,55,-,55,-)
16	5-ий нормально відкритий контакт (17,17,17,17,17)	33	1-ий змішувач (29,30,30,30,30)
17	Вихідне реле мультивібратора2 (16,16,16,16)	34	2-ий змішувач (-,52,-,52,-)
35	Блок пошуку (30,29,29,29,29)	56	Перемножувач (-,56,-,56,-)
36	Гетеродин (31,31,31,31,31)	57	1-ий амплітудний детектор (-,58,-,58,-)
37	Пороговий блок (38,38,38,38,38)	58	2-ий амплітудний детектор (-,-,-,65,-)
38	1-ий ключ (39,39,39,39,39)	59	Подвійні частоти (35,35,35,35,35)
39	2-ий ключ (46,46,46,46,46)	60	1-ий вимірювач ширини спектра (34,34,34,34,34)
40	3-ій ключ (-,59,-,59,-)	61	2-ий вимірювач ширини спектра (36,36,36,36,36)
41	1-ий регулюючий фазообертач (-,-,-,61,-)	62	Блок порівняння (37,37,37,37,37)
42	2-ий регулюючий фазообертач (-,-,-,62,-)	63	Лінія затримки (40,40,40,40,40)
43	Калібровочний генератор (-,-,-,60,-)	64	Поділювач частоти (42,42,42,42,42)
44	Вичитувач (-,-,-,67,54)	65	1-ий фільтр (43,43,43,43,43)
45	ФНЧ (-,-,-,68,-)	66	2-ий фільтр (-,48,-,48,-)
46	Виявляч (33,33,33,- ,33)	67	3-ий фільтр (-,57,-,57,-)

1	2	3	4
47	1-ий підсилювач проміжної частоти (32,32,32,32,32)	68	4-ий фільтр (-,-,-,63,-)
48	2-ий підсилювач проміжної частоти (-,53,-,53,-)	69	5-ий фільтр (-,-,-,64,-)
49	1-ий фазообертач (-,51,-,51,51)	70	Блок реєстрації (45,45,45,45,45)
50	2-ий фазообертач (-,54,-,54,52)	71	Вимірювач частоти (47,47,47,47,47)
51	1-ий фазовий детектор (44,44,44,44,44)	72	Звуковий сигналізатор (41,41,41,41,41)
52	2-ий фазовий детектор (-,-,-,70,53)	73	Частотний детектор (-,-,48,-,48,-)
53	Керуючий елемент (-,-,-,71,-)	74	Тригер (-,-,49,-,49)
54	1-ий інверсний підсилювач (-,-,-,69,-)	75	Балансний переключачель (-,-,50,-,50)
55	2-ий інверсний підсилювач (-,-,-,72,-)	76	Формувач аналога модулюючого коду (-,-,-,55)

## Додаток Б

## Текст програми у середовищі Matlab

```

t=[ ]
y=[ ]
t_delta=log(t)./t;
y_delta=log(y)./t;
sum_yt=0;sum_y=0;sum_t=0;sum_t2=0;
for i=1:length(t)
    sum_yt=sum_yt+y_delta(i)*t_delta(i);
    sum_y=sum_y+y_delta(i);
    sum_t=sum_t+t_delta(i);
    sum_t2=sum_t2+t_delta(i)^2;
end;
k=(length(t)*sum_yt-sum_y*sum_t)/(length(t)*sum_t2-sum_t^2);
b=(1/length(t))*(sum_y-k*sum_t);
n=k
a=(-1)*b

for i=1:length(t)
    f(i)=power(t(i),n).*exp((-1)*a*t(i));
end;
figure(1)
plot(t,y,t,f)
grid on

%%%%%%%%% Second part %%%%%%%%%%%%%5

[y_max i_max]=max(y);
t0=t(i_max);
t_delta1=y.*(t-t0).^2;
y_delta1=y;
N1=i_max;
N2=length(t)-i_max+1;

sum1_yt=0;sum1_y=0;sum1_t=0;sum1_t2=0;
for i=1:N1
    sum1_yt=sum1_yt+y_delta1(i)*t_delta1(i);
    sum1_y=sum1_y+y_delta1(i);
    sum1_t=sum1_t+t_delta1(i);
    sum1_t2=sum1_t2+t_delta1(i)^2;
end;
k1=(N1*sum1_yt-sum1_y*sum1_t)/(N1*sum1_t2-sum1_t^2);
b1=(1/N1)*(sum1_y-k1*sum1_t);

```

```

sum2_yt=0;sum2_y=0;sum2_t=0;sum2_t2=0;
for i=N1:length(t)
    sum2_yt=sum2_yt+y_delta1(i)*t_delta1(i);
    sum2_y=sum2_y+y_delta1(i);
    sum2_t=sum2_t+t_delta1(i);
    sum2_t2=sum2_t2+t_delta1(i)^2;
end;
k2=(N2*sum2_yt-sum2_y*sum2_t)/(N2*sum2_t2-sum2_t^2);
b2=(1/N2)*(sum2_y-k2*sum2_t);

for i=1:length(t)
    if i<=N1
        f_new(i)=b1./(k1*(-1).*power(t(i)-t0,2)+1);
    else
        f_new(i)=b2./(k2*(-1).*power(t(i)-t0,2)+1);
    end;
end;

f_new_(N1)=b2./(k2*(-1).*power(t(N1)-t0,2)+1);

figure(1)
hold on
plot(t,f_new,'-or',t(N1),f_new_(N1),'*')
grid on

```

## Додаток В

## Знімки екранів прогнозування кількості атмосферних опадів

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
1	2000	25					А-роки
2	2001	30	25	5	0,166667	1,20	В-кількість опадів (мм), хіст.
3	2002	17	28,5	11,5	0,676471	0,60	С-кількість опадів (мм), хпрогноз.
4	2003	31	20,45	10,55	0,340323	1,52	Д-абсолютна похибка вимірювання, $\Delta = \text{abs}(\text{хпрогноз} - \text{хіст.})$
5	2004	40	27,835	12,165	0,304125	1,44	Е-відносна похибка вимірювання, $\Delta\delta = (\text{abs}(\text{хпрогноз} - \text{хіст.}) / \text{хіст.})$
6	2005	35	36,3505	1,3505	0,038586	0,96	Ф-точність вимірювання, $\Delta\delta = \text{хіст.} / (\text{хпрогноз} - \text{хіст.})$
7	2006	22	35,40515	13,40515	0,609325	0,62	
8	2007	31	26,021545	4,978455	0,160595	1,19	
9	2008	25	29,5064635	4,506464	0,180259	0,85	
10	2009	51	26,35193905	24,64806	0,483295	1,94	
11	2010	47	43,60558172	3,394418	0,072222	1,08	
12	2011		45,98167451				
13	2012		13,79450235				

Рис. В.1 Прогнозування кількості атмосферних опадів методом експоненціального згладжування на січень 2011-2012 р.р.

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј	К	
1	рік	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2	опад	25	30	17	31	40	35	22	31	25	51
3				$y = a \cdot t + b$							
4	a=	1,8181818	1,818181815								
5	b=	-3613,2727	-3613,27272								
6	рік	2011	2012								
7	опад	43,090909	44,90909088								

Рис. В.2 Прогнозування кількості атмосферних опадів методом найменших квадратів на січень 2011-2012 р.р.

## Додаток Г

## Вихідні дані рівнів води річок Тиса, Дністер, Латориця та Прут

Таблиця Г.1

## Дані рівнів води р. Тиса – м. Рахів (03.04-06.04.2013 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
20:00 (20)	03.04.2013	182
23:00 (23)	03.04.2013	187
02:00 (26)	04.04.2013	193
05:00 (29)	04.04.2013	204
08:00 (32)	04.04.2013	214
11:00 (35)	04.04.2013	213
14:00 (38)	04.04.2013	209
17:00 (41)	04.04.2013	207
20:00 (44)	04.04.2013	205

Таблиця Г.2

## Дані рівнів води р. Тиса – м. Рахів (10.04-12.04.2013 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
1	2	3
14:00 (38)	10.04.2013	162
17:00 (41)	10.04.2013	163
20:00 (44)	10.04.2013	167
23:00 (47)	10.04.2013	176
02:00 (50)	11.04.2013	185
05:00 (53)	11.04.2013	184
08:00 (56)	11.04.2013	182
11:00 (59)	11.04.2013	179
14:00 (62)	11.04.2013	176
17:00 (65)	11.04.2013	174
20:00 (68)	11.04.2013	174
02:00 (98)	13.04.2013	187
05:00 (101)	13.04.2013	198
08:00 (104)	13.04.2013	212
11:00 (107)	13.04.2013	223
14:00 (110)	13.04.2013	226
17:00 (113)	13.04.2013	229



1	2	3
20:00 (116)	13.04.2013	233
23:00 (119)	13.04.2013	236
02:00 (122)	14.04.2013	238
05:00 (125)	14.04.2013	238
08:00 (128)	14.04.2013	241
11:00 (131)	14.04.2013	237
14:00 (134)	14.04.2013	231
17:00 (137)	14.04.2013	227
20:00 (140)	14.04.2013	224
23:00 (143)	14.04.2013	221

Таблиця Г.3

**Дані рівнів води р. Дністер (09.04-12.04.2014 р.)**

<b>Час, год./Точки</b>	<b>Дата</b>	<b>Рівень, см</b>
14:00 (14)	09.04.2014	133
17:00 (17)	09.04.2014	131
20:00 (20)	09.04.2014	127
23:00 (23)	09.04.2014	138
02:00 (26)	10.04.2014	168
05:00 (29)	10.04.2014	158
08:00 (32)	10.04.2014	140
11:00 (35)	10.04.2014	132
20:00 (44)	10.04.2014	127
23:00 (47)	10.04.2014	155
02:00 (50)	11.04.2014	193
05:00 (53)	11.04.2014	193
08:00 (56)	11.04.2014	186
11:00 (59)	11.04.2014	184
14:00 (62)	11.04.2014	190
17:00 (65)	11.04.2014	199
20:00 (68)	11.04.2014	201
23:00 (71)	11.04.2014	230
02:00 (74)	12.04.2014	211
05:00 (77)	12.04.2014	201
08:00 (80)	12.04.2014	190

## Дані рівнів води р. Дністер (21.04-23.09.2014 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
20:00 (20)	21.09.2014	131
23:00 (23)	21.09.2014	129
02:00 (26)	22.09.2014	134
05:00 (29)	22.09.2014	156
08:00 (32)	22.09.2014	163
11:00 (35)	22.09.2014	151
14:00 (38)	22.09.2014	140
17:00 (41)	22.09.2014	137
20:00 (44)	22.09.2014	137
23:00 (44)	22.09.2014	137
02:00 (47)	23.09.2014	152
05:00 (50)	23.09.2014	149
05:00 (53)	23.09.2014	121

Таблиця Г.5

## Дані рівнів води р. Латориця (22.05-24.05.2013 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
16:00 (16)	22.05.2013	214
19:00 (19)	22.05.2013	214
22:00 (22)	22.05.2013	217
01:00 (25)	23.05.2013	219
04:00 (28)	23.05.2013	219
07:00 (31)	23.05.2013	220
10:00 (34)	23.05.2013	220
13:00 (37)	23.05.2013	219
16:00 (40)	23.05.2013	217
19:00 (43)	23.05.2013	216
22:00 (46)	23.05.2013	214
01:00 (49)	24.05.2013	214
04:00 (52)	24.05.2013	213

Дані рівнів води р. Латориця (12.05-13.05.2014 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
03:00 (3)	12.05.2014	209
06:00 (6)	12.05.2014	213
09:00 (9)	12.05.2014	225
12:00 (12)	12.05.2014	239
15:00 (15)	12.05.2014	262
18:00 (18)	12.05.2014	274
21:00 (21)	12.05.2014	271
24:00 (24)	12.05.2014	265
03:00 (27)	13.05.2014	259
06:00 (30)	13.05.2014	253
09:00 (33)	13.05.2014	248
12:00 (36)	13.05.2014	245
15:00 (39)	13.05.2014	243
18:00 (42)	13.05.2014	239
21:00 (45)	13.05.2014	237

Таблиця Г.7

Дані рівнів води р. Латориця (22.05-31.05.2013 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
1	2	3
16:00 (16)	22.05.2013	214
19:00 (19)	22.05.2013	214
01:00 (25)	23.05.2013	219
04:00 (28)	23.05.2013	219
07:00 (31)	23.05.2013	220
10:00 (34)	23.05.2013	220
13:00 (37)	23.05.2013	219
16:00 (40)	23.05.2013	217
19:00 (43)	23.05.2013	216
22:00 (46)	23.05.2013	214
01:00 (49)	24.05.2013	214
04:00 (52)	24.05.2013	213
07:00 (55)	24.05.2013	212
10:00 (58)	24.05.2013	212
13:00 (61)	24.05.2013	212
17:00 (64)	24.05.2013	212
20:00 (67)	24.05.2013	213

1	2	3
23:00 (70)	24.05.2013	213
02:00 (73)	25.05.2013	213
05:00 (76)	12.04.2013	214
08:00 (79)	25.05.2013	214
11:00 (82)	25.05.2013	214
14:00 (85)	25.05.2013	215
17:00 (88)	25.05.2013	216
20:00 (91)	25.05.2013	218
23:00 (94)	25.05.2013	219
02:00 (97)	26.05.2013	222
05:00 (100)	26.05.2013	223
08:00 (103)	26.05.2013	222
11:00 (106)	26.05.2013	222
14:00 (109)	26.05.2013	220
17:00 (112)	26.05.2013	219
20:00 (115)	26.05.2013	219
23:00 (118)	26.05.2013	218
02:00 (121)	27.05.2013	218
05:00 (124)	27.05.2013	218
08:00 (127)	27.05.2013	218
11:00 (130)	27.05.2013	218
14:00 (133)	27.05.2013	218
17:00 (136)	27.05.2013	219
20:00 (139)	27.05.2013	218
23:00 (142)	27.05.2013	218

Таблиця Г.8

## Дані рівнів води р. Дністер (07.05-11.05.2015 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
1	2	3
00:00 (0)	07.05.2015	167
03:00 (3)	07.05.2015	167
06:00 (6)	07.05.2015	170
09:00 (9)	07.05.2015	176
12:00 (12)	07.05.2015	182
15:00 (15)	07.05.2015	186
18:00 (18)	07.05.2015	198

1	2	3
21:00 (21)	07.05.2015	212
24:00 (24)	07.05.2015	224
03:00 (27)	08.05.2015	231
06:00 (30)	08.05.2015	236
09:00 (33)	08.05.2015	241
12:00 (36)	08.05.2015	243
15:00 (39)	08.05.2015	243
18:00 (42)	08.05.2015	244
21:00 (44)	08.05.2015	242
24:00 (47)	08.05.2015	239
03:00 (50)	09.05.2015	236
06:00 (53)	09.05.2015	232
09:00 (56)	09.05.2015	228
12:00 (59)	09.05.2015	224
15:00 (62)	09.05.2015	220
18:00 (65)	09.05.2015	217
21:00 (69)	09.05.2015	212
24:00 (72)	09.05.2015	208
03:00 (75)	10.05.2015	204
03:00 (78)	10.05.2015	201
06:00 (81)	10.05.2015	199
09:00 (84)	10.05.2015	197
12:00 (87)	10.05.2015	193
15:00 (90)	10.05.2015	191
18:00 (93)	10.05.2015	189
21:00 (96)	10.05.2015	187
03:00 (99)	11.05.2015	185
06:00 (102)	11.05.2015	183
09:00 (105)	11.05.2015	182

Таблиця Г.9

## Дані рівнів води р. Тиса (11.03-16.03.2013 р.)

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
1	2	3
16:00 (7)	11.03.2013	198
19:00 (10)	11.03.2013	222
22:00 (13)	11.03.2013	245

1	2	3
01:00 (16)	11.03.2013	260
04:00 (19)	12.03.2013	265
07:00 (22)	12.03.2013	286
10:00 (25)	12.03.2013	300
13:00 (28)	12.03.2013	380
16:00 (31)	12.03.2013	395
19:00 (34)	12.03.2013	410
22:00 (37)	12.03.2013	419
01:00 (40)	12.03.2013	434
03:00 (43)	13.03.2013	449
06:00 (46)	13.03.2013	465
09:00 (49)	13.03.2013	482
12:00 (52)	13.03.2013	449
15:00 (55)	13.03.2013	473
18:00 (58)	13.03.2013	482
21:00 (61)	13.03.2013	490
24:00 (64)	13.03.2013	496
03:00 (67)	14.03.2013	500
06:00 (70)	14.03.2013	502
09:00 (73)	14.03.2013	498
12:00 (76)	14.03.2013	493
15:00 (79)	14.03.2013	487
18:00 (82)	14.03.2013	482
21:00 (85)	14.03.2013	477
24:00 (88)	14.03.2013	470
03:00 (91)	15.03.2013	463
06:00 (94)	15.03.2013	456
09:00 (97)	15.03.2013	425
12:00 (100)	15.03.2013	418
15:00 (103)	15.03.2013	410
18:00 (106)	15.03.2013	404
21:00 (109)	15.03.2013	399
24:00 (112)	15.03.2013	395
03:00 (115)	16.03.2013	394
06:00 (118)	16.03.2013	394
09:00 (121)	16.03.2013	398
12:00 (124)	16.03.2013	404
15:00 (127)	16.03.2013	410

## Дані рівнів води р. Тиса (04.04-05.04.2013 р.)

Таблиця Г.10

Час, год./Точки	Дата	Рівень, см
01:00 (1)	04.04.2013	119
04:00 (4)	04.04.2013	137
07:00 (7)	04.04.2013	166
10:00 (10)	04.04.2013	198
13:00 (13)	04.04.2013	232
16:00 (16)	04.04.2013	240
19:00 (19)	04.04.2013	238
22:00 (22)	04.04.2013	234
01:00 (25)	05.04.2013	227
04:00 (28)	05.04.2013	220
07:00 (31)	05.04.2013	208
10:00 (34)	05.04.2013	196
13:00 (37)	05.04.2013	181
16:00 (40)	05.04.2013	170
19:00 (43)	05.04.2013	161

**Додаток Д**  
**Акти впровадження на підприємстві**  
**та у навчальний процес**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Проректор з науково-педагогічної роботи  
 Івано-Франківського національного  
 технічного університету нафти і газу  
 Мандрик О. М.  
 2015 р.

**АКТ**

впровадження матеріалів дисертації «Контроль і прогнозування рівня паводкових вод» здобувача кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматика Клапоушак О. І. в навчальний процес

Ми, що нижче підписались, директор інституту інформаційних технологій І. І. Чигур, завідувач кафедри КТІСУ д.т.н., проф. Л. М. Заміховський та здобувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматика О. І. Клапоушак, склали цей акт у тому, що матеріали дисертаційної роботи «Контроль і прогнозування рівня паводкових вод» впроваджені у навчальний процес при вивченні дисциплін «Основи наукових досліджень і технічної творчості» та «Формалізація та моделювання систем» напряму підготовки 6.050201 «Системна інженерія».

Директор інституту інформаційних технологій к.т.н., доц.



І. І. Чигур

Завідувач кафедри КТІСУ  
 д.т.н., проф.



Л. М. Заміховський

Здобувач



О. І. Клапоушак



**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Проректор з науково-педагогічної роботи  
 Івано-Франківського національного  
 технічного університету нафти і газу  
 Мандрик О. М.  
 2015 р.

### АКТ

впровадження матеріалів дисертації «Контроль і прогнозування рівня паводкових вод» здобувача кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматика Клапоушак О. І. в навчальний процес

Ми, що нижче підписались, директор інституту інформаційних технологій І. І. Чигур, завідувач кафедри КТіСУ д.т.н., проф. Л. М. Заміховський та здобувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматика О. І. Клапоушак, склали цей акт у тому, що матеріали дисертаційної роботи «Контроль і прогнозування рівня паводкових вод» впроваджені у навчальний процес при вивченні дисциплін «Основи наукових досліджень і технічної творчості» та «Формалізація та моделювання систем» напряму підготовки 6.050201 «Системна інженерія».

Директор інституту інформаційних технологій к.т.н., доц.



І. І. Чигур

Завідувач кафедри КТіСУ  
д.т.н., проф.



Л. М. Заміховський

Здобувач



О. І. Клапоушак



d557

Рис. Д.2 Акт впровадження матеріалів дисертаційної роботи у навчальний процес кафедри КТіСУ

