



КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОГНОЗАМ

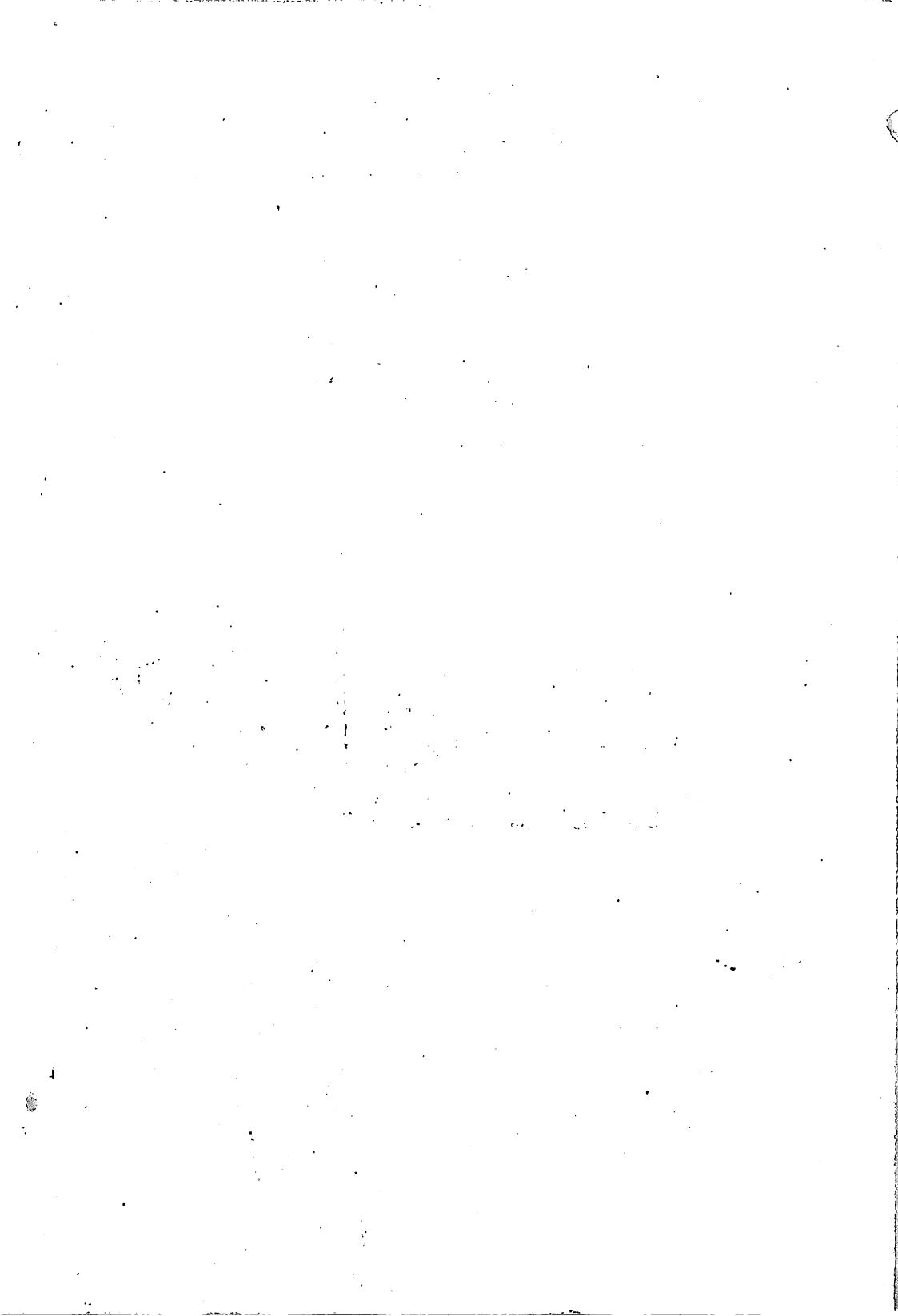
KONFERENZ DER DONAULÄNDER
ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSÄGEN

CONFERENCE OF THE DANUBIAN
COUNTRIES ON HYDROLOGICAL
FORECASTING

Bucharest - Romania, 26-29.X.1982

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
KONFERENZBERICHT
PROCEEDINGS

1-360



VI

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРИДУНАЙСКИХ
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER
ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSÄGEN

CONFERENCE OF THE DANUBIAN
COUNTRIES ON HYDROLOGICAL
FORECASTING

Bucharest - Romania, 26-29.X.1982

БІЛБОВІ СІДЛЯНИ
ДІЛІЖАНСІ СЕРІЇ
ІЗВІТОВКА
16 462

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
KONFERENZBERICHT
PROCEEDINGS



1-360

BUCUREŞTI - ROMANIA, 1986

VI

КОНФЕРЕНЦИЯ ТРИДУНАЙСКИХ
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОГНОЗАМ

KONFERENZ DER DONAULÄNDER
ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN

CONFERENCE OF THE DANUBIAN
COUNTRIES ON HYDROLOGICAL
FORECASTING

Bucharest-Romania, 26-29.X.1962

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ XI КОНФЕРЕНЦИИ ТРИДУНАЙСКИХ
СТРАН ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНОЗАМ

Институт метеорологии и гидрологии

ORGANIZATIONS-KOMITEE FÜR DIE XI. KONFERENZ DER
DONAULÄNDER ÜBER HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN

Institut für Meteorologie und Hydrologie

ORGANIZING COMMITTEE FOR THE XIth CONFERENCE
OF THE DANUBIAN COUNTRIES ON HYDROLOGICAL
FORECASTING

Institute of Meteorology and Hydrology

Работы опубликованы в варианте, присланном авторами.
Die Werke wurden in der Übersetzung den von Autoren
gesandten Form veröffentlicht.

The papers were published in the version sent by the
authors

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИЛИ РАЗРАБОТАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ	|21
<u>1.1. ХАМАЧЕК И., ИРИЦ Л.</u> Создание банка гидрологических данных для моделей прогноза стока реки Дуная . . . . .	|23
2. СТЭНЕСКУ В.АЛ. Система прогноза и предупреждения о паводках в верхнем бассейне реки Муреш . . . . .	|31
3. ЗЕЗУЛАК Й. Об алгоритмах регуляризации систем водных ресурсов применяемых при прогнозах оптимальной заготовительности . . . . .	|41
4. ОТТМАНН Э. Основы автоматической системы наблюдения и информации в водном хозяйстве . . . . .	|51
II. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ С ОСОБОЙ ССЫЛКОЙ НА ПРОГНОЗ ПАВОДКОВ	|61
<u>1. ГАУЗЕР И., КОНТУР И.</u> Линейные модели прогноза уровней воды на нижнем участке реки Бодрога . . . . .	|63
2. ШЕРБАН П., УНГУРЯНУ В. Модель прогноза средних ежедневных расходов рек Румынии, впадающих в водохранилище Железные Ворота . . . . .	|71
3. ДЕМИДОВ В.Н. Применение метода конечных элементов в моделях формирования стока на речном водосборе . . . . .	|83

4. СОЛГАЙ Я.	
Адаптивные гидрологические прогнозы для предсказания движения паводочных волн	95
5. ГУТКНЕХТ Д., КРЕССЕР В.	
К вопросу о проблематике разработки моделей для краткосрочного прогнозирования стока	105
6. ХУФФА И., АБОНИ И.	
Прогностическая модель ежедневных уровней Дуная, основанная на кластерном анализе и опознании образов, с учётом требования постоянной корректировки прогнозов	115
7. КАМЕНСКИ Л., МИГИНА В., ПОДОЛИНСКИ Ш.	
Линейная гидрометрическая модель стока	123
8. КОРШ К., ЭХАС И.	
Нелинейный графический регрессионный метод для прогнозов мелких водотоков в бассейне Дуная	135
9. СЕЛЛЕШИ-НАДЬ А., МЕКИШ Э.	
Применение фильтра Кальмана для коррекции прогнозов по дискретной модели каскадного типа	145
10. ПОПОВ Е.Г., ТРУБИХИН Н.А.	
Двумерная модель формирования дождевых паводков	157
11. АНДЖЕЛИЧ М., БАЛИНТ Г., ХАРКАНИ К.	
Применение модели скатой линейной системы (С) в прогнозах дождевого стока на водосборах бассейна Дуная	169
12. СЕЛЛЕШИ-НАДЬ А., БАРТА П.	
Эквивалентность моделей каскада линейных водохранилищ и дискретной кинематической волны, а также условия устойчивости схемы при расчётах трансформации паводочных волн	179
13. ХАНАЧЕК И., ХАРКАНИ К.	
Сравнение методов оптимизации параметров дискретного каскада типа НЭШ	193
14. БАЛИНТ Г.	
Трансформация паводочных волн в месте слияния двух рек методом цепи плюзлов	205
15. ДРАКО Я.	
Прогноз перемещения волны паводка в естественном русле с помощью многослойной нелинейной модели . . .	219

18. ШЕРБАН П., ШИМОТА М.	
Модель прогноза паводковых волн на реках Румынии впадающих в водохранилище Железные Ворота	233
19. БУКОВСКИ Д., АНТАЛ Г.	
Оперативное прогнозирование паводков р.Дунай для участка Будапешт-Бая	1247
20. КОВАЧ Ш.	
Применение регрессионных уравнений для прогноза паводков в среднем течении р.Тисы	1259
21. МАРТИНКА К., ЗЕЗУЛАК Й.	
Опыт использования гидравлической модели низовья Бодрога в гидрологической службе прогноза словац- кого Гидрометеорологического института	271
22. ПАЛФАИ И., БОГА Л.Т.	
Прогноз паводков нижнего участка р.Тисы	287
<u>РЕЗЮМЕ</u>	
23. БОГНАР А., СИЛАДИ Э.	
Прогноз паводка реки Рабы	295
24. СЛАВИК Л.	
Опыт прогнозирования паводков р. Кёрёш и предсто- ящие задачи	301
25. ВАЙК Э.	
Проблемы прогноза режима шлюзированных рек	311
26. АНДЖЕЛИЧ М., ЯНКОВИЧ Д.	
О применении двух прогностических моделей на Вели- кой Мораве	319
27. МУЗЫЛЕВ Е.Л., ПОПЛАВСКАЯ Л.К.	
О моделировании талого стока горных рек на основе информации с искусственных спутников земли	329
28. СТЭНЕСКУ В.АЛ.	
Программа ЭВМ-МАСТЕР для обработки гидрометеороло- гических данных при прогнозе паводков	341
29. ШЕРБАН П.	
Программы ВИДРА для прогноза паводочных волн и принятия решений по эксплуатации водохранилищ . . .	353

III. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ БОЛЬШОЙ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТИ И НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ДЛЯ МАКСИМАЛЬНЫХ, СРЕДНИХ И МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ И УРОВНЕЙ	361
1. МАЛИНИН В.Н., СМИРНОВ Н.П.	
Прогноз стока крупных рек на основе расчёта водного баланса атмосфера над бассейном	363
2. БАРТА П., БАЛИНТ Г.	
Долгосрочный прогноз весеннего стока р.Дунай	375
3. НОВАКИ Б.	
Возможность долгосрочного прогнозирования весеннего стока в бассейне р.Тисы	383
4. МУХИН В.М.	
Долгосрочный прогноз стока горной реки на основе математической модели	391
5. ПФАУД А., ТРЕЙБЕР Б.	
Долговременный прогноз ежедневных расходов в больших приёмных бассейнах	401
IV. ПРОГНОЗ ЗИМНИХ ЯВЛЕНИЙ И ТЁПЛОГО РЕЖИМА ВОДЫ	411
1. ХИРЛИНГ Д.	
Прогноз ледовых явлений на реках Дунае и Тисе	413
2. НОБИЛИС Ф., ВИЛЬ Г.	
Зависимости между средними месячными и годовыми значениями температуры текучих и стоячих вод в Австрии и температурами воздуха на окрестных постах наблюдения, имея также в виду прогнозирование температуры воды	421
3. ПЕЧИНОВ Д., МОДЕВ С., МИНКОВ И.	
Термический баланс реки Дунай в болгаро-румынском секторе	435
V. ПРОГНОЗ ПЕРЕНОСА ТВЁРДЫХ НАНОСОВ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РУСЛА	449
1. РАЙНОВ Ш., НИНОВ И., ПЕЧИНОВ Д., ГЕРГОВ Г., НЕНОВ И.	
Острова и островообразование в болгаро-румынском участке реки Дунай	451
2. ГЫШТЕСКУ П., БРАЙЕР А.	
Морфогидрографические изменения и тенденции развития дельты	465

3.	РОШКА Д.	
	Влияние каскада паводковых волн на реках Олт и Арджеш на перенос наносов на Дунае	471
4.	ТЕОДОР С.М.	
	Использование фотограмметрии в прогнозе тенденции эволюции русел рек	475
5.	ТЕОДОР С.М.	
	Аэрофотограмметрия при оценке твёрдого стока в малых бассейнах прилегающих к водохранилищам с использованием в прогнозе процесса заилиения . .	483
6.	СНИЩЕНКО Б.Ф., МЕСЕРЛЯНС Г.Г., КОЖЕВНИКОВ В.С., ЛОГИНОВА Н.С., ПЕЧИНОВ Д., ГЕОРГОВ Г., НЕНОВ И., ЧАЙЛЕВ И.	
	Изменение гидрологического и руслового режима рек под влиянием выемок аллювия и его прогноз	489
7.	ГЕОРГОВ Г., БЛАСКОВА С.	
	Сравнительное исследование скоростного коэффициента и коэффициента шероховатости	501
8.	ПЕЧИНОВ Д.	
	Изменения гранулометрического взвешенных наносов р.Дунай под влиянием "Железных Ворот I" . .	513
VI.	ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ	
1.	РУБАХ Х.	
	Анализ межней с учётом качества вод	521
VII.	ПРОГНОЗ ДРУГИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	
1.	РОШКА П., ДЖОРДЖЕСКУ Дж., ВАСЕНЧУК Ф.	
	Синоптические ситуации, благоприятствующие наводнениям на среднем Дунае	535
2.	БОНДАР К.	
	Прогноз проникновения морской воды в русла рукавов Дуная	537
3.	ШЕБЕКЕ В.Ф.	
	Возвратные воды при орошении мелиорируемых земель	545
4.	МИХАЙЛОВ В.Н., МОРОЗОВ В.Н., МАКАШИН В.П., ГРАНИЧ П.С.	
	Зависимость элементов гидрологического режима устьевой области Дуная от определяющих факторов	555
		565

P.	СЭНДОЮ И., СТАНКЭЛИЕ Д.И.	
	Вклад теледетекции в наблюдения и прогноз эволюции снежного покрова и стока талых вод	575
УШ.	ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ	591
I.	ШЕЛУТКО В.А., ГУТНИЧЕНКО В.Г.	
	Методы оценки достоверности внутрирядных связей в геофизических макропроцессах	1593
?	КОНТУР И.	
	Зависимость между заблаговременностью и точностью моделей авторегрессионного типа со скользящим осреднением /APMA/	1603
5.	АМБРУШ Ш., СЁЛЛЭШИ-НАДЬ А.	
	Оценка распространения ошибок модулярно связанных стохастических прогностических моделей	611
IX.	МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЁТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ	1625
†.	СВАНИДЗЕ Г.Г., СИДОРОВА Л.В., ШОМАЯ В.Ш.	
	Прогноз стока рек с учётом влияния хозяйственной деятельности и его экономическая эффективность	627
?	ГРИНЕВИЧ А.Г.	
	Вопросы использования гидрологических прогнозов в водохозяйственной практике	635

INHALTSVERZEICHNIS

METHODISCHE UND WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN DER EXISTIERENDEN ODER AUSGEARBEITETEN INFORMATIONSSYSTEME FÜR DIE VERBESSERUNG DER HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEN	21
1. ZEMANACSEK I., IRITZ L.	
Organisation von Datenbasen für hydrologische Vorhersagemodelle der Donau	23
2. STĂNESCU V. Al.	
Ein System der Vorhersage und Vorwarnung der Hochwasserwellen im oberen Einzugsgebiet des Mureş Flusses	31
3. ZEZULÁK J.	
Algorithmisierung der Steuerungsberechnungen für Wasserwirtschaftliche Systeme und ihre Nutzung für Kurzfristigen hydrologischen Vorhersagen	41
4. OTTMANN E.	
Einsatz und Nutzen des automatischen mess- und informations- Systems in Bayern	51
II. KURZFRISTIGE VORHERSAGE MIT BESONDERER BEACHTUNG DER HOCHWASSERVORHERSAGE	61
1. GAUZER I., KONTUR I.	
Anwendung linearer Wasserstandsvorhersagemodelle an der untere Strecke des Bodrog Flusses	63
2. SERBAN P., UNGUREANU V.	
Vorhersagemodell der täglichen mittleren Abflüsse der Rumänischen Flüsse, die in der Staumauer Eisernes Tor münden	71
3. DEMIDOV W. N.	
Anwendung der Methode der Endelemente in Modellen der Abflussformierung im Flusseinzugsgebiet	83

4. SZOLGAY J.	
Adaptive Vorhersage des Wellenablaufes in Flussstrecken	95
5. GUTKNECHT D., KRESSER W.	
Zur Problematik der Entwicklung von Modellen für die kurzfristige Abflussvorhersage	105
6. ZSUFFA I., ABONYI I.	
Echtzeitvorhersage für die Ungarische Donau-Strecke mit Clusteranalyse und Erkennungsmechanismus	115
7. KAMENSKY L., MIHINA V., PODOLINSKY S.	
Lineares hydrometrisches Modell des Abflusses	123
8. KORIS K., JUHÁSZ I.	
Durchflussvorhersage an Kleinfließgewässern mit einem Nichtlinearen graphischen Regressionsverfahren	135
9. SZÖLÖSI-NAGY A., MEKIS E.	
Mit Kalman-Filter erneuerten Vorhersagen eines linearen Kaskadmodells	145
10. POPOV E. G., TRUBICHIN N. A.	
Zweidimensionales Modell der Regenhochwasserformierung	157
11. ANDJELIĆ M., BÁLINT G., HARKÁNYI K.	
Anwendung eines beschränkten linearen System für Niederschlag-Abflussvorhersage auf dem Einzugsgebiet der Donau	169
12. SZÖLÖSI-NAGY A., BARTHA P.	
Äquivalenz der kinematischen Welle und der Kaskadenmodelle; Stabilitätskriterien ihrer Anwendung für Flood-Routing	179
13. HANÁČSEK I., HARKÁNYI K.	
Off-line Parameteroptimisierungsverfahren der diskreten Nash-Kaskade	193
14. BÁLINT Z.	
Flood-Routing mittels eines Schleuseketten-Modells an Flussstrecken mit Zufluss	205
15. DRAKO J.	
Vorhersage der Bewegung der Durchflusswelle im natürlichen Flussbett durch ein Mehrschichtiges unlineares Modell	219

16.	SERBAN P., SIMOTA B. Vorhersagemodell der Hochwasserwellen auf den Rumänischen Flüssen, die in den Stausee Eisernes Tor münden	155
17.	BUKOVSZKY GY., ANTAL G. Verdichtung operativer Hochwasservorhersagen auf der Budapest-Baja Donaustrecke	247
18.	KOVACS S. Hochwasservorhersage auf der mittleren Strecke der Theiss mit Regressionsgleichungen	259
19.	MARTINKA K., ZEZULAK I. Erfahrungen aus der Anwendung des Hydraulischen Modells aus Dolný Bodrog im Hydrologischen Vorhersegedienst des Slowakischen Hydrometeorologischen Instituts	271
20.	PALFAY I., BOGA L.T. Hochwasservorhersage auf der Unteren Strecke der Theiss	281
21.	BOGNÁR Á., SZILÁGY Z. Hochwasservorhersage auf der Raab	295
22.	SLÁVIK L. Erfahrungen und Aufgaben der Hochwasservorhersa- ge an den Körös-Flüssen	301
23.	VAJK Ö. Vorhersageprobleme auf von Stauwerken beein- flussten Flussstrecken	311
24.	ANDJELIC M., JANKOVIC D. Über Anwendung zwei Modelle für kurzfristige hydrologische Vorhersage im Flussgebiet Velika Morava	321
25.	MUSYLJEW Je. L., POPLAWSKAJA L.R. Über die Modellierung des Tauwasserabflusses von Gebirgsflüssen auf der Grundlage der Information von den künstlichen Erdsatelliten .	329
26.	STĂNESCU V.Al. Komputerprogramm "MASTER" für die Verarbeitung hydrometeorologischer Daten bei der Hoch- wasservorhersage	341
27.	SERBAN P. Programmpaket "VIDRA" für die Vorhersage der	

Hochwasserwellen und für die Bewirtschaftung der Staueseen	353
III. HYDROLOGISCHE VORHERSAGEN FÜR LANGE ZEITSPANNE- UND MIT GROSSER VORHERSAGEDAUER FÜR HOCHSTABFLUSSE UND HOCHSTWASSERSTANDE, MITTLERE UND NIEDRIGSTABFLUSSE UND WASSERSTANDE	361
1. MALININ W.N., SMIRNOV N.P.	
Die Vorhersage des Abflusses von grösseren Flüssen auf Grund der Wasserhaushalts- berechnung der Atmosphäre über dem Wasserbecken	363
2. BARTHA P., BÁLINT G.	
Langfristvorhersage für den Frühlingsdurchfluss der Donau	375
3. NOVÁKY B.	
Die Möglichkeiten von Langfristvorhersagen für die Frühlingshochwasser in dem Theiss-Tal	383
4. MUKHIN V.M.	
Langfristige Wassermengenprognose eines Ge- birgsflusses auf der Grundlage des mathematischen Modells	391
5. PFAUD A., TREIBER B.	
Langfristige Vorhersage von täglichen Abflüssen aus grossen Einzugsgebieten	401
IV. VORHERSAGE DER WINTERERSCHEINUNGEN UND DES THERMISCHEN WASSERREGIMES	411
1. HIRLING Gy.	
Eisvorhersage für die Donau und die Theiss . . .	413
2. NOBILIS F., WIHL G.	
Zusammenhänge zwischen Monats- und Jahresmittelwerten der Wassertemperaturen an stehenden und fliessenden Gewässern in Österreich mit den Lufttemperaturen von Umgebungsstationen, auch im Hinblick auf die Wassertemperaturvorhersage	421
3. PETSCHEK D., MODEV S., MINJOV I.	
Wärmebilanz im Bulgarisch-Rumänischen Donausektor	435
V. VORHERSAGE DES FESTSTOFFTRANSPORTES UND DER MORPHOLOGISCHEM ERSCHEINUNGEN DES FLUSSBETTES	449
1. REINOV St., NINOV I., PETSCHEK D., GERGOV G., NENOV I.	
Inseln und Inselbildung im Bulgarisch-	

Rumänischen Donausektor	1451
12. GÂSTESCU P., BREIER A.	
Morphohydrographische Veränderungen und Evolutionstendenzen des Donaudeltas	,465
3. ROSCA D.	
Der Einfluss der Seenkette entlang der Flüsse Olt und Mureş auf die Geschiebeführung der Donau	1471
4. TEODOR S.M.	
Fernerkundung bei der Vorhersage der Evolu- tionstendenzen der Flussbetten . . . . .	|475
5. TEODOR S.M.	
Fernerkundung bei der berechnung der geschiebeführung in kleinen einzugsgebieten, die an stauseengrenzen und die möglichkeiten der vorhersage der verlandungen	483
6. SNISCHTSCHENKO B.F., KOSHEWNIKOW W.S., MESSERLJANS G.G., ŁOGINOWA N.S., PETSCHEINOW D., GERGOV G., MENOW I., TSCHAILEW I.	
Die veränderung der hydrologie - und flussbettregimes der flüsse unter dem einfluss der alluviumauschöhlung (unterwassergruben) und deren vorhersage . . . . .	|489
7. GERGOV G., BLASKOVA S.	
Vergleichsuntersuchung des Geschwindigkeitswertes "C" und des Rauhigkeitswertes "p"	,501
8. PETSCHEINOW D.	
Änderungen in der Granulometrischen Zu- sammensetzung der Schwebestoffe im Fluss Donau unter dem Einfluss des Hydrosystems "Eisentor I" . . . . .	|513
VI. WASSERGUTEVORHERSAGE	|519
1. RUBACH H.	
Niedrigwasseranalyse unter besonderer Berück- sichtigung der Gewässergüte . . . . .	|521
VII. VORHERSAGE ANDERER METEOROLOGISCHER ELEMENTE	|535
1. ROŞCA P., GEORGESCU G., VASENCIU F.	
Synoptische Erscheinungen (Phänomene) die das entstehen von Überschwemmungen im mittleren Donaubezirk begünstigt haben . . . . .	|537

2. BUDAR C.	
Vorhersage der Meeressasservorstosse in die Strombette der Donau mündungen	545
3. SCHERBEGO V.PH.	
Die Rückwasser bei die Bewässerung der Kulturboden	555
4. NICHAILOW W.N., MOROSOW W.N., MAKASCHIN W.P., GRANITSCH P.S.	
Elementenabhängigkeit des hydrologischen Regimes Kilia-Flussarms in der Donau-mündung von den bestimmenden Faktoren	565
5. SANDOIU I., STANCALIE G.	
Beiträge der Fernerkundung zur Überwachung und Prognose der Entwicklung der Schneeschicht und des vom Schmelzen des Schnees stammenden Wasserabflusses	575
VIII. EINSCHÄTZUNG DER GENAUIGKEIT DER HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEN	
1. SCHELUTKO W.A., GUTNITSCHENKO W.G.	
Die Methoden der Sicherheit der inneren Reihenzusammenhang in geophysischen Vorgangen	593
2. RONTUR I.	
Die Beziehung zwischen Vorhersagezeitvorsprung und Genauigkeit bei Arma Modellen	603
3. AMBRUS S., SZÖLÖSSI-NAGY A.	
Fehlerfortpflanzung bei Vorhersagen mit modular nacheinander gefugten stochastischen Modellen .	611
IX. METHODISCHE GRUNDLAGEN FÜR DIE BERECHNUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT DER HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEN	
1. SWANIDSE G.G., SIDOROWA L.W., TSOMAJA W.Sch.	
Wassermengeprognose mit Bestimmung wirtschaftlichen Wirkung und sein Ökonomisches Effekt	625
2. GRINEWITSCH A.G.	
Probleme der Nutzung hydrologischer Prognosen in der Praxis der Wasserwirtschaft	635

CONTENTS

I.	THE METEOROLOGICAL AND SCIENTIFIC BASES OF THE EXISTING INFORMATIONAL SYSTEMS OR THE ONES WORKED OUT IN VIEW OF IMPROVING THE HYDROLOGICAL FORECASTS	21
1.	HANACSEK I., DRITZ L. Organization of data bases for hydrological forecasting models on river Danube	23
2.	STANESCU V. Al. A flood warning and forecasting system in the upper Muresh basin	31
3.	ZEZULÁK J. On regulation rules algorithms of water resources systems applied to real-time forecasting	41
4.	OTTMANN E. Utilization of a computerized water monitoring and information system in Bavaria	51
II.	THE SHORT-TERM FORECASTING WITH PARTICULAR EMPHASIS ON FLOOD FORECASTING	61
1.	GAUZER I., KONTUR I. Linear water level forecasting models for the lower part of river Bodrog	63
2.	SERBAN P., UNGUREANU V. Model for inflow daily discharge forecasting, in the Iron Gates reservoir for Romanian rivers	71
3.	DEMIDOV W.N. Application of the finite-element method to models of runoff formation in a catchment area	83

4. SZOLGAY J.	
Adaptive river flow forecasting	95
5. GUTKNECHT D., KRESSER W.	
On the problem of modelling for short-term streamflow forecasting	105
6. ZSUFFA I., ABONYI I.	
Real-time forecasting model for the Hungarian part of river Danube using cluster analysis and pattern recognition techniques	115
7. KAMENSKY L., MIHINA V., PODOLINSKY S.	
Linear hydrometric runoff model	123
8. KORIS K., JUHASZ I.	
Nonlinear graphical regression method for fore- casting flows on small catchments in the Danube basin	135
9. SZÖLÖSI-NAGY A., MEKIS E.	
Updating discrete cascade model forecasts by Kalman filtering	145
10. POPOV E. G., TRUBICHIN N. A.	
Two-dimensional model of rainfall flood for- mation	157
11. ANDJELIC M., BALINT G., HARKANYI K.	
Application of the constrained linear system (CLSS) to rainfall-runoff modeling in the Danube basin	169
12. SZÖLÖSI-NAGY A., BARTHA P.	
The equivalence of the kinematic wave and linear cascade models and their channel routing stability conditions	179
13. HANACSEK I., HARKANYI K.	
Comparison of off-line parameter optimiza- tion techniques for the discrete Kalinin- Milyukov-Nash cascade	193
14. BÁLINT Z.	
Flood-routing by a cascade of sluices on a river reach with tributary	205
15. DRAKO J.	
Routing of the floods by means of a multi- layer non-linear model in a river reach . . .	219

16.	SERBAN P., SIMOTA M. Model for inflow flood forecasting Gates reservoir from Romanian rivers	233
17.	BUKOVSZKY GY., ANTAL G. Interpolation of operational flood forecasts for the Budapest-Baja reach of river Danube	247
18.	KOVACS S. The application of regression equations for predicting high flows in the middle part of river Tisza	259
19.	MARTINKA K., ZEZULAK I. Experiences from the application of the hy- draulic model of the low Bodrog by the hydro- logical forecasting service of the Slovak Hy- drometeorological institute	271
20.	PALFAY I., BOGA L.T. Flood forecasting for the lower part of river Tisza	287
21.	BOGNAR A., SZILÁGY Z. Flood forecasting on river Rába	295
22.	SLÁVIK L. Experiences and problems of flood forecasting in the Körös basin	301
23.	VAJK Ö. Problems of forecasting river flows influenced by barrages	311
24.	ANDJELIĆ M., JANKOVIĆ D. On the application of the two models for short- term hydrological forecasting in the Velika Morava drainage basin	319
25.	MUSYLJEW Je. L., POPLAWSKAJA L.K. On modelling the snowmelt runoff of mountain rivers based on remote sensing data	329
26.	STĂNESCU V.Al. The MASTER computer program package for hydro- meteorological data processing used for flood forecasting	341
27.	SERBAN P. VIDRA-program package for flood forecasting and establish the reservoir operating policy	353

III. HYDROLOGICAL FORECASTS FOR LONG-RANGE AND WITH LONG ANTICIPATION TIME FOR MAXIMUM AVERAGE AND MINIMUM DISCHARGES AND LEVELS	361
1. MALININ W.N., SMIRNOV N.P.	
Big rivers runoff forecast on the calculation base of atmosphere water balance over the basin	363
2. BARTHA P., BALINT G.	
Long-term forecasting of the spring runoff on the Danube	375
3. NOVAKY B.	
Possibilities for long-term spring runoff fore- casting in the Tisza basin	383
4. MUKHIN V.M.	
Long-range flow forecast for the mountain rivers based on a mathematical model	391
5. PFAUD A., TREIBER B.	
The long term forecast of daily discharges in large basins	401
IV. WINTER PHENOMENA AND THERMAL WATER REGIME FORE- CASTING	411
1. HIRLING Gy.	
Forecasting ice phenomena on the Danube and Tisza rivers	413
2. NOBILIS F., WIHL G.	
Relationships between mean annual and monthly estimates of water temperature of river courses and lakes from Austria and air temperature from neighbouring stations in view of water tempera- ture forecasting	421
3. PETSCHEINOV D., MODEV S., MINJOV I.	
Thermal balance of the Danube Bulgarian-Rumanian reach	435
V. SOLID LOAD AND RIVERBED MORPHOLOGY FORECASTING	449
1. RANOV St., NINOV I., PETSCHEINOV D., GERGOV G., NENOV I.	
Islands and island-formations within the Bulgarian- Rumanian Danube river reach	451
2. GĂSTESCU P., BRUJIER A.	
Recent morphohydrographic alterations and trends on the evolution of the Danube Delta	465

3. ROȘCA D.	The influence of the reservoir cascade on the Olt and Arges rivers, upon the sediment transport of the Danube	471
4. TEODOR S.M.	The use of photogrammetry in the forecast of the river-bed evolution	475
5. TEODOR S.M.	Airphotogrammetry in the benefit of the sediment transport estimation in small watersheds of the reservoirs, with implications in forecast	483
6. SNISCHENKO B.F., LOGINOV A.N., KOZHEVNIKOV V.S., MESEVLIANS G.G.	The change of hydrological and channel regime of rivers under the influence of alluvium excavations (underwater quarries) and ways of its forecasting	489
7. GERGOV G., BLASKOVA S.	Comparative study of the flow resistance coefficient C and the coefficient of roughness n	501
8. PETSCHEINOV D.	The Danube river suspended sediment grain-size distribution changes due to Iron Gates I Dam	513
VI. WATER QUALITY FORECASTING		519
1. RUBACH H.	The low flow analysis in connection with the water quality	521
VII. OTHER HYDROMETEOROLOGICAL ELEMENT FORECASTING		535
1. ROȘCA P., GEORGESCU G., VASENCIU F.	Synoptic situations that led to floods in the middle basin of the Danube	537
2. BONDAR C.	The forecast of penetration of salt water into the Danube mouths	545
3. SCHEBEKO V.Ph.	Return waters under irrigation of reclaimed lands	555
4. MICHAYLOW W.N., MOROSOW W.N., MAKASCHIN W.P., GRANITSCH P.S.	Dependence of the Danube mouth hydrological regime elements on the determinative factors	565

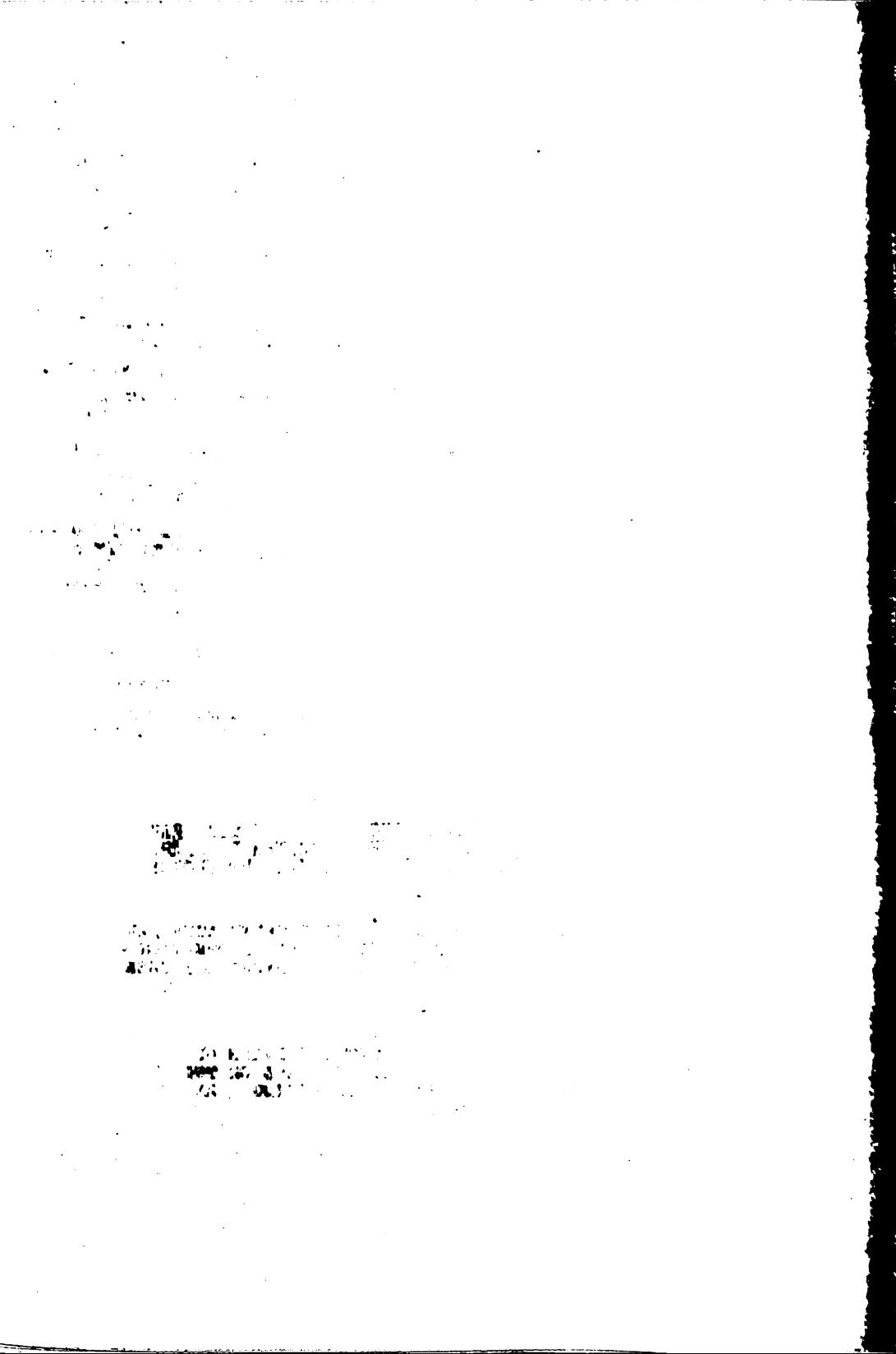
5. SÁNDOIU I., STĂNCĂLIE G.	
Remote sensing contribution for monitoring and forecasting of the snow-cover evolution and snowmelt	575
VIII. ASSESSMENT OF HYDROLOGICAL FORECASTING ACCURACY	591
1. SCHELUTKO W.A., GUTNITSCHENKO W.G.	
Methods of reliability estimation of in-row relations in geophysical large-scale processes .	593
2. KONTUR I.	
On the relation between forecasting lead time and accuracy for Arma models	603
3. AMBRUS S., SZÖLLÖSI-NAGY A.	
Prediction error propagation in modularly connected stochastic models	611
IX. METHODOLOGICAL COMPUTATION BASIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF HYDROLOGICAL FORECASTING	625
1. SWANIDSE G.G., SIDOROWA L.W., TSOMAJA W. Sch.	
River run-off prediction taking into account the influence of economic activity and its economic efficiency	627
2. GRINEWITSCH A.G.	
On using hydrological forecasts in water management	635

I.

МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИЛИ
РАЗРАБОТАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

METHODISCHE UND WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN DER
EXISTIERENDEN ODER AUSGEARBEITETEN INFORMATIONS-
SYSTEME FÜR DIE VERBESSERUNG DER HYDROLOGISCHEN
VORHERSAGEN

THE METEOROLOGICAL AND SCIENTIFIC BASES OF
THE EXISTING INFORMATIONAL SYSTEMS OR THE
ONES WORKED OUT IN VIEW OF IMPROVING THE
HYDROLOGICAL FORECASTS



СОЗДАНИЕ БАНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА СТОКА РЕКИ ДУНАЯ

Иштван Ханачек, Ласло Иритц, Научно-исследовательский центр
водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

REZUME:

ORGANIZATION OF DATA BASES FOR HYDROLOGICAL FORECASTING MODELS ON RIVER DANUBE

The basic requirement for effectively using hydrological data is the utilization of computer oriented data sets with a high degree of freedom. This need is met by well organized data bases. To estimate the parameters of forecasting models, to test and operationally apply them, respectively, data bases should posses several general and specific features. These features determine the structure and realization of the data base. The paper discusses the requirements and rational structure of the data base. It presents the draft of the data base of the Danube forecasting system.

ORGANISATION VON DATENBASEN FÜR HYDROLOGISCHE VORHERSAGEMODELLE DER DONAU

Eine der Grundbedingungen in der Anwendung hydrologischer Daten ist der Ausbau eines rechnerorientierten Datenmengensystems, daß möglicherweise mit großem Freiheitsgrad arbeitet. Diese Bedingung kann mit gut organisierten Datenbasen realisiert werden. Die Datenbasen, die für die Parameterschätzung, Untersuchung und operative Anwendung der Vorhersagemodelle geeignet sind, weisen eine Reihe von allgemeinen und spezifischen Eigenschaften auf, die den Gang über Struktur und Realisation determinieren. Die Artikel beschreibt, die oben genannten Bedingungen, die Realisationsmöglichkeiten, die praktische Struktur der Datenbasis, belegt sie mit Beispielen und stellt zuletzt den Plan der Rechnerdatenbasis des Vorhersagesystems der Donau vor.

ВВЕДЕНИЕ

Для разработки методов гидрологических прогнозов требуется большое количество данных. Это обстоятельство остается в силе и для слу-чая разработки современных методов.

Для расчетов по современным прогностическим схемам может требо-ваться огромное количество данных наблюдений. Вместе с тем целесфоб-разно воспользоваться этим моментом, т.к. информационное содержание фонда данных таким путем может быть полностью исчерпано в пользу на-дежного прогнозирования.

В ходе осуществления программы развития гидрологического прогно-
зирования (Барта и Селлеши, 1979) в ВНР на ЭВМ ВИТУКИ были созданы
базы данных. Эти базы данных прогностических моделей (БДПМ) служили
для разработки и адаптации моделей, для оценки параметров, определен-
^{РЕЗУМЕ}
ния надежности прогнозов. Эти базы данных хорошо себя оправдали. Ра-
ботать с моделями стало удобно. Сроки разработки новых моделей и
адаптация ранее известных сократились, параметры моделей стали опре-
деляться более точно, ожидаемая точность прогнозов возрасла.

Сущность таких баз данных заключается в том, что ряды тех данных,
которые требуются для разработки моделей, группируются в машинной па-
мяти и на магнитных носителях таким образом, чтобы программы моделей
могли использоваться непосредственно. В то же время эта часть прог-
рамм и данные, одновременно находящиеся в оперативной памяти ЭВМ, не
занимали бы в ней большую часть.

В дальнейшем мы хотели бы показать важнейшие моменты создания та-
ких баз данных, но прежде чем перейти к этим вопросам, покажем, какое
место они могут занимать в общей информационной системе гидрологичес-
ких прогнозов.

МЕСТО БАЗЫ ДАННЫХ ПРОГНОТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ОБЩЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРОГНОЗОВ

Ниже изложим лишь принципиальную схему информационной системы
гидрологических прогнозов. По нашим представлениям она является до-
статочно общей для того, чтобы отразить важнейшие узлы такой системы.
Сразу же отметим, что такая система в ВНР существует пока лишь час-
тично или находится в стадии разработки, но отдельные ее части уже
взаимодействуют.

Данные для прогнозирования могут поступать по телефону или в
виде телеграмм. Данные, поступающие по телетайпу, можно непосредст-

венно переносить на ЭВМ и, таким образом, там их обрабатывать. Такую обработку данных выполняет Бюро гидрологических прогнозов (Барта и Бороц, 1981). Собранные данные обрабатываются, используются для выпуска прогнозов, регулярно направляются в архив. В этой системе БДПМ показана на рис. 1. Здесь следует отметить, что БДПМ может иметь важный канал с общей информационной базой гидрологической службы, которая может быть обычной или созданной на ЭВМ.

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

БДПМ разработана на малогабаритной ЭВМ с оперативной памятью 64 КБ, к которой присоединен диск с 800 ГБ. Эти ограничения вынудили нас как можно экономнее обращаться с памятью ЭВМ, т.к. при расчетах кроме данных наша машина должна вместить и обширные программы.

Пакет программ состоит из трех частей. Первая часть ввод-данные в машину и организует группировку, затем выводит на магнитный носитель. Вторая часть может представлять данные в необходимой форме. Третья, собственно говоря, включена в программы прогностических моделей, которые непосредственно обеспечивают модели нужными данными из БДПМ.

ВВОД ДАННЫХ В БАЗУ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Вначале данные наносятся на перфокарты. После этого начинается ввод данных. Сначала выполняется проверка данных. Программа выявляет ошибки и указывает на некоторые возможные причины данных ошибок. Программа стоит до тех пор, пока ошибки не будут проверены. После исправления данных ввод может быть продолжен с того места, где программа была остановлена. Это является большим преимуществом разработанной программы, поскольку в другом случае чтение перфокарт нужно было бы начинать с самого начала.

Можно обрабатывать данные типа `integer` и `real`. Для экономии машинной памяти или зон диска часто целесообразно данные переводить в форму `integer`, но это не всегда возможно, поэтому было сделано разветвление в программе с тем, чтобы ее можно было использовать как универсальную.

СОСТАВЛЕНИЕ РЕКОРДОВ

Данные собираются в отдельных рекордах. Поскольку "транспорт" между диском и оперативной памятью ЭВМ сравнительно медленный, то при

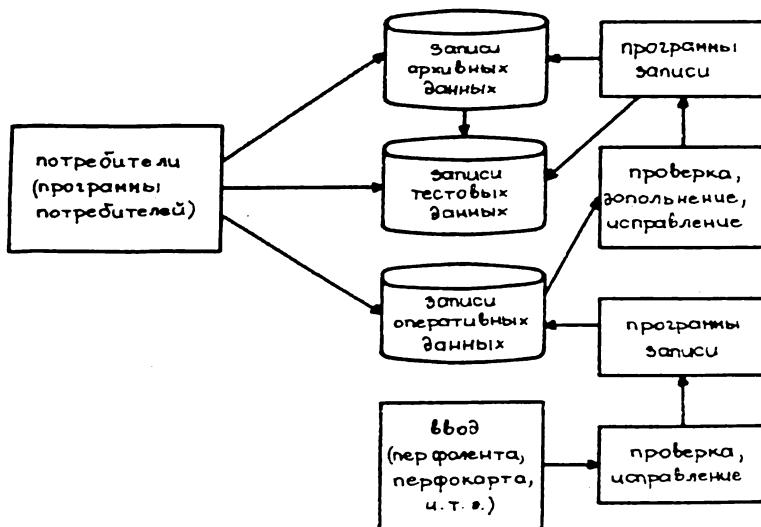


Рис. 1. Система информации прогнозирования

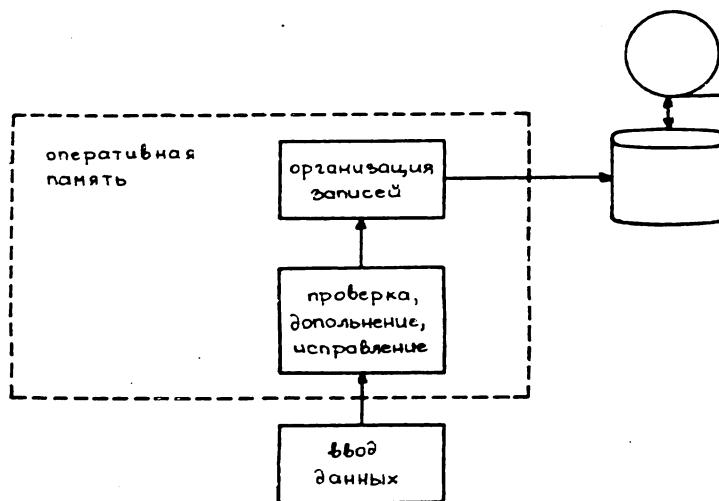


Рис. 2. База данных прогностических моделей

расчете данные переносятся с диска в оперативную память ЭВМ не отдельно, а по группам. Очень важной является хорошая организация этих групп, так называемых рекордов. Их структура определяется самими данными и моделями, которые используются БДПМ, а также диском вместе с его software-ом. Иногда эти условия противоречат друг другу. Например, для ускорения расчетов может оказаться, что целесообразно составлять длинные рекорды. Поскольку на ОП они вводятся с диска, то после этого можно быстро вести расчет. С другой стороны так теряется большая часть ОП и мало остается для других целей.

Было решено составлять рекорды с 750 элементами. В месяцах продолжительностью 31 день имеется 744 часов. Первые 6 элементов в рекордах носят информацию о содержании рекорда. Такие рекорды удобны в случае, если мы занимаемся моделями, которые требуют часовые данные. Но в эти же ~~рекорды~~ были заложены и данные отдельных паводков. Тогда в каждом рекорде находится несколько блоков. В этих случаях первые три элемента блоков также являются информационными. Здесь зафиксированы даты начала отдельных паводков. Длина блоков изменяется. Конец блоков отмечается большим завершающим кодом (-32.000). Эти блоки заполняются в рекорды до тех пор, пока они полностью перемещаются в рекорды или пока не поступят новые типы данных.

ПОИСК ДАННЫХ

Для того, чтобы быстро найти данные, необходимо иметь хороший справочник об их размещении. Для этого в рамках этой программы создана так называемая pointer таблица. В таблице имеется 100 строк, каждая строка содержит 10 слов. Каждый рекорд имеет свою строку со следующей информацией:

- + код типа данных,
- + код станций,
- номер рекорда,
- + количество блоков в данном рекорде,
- дата начала ряда данных, размещенных в первом блоке рекорда,
- дата конца ряда данных, размещенных в последнем блоке рекорда.

Такая индексная таблица очень удобная. Она помогает ускорить поиск данных. Данные можно собирать из БДПМ по различным признакам. Но кроме этого позволяет вводить ряды данных отдельно и эти ряды попадут на необходимое место в памяти ЭВМ и на диске.

К программе относится и рекорд с текстовой информацией о типах данных, кодах станций, сроках наблюдений и т.д. Инструкции по пользованию программой задают комменты.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

БДПМ моделей использовались в трех вариантах. В первом случае разрабатывались прогностические модели сток-сток. В БДПМ были размещены данные о расходах воды. Затем пришлось разместить и данные о расходах осадках. Эти ряды были непрерывными. Данные о рекордах были сгруппированы по месяцам. А на последней стадии на ЭВМ разместили ряды осадков и стока переменной длины.

В первом случае БДПМ использовали следующие модели:

- детерминистическая модель, основанная на упрощенном решении рекурненса Сен-Венана;

- самоустраиваящая статистическая модель,
- линейная модель прогноза меженных вод.

В первом случае в БДПМ были размещены непрерывные ряды расходов воды.

Во втором случае в БДПМ были размещены ряды расходов воды и ряды суточных осадков.

В первом и во втором случаях в рекордах находились целые месяцы. Число дней по месяцам меняется, поэтому и число элементов в рекордах тоже меняется.

Для облегчения и автоматизации расчетов после последнего элемента было записано очень большое число, которое дает знать, что для продолжения расчета необходимо ввести в оперативную память следующий рекорд.

Здесь возникла новая проблема, а именно: число в рядах данных (особенно это касается осадков), поскольку нередко были такие периоды, когда данные наблюдений отсутствовали. Это обстоятельство в рядах обязательно следует отметить, поскольку программа эти периоды могла бы принимать как периоды, когда осадков не наблюдалось, и, таким образом, расчеты были бы искажены.

Поставленные знаки указывают на то, что при расчете программа для определенного периода должна пропустить данную станцию (Ирити и др., 1980).

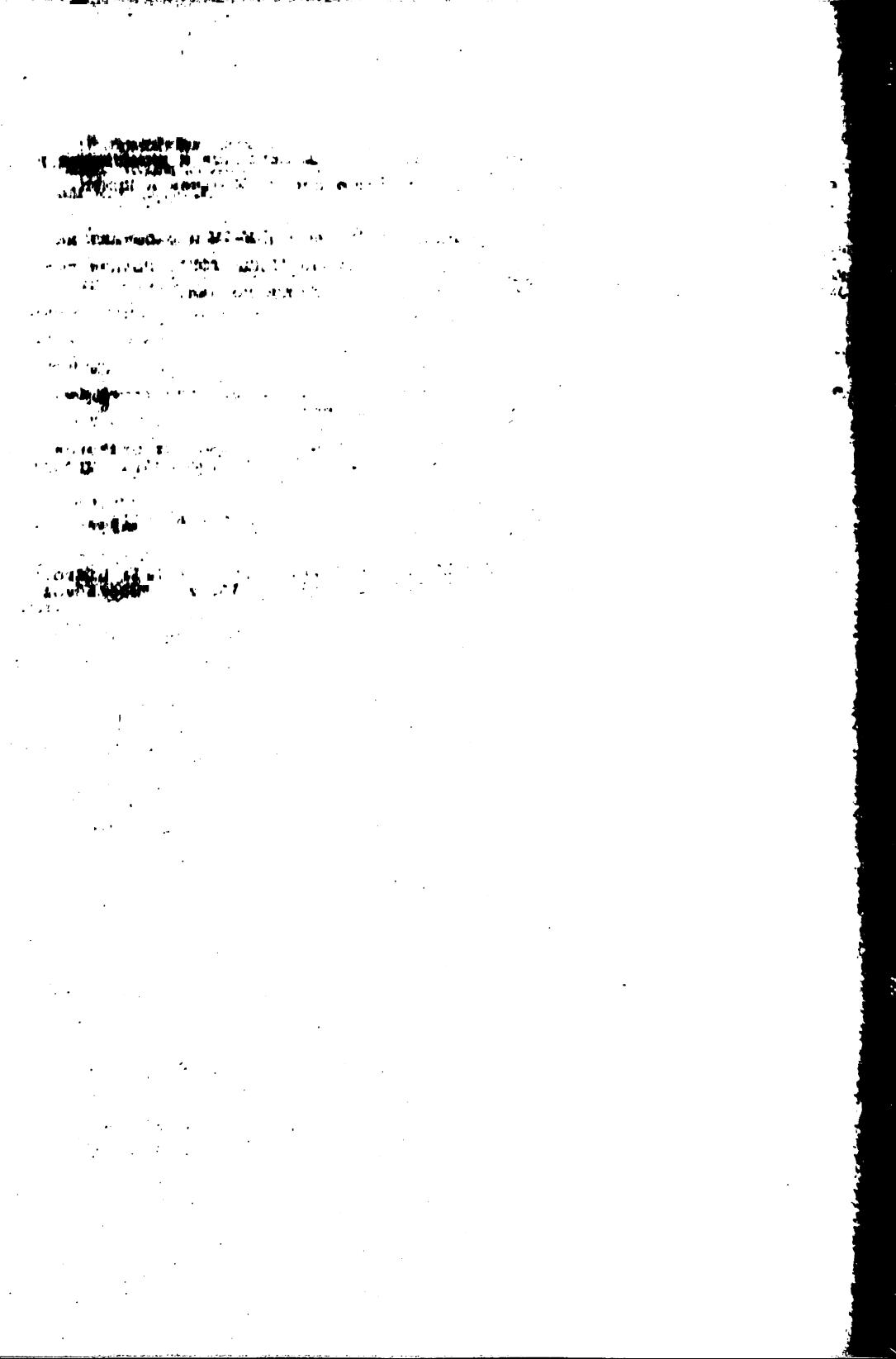
Такая БДПМ использовалась для разработки прогностических моделей, составленных на основе дискретных каскадов (Селлеши и Ирити, 1981).

В третью БДПМ были размещены расходы воды паводков и вызывающие их осадки. Здесь в рекордах уже были отдельные блоки (Ханачек и Иритц, 1982).

Программы составлены на машинном языке ФОРТРАН-IV и работали на ЭАМ типа ЕС-10 производства венгерского завода "ВИДЕОТОН". Полная документация машинных программ включена в указанный доклад.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] BARTHA, P.-SZÖLLÖSI-NAGY, A. (1979): Vizrajzi előrejelzések fejlesztésének koncepciója, VITUKI, Budapest
- [2] BARTHA, P.-BÖRÖCZ, I. (1981): Számítógépi programok az Országos Vizjelző Szolgálathoz beérkező információk feldolgozására, VITUKI, Budapest.
- [3] HANÁCSEK, I.-IRITZ, L. (1982): Adatbázis a Körösök árhullámai számára kézrat, VITUKI, Budapest.
- [4] IRITZ, L.-AMBRUS, S.-HANÁCSEK, I.-MEKIS, F. (1980): A Zala hidrológiai előrejelző modelljei, VITUKI Közlemények 30.sz., Tudományos Napok, Budapest



СИСТЕМА ПРОГНОЗА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПАВОДКАХ
В ВЕРХНЕМ БАССЕЙНЕ РЕКИ МУРЕШ

Виорел Ал. Стэнеску, д-р инж.
Институт метеорологии и гидрологии
Бухарест - Румыния

REZUME FLOOD WARNING AND FORECASTING SYSTEM IN THE UPPER
MURESH BASIN

Abstract. This paper describes the hydrometeorological network and principal points data collection by automatic and non-automatic means, followed by an account of the data processing and analysis technique operated by a central control unit.

The models and computation procedures for flood forecasting are also outlined.

EIN SYSTEM DER VORHERSAGE UND VORWARNUNG DER HOCHWASSERWELLEN IM OBEREN EINZUGSGEBIET DES MURES FLUSSES

Zusammenfassung. Der Fachartikel beschreibt das hydrometeorologische Netz und die wichtigsten Messungspunkte (automatische und nichtautomatische Geräte) sowie die Analyse- und Verarbeitungstechniken der Kontrol und Auffangeinheiten.

Die mathematischen Modelle und Berechnungsverfahren für die Hochwasserwellenvorhersage werden vorgeführt.

Предупреждение некоторых отрицательных эффектов(последствий) некоторых опасных гидрометеорологических явлений, таких как половодья и наводнения, осуществляется, с одной стороны, путём строительства гидротехнических сооружений, а с другой стороны, путём организации системы прогноза и заблаговременного предупреждения об опасности, о возможности возникновения опасного явления в целях принятия защитных мер.

Наводнения 1970 и 1975 гг. показали какое важное значение имеют

мероприятия по предупреждению в случае возникновения опасности при паводках и насколько трудно определить величину опасности, для принятия мер по её предотвращению. Например, очевидно, что эвакуация экономически продуктивного предприятия, которому грозит наводнение, намного легче и с меньшим ущербом производится до затопления его, или снятие урожая с сельскохозяйственного угодья до затопления намного снижает ущерб. Но также легко понять, что решение об остановке предприятия и его эвакуации, или несвоевременная уборка урожая, который не достиг максимальной зрелости принять очень трудно, из-за возможных ущербов, в результате необоснованного принятия решения. В той же мере усилия, прилагаемые для обвалования и регуляризации зависят от прогноза гидрологических величин. В случае правильного прогноза, усилия, прилагаемые в защитных целях, будут правильно учтены, без посторонней материальной затраты труда, ~~и~~ ^{если} того чтобы это приводило к человеческим жертвам или гастро-полю расплох.

Кроме правильного прогноза, вторым фактором является заслуговременность прогноза, позволяющая наиболее полно применять мероприятия, до возникновения этих явлений в рассматриваемой зоне.

Считается необходимым подчеркнуть, что исследования по повторяемости появления некоторых явлений, таких как наводнения, указывают на тенденцию их постоянного усиления, а увеличение степени оснащения социально-экономических объектов, ведёт к постоянному росту потенциального ущерба/3/.

Этая скорость распространения гидрометеорологических явлений в верхнем бассейне р.Муреш, с 1975 года началось проектирование автоматической системы станций для сбора и передачи гидрометеорологических данных, необходимых для оповещения о наводнениях, а посредством программы ООН по развитию была закуплена значительная часть аппаратуры от фирмы Плессей.

Источниками информации, необходимыми для составления прогнозов и оповещения о наводнениях являются:

1. В рамках управления водного хозяйства:
 - метеорологические станции с синоптической и климатической программой,
 - метеорологический радиолокатор в Тимишоаре,
 - дождемерные посты основной сети,
 - гидрометрические посты, полностью оснащенные собственными плuвиометрами,

- гидрометрические и плёвиометрические рейки из собственной административной сети по эксплуатации,
- система метеорологических и гидрологических автоматических станций верхнего бассейна р.Муреш.

2. Кроме управления водного хозяйства

~~данные и оповещения ИМГ~~

- данные, полученные из центров прогноза погоды,
- оповещения, полученные от Центральной комиссии по противопаводковой защите,
- данные и информация местной сети бюро водного хозяйства,
- данные плёвиометрических станций, подведомственных другим министерствам в организациях, с которыми ведётся сотрудничество,
- данные гидротехнических систем бассейна.

~~Базовая~~ Общая схема потока основных данных гидрографического бассейна Муреш дана на рис.1, на которой сосредоточена информация на уездном уровне, на уровне диспетчера Тимишоара и диспетчера гидрографического бассейна. Эти диспетчера были организованы в Тыргу Муреше и Тимишоаре в 1976 г., для централизации всего потока информации метеорологических, гидрометеорологических данных по случайному загрязнению и качеству воды, а также данные, необходимые для эксплуатации гидротехнических сооружений, что позволяет осуществлять сбор и обработку всех элементов, в которых заинтересованы местные органы, принимающие решения, такие как комиссии и командование по противопаводковой защите и последствий метеорологических явлений.

Кроме обычной системы передачи информации в диспетчере водного хозяйства с 1980 года введена в эксплуатацию автоматическая система сбора и передачи гидрометеорологических данных.

Система автоматических станций была спроектирована с целью своевременного обеспечения с максимальной заблаговременностью данных об осадках и температуре (РТ), особенно, в труднодоступных и отдалённых вонах, а также для наблюдения стока в характерных створах с помощью станций, определяющих и уровень воды (НРТ).

Для концентрации усилий только в зоне эффективного образования паводков, был выбран бассейн верхнего течения р.Муреш, считая створ у Алба Юлия конечным створом образования, откуда практически переходит в створ переката паводковых волн (рис.2), и где боковой приток меньше.

Автоматическая система (рис.3) состоит из 23 станций, из которых 13 станций (РТ) и 10 станций (НРТ). Они оборудованы автоматическим

приспособлением для таяния снега. Зимой плювиометр ведёт измерения в эквиваленте воды. Станции оснащены автоматическим термометром (Т) по принципу термосопротивления, а станции на реках - автоматическим лимнитметром (Н) с потенциометром для передачи данных по измерению уровня. Датчики получают питание от блока EDAS5, который в то же время отбирает данные с датчиков, кодируя их в код телекс для передачи на расстояние по каналам радио. В принципе, система позволяет передавать в диспетчерский центр и другую информацию, переведённую в собственный код. Каждая станция располагает собственной аппаратурой приёма-передачи, связанной подземным проводом, 4 радиорелейных станций для приёма и передачи данных на конечную станцию, связанную с диспетчерским центром сбора и контроля в Тыргу Муреш.

Частотная полоса 156-174 мГц, а аппаратура радио работает в системе ~~дуплекс~~ с номинальной мощностью передачи 1 ватт.

В центре сбора данных находится специальный компьютер, управляющий всей системой сбора данных до их регистрации и дающий тревогу при превышении критических значений, определённых для каждой величины НРТ.

Остальное оборудование центра сбора состоит из системы регистрации данных для их хранения, модуля афишажа данных, телетайпа с перфорированной лентой для введения данных и работы ЭВМ и второго модуля афишажа данных.

Большинство сателитов и реле созданы в управлении водного хозяйства Банат и, по мере их введения в действие, полученные данные регистрировались в обычном гидрометеорологическом потоке данных, что привело к улучшению прогнозов в результате прямой связи с диспетчерским центром. Практически, гидрометеорологическая информационная система управления водного хозяйства носит смешанный полуавтоматический характер, это значит, что гидрометеорологическая сеть системы состоит из гидрометрических и плювиометрических станций с автоматическим и обычным оборудованием.

В настоящее время кодированная информация, передаваемая автоматической системой (импульсы) прямо поступает в ЭВМ НОВА-1220 и затем на конечную установку другой ЭВМ для обработки, находящуюся в вычислительном территориальном центре в Тыргу Муреш, а если в эту обрабатывающую ЭВМ поступают и данные из обычной сети, возможна как обработка данных, так и автоматическое составление прогноза.

Новая система имеет явные преимущества по сравнению со старой:
+ увеличение обеспеченности передачи, замена передачи по телефону

в результате аварий при сильных бурях и дождях, передачей по радиотелефону, что исключает субъективизм обслуживающего персонала, обеспечение приёма в реальное время с автоматических станций, которые входят в процесс расчёта после полного приёма обычной информации сразу используется для оповещения о паводках, возможность применения математических методов в результате автоматической обработки на ЭВМ.

Информация обычных и гидрометрических станций является запасной информацией в случае, когда автоматическая вычислительная система выходит из строя, тогда могут применяться обычные методы расчёта, менее точные, но необходимые.

Кроме имеющейся гидрометрической сети, информационная система располагает сетью так называемых предупреждающих бассейнов. Это небольшие бассейны ($56-100 \text{ км}^2$), репрезентативные для различных односудных физико-географических зон бассейна Муреш, наиболее хорошо оснащённые аппаратурой. Предложение /1/ использовать предупреждающие бассейны основано на быстрой реакции этих бассейнов при небольших дождях. В бассейне верхнего течения Муреша установлены 23 предупреждающих бассейна, из которых 18 в зоне образования максимального стока (плотность 1/ $1/460$).

Общее число гидрометрических станций в сети составляет 28, расположенных в бассейне так, что: 2 - $150/500 \text{ км}^2$ (9); $560/1000$; $5/1000/200$ (6); $2000/4000$ (5) более 4000 км^2 (3).

Гидрометрические станции обычной сети почти полностью оснащены лимнографами и передают информацию по радиотелефонам, 6 станций этой сети оснащены автоматическими станциями типа Плессей НРТ.

Гидрометрические станции сети предупреждающих бассейнов полностью оснащены лимнографами. Кроме этого, 4 станции предупреждающих бассейнов, расположенные в зонах максимального притока воды, оснащены НРТ. Они дублированы обычными радиотелефонами при выходе из строя автоматической установки.

В предупреждающих бассейнах находятся 29 пллювиометрических станций, 17 из которых оснащены пллювиографами, 7 - пллювиометрами и 5 - НРТ. К этому можно добавить 11 пллювиометрических станций, оснащённых пллювиографами с метеорологическими станциями и станциями НРТ, а 20 - оснащены пллювиометрами на гидрометрических станциях.

13 пллювиометрических станций оснащены автоматической аппаратурой РТ. В общем, число станций составляет 79, 54 из которых находятся в зонах образования паводков. Общая плотность пллювиометров по бассейну.

востанавливает 1 станция на 230 км^2 , а в зонах образования паводков + 1 на 153 км^2 .

Общие характеристики пловиометрической сети и гидрометрической сети даны в таблице 1.

+ +
+ +

Диспетчерский центр, через центр сбора и контроля (ССС), софирает все данные из гидрометрической сети.

В центре сбора и контроля гидрометрические данные, полученные по каналам автоматической передачи объединяются с данными, полученными по радиотелефону. Подобное объединение данных обеспечивает нанесение на диск ЭВМ, который составляет гидрологический прогноз.

Пловиометрические или гидрометрические станции, с телефонной связью могут передавать данные прямо в ССС при технических возможностях или через посредство других станций, выполняющих роль реле.

Для автоматической обработки информации разработана /5/ вычислительная программа МАСТЕР, которая на основе данных о количестве выпавших в бассейне осадков, определяет паводковые волны.

Программа не будет рассматриваться подробно, укажем только на то, что определение паводковых волн проводится только на основном водотоке и на основных притоках, пункты которые разделяют водоток на участки. Добегание волны по участку расчитывается при помощи подпрограммы МУСК, применяя модель Маскингама с переменными параметрами /8/. Для определения фактического дождя и гидрографов каждого подбассейна используется ряд моделей таких как: CCAPP /4/ и ИМГ 1 /2/, алгоритм единичного синтетического гидрографа /7/ и др.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. DIACONU, C.
Application des résultats des recherches de microhydrologie aux problèmes de prévision de l'écoulement dans les basins. Rapport Technique no.3369/A/CNCS de l'OMM, WMO, Geneva, Switzerland, 1971
2. DIACONU, C, STANESCU, V.Al.
A mathematical model for flood wave forecasting by means of warning basins. In Hydrol. Sci.Bull.21, No.1, 1976, p.77-80
3. PODANI, M.
Aspecte economice ale apărării împotriva inundațiilor. Studii de sinteză OIDH nr.6/1973, București

4. ROCKWOOD, D.D.
Stream flow synthesis and reservoir regulation.Tech. Report,
North Pacific US Army Corps of Engineers, Portland, Oregon,
S.U.A., 1972
5. STĂNESCU, V.Al.
Operational programme for the hidrometeorological data within
the informational system of flood warning. Meteorology and Hi-
drology Report no.1, Bucharest, Romania, 1978, p. 15 -24
6. STĂNESCU, V.Al.
A flood warning and forecasting system in the Upper Muresch
bazin. Hydrological forecasting. Proceedings of the Oxford Sympo-
sium, April 1980, IAHS-AISH, Publ.nr.129, p.83-89
7. SERBAN, P.
A contribution to the flood propagation computation using the
Muskingum method. Meteorology and Hydrology. Report no.?
Bucharest, Romania, 1976
8. SERBAN, P.
A mathematical model of the "reservoir type designed for flood
forecasting and modelling. Hidrol. Sci. Bull.21,no.1,1976,
p. 140 - 143

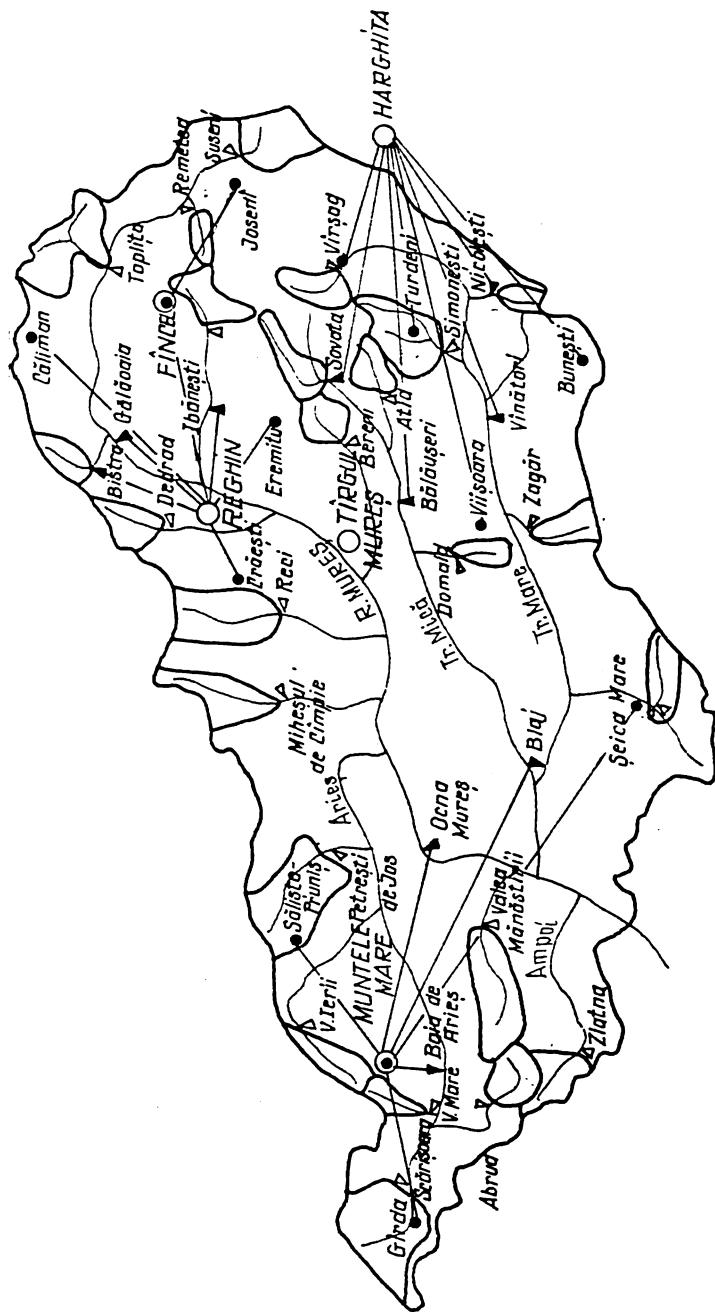
Таблица I

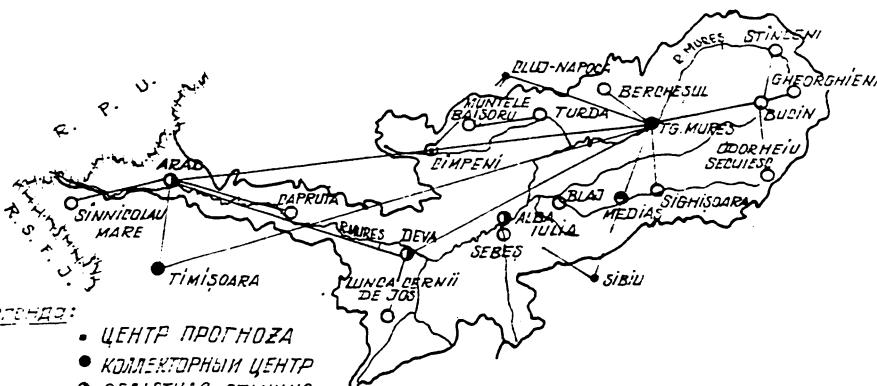
Характеристики гидрометеорологической сети

Зоны образования паводка										Бассейн					
Кол-во станций оборудованных:										Число станций оборудованных					
	HPT	РТ	P	PG	L	Всего	Плот./км ²	HPT	РТ	P	PG	L	Всего	Плот./км ²	
Гидрометрические станции стандартной сети	4	-	-	-	10	14	-	6	-	-	-	22	28	-	
Гидрометрические станции предупр.бассейнов	5	-	-	-	13	18	460	5	-	-	-	18	23	780	
Общее число станций	9	-	-	-	23	32	-	11	-	-	-	40	51	-	
Дождемерные станции (посты)	7	10	16	20	-	53	153	10	13	27	28	-	78	230	

H P T - Автоматическая станция (уровень, осадки, температура)
 Р Т - Автоматическая станция (осадки, температура)
 P - Длительометр
 PG - Цифровограф
 L - Динамограф

FIG. 1





Легенда:

- ЦЕНТР ПРОГНОЗА
- КОМПЛЕКТОРНЫЙ ЦЕНТР
- ЗВЕЗДНАЯ СТАНЦИЯ
- СТАНЦИЯ ГИДРОМЕТЕО
- МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ
- ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Рис. 2



Легенда:

- ① подземный кабель
- ② кабина для лимнинетра
- ③ термометр в будке
- ④ кабина для EDASS
- ⑤ радио
- ⑥ антена
- ⑦ лимнинетр успокоительный калодец
- ⑧ радио и зарядка электрическая
- ⑨ дождемер

Рис. 3

ОБ АЛГОРИТМАХ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОГНОЗАХ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАЕЛАГОВРЕМННОСТИ

Кири Зезулак
Сельскохозяйственный университет
Прага

REZUME

ON REGULARIZATION RULES ALGORITHMS OF WATER RESOURCES SYSTEMS APPLIED TO REAL-TIME FORECASTING

A b s t r a c t. Short-term hydrological forecasting techniques in complex water resources systems are usually question of decision making, constrained to two groups of objective: optimization of user demands on energy and water supply as well as to introduction of the latest information on the hydrological regime in the basin. The hydrometeorological service makes frequently use of data acquisition systems developed originally for convenience of the water project operators.

Existing data processing software need to be sometimes endorsed by modules of compact modelling software to meet the requirements of forecasting service and, perhaps, to help the operator in selection the optimum position of the control systems of the project.

For demonstration, the paper shows design of computerized system of operation rules of the part of the complex water resources system of Bodrog river in eastern Slovakia. The selected system consists of multipurpose reservoir Zemplinska Sirava of part of the river system adjacent to the dam.

ALGORITMISIERUNG DER STEUERUNGSBERECHNUNGEN FÜR WÄSSERWIRTSCHAFTLICHE SYSTEME UND IHRE NUTZUNG FÜR KURZFRISTIGEN HYDROLOGISCHEN VORHERSAGEN

Z u s a m m e n f a s s u n g. Kurzfristige hydrologische Vorhersagen des Abflusses in wasserwirtschaftlichen Mehrzwecksystemen sind Resultate des Entscheidungsprozesses, die berücksichtigen die Steuerung der vorhandenen wasserwirtschaftlichen Anlagen, sowie auch die hydrologische Verhältnisse Einzugsgebiet.

Der Vorhersagedienst kann darum die vorhandenen hydrologischen Netz- und Übertragungssysteme bereits im operativen Dienst in vielen Fällen vorteilhaftig benützen. Diese Netz- und Übertragungssysteme können durch die Systeme der hydrologischen Echtzeitmodellen ergänzt werden.

Als ein konkretes Beispiel der Algoritmisierung der Steuerberechnungen dient der ausgewählten Teil der Ostslowakischen Tieflandes - Zemplínska Síava, der seitens Sammelbecken mit dem anliegenden Teil den Flüssen. Einige allgemeine Forderungen, die für die Entwicklung der Database der hydrologischen Beobachtungen, gezielten zur hydrologische Vorhersage hier zugleich formuliert sind.

1. ИНФОРМАЦИОННО-КОНТРОЛЬНАЯ СИСТЕМА

Время, прошедшее от установки первых автоматических установок сбора гидрологических данных, довольно велико, чтобы можно было требовать их использования в соответствии с настоящими требованиями.

Во многих случаях было замечено, что результаты процесса принятия решений, полученные дежурным гидрологом, незначительно зависят от интенсивности притока данных на рабочий пульт. Существует много причин слабых результатов эксплуатации водных ресурсов (WRS) из которых наиболее важными являются:

- конфликтные ситуации в требованиях использования вод, часто исключающие одна другую,
- несогласованность относительно источников данных, используемых в проектировании эксплуатации водных ресурсов по сравнению с использованием в реальное время,
- методы статистического анализа, применяемые главным образом при проектировании, должны подтверждаться затем детерминистскими методами восстановления, наиболее соответствующими характеру наблюдения и контроля в реальное время,
- слишком много данных оптимальной заблаговременности переправляется и остаётся необработанными и очень мало информации относительно водоснабжения оптимальной заблаговременности остаётся у дежурного оператора,
- отсутствие СОФТВАР гидрологического моделирования, в соот-

вествии с использованием с оптимальной заблаговременностью системы обработки данных,

- отсутствие интереса административных единиц относительно использования пересланных данных.

Что касается контроля водных ресурсов постоянное переплетение между приёмом информации и получением сигналов, неизбежное в оперативной работе, приводит к постоянному повторению цепи процессов, которые должны быть оптимизированы с наименьшим опозданием. Работа системы контроля водных ресурсов идёт в соответствии с годовыми планами, составленными на определённом этапе проектирования. Конечно подобные руководства соответствуют гидрологической ситуации, наблюдаемой до введения в действие проекта. Число параметров, включённых в контроль проекта, увеличивается пропорционально усложнению системы контроля водных ресурсов. Это одна из причин по которой должна быть найдена идеальная система компьютер, доводящая поток данных до дежурного гидролога, но и помогать ему в соблюдении контроля гидротехнической установки.

Что касается прогноза и заблаговременного предупреждения гидротехнической системы, необходимо обсудить некоторые характеристики системы, которая должна быть введена в эксплуатацию в восточной Словакии. В качестве примера был выбран важный участок этой системы, в которую входит водохранилище различного назначения Вихорлат, связанное с гидрографической сетью рек Лаборек, Латорица, Ух, Ондава и Бодрог и расположенное вблизи чешско-венгерской границы. В этой системе контроля способы регуляризации вод в водохранилище тесно связаны с методами гидрологического прогноза, применяемыми в СОФТВАРЕ моделирования.

Общая ситуация, связи между контрольными органами водохранилища и гидрометрическими станциями даны на рис.1.

Основным назначением гидротехнического сооружения является снижение ущерба, наносимого половодьями внутри гидрографической системы, и прежде всего, среза паводка с обеспечением 1% с 600 м³/сек до 100-300 м³/сек на месте плотины. Основным назначением гидротехнических сооружений является снижение максимального расхода очень низкой обеспеченности до 1400 м³/сек при выходе с территории Чехословакии на гидрометрической станции Стреда. Кроме этого, водохранилище накапливает и распределяет воду в ирригационные системы и для других целей. Стандартная программа работы учитывает регуля-

ризацию трёх объёмов: постоянный объём 107,8, полезный объём от 107,8 и 114,35 м и объём снижения паводков от 114,35 и 118,10 м.

2. ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СТАНДАРТНОГО ПЛНА ЭКСПЛУАТАЦИИ

В системах контроля и наблюдения с оптимальной заблаговременностью используются следующие данные:

- данные, характеризующие настоящее состояние гидрологических условий гидротехнической системы и параметров её работы и контроль стока,

- данные по эксплуатации, а также данные немедленного контроля стока, водоснабжения и энергии. Эти данные выдаются одновременно до сдачи в эксплуатацию, и считаются двумя вариантами $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ входа воды в систему (станция X).

3. Резервуар находится на низком уровне между 114,35 и

115,50. Разрешается наполнение резервуара.

Условия половодий в гидрографической сети указывают на опасность превышения предела $1400 \text{ м}^3/\text{сек}$ на станции Стреда

4. При уровне задержки в водохранилище 114,35 необходимо освобождение резервуара.

5. Уровень в водохранилище очень высокий 115,50. Запрещается наполнение резервуара.

6. Резервуар находится в самом высоком положении. Наполнение резервуара разрешается для снижения наводнений вниз по течению от водохранилища.

7. Резервуар находится на максимальном уровне поддержки. Необходимо наполнение для увеличения объёма воды в целях использования в период засухи. Контроль осуществляется в соответствии с со схемой, данной на рис.3. Можно заметить следующую иерархизацию в следующих блоках приёма решений: иерархия 1: арифметическое сравнение наблюдавшихся значений параметров контроля стока с пределами в соответствии с правилами работы (пунктирная линия). Процесс полностью автоматизирован и не требует участия пользователя.

Иерархия 2. Оценка под наблюдением оператора путём запроса ЭВМ менее важного значения. Ожидается ответ от пользователя или этот ответ косвенно содержится в системе и возобновляется в каждый сезон (беспрерывная линия).

Иерархия 3. Оценка путём опроса ЭВМ о поведении внешних систем. В этом частном случае гидравлическая модель реки может опрашиваться по требованию пользователя (двойная беспрерывная линия).

Решения, принимаемые по пунктам от 1 до 7 дают исчерпывающие указания для оценки различных ситуаций системы водных ресурсов. Программа даёт следующие возможности для каждого исполнения:

- выдача в форме таблиц и графиков всех наблюдаемых и расчётных данных,

- рекомендации по оптимизации работы установок по контролю стока в ближайшем будущем для периода, равного заблаговременности прогноза притока воды в водохранилище,

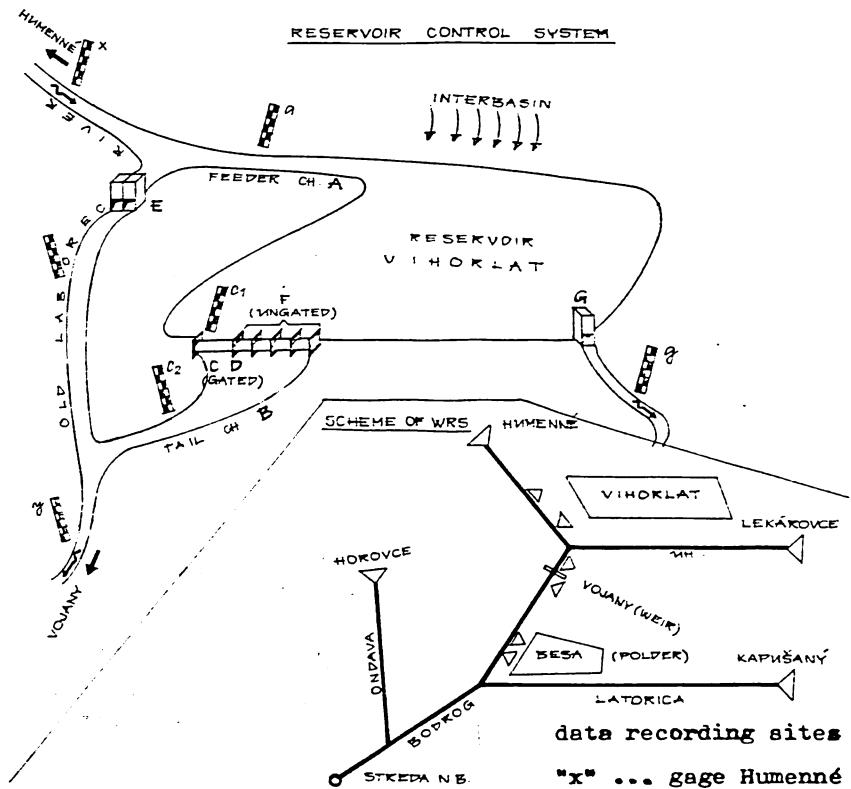
- диагноз системы относительно неподходящего контроля ЭВМ (неисправности или выход из строя вычислительной системы) или возможновение нелегальной ситуации в контрольной системе.

По мере превышения гребня водосливной плотины (без преград) контроль через оператора переводится в программу автоматического снижения в водохранилище. Режим подпора воды преобладает в условиях стока, особенно при половодьях. Таким образом, были предусмотрены итеративные процедуры на большинстве разделов программы, которые будут выдавать гидравлические решения, данные на рис.1, в контрольной системе. В качестве примера, на рис.4 представлен выход из ЭВМ для иллюстрации эксплуатации водохранилища в период летнего паводка 1981 года. Любая другая комбинация временных рядов расходов, уровней воды и состояния гидравлической системы может быть запрошена таким же образом.

3. ВЫВОДЫ

Сильно возросшие потребности использования водных ресурсов часто приводят к безвыходным ситуациям в практике регуляризации стока. Поиски выхода из этих затруднений привели к использованию ЭВМ в центрах сбора гидрометеорологических данных. По мере развития подобный подход является дополнением СОФТВАРА путём использования с оптимальной заблаговременностью пакетов программ гидрологического и гидравлического моделирования.

Перевод с английского языка на русский осуществлён
издателем по просьбе автора.



flow-controlling units :

- "A" ... feeder channel
 $L=4700 \text{ m}$
 $Q_{\max}=570 \text{ m}^3/\text{s}$
- "B" ... tail channel
 $L=2900 \text{ m}$
 $Q_{\max}=310 \text{ m}^3/\text{s}$
- "C" ... outflow regulator
- "D" ... backup outlet
- "E" ... inflow regulator
- "F" ungated spillway
- "G" ... bottom outlet

data recording sites :

- "x" ... gage Humenné system inflow
- "y" ... gage Medov system outflow
- "z" ... gage in feeder ch.
- "c1" .. pool level recorder
- "c2" .. gage in tail ch.
- "c3" .. gate setting of outflow regulator
- "d1" .. gate setting of backup outlet
- "e1, e2" gates setting of inflow regulator
- "g" ... gage in channel below bottom outlet

Fig.1
Water resources system in Eastern Slovakia

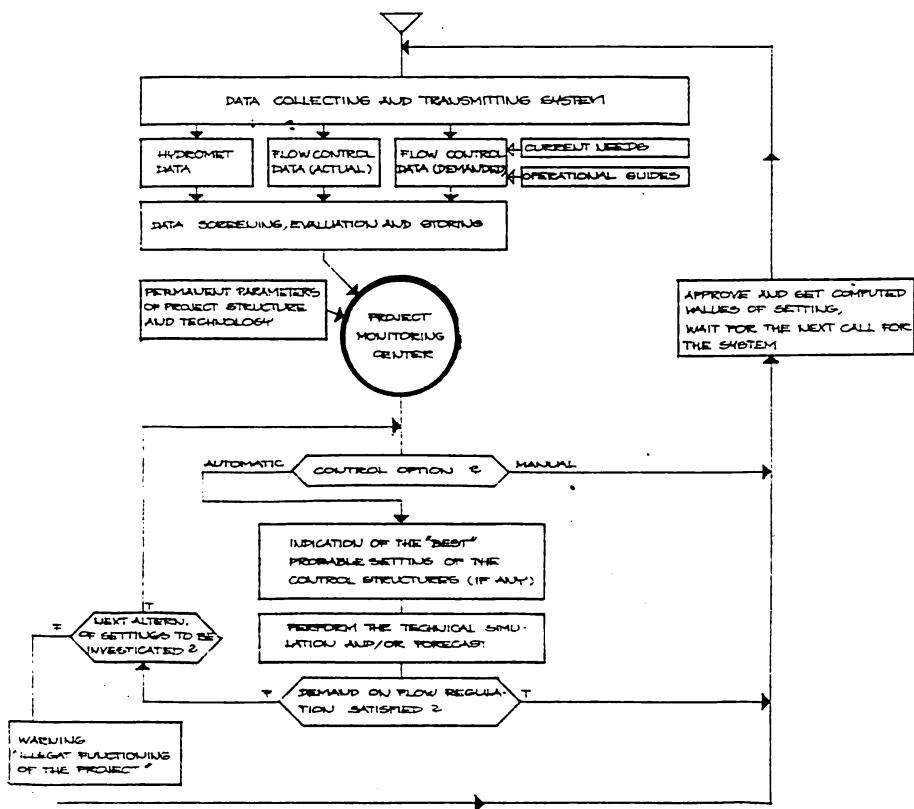


Fig.2
Monitoring system functioning

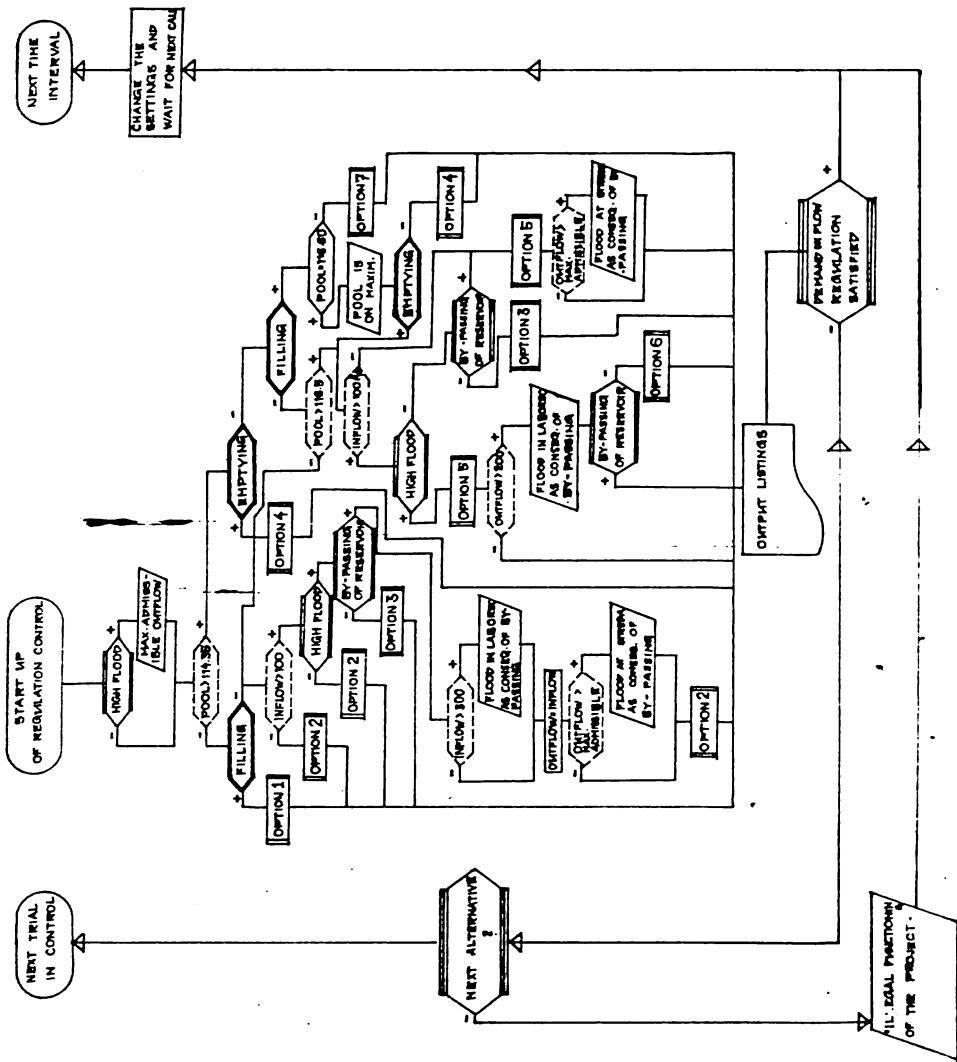


Fig. 3 Automated system of reservoir control

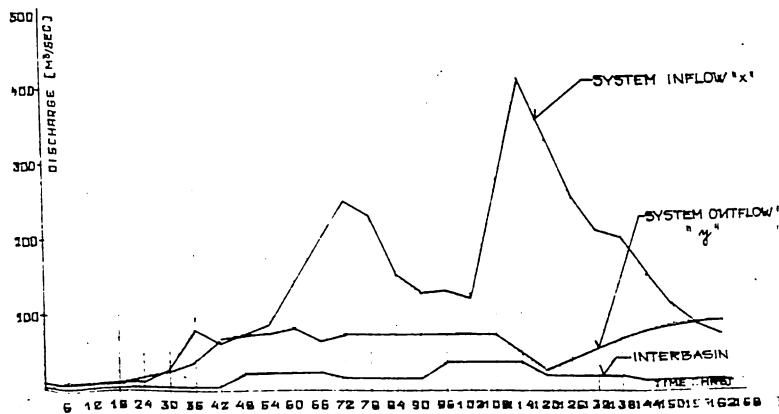
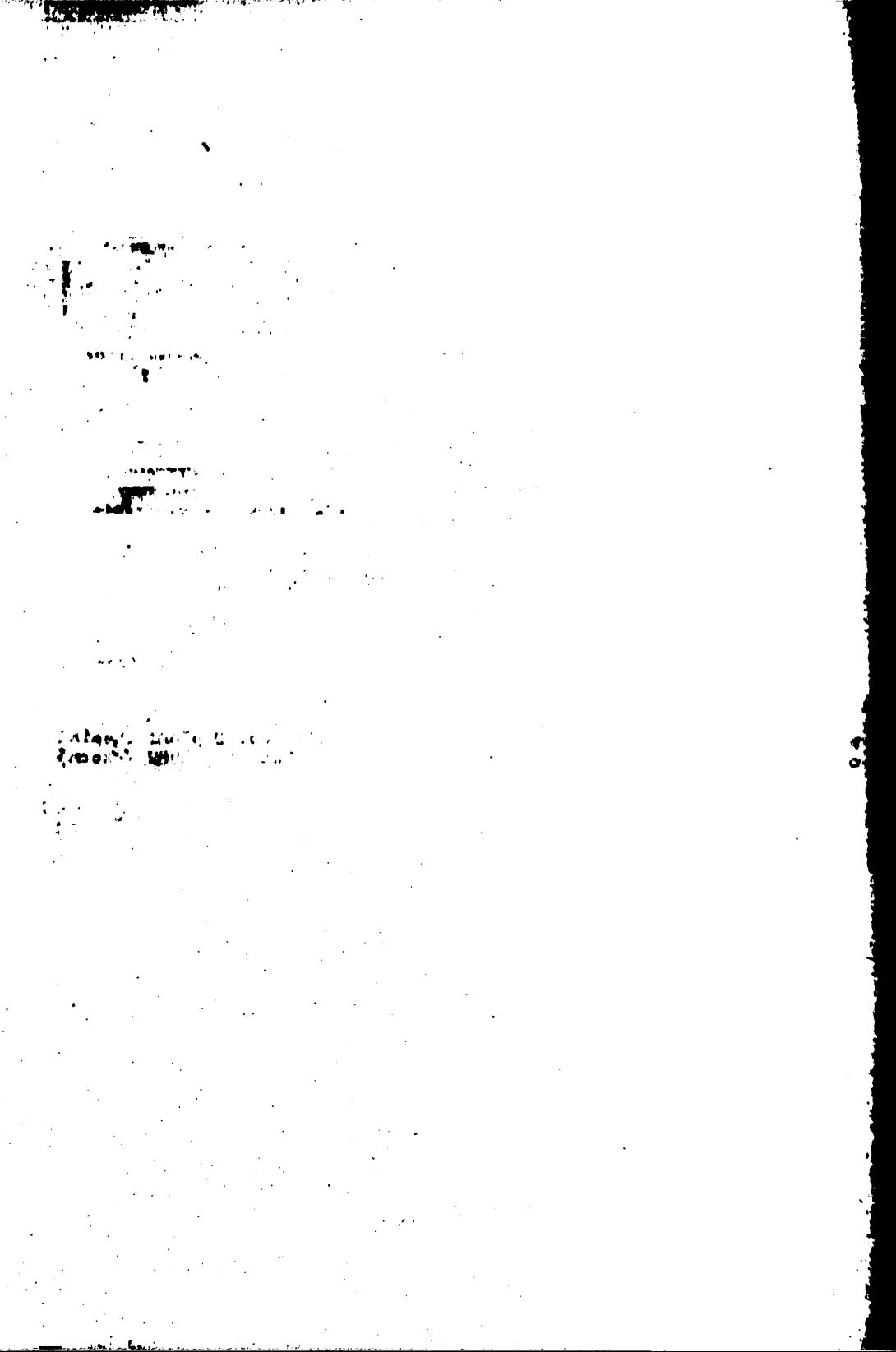


Fig.4
OLLIVETTI computer output

МИТЕРАТУРА

Wolf P., Mathematical model of reservoir regulation, Diploma thesis
of Prague Agricultural University, Agronomical Faculty, 1982 (czech)



EINSATZ UND NUTZEN DES AUTOMATISCHEN MESS- UND INFORMATIONSSYSTEMS IN BAYERN

Dr.-Ing. Erhard Ottmann, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München, Bundesrepublik Deutschland

UTILIZATION OF A COMPUTERIZED WATER MONITORING AND INFORMATION SYSTEM IN BAVARIA

SUMMARY

In many countries automated water monitoring systems are installed and interesting reports have been published specifying the instrumentation, telemetering, and data acquisition and handling. Questions arise concerning the philosophy, the utilization and destination of the equipment. Computerized water monitoring and information systems may serve several purposes: provide data for hydrological services, improve the availability of data, enable the actual use and interactive communication and control, provide information for special tasks such as modelling prediction of various operations and compare this performance with the requirements of state or national laws. The resulting benefits in operation should be set against the costs of installation and the advantage of continuous measurement of parameters.

In this paper ideas and new aspects of the Bavarian computerized water monitoring and information system are discussed. It includes the application of the modern "Bildschirmtext" of the German Post authority, similar to "Viewdata"-, "Teletex"-system, in order to reach and serve all users.

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ИНФОРМАЦИИ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

РЕЗЮМЕ

Во многих странах организованы автоматические системы наблюдения за качеством воды и опубликованы интересные материалы относительно оборудования, телеметрии, сбора и обработки данных. Встает вопрос относительно использования и назначения оборудования. Автоматические системы наблюдения и информации могут быть предназначены для нескольких целей: передавать данные гидрологическим службам, увеличивают количество имеющихся данных, благоприятствуют быстрому использованию, передаче и контролю данных, обеспечивают информацией специального назначения, а также моделирование прогнозов различных операций, наблюдают за условиями перегруженных рек или проверяют работоспособность обрабатывающих заводов и сравнивают эти достижения с требованиями в соответствии с законодательством стран. Полученные результаты превышают затраты на оборудование.

В данной статье анализируются идеи международного совещания относительно практики контроля и автоматизации обработки отработанных вод, и использования водных ресурсов, Мюнхен (20-26 июня, 1981) и представлены новые аспекты автоматической системы наблюдений и информации в Баварии. В статье описывается применение "Bildschirmtext" почты ФРГ, подобно системе "viewdata", "teletex" для обслуживания всех потребителей.

ALLGEMEINES

Die bayerischen Behörden haben gemäß den Wassergesetzen die Aufgabe, Flüsse, Seen, das Grundwasser und ebenso Abwasseranlagen, Kraftwerke und Industriebetriebe zu überwachen. Die Automation und Computer-techniken werden für die Messung, Fernübertragung und Verarbeitung der erfaßten Werte immer wichtiger; denn die verschiedenen hydrografischen, hydrologischen und meteorologischen Daten geben Auskunft über die örtlichen Bedingungen, Abflüsse, die Wassergüte und Einflüsse aus der Atmosphäre. Die Wasserstände, Abflüsse und Niederschläge stammen entweder aus Einzelmessungen oder automatischen Meßeinrichtungen. Die meteorologischen Daten wie Lufttemperatur, Feuchte, Wind und Strahlung sind vor allem für die Vorgänge im Gewässer von Bedeutung. Sie können heute ebenso automatisch und kontinuierlich gemessen werden. Nach dem gegenwärtigen Stand der Technologie lassen sich die wichtigsten Daten in der Hydrologie verhältnismäßig genau, automatisch und kontinuierlich messen. Dadurch ist es möglich, aktuelle Informationen für interaktive Modelleinsätze und die amtliche Gewässerüberwachung einzusetzen.

Grundsätzlich müssen wir unterscheiden, wofür solche Informationen benötigt werden. In der Hydrologie brauchen wir eine Beschreibung des dynamischen Geschehens im Gewässer. Das gilt ebenso für die Gewässergüterwirtschaft. Hauptsächlich sind kontinuierlich gemessene Daten jedoch für die laufende Gewässerüberwachung und Bewirtschaftung erforderlich. In diesen Fällen ist es richtig und sinnvoll, ein automatisches wasserwirtschaftliches Meßsystem zu betreiben. Es zeigt sich immer mehr, daß viele Aufgaben nicht mehr ohne Hilfe der Automation und der elektronischen Datenverarbeitung erfüllt werden können.

DATENERFASSUNG

In Bayern gibt es gegenwärtig für die verschiedenen hydrologischen Aufgaben

700 Wasserstandspegel

50 Niederschlagsmeßstellen, die in der eigenen

Verwaltung, also nicht vom Deutschen Wetterdienst, betrieben werden
3000 Gewässergütemeßstellen (chemisch-biologisch)
10000 kommunale und Industrie-Kläranlagen
1000 Grundwassermesstellen.

Das automatisierte Meßnetz besteht allerdings nur aus 120 Meßstationen, die selbstätig und kontinuierlich arbeiten.

50 Pegel
30 Niederschlagsmeßstellen (für 5 min-Regenintensität)
10 Gewässergütemeßstationen
30 Kontrollstationen für Kraftwerke.

Außer den laufenden automatischen Messungen müssen viele Daten nach Probenahmen, Laboranalysen und Handeingabe in das Gesamtsystem integriert werden. Erst alle Informationen zusammen nützen der Wasserwirtschaftsverwaltung. Die Datenerfassung zeigt sich somit in ihrer Komplexität; das automatisierte Meßnetz ist von der Zielsetzung her mit Sicherheit der kleinere Teil, der spezielle Aufgaben zu erfüllen hat. Das geht auch aus den Berichten von vielen Autoren hervor, die über dieses Thema bei dem letzten IAWPR-Workshop im Juni 1981 in München referiert haben [1].

WASSERWIRTSCHAFTLICHES MESS- UND INFORMATIONSSYSTEM

Das automatische Meßnetz, das in Bayern in den letzten 5 Jahren aufgebaut wurde, ist die Grundlage für die Nutzung der Daten in einem Informationssystem. Sie müssen von weit verstreuten Meßstellen an Gewässern gesammelt und nach Verarbeitung und Auswertung an die Anwender weitergegeben werden. Diese Aufgaben werden in der Regel von einem Prozessrechner erledigt, der in Bayern mit Telefonwahlverbindungen und mit speziellen parallel-seriellen Codes mit den Außenstationen verbunden ist. Informationen fließen über diese Leitungsverbindungen

in beide Richtungen [2].

Daten gelangen sowohl von den Meßstationen automatisch als auch durch Handeingabe in das System. Sie müssen in der Meßnetz- und Rechenzentrale auf Plausibilität geprüft, verarbeitet und abgespeichert werden. Verarbeitungsprogramme werten diese Informationen aus und stellen sie den Anwendern in Form von Ausdrucken, Grafiken oder Bildschirmdarstellungen zur Verfügung. Ein wichtiges Ziel des Gesamtsystems ist außer der Datenerfassung vor allem die Information und Kommunikation mit den Anwendern. Die Konfiguration des Meß- und Informationssystems wird in Abb. 1 dargestellt.

Es muß erwähnt werden, daß für die Datenerfassung, die Plausibilitätsprüfungen, die Datenabspeicherung und Auswertung ein umfangreiches Softwarepaket und entsprechende Hardwareeinrichtungen erforderlich sind. In einer Datenbank sind die hydrologischen, chemischen, biologischen usw. Daten strukturiert. Die zentralen Verarbeitungsvorgänge (real-time) werden von einem Prozessrechner PDP 11/60 ausgeführt, der mit einer IBM 3033-Rechenanlage gekoppelt ist.

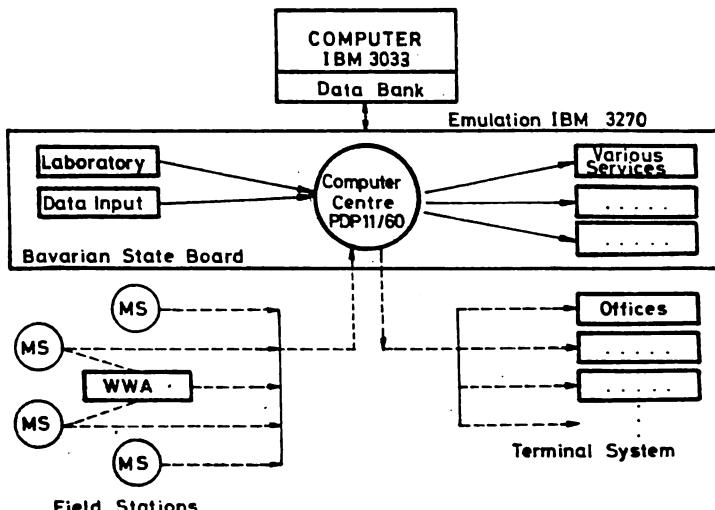


Abb. 1: Wasserwirtschaftliches Meß- und Informationssystem
Water monitoring and information system

In Abb. 2 ist die Konfiguration des Datenprozessors Allgomotic dargestellt, der in den Außenstationen installiert ist. Die verschiedenen Funktionen, z. B. automatische Datenerfassung, Labordateneingabe, Sprachausgabe von Momentanwerten sowie die Datenfernübertragung und der Verbindungsaufbau bei Grenzwertüber- oder -unterschreitungen sind ersichtlich. Das Gerät ist in moderner modularer Technik aufgebaut und für die wasserwirtschaftlichen Meßaufgaben speziell ausgerichtet worden.

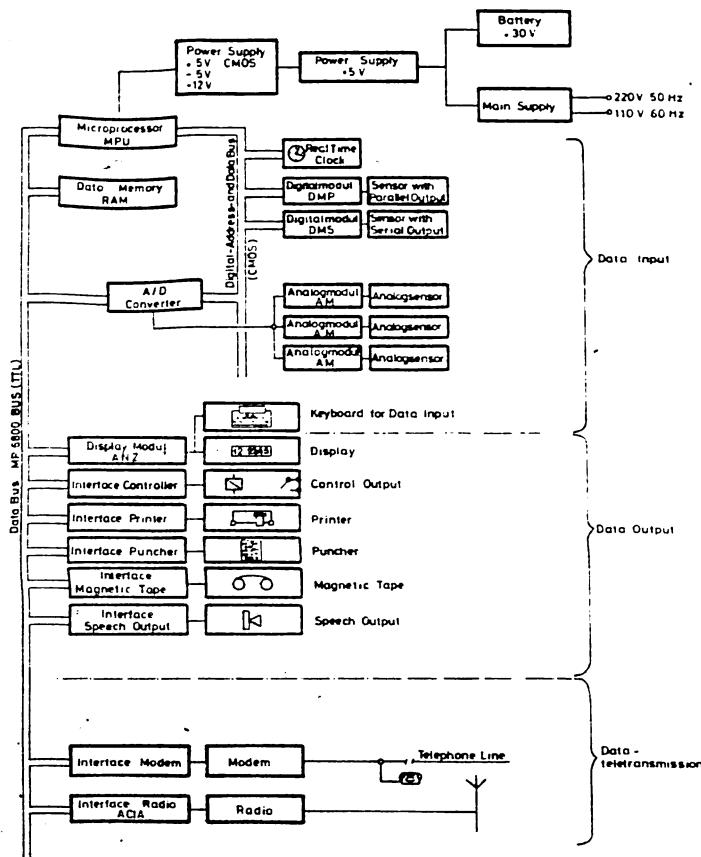


Abb. 2: Konfiguration und Funktionen des Datenprozessors Typ Allgomotic im gewässerkundlichen Meßnetz Bayerns

Configuration and functions of "Data processor Allgomotic"

ZIELSETZUNG UND AUFGABEN DES SYSTEMS

Das wasserwirtschaftliche Meß- und Informationssystem wurde straff auf die Ziele und Aufgaben der Wasserwirtschaft ausgerichtet. Die gewonnenen Informationen müssen deshalb auch möglichst sicher und für die aktuellen Aufgaben repräsentativ sein. Sehr oft stützen sich hierauf wichtige Entscheidungen. Aktuelle und schnell verfügbare Meßwerte sind für die Organisation und die Durchführung hydrologischer Dienste von großer Bedeutung. Sie sind die Grundlage für [3]

- einen wirkungsvollen Hochwassernachrichtendienst, der in dem Voralpenland zur Zeit der Schneeschmelze und bei Sommertiefen besonders wichtig ist; mit Hilfe eines Niederschlagabflußmodells [4] wird prognostiziert,
- Alarm- und Einsatzpläne an stark belasteten Gewässern und bei Unglücksfällen,
- die Steuerung und Bewirtschaftung von Wasserspeichern; ebenso für die Überleitung von Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet in Nordbayern,
- die Überwachung von Gewässern, von Kraftwerks- und Abwasseranlagen, von Industriebetrieben nach den Auflagen und Bedingungen von Wasserrechtsbescheiden,
- alle hydrologischen Aufgaben im Bereich der Planung, Forschung usw.

Das wasserwirtschaftliche Meß- und Informationssystem dient also einmal der Hydrologie und erfüllt desweiteren spezielle Aufgaben bei der Gewässerüberwachung und in der Wasserwirtschaft. Es sichert die Verfügbarkeit der Informationen und ermöglicht die aktuelle Nutzung, die interaktive Kommunikation sowie die Bewirtschaftung unter Zeitbedingungen. Diese Anforderungen müssen für Hochwasservorhersagen mit Hilfe mathematischer Modelle als auch für eine wirksame Gewässerüberwachung erfüllt sein.

NUTZEN DES SYSTEMS

Außer der Nutzanwendung für hydrologische Aufgaben werden 3 wichtige Aspekte deutlich

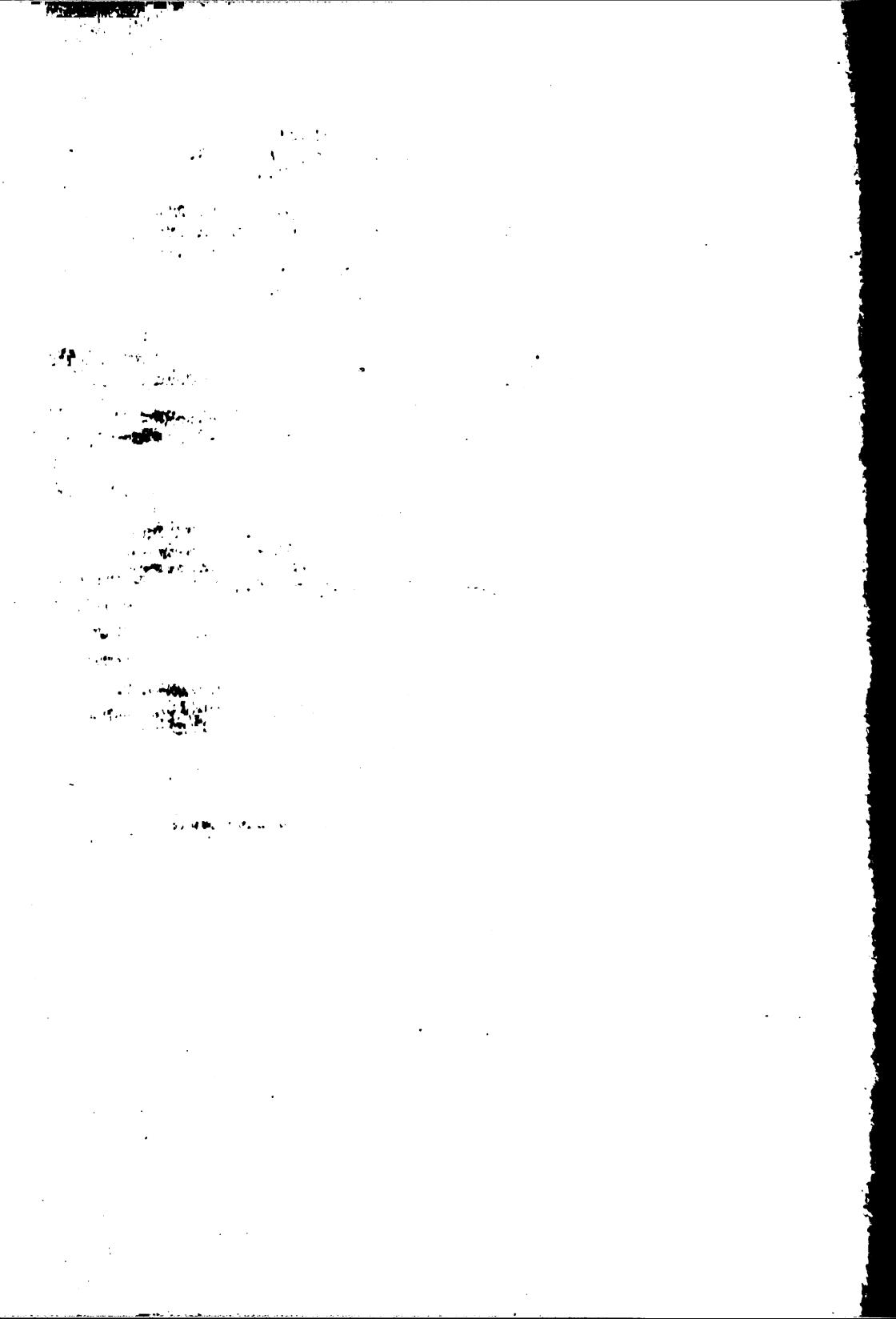
- die Automation und Modernisierung der gewässerkundlichen Meßeinrichtungen
- die Erfassung, Verarbeitung und Verwendung der Informationen mit Hilfe moderner Computer und Techniken
- die Verbesserung und Rationalisierung administrativer Aufgaben.

Ein Vergleich von Nutzen und Kosten des Systems ist nicht einfach, denn es müssen die bisherigen Methoden mit den modernen Möglichkeiten und der größeren Effizienz verglichen werden. Die Gesamtkosten sind sicherlich nicht niedrig, aber die Investition dürfte gut angelegt sein, da die elektronische Datenverarbeitung, die Elektronik und Nachrichtentechnik enorme Möglichkeiten eröffnen und künftig weitere Kostensenkungen zu erwarten sind.

Als Beispiel sei der hochmoderne Informations- und Kommunikationsdienst der Deutschen Bundespost "Bildschirmtext" genannt (Synonyme "Viewdata" (Prestel), "Teletex", "Captain"). An Stelle der sehr aufwendigen Computer-Displays werden Fernsehgeräte verwendet, die mit Decodern und Tastaturen ausgestattet sind. Der Verbindungsauflbau erfolgt im öffentlichen Telefonwählnetz zu den Vermittlungsstellen und Rechnern der Post [5].

LITERATUR

- [1] Kohonen T., Nanbo K. und Kunogi R., Kalweit H., Günneberg F., Kunz H., Plate V., Hanson C.A., A.G. Cockburn und Furley R.J., Cope J., Moore R.V. und Rodda D.W.C.
Reports to Theme 10 - Data Acquisition and Use in River Management - of the International Workshop on Practical Experiences of Control and Automation in Wastewater Treatment and Water Resources Management, Munich 20-26 June 1981, Wat. Sci.Tech. Vol. 13, Munich, pp. 619-714, IAWPR/Pergamon Press Ltd. 1981
- [2] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
"Merkblatt zur Fernübertragung wasserwirtschaftlicher Daten mit dem D 20 P-Modemsystem", Heft 118, 1980, Verlag Paul Parey, Hamburg, F.R. Germany
- [3] Strobel L., Ottmann E., Leeb H., Ihl O.
Fachtechnisches Seminar Meßtechnik, Automation und Datenverarbeitung bei der Gewässerüberwachung, Informationsbericht 2/1978 des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, 8000 München 19, Lazarettstr. 67, F.R. Germany.
- [4] Unbehauen W.
Gegenwärtiger Stand und künftiger Ausbau des Hochwassernachrichtendienstes im bayer. Donaugebiet, Vortrag bei der IX. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Budapest, 5.-10.9.1977
- [5] Deutsche Bundespost
Verschiedene Veröffentlichungen über Bildschirmtext



II.

КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ С ОСОБОЙ ССЫЛКОЙ НА ПРОГНОЗ ПАВОДКОВ

KURZFRISTIGE VORHERSAGE MIT BESONDERER BEACHTUNG
DER HOCHWASSERVORHERSAGE

THE SHORT-TERM FORECASTING WITH PARTICULAR
EMPHASIS ON FLOOD FORECASTING

~~WORLD AIR SERVICE~~

~~WORLD AIR SERVICE~~

ЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА УРОВНЯ ВОДЫ
НА НИЖНЕМ УЧАСТКЕ РЕКИ БОДРОГА

Балаж Гаузер, Научно-исследовательский центр водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

Иштван Контур, Будапештский политехнический университет, Будапешт, Венгрия

REZUME

LINEAR WATER LEVEL FORECASTING MODELS FOR
THE LOWER PART OF RIVER BODROG

Different linear forecasting models are presented for the lower part of River Bodrog for the stations Sárospatak and Felsőberecki. The number of stations considered is eight. Tributary flows on the Latorica, Laborec, Ondava and Uh rivers are also taken into account. Forecasts with different lead times are computed. Goodness of forecast is measured by the coefficients of correlation and efficiency, respectively. To estimate the parameters of the models an 8×8 covariance matrix is used in function of the lead time and the structure of the model.

ANWENDUNG LINEARER WASSERSTANDSVORHERSAGEMODELLE
AN DER UNTERE STRECKE DES BODROG FLÜBES

Es wurden verschiedene lineare Vorhersagemodelle für die untere Strecke des Bodrogs ausgearbeitet mit Zielstationen Sárospatak und Felsőberecki. Die Anzahl der berücksichtigten Stationen war 8, die berücksichtigten Zuflüsse: Latorca, Laborc, Ondawa, Ung. Vorhersagen verschiedener Vorgabezeit sind gemacht worden. Die Gültigkeit der Vorhersagen wurde mit dem Korrelationsindex und der Effektivitätskoeffizient gemessen. In den Normalgleichungen der Parameterschätzung der Vorhersagemodelle sind 8×8 Kovarianzmatrizen benutzt worden, bestimmt von der Modellstruktur.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть территории водосбора реки Бодрога (11565 км^2) находится на территории Чехословакии и Советского Союза. Три процента площади водосбора приходится на Венгрию. Гидрологический режим рек верхней части водосбора определяется влиянием горной местности, но-

венгерский участок реки Бодрога имеет уже равнинный характер. а выше устья на 25-30 км находится под влиянием подпора основной реки Тисы. Данное обстоятельство принималось во внимание при подборе методики прогнозов и моделей.

В практике гидрологических прогнозов все большее значение приобретает применение ЭВМ и внедрение сложных вычислительных методов. При решении конкретной технической задачи следует применять те методы, которые обеспечивают сохранение физического содержания параметров модели. Результаты наших исследований были испытаны модели, возможность применения которых мало изучена для водосборов данного размера. В рамках нашей работы основной упор ставился на сравнение и определение возможностей применения отдельных моделей.

ИССЛЕДУЕМЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА УРОВНЕЙ ВОДЫ

РЕЗЮМЕ

На первом шагу рассматривались линейные регрессионные модели различного типа. Общая форма этих моделей приведена в формуле (1), где y_{i+1} - значение прогнозируемой величины y в момент времени $t = i + 1$.

$$y_{i+1} = a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \dots + a_j x_{ji} + \dots + a_n x_{ni} \quad (1)$$

Зависимость (1) может быть представлена в матричной форме

$$\underline{y} = \underline{\underline{x}} \cdot \underline{a} + e; \quad \underline{y} = \hat{\underline{\underline{x}}} \cdot \underline{a} \quad (2)$$

(N.1)(N.n) (n.1)(N.1)

где: \underline{y} - расчетное (прогнозное) значение y , e - ошибка прогноза.

Задача заключается в определении вектора параметров \underline{a} при использовании выборки из N элементов. Опуская вывод формулы, приводим зависимость для расчета вектора параметров

$$\underline{a} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (\underline{\underline{R}}_{xx})^{-1} \cdot \underline{\underline{E}}_{xy} \quad (3)$$

где: $\underline{\underline{R}}_{xx}$ - корреляционная матрица, $\underline{\underline{E}}_{xy}$ - корреляционный вектор и σ_x - средние квадратичные отклонения рядов.

Рассматривались три типа линейных регрессионных моделей. В первом типе при расчётах исходили из значений уровней воды так называемые модели уровней ; во втором типе исходными значениями являлись разницы уровней воды за определенные промежутки времени так называемые разностные или Δ модели ; в третьем типе исходные данные смешанные смешанные модели .

Модели оценивались в зависимости от ошибки прогнозов, которая состоит из двух составляющих: из среднего квадратичного отклонения ошибки σ_e в зависимости (2), указывающего на недостатки линейного представления модели, и из ошибок оценки параметров σ_{yo} . Эти две составляющие определяют полную ошибку.

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_{yo}^2} \quad (4)$$

В ходе наших исследований пришли к следующим заключениям:

а) Величина ошибки прогнозов в значительной степени зависит от уровней воды, преобладающих в периоде выпуска прогнозов. Приближаясь к экстремальным значениям (см. рис. 4), σ_{yo} и, следовательно, σ_y возрастают по параболе (рис. 1).

б) Рост ошибок в зависимости от уровней наименьший в случае моделей уровней.

в) Модели уровней и смешанные модели не способны действовать в случаях, когда происходят изменения кривой расходов отдельных станций, данные которых принимаются во внимание при расчетах, и установление корреляционных связей произведено по прежним выборкам с отличающимися параметрами кривых расходов. Эта проблема может быть решена применением рекурсивных моделей, но это предполагает непрерывный режим прогнозирования. Если известна новая кривая расходов, то можно ввести необходимую коррекцию без обновления корреляционной зависимости (см. рис. 2).

г) Имея лишь данные об уровнях, следует применять разностные модели. Модели уровней и смешанные модели можно применять при известных кривых расходов или при рекурсивной оценке параметров.

В исследуемых моделях значения авто- и кросскорреляции определялись по полному имеющемуся ряду данных об уровнях, поэтому эти модели учитывают средние условия. Очевидно однако, что разности уровней не могут полностью характеризовать режимные изменения при различных наполнениях русла.

Недостатки такого рода могут быть исключены использованием данных о расходах. Имеющиеся кривые расходов аппроксимируются кривым формы:

$$Q = ah^b$$

Корреляционные связи между расходами отдельных створов можно легко получить, таким образом, получаем линейную регрессионную модель с точки зрения связи расход-расход.

Ошибка прогнозов, выраженная в сантиметрах, изменяется по другому в зависимости от формы кривых расходов. Положительные и отрицательные ошибки имеют средние квадратичные отклонения, отличающие друг от друга.

Опыт показал, что точность прогнозов по расходам ниже точности моделей уровней. Аппроксимация кривых расходов привела к большим погрешностям, а вместе с тем и к увеличению числа и неопределенности параметров. Возможность практического применения модели ограничена наличием фактических данных о расходах.

Корреляционные модели реализовались составлением машинных программ на языке ФОРТРАН для ЭВМ Р-32 Будапештского политехнического университета. Применяемый алгоритм дал возможность проводить корреляционные расчеты и при пробелах в рядах наблюдений. Для расчета корреляционной матрицы расходов использовали видоизмененную форму программы в режиме непосредственного воздействия с терминального устройства.

В ходе испытания моделей параметры оценивались рекурсивным способом и, хотя это увеличило объем вычислений, достигли повышения точности. Помехи, связанные с изменением зависимости уровней и расходов воды, могут быть исключены таким образом.

На последующем этапе исследований использовались модели линейных каскадов: каскадная модель типа Нэша предполагает одностороннее движение воды и может быть применена на участках рек со значительными уклонами; вторая обобщенная каскадная модель допускает двустороннее движение воды и дает возможность для учета подпорных явлений, поэтому ее целесообразно применять на участках рек с незначительными уклонами (рис. 3).

При применении каскадной модели Нэша речная система моделировалась в виде трех параллельно подключенных каскадов. Функция влияния (единичный паводок) аппроксимировалась функцией Гамма-2 распределения. Свертывание производилось по интегралу Диамеля.

В целях сравнения результатов анализировалось совпадение фактических и расчетных рядов (рис. 3).

ВЫВОДЫ

Вышеуказанные модели были испытаны в условиях водосбора реки Бодрога. Прогнозы с заблаговременностью в 1 сутки выпускались для створа Стреда над Бодрогом. По результатам исследований было установлено, что без рекурсивной оценки параметров следует использовать модели разностного типа из-за недостаточной освещенности условий расходов в отдель-

ных створах.

Каскадная модель типа Нэша давала менее удовлетворительные результаты. Причина этого заключалась в том, что частота наблюдений и небольшие расстояния между створами не дают возможность определять реальные параметры каскадов.:

Для дальнейшего усовершенствования прогнозирования можно рекомендовать следующее:

- использование информации о режиме работы водохранилищ на верхнем участке водосбора, особенно это касается периода паводков;
 - автоматизированная система сбора данных решала бы большинство проблем, связанных с настоящей практикой сбора и обработки данных;
 - целесообразно отдельно определять корреляционные зависимости для различных условий наполнения русла;
- ~~жесткость~~ расчетов можно повысить введением гидравлических и квазигидравлических схем.

Учет данных рекомендаций представляет возможность для усовершенствования системы гидрологических прогнозов реки Бодрога.

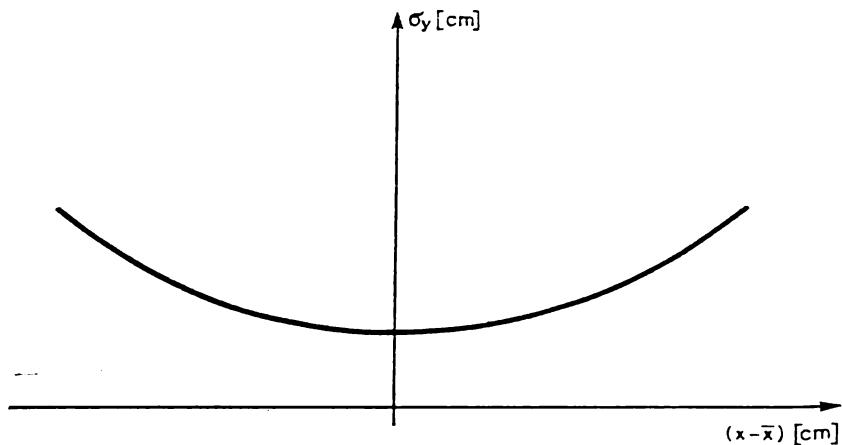


Рис. 1

Изменение ошибок прогноза в зависимости от уровня воды

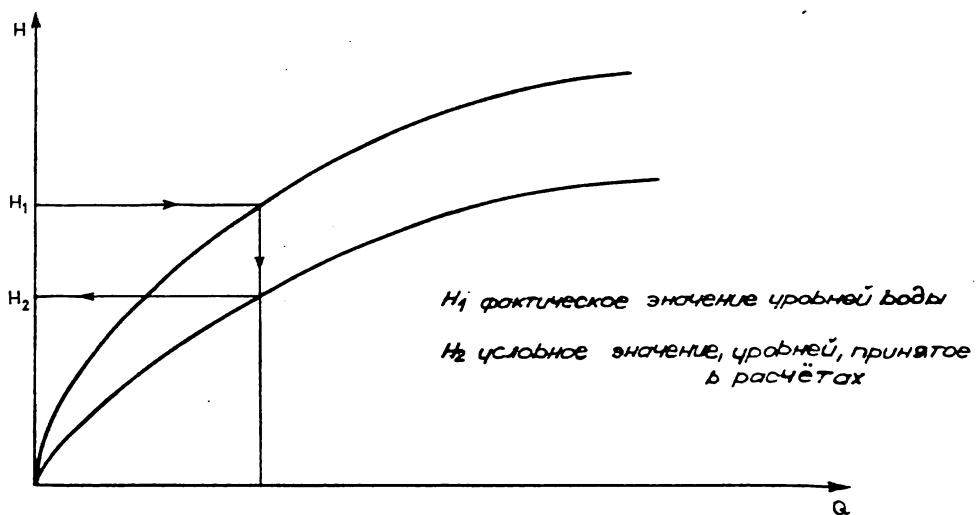


Рис. 2

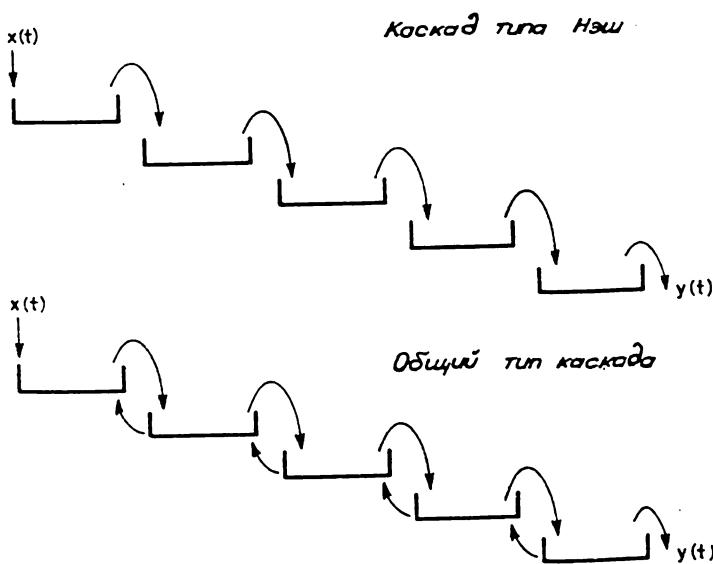


Рис. 3

Два типа линейной каскодной модели

1979 Sheda nad Bodrogom

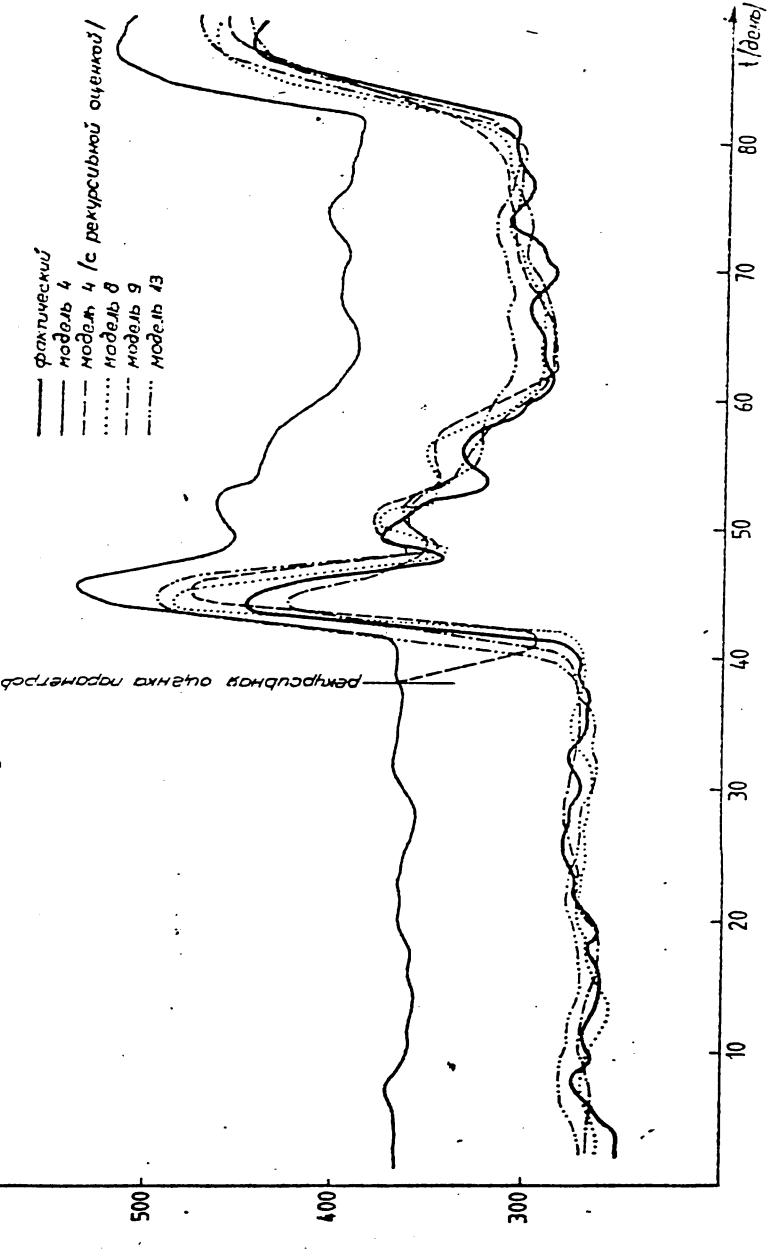


Рис. 4

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СРЕДНИХ ЕЖЕДНЕВНЫХ РАСХОДОВ РЕК РУМЫНИИ, ВПАДАЮЩИХ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ "КЕЛЕЗНЫЕ ВОРОТА"

Петру Шербан, Валентина Унгуряну
Институт метеорологии и гидрологии
Бухарест - Румыния

REZUMED MODEL FOR INFLOW DAILY DISCHARGES FORECASTING, IN THE IRON GATE RESERVOIR FROM ROMANIAN RIVERS

Abstract. Mean daily discharges can be forecast using a model which comprises the following main parts:

- transformation of the measured precipitation into effective rainfall using a correlation method;
- calculation of the daily hydrograph using a two parameters equation;
- routing the hydrograph using multiple non-linear regression method.

Using the model we can forecast the mean daily discharges for the following rivers: Bega, Timiș, Birzava, Caraș, Nera and Cerna. Forecast lead time for the Iron Gate reservoir is maximum five days depends on the morphometric characteristics of the basins.

VORHERSAGEMODELL DER TÄGLICHEN MITTLEREN ABFLÜSSE DER RUMANISCHEN FLÜSSE, DIE IN DEN STAUSEE EISERNES TOR MÜNDEN

Zusammenfassung. Die täglichen mittleren Abflüsse können mit Hilfe eines Modells vorhergesagt werden, das folgende Vorgänge erfasst:

- Verwandlung der Niederschläge in "Netto" Regen
 - Modellierung des "Netto" Regens in Hydrographen des Abflusses
 - Fortpflanzung der Hochwasserwellen im Flussbett
- Für folgende Flüsse wird die Vorhersage angegeben: Bega, Timiș, Birzava, Caraș, Nera, Cerna.
Die Vorhersagedauer beträgt 1-5 Tage und hängt von den geographischen und morphologischen Gegebenheiten der Einzugsgebiete ab.



Рис.1 Гидрографическая площадь Банат
Гидрометрические станции для которых
составляются гидрологические прогнозы

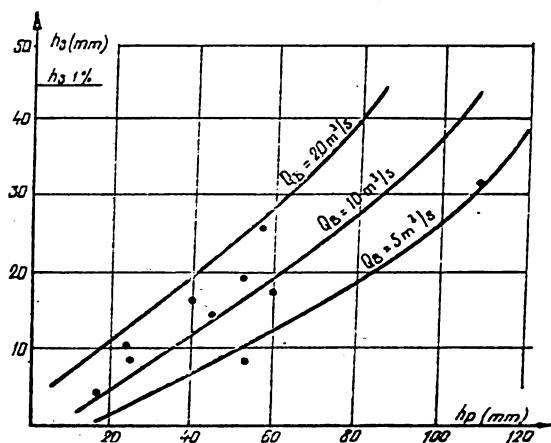


Рис. 2 Соотношение между количеством осадков и стёкшим слоем в зависимости от основного расхода на гидрометстанции Балинц на р.Бега

На ХХУП заседании смешанной румыно-югославской комиссии по строительству гидроузла "Железные Ворота", было внесено предложение об улучшении гидрологических прогнозов на реках, впадающих в водохранилище "Железные Ворота", в целях установления наиболее оптимального режима эксплуатации гидроэлектростанции Железные Ворота I.

Для оптимального режима эксплуатации гидроэлектростанции необходимо, чтобы заблаговременность гидрологических прогнозов не превышала 5 дней, в зависимости от возможностей, ограниченных гидрографическими характеристиками бассейнов, гидрометеорологической информацией и расположением рассматриваемых речных бассейнов по отношению к водохранилищу Железные Ворота.

Реками Румынии (рис. I), для которых заблаговременность прогноза составляет 5 дней или менее, по отношению к водохранилищу Железные Ворота (табл. I) и, для которых необходимо составление ежедневных прогнозов средних расходов, являются следующие: Мурешу, Бега, Тынтул, Бырзава, Карамул, Нера и Черна.

Прогноз средних ежедневных расходов для этих рек может быть составлен при помощи модели Превик и/или по методу множественных корреляций. Модель Превик применяется для гидрографических бассейнов площадью $F \in (500-2000) \text{ км}^2$, т.е. для бассейнов с продолжительностью подъёма гидрографа от 24 до 48 часов. По методу множественных корреляций можно получить добегание расходов, прогнозированных по модели Превик для среднего и нижнего течения рек.

МОДЕЛЬ ПРЕВИК

Трансформация дождя в расход осуществляется при помощи двух операций I/:

- трансформация осадков в стокообразование
- моделирование стокообразующих осадков в гидрограф расходов.

Стокообразующие садки (h_s) - соответственно коэффициент стока (α) - определяются на основе корреляций типа (рис. 2):

$$h_s = f(h_p, Q_B) \quad (I)$$

где:

h_p - средний дождь по бассейну

Q_B - расход (основной), предшествующий паводку.

Трансформация гистограммы стокообразующих осадков в гидрограф

Таблица I

Период заблаговременности прогнозов

№	РЕКА	СЕЧЕНИЕ	F [Km ²]	D. A.	
				[ЧАСЫ]	[ДНИ]
1	MURES	RADNA	26567	0	0*
2	MURES	ARA.D	27056	24	1
3	MURES → TISA	NOVI DECEI		~ 120	~ 5
4	BEGA	SALINT	1064	16	
5	BEGA → TIMIS	GRĀNICERI	5790	57	~ 2
6	BISTRA	VOISLOVA	404	3	
7	BISTRA → TIMIS	LUGOJ	2706	34	~ 1
8	TIMIS	CARANSEBES	4072	7	
9	T 115	LUGOJ	2706	27	
10	TIMIS	GRĀNICERI	5790	76	~ 3
11	TIMIS	LAC P. DE FIER		~ 120	~ 5
12	BIRZAVA	MONIOM	309	9	
13	BIRZAVA	GĀTAIA	721	29	
14	BIRZAVA	PARTOS	933	59	~ 2
15	BIRZAVA → TIMIS	LAC P. DE FIER		~ 120	~ 5
16	CARAS	VĀRĀDIA	877	15	
17	CARAS	LAC P. DE FIER		26	~ 1
18	NERA	NAIDĀS	1319	20	
19	NERA	LAC P. DE FIER		25	~ 1
20	CERNA	TOPLET	4460	14	
21	CERNA	LAC P. DE FIER		16	

* Прогноз расхода для Арада выпускается в момент прохода расхода у Радни

** Берётся заблаговременность р.Муреш по отношению гидроствора Нови Бечи на р.Тиса и т.д.

Таблица 2

Коэффициент а (мм/С°сутки)

ВОЗМОЖНЫЕ СИТУАЦИИ	g	02 - 0,3	0,3 - 0,45
ОБНАЖЕННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ		1,5	1,9
ЗАЛЕСЕННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ		1,1	1,4
ДОЖДЬ НА СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ		2	2,4

расходов осуществляется при соотношении:

$$Q_j = K_r Q_{j-1} + X R_j + (1-X-X_r) R_{j-1} \quad (2)$$

в котором:

- Q_j, Q_{j-1} - средний расход j , соответственно $j-1$ в $\text{м}^3/\text{с}$
- R_j, R_{j-1} - средний слой стока за день j , соответственно $j-1$ в $\text{м}^3/\text{с}$
- K_r - коэффициент истощения гидрографа расходов
- X - коэффициент, указывающий какая часть дождя стекает в тот же день

Слой стока определяется при помощи формул:

$$R = (h_p + M) \alpha \cdot \frac{F}{86,4} \quad (3)$$

$$R = (h_s + \alpha M) \frac{F}{86,4} \quad (4)$$

где:

α - является коэффициентом стока. При паводках в результате снеготаяния или при смешанных паводках этот коэффициент определяется довольно трудно. Обычно, в начале таяния коэффициент колебается от 0 до 0,2. По мере таяния снежного покрова коэффициент увеличивается до 0,4 - 0,5, достигая 0,7 - 0,8, когда степень покрытия бассейна снегом составляет 0,5.

F - площадь гидрографического бассейна в км^2 ;

M - отдача воды из снежного покрова в $\text{мм}/\text{день}$.

Ежедневное количество воды из снежного покрова можно рассчитать по формуле:

$$M = a T_{MAX} \cdot S \quad (5)$$

где:

- a - ежедневное количество водоотдачи снежного покрова в $\text{мм}/^{\circ}\text{C}/\text{день}$, когда максимальная температура воздуха повышается на 1°C .
Значения "a" даны в таблице 2 в зависимости от плотности снега (ρ), облесённости бассейна и наличия или отсутствия жидких осадков;
- S - ежедневная максимальная средняя температура по бассейну (или по зонам) в $^{\circ}\text{C}$;

- степень покрытия снегом гидрографического бассейна, определяемая по информации, получаемой с дождемерных гидрологических станций и параллельным использованием гипсометрической кривой бассейна (рис.3).

Модель Превик применялась для прогноза средних ежедневных расходов на реках и в сечениях, указанных в таблице 3 в предположении ко-

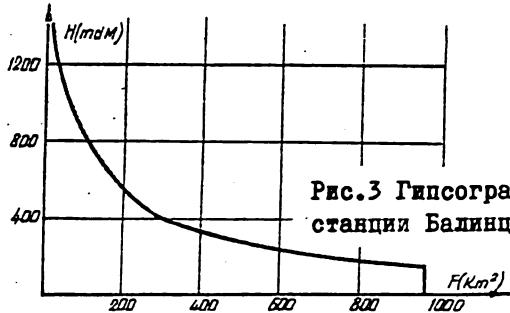


Рис.3 Гипсографическая кривая на гидрометстанции Балинц на р.Бега

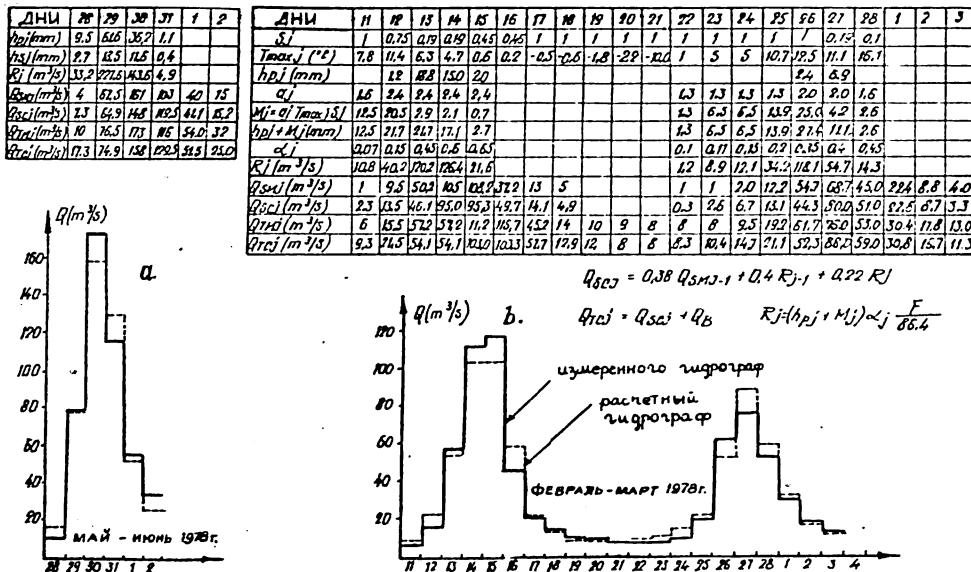


Рис.4 Пример прогноза средних ежедневных расходов на гидрометстанции Балинц на р.Бега для дождевых паводков (а) и паводков от дождя и снега (б)

личественного прогноза осадков (для увеличения заблаговременности прогноза) и/или наличия снежного покрова.

Пример практического применения модели Шревик для сечения Балинца реке Бега дан на рис.4.

МЕТОД МНОЖЕСТВЕННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

Прогноз средних ежечасных расходов на гидрометрической станции Р может быть составлен на основе соотношения:

$$QP(t+1) = CAM_1 \cdot QAM(t-\tau_1+1) + CAM_2 \cdot QAM(t-\tau_2) + \\ + \sum_{j=1}^{NA} CA1(j) \cdot QA(j, t-\theta_j+1) + CA2(j) \cdot QA(j, t-\theta_j) + \\ + CP1 \cdot QP(t) + CP2 \cdot QP(t-1) + CAV \cdot QAV(t-\tau_2+1) \quad (6)$$

в котором имеем

- $QP(t+1)$ - прогнозируемый расход на станции Р в момент $t+1$
- $QP(t); QP(t-1)$ - расходы, зарегистрированные на станции Р в моменты t и $t-1$
- $QAM(t-\tau_1+1), QAM(t-\tau_2)$ - расходы, зарегистрированные на гидрометрической станции, расположенной вверх по течению в моменты $t-\tau_1$ и $t-\tau_2+1$;
- $QA1(j, t-\theta_j+1); QA(j, t-\theta_j)$ - расходы, зарегистрированные на гидрометрической станции, расположенной на притоке j в моменты $t-\theta_j$ и $t-\theta_j+1$;
- $QAV(t-\tau_2+1)$ - расход, зарегистрированный на гидрометрической станции, расположенной вниз по течению в момент $t-\tau_2+1$
- $CAM_1, CAM_2, CA1(j); CA2(j)$ - коэффициенты множественной линейной регрессии
- $CP1, CP2, CAV$ - количество притоков.

Формула (6) может применяться как для мгновенных расходов, так и для средних ежедневных расходов. В случае применения (6) для прогноза средних ежедневных расходов, желательно, чтобы для облегчения расчётов, период добегания паводка $\tau_1, \theta_1, \theta_2$ между станциями АМ, А1, А2 и Р и период τ_2 между станциями Р и АВ (рис.5) были кратными 24 часам.

Когда между средними ежедневными расходами на гидрометрических станциях АМ, А1, А2, Р и АВ наблюдается нелинейная корреляция, которая должна быть линиаризована путём применения уравнения (6) для интервалов ΔQ .

Коэффициенты множественной линейной регрессии (6) определяются методом наименьших квадратов - при помощи программы REMY на основе

Таблица 3

Параметры модели Превик

РЕКА	ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОСТ	ПОСТ НА КОТОРОМ ИЗМЕРЯЕТСЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА ($T_{\text{MAX},r}$) [°C]	МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА СРЕДНЯЯ ПО БАССЕЙНУ (T_{MAX}^*) [°C]	K_T	X
BEGA	BALINT	S.M. LUGOJ	$T_{\text{MAX},r} = 4,5$	0,38	0,22
CARAŞ	VÄRÄDIA	S.M. ORAVITA	$T_{\text{MAX},r} = 0,4$	0,35	0,08
NERA	NAIDĂS	S.M. BOZOVICI	$T_{\text{MAX},r} = 2,5$	0,38	0,09
CERNA	TOPLET	S.M. BÄILE, S.M. HERCULANE, SEMENIC	$T_{\text{MAX},r} = \frac{T_{\text{MAX}}^* + T_{\text{MAX},g}}{2}$	0,36	0,09

Таблица 4

Исследованные варианты множественной регрессии

ПЕРЕМЕННАЯ ВАРИАНТ	CP (%)	CV (%)	Q(t)	QAM(t)	QAV(t)	QA(t)	QA(t-1)
1	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
2	DA	DA	DA	DA	NU	DA	DA
3	DA	NU	DA	NU	NU	DA	NU
4	NU	NU	DA	NU	NU	DA	NU
5	NU	NU	DA	NU	DA	DA	NU
6	DA	NU	DA	NU	DA	DA	NU

Таблица 5

Коэффициент корреляции и приблизительная повторяемость ошибок прогнозируемых среднесуточных расходов у Арада на реке Муреш

ВАРИАНТ	КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ (R) ЗА РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД (1970-1975) НА СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИНТЕРВАЛЫ РАСХОДОВ				ПОВТОРЕМОСТЬ (f_r)% ОШИБОК ПРОГНОЗА (ε) ЗА ПРОВЕРОЧНЫЙ ПЕРИОД (1979-1981)					
	0-300	300-600	600-900	> 900	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-100%
1	0,9368	0,9340	0,9289	0,9866	72,8	16,3	4,6	4,8	0,1	0
2	0,9370	0,9339	0,9296	0,9849	79,1	14,6	4,1	2,4	0,4	0
3	0,9238	0,9140	0,9172	0,9814	60,5	25,7	10,4	2,6	0,8	0
4	0,9312	0,9144	0,9173	0,9844	20,4	39,6	33,5	3,2	4,6	0,4
5	0,9293	0,9163	0,9794	0,9846	66,3	24,7	5,8	2,3	0,9	0
6	0,9247	0,9166	0,9204	0,9846	75,4	47,4	4,4	2,2	0,9	0

средних зарегистрированных расходов на гидрометрических станциях, за период не менее 5 лет.

Прогноз средних ежедневных расходов на основе множественных корреляций будет применяться для (рис.6):

- р.Муреш - участок Радна → Арад
- р.Тимиш - участок Карансебеш + Бистра → Лугож
- р.Тимиш - участок Балинц + Лугож - Тополовец → Границери
- р.Бырзава - участок Мониом → Гэтая
- р.Бырзава - участок Гэтая → Партом

Для определения оптимального числа членов уравнения (6) для каждого вышеуказанного участка брались 6 вариантов (таблица 4). Каждый раз рассчитывались параметры уравнения (6), по отрезкам расходов, применения период калибровки в 6 лет и общий коэффициент регрессии (R). Затем были рассчитаны средние ежедневные расходы за 2-х летний период, используя уравнения (6) для каждого из 6 вариантов, данных в таблице 4. Для сравнения вычисленного гидрографа (Q_c) с наблюдённым (Q_m) рассчитывалась относительная ошибка по формуле:

$$\varepsilon \% = \frac{Q_c - Q_m}{Q_m} \cdot 100 \quad (7)$$

после чего была получена относительная повторяемость (f_r) ошибок прогноза средних ежедневных расходов.

В таблице 5 для примера даны общие коэффициенты регрессии для рассматриваемого периода определения параметров и относительная повторяемость ошибок для периода проверки модели на гидрометеостанции Арад на р.Муреш.

Анализируя общие коэффициенты регрессии (R) и относительную повторяемость ошибок (f_r) для всех рассмотренных участков, в качестве оптимального варианта применения уравнения (6) считается вариант 2. Другими словами, прогнозируемый на станции Р расход в момент зависит от:

- расходов в момент t и $t-1$ на одной и той же станции
- расходов в моменты $t-\tau_1+1$ и $t-\tau_1$ на станции, расположенной на основной реке вверх по течению от станции Р;
- расходы в моменты $t-\theta_j+1$ и $t-\theta_j$ на гидрометрических станциях, расположенных на притоках.

В результате анализа было установлено, что расход, прогнозируемый на станции Р, на зависит от расхода на станции, расположенной в непосредственной близости вниз по течению, так как станции расположены далеко одна от другой и уклон реки относительно большой.

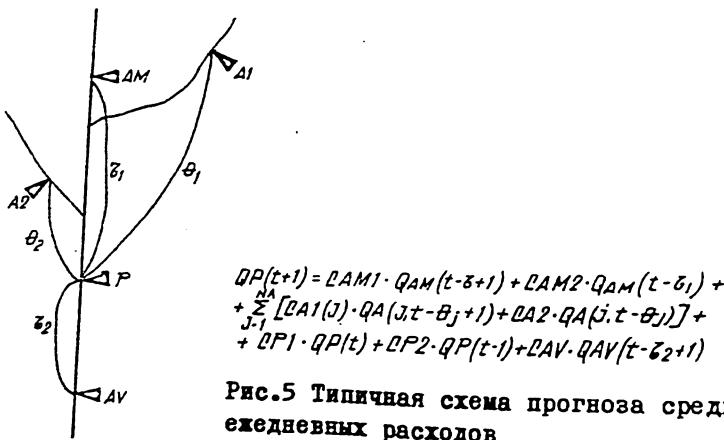


Рис.5 Типичная схема прогноза средних ежедневных расходов

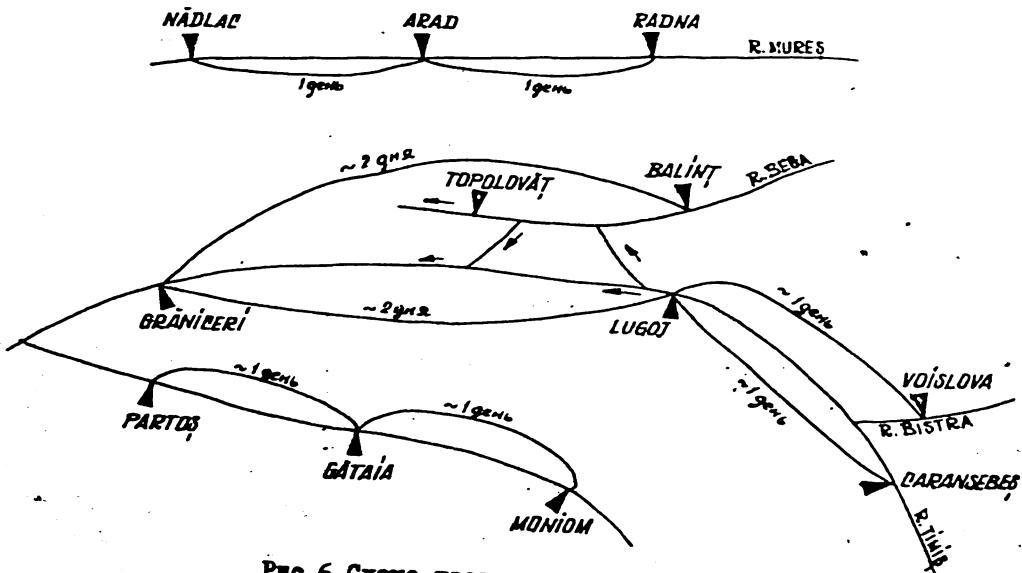


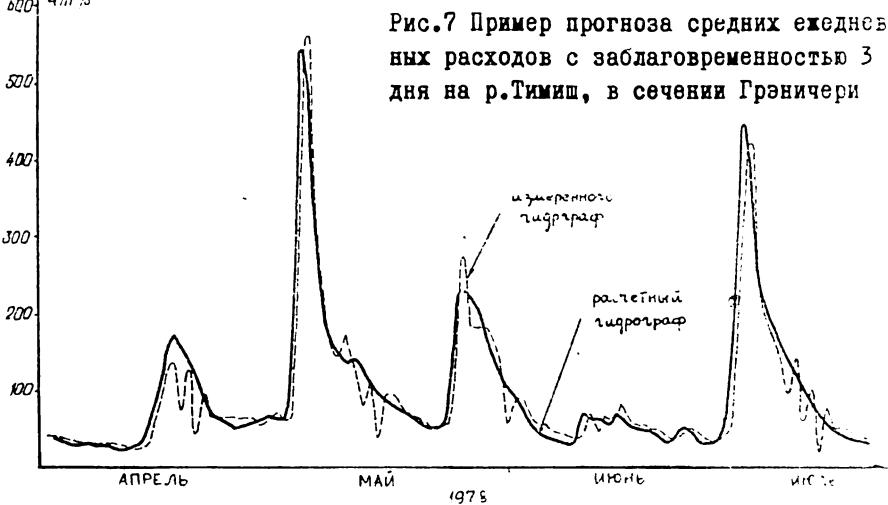
Рис.6 Схема прогноза средних ежедневных расходов для рр.Муреи, Бега, Тимиш и Бирзава

Таблица 6

Уравнения прогноза среднесуточных расходов

РЕКА	УЧАСТОК РЕКИ	АМПЛИ ТУДА РАСХОДА [м ³ /с]	УРАВНЕНИЯ ПРОГНОЗА СРЕДНЕСУТОЧНЫХ РАСХОДОВ	ПОВТОРЯЕМОСТЬ ОШИБОК ПРОГНОЗА %					
				5	10	50	30	10	5
MURES	RADNA → ARAD	0-300	$Q_A(t+1) = 0.56 Q_A(t) + 0.30 Q_A(t-1) + 0.63 Q_A(t-2) - 0.35 Q_A(t-4)$	79.1	4.6	4.1	2.1	0.1	0
		300-600	$Q_A(t+1) = -0.22 Q_A(t) + 0.31 Q_A(t-1) + 0.38 Q_A(t-2) - 0.37 Q_A(t-4)$						
		600-900	$Q_A(t+1) = -0.67 Q_A(t) + 0.06 Q_A(t-1) + 0.09 Q_A(t-2) - 0.9 Q_A(t-4)$						
		>900	$Q_A(t+1) = 0.30 Q_A(t) + 0.96 Q_A(t-1) + 1.2 Q_A(t-2) - 0.5 G_A(t-1)$						
TIMIS	CARANSEBEI + VOIISLOVA → LUGOJ	0-50	$Q_L(t+1) = 0.5 Q_L(t) + 0.25 Q_L(t-1) + 0.55 Q_L(t-2) - 0.4 Q_L(t-4) + 0.62 Q_L(t-6) - 0.22 Q_L(t-8)$	49.7	25.2	13.8	7.6	3.7	0
		50-100	$Q_L(t+1) = 0.3 Q_L(t) + 0.28 Q_L(t-1) + 0.88 Q_L(t-2) - 0.88 Q_L(t-4) + 2.2 Q_L(t-6) - 1.16 Q_L(t-8)$						
		100-150	$Q_L(t+1) = 0.22 Q_L(t) + 0.37 Q_L(t-1) + 1.5 Q_L(t-2) - 1.37 Q_L(t-4) + 2.6 Q_L(t-6) - 2.42 Q_L(t-8)$						
		>150	$Q_L(t+1) = 0.5 Q_L(t) + 0.06 Q_L(t-1) + 2.13 Q_L(t-2) + 0.13 Q_L(t-4) + 2.0 Q_L(t-6) - 2.12 Q_L(t-8)$						
TIMIS	LUGOJ + BALINT - TOPOLOVÁT → GRÄNCER	0-50	$Q_G(t+1) = 0.4 Q_G(t) + 0.2 Q_G(t-1) + 0.25 Q_G(t-2) + 0.35 Q_G(t-4) + 0.23 Q_G(t-6) + 0.2 Q_G(t-8) - 2.06 Q_G(t-10) + 0.19 Q_G(t-12) - 0.18 Q_G(t-14)$	>100	7.1	4.3	3.5	2.0	1.0
		50-100	$Q_G(t+1) = 1.26 Q_G(t) + 0.36 Q_G(t-1) + 0.22 Q_G(t-2) + 0.22 Q_G(t-4) + 0.19 Q_G(t-6) + 0.15 Q_G(t-8) + 0.15 Q_G(t-10) + 0.27 Q_G(t-12) + 0.3 Q_G(t-14) + 0.13 Q_G(t-16)$						
		100-150	$Q_G(t+1) = 1.7 Q_G(t) + 0.2 Q_G(t-1) + 0.5 Q_G(t-2) + 0.5 Q_G(t-4) + 0.5 Q_G(t-6) + 0.5 Q_G(t-8) + 0.5 Q_G(t-10) + 0.21 Q_G(t-12) + 2.05 Q_G(t-14) + 1.11 Q_G(t-16)$						
		>150	$Q_G(t+1) = 0.5 Q_G(t) + 0.5 Q_G(t-1) + 0.5 Q_G(t-2) + 0.5 Q_G(t-4) + 0.5 Q_G(t-6) + 0.5 Q_G(t-8) + 0.5 Q_G(t-10) + 0.5 Q_G(t-12) + 0.5 Q_G(t-14) + 0.5 Q_G(t-16)$						
BIRZAVA	MONION → GÄTAIA	0-15	$Q_{GA}(t+1) = 0.72 Q_{GA}(t) + 0.01 Q_{GA}(t-1) + 0.25 Q_{GA}(t-2) + 0.25 Q_{GA}(t-4) - 0.05 Q_{GA}(t-6)$	52.4	26.7	4.3	4.8	-1	-37
		15-30	$Q_{GA}(t+1) = 0.57 Q_{GA}(t) + 0.26 Q_{GA}(t-1) + 0.52 Q_{GA}(t-2) + 0.16 Q_{GA}(t-4)$						
		>30	$Q_{GA}(t+1) = 0.69 Q_{GA}(t) - 0.35 Q_{GA}(t-1) + 0.78 Q_{GA}(t-2) + 0.02 Q_{GA}(t-4)$						
BIRZAVA	GÄTAIA → PARTOS	0-15	$Q_P(t+1) = 0.69 Q_P(t) + 0.02 Q_P(t-1) + 0.53 Q_P(t-2) - 0.13 Q_P(t-4)$	52.2	26.3	7.1	3.3	15	-13
		15-30	$Q_P(t+1) = 0.44 Q_P(t) + 0.1 Q_P(t-1) + 0.4 Q_P(t-2) - 0.56 Q_P(t-4)$						
		>30	$Q_P(t+1) = 0.58 Q_P(t) + 0.02 Q_P(t-1) + 0.22 Q_P(t-2) - 0.17 Q_P(t-4)$						

Рис.7 Пример прогноза средних ежедневных расходов с заблаговременностью 3 дня на р.Тимиш, в сечении Грэничери



Формулы прогноза средних ежедневных расходов и относительная повторяемость ошибок для рассматриваемых участков рек даны в таблице 6.

Прогноз средних ежедневных расходов, составленный по формулам таблицы 6, основывается на данных расходов, зарегистрированных на станциях Радна, Воислова, Каансебеш и Мониом, на расходе, прогнозируемом по модели Превик с однодневной заблаговременностью на гидрометеостанции Балинд и на расходе р.Бега, приблизительно с однодневной заблаговременностью, учитывая график эксплуатации затратов плотины Тополовец.

На рис.7 дан пример прогноза средних ежедневных расходов с 3-х дневной заблаговременностью для реки Тимиш в сечении Грэничери на основе модели Превик и метода множественных корреляций.

Модель прогноза средних ежедневных расходов, основанная на множественной нелинейной корреляции дала хорошие результаты для рек Муреш и Бырзава для всех отрезков расходов и для реки Тимиш, для расходов менее 150 м³/сек.

Более слабые результаты при прогнозе средних ежедневных расходов > 150 м³/сек на р.Тимиш вызваны тем, что время добегания паводка между станциями не кратно 24 часам, а также из-за наличия в бассейне водозапасов случайного характера.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. DUJARDIN, J.M.

Exemples concrets d'annonce des crues dans de petits bassins versants. La Houille Blanche No 4-5/1980

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОДЕЛЯХ
ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НА РЕЧНОМ ВОДОСБОРРЕ

З.Н.Демидов
Институт водных проблем АН СССР, Москва, СССР

APPLICATION OF THE FINITE-ELEMENT METHOD TO MODELS OF
RUNOFF FORMATION IN A CATCHMENT AREA

A model of rainfall runoff formation in a catchment area, based on the application of the finite-element method, for estimating the unsteady flow over slopes and in the river channel network is presented. The water movement within the catchment area is expressed by a system of kinematic wave equation. Within the framework of the proposed schematization of catchment area, each section of a slope has its configuration, gradient, length, roughness coefficient, aqueous characteristics of soils. In addition, the morphometric and hydraulic characteristics of a branched river network (the geometry and gradients of individual sections of a river channel, roughness coefficients) are taken into account. The model has been applied to rainfall flood routing in one of catchment areas covered by the activities of the Transcarpathian water balance station.

ANWENDUNG DER METHODE DER ENDELEMENTE IN MODELLEN DER
ABFLUSSFORMIERUNG IM FLUSSEINZUGSGEBIET

Es ist ein Modell der Formierung des Regenabflusses im Flusseinzugsgebiet aufgeführt worden, das auf der Ausnutzung der Methode der Endelemente zur Berechnung der ungleichformigen Wasserbewegung auf der Abhangoberfläche und im Flussbettnetz beruht. Der Wassertransport im Bereich des Einzugsgebiets wird durch ein System von Gleichungen der kinematischen Welle wiedergegeben. Im Rahmen der vorgeschlagenen Schematisierung des Einzugsgebiets wird jeder Abschnitt des Abhangs durch seine Konfiguration, Neigung und Länge, durch den Rauhigkeitsgrad und durch die wasserphysikalischen Charakteristiken der Böden bestimmt. Gleichzeitig damit werden morphologische und hydraulische Charakteristiken des verzweigten Flussbettnetzes (Geometrie und Neigungen einzelner Flussbettabschnitte, die Rauhigkeitsgrade) berücksichtigt. Es wurde ein Schema der numerischen Integration des Gleichungssystems in der Zeit dargelegt, das eine genaue Erfüllung des Erhaltungssatzes gewährleistet. Die Realisierung des Modells ist am Beispiel der Berechnungen von Regenfluten an einer der Wassersammelanlagen der Transkarpatischer Wasserhaushaltstation gezeigt worden.

ВВЕДЕНИЕ

Применение метода конечных элементов к расчету движения воды по склону (в одномерной идеализации) в большой мере обусловлено возможностью использования при этом более совершенной схематизации процесса стекания воды /3, 4/. Так, первоначально расчеты выполнялись для склона, который представлялся полоской единичной ширины. Введение модели кинематического каскада / 1 / позволило несколько усовершенствовать схематизацию склона. В этом случае склон (водосбор) представлял собой набор состыкованных прямоугольников различной ширины и длины. Однако во всех перечисленных схематизациях склона движение воды происходило по прямой линии от начала склона и до его конца. Схематизация склона в случае использования метода конечных элементов является более совершенной: склон представляется набором четырехугольных элементов, достат...очно точно воспроизводящих геометрию склона. Направление движения воды изменяется по длине склона в зависимости от направления преобладающего уклона на отдельных участках склона.

В проведенном исследовании большое внимание уделено вопросу интегрирования по времени системы уравнений, получаемых при применении метода конечных элементов. Рассматривается использование метода конечных элементов для описания процессов руслового и склонового стекания в модели формирования стока на реальном речном водосборе.

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСЧЕТЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ПО СКЛОНУ

При поверхностном склоновом стоке инерционные члены и градиент глубины потока оказываются весьма малыми по сравнению с членами трения и скорость потока можно представить в виде однозначной зависимости от глубины. При таком предположении движение воды по склону можно описать следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = R \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{n} i^{1/2} h^{2/3} F \quad (2)$$

где F - площадь поперечного сечения потока воды на склоне, Q - расходы воды, R - поступление воды на единицу длины склона, h - глубина потока, i - уклон склона, n - коэффициент шероховатости Маннинга.

Полагая, что поперечное сечение потока имеет прямоугольную форму, выражение (2) примет вид

$$Q = \frac{1}{2} L^{1/2} h^{5/3} B \quad (3)$$

где B - ширина потока.

В качестве начальных и граничных условий примем

$$h(x, 0) = 0 \quad (4)$$

$$h(0, t) = 0 \quad (5)$$

Для построения вычислительного алгоритма решения (1)-(2) на основе метода конечных элементов разделим склон длиной L на $N-1$ элементов, длины которых равны величине ℓ_k ($k = 1, 2, \dots, N-1$).

Непрерывное распределение значений $F(x, t)$ и $Q(x, t)$ в пределах каждого элемента склона для фиксированного момента времени представим путем интерполяции с использованием кусочно-линейных базисных функций, которые имеют вид

$$\begin{aligned} \psi_{k,1} &= \frac{x - x_{k-1}}{\ell_{k-1}} & x_{k-1} \leq x \leq x_k \\ \psi_{k,1} &= 0 & 0 \leq x \leq x_{k-1}, \forall x_k \leq x \leq L \\ \psi_{k,2} &= \frac{x_{k+1} - x}{\ell_k} & x_k \leq x \leq x_{k+1} \\ \psi_{k,2} &= 0 & 0 \leq x \leq x_k \vee x_{k+1} \leq x \leq L \end{aligned} \quad (6)$$

где ℓ_k - длина k элемента склона, L - общая длина склона.

Откуда, в пределах k элемента ($x_k \leq x \leq x_{k+1}$) получим

$$F^*(x, t) = \psi_{k,2}(x) F_k(t) + \psi_{k+1,1}(x) F_{k+1}(t) \quad (7)$$

$$Q^*(x, t) = \psi_{k,2}(x) Q_k(t) + \psi_{k+1,1}(x) Q_{k+1}(t)$$

Для построения приближенного решения системы уравнений нами использовался метод Галеркина, в основу которого положено выполнение условия - разность между приближенным и точным решением должна быть ортогонально выбранным базисным функциям. Это условие в нашем случае приводит к следующей системе уравнений

$$\int \psi_k \left(\frac{\partial F^*}{\partial t} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} - R \right) dx = 0, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Откуда, принимая во внимание вид базисных функций (6), получаем

$$\begin{aligned}
 & \int_0^L \psi_{1,2} \left(\frac{\partial F^*}{\partial t} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} - R \right) dx = 0 \\
 & \int_0^L \psi_{k,1} \left(\frac{\partial F^*}{\partial t} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} - R \right) dx + \\
 & + \int_0^L \psi_{k,2} \left(\frac{\partial F^*}{\partial t} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} - R \right) dx = 0, \\
 & k = 2, 3, \dots, N-1 \\
 & \int_0^L \psi_{N,1} \left(\frac{\partial F^*}{\partial t} + \frac{\partial Q^*}{\partial x} - R \right) dx = 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

Выполняя последовательно дифференцирование и интегрирование выражение (9) с помощью аналитических методов, приходим к следующей системе уравнений

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{2} Q_2 - \frac{1}{2} Q_1 + \frac{1}{3} \ell_1 \frac{\partial F_1}{\partial t} + \frac{1}{6} \ell_1 \frac{\partial F_2}{\partial t} - \frac{1}{2} R_1 \ell_1 = 0 \\
 & \frac{1}{2} Q_{k+1} - \frac{1}{2} Q_k + \frac{1}{6} \ell_{k-1} \frac{\partial F_k}{\partial t} + \frac{1}{3} (\ell_{k-1}, \ell_k) \frac{\partial F_k}{\partial t} + \\
 & + \frac{1}{6} \ell_{k+1} \frac{\partial F_{k+1}}{\partial t} - \frac{1}{2} (R_{k-1}, \ell_{k-1} + R_k \ell_k) = 0, \\
 & k = 2, 3, \dots, N-1
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\frac{1}{2} Q_N - \frac{1}{2} Q_{N-1} + \frac{1}{6} \ell_{N-1} \frac{\partial F_{N-1}}{\partial t} + \frac{1}{3} \ell_{N-1} \frac{\partial F_N}{\partial t} - \frac{1}{2} R_{N-1} \ell_{N-1} = 0$$

Аппроксимируя производную площади поперечного сечения потока по времени разностным отношением

$$\frac{\partial F_k}{\partial t} = \frac{6 \ell_k f_k^{j+1} - 6 \ell_k f_k^j}{\Delta t} \tag{II}$$

и представив величину расхода воды в k узле

$$Q_k = \frac{1}{\pi_k} \ell_k^{1/2} (f_k^{j+1})^{5/3} B_k \tag{12}$$

получим следующую систему нелинейных уравнений относительно неизвестных глубин потока на верхнем слое по времени

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{n_2} i_2^{1/2} (h_2^{j+1})^{5/3} B_2 - \frac{1}{n_1} i_1^{1/2} (h_1^{j+1})^{5/3} B_1 + \frac{2}{3} \ell_1 \frac{h_2^{j+1} - h_2^j}{\Delta t} B_1 + \\
& + \frac{1}{3} \ell_1 \frac{h_2^{j+1} - h_2^j}{\Delta t} B_2 - R_1 \ell_1 = 0 \\
& \frac{1}{n_{k+1}} i_{k+1}^{1/2} (h_{k+1}^{j+1})^{5/3} B_{k+1} - \frac{1}{n_{k-1}} i_{k-1}^{1/2} (h_{k-1}^{j+1})^{5/3} B_{k-1} + \\
& + \frac{1}{3} \ell_{k-1} \frac{h_{k-1}^{j+1} - h_{k-1}^j}{\Delta t} B_{k-1} + \frac{2}{3} (\ell_{k+1} + \ell_k) \frac{h_{k+1}^{j+1} - h_k^j}{\Delta t} B_k + \\
& + \frac{1}{3} \ell_k \frac{h_{k+1}^{j+1} - h_{k+1}^j}{\Delta t} B_{k+1} - (R_{k+1} \ell_{k+1} + R_k \ell_k) = 0, \\
& k = 2, 3, \dots, N-1
\end{aligned} \tag{I3}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{n_N} i_N^{1/2} (h_N^{j+1})^{5/3} B_N - \frac{1}{n_{N-1}} i_{N-1}^{1/2} (h_{N-1}^{j+1})^{5/3} B_{N-1} + \\
& + \frac{1}{3} \ell_{N-1} \frac{h_{N-1}^{j+1} - h_{N-1}^j}{\Delta t} B_{N-1} + \frac{2}{3} \ell_{N-1} \frac{h_N^{j+1} - h_N^j}{\Delta t} B_N - \\
& - R_{N-1} \ell_{N-1} = 0
\end{aligned}$$

Решение нелинейной системы уравнений, состоящей из N уравнений, обеспечивает вычисление значений глубины потока в N узлах на временном слое $j + 1$. Однако, поскольку значение глубины потока на верхней границе известно из граничного условия (5), первое уравнение было исключено из общей системы уравнений (I3). Нелинейная система уравнений решалась итерационным методом Ньютона-Рафсона.

Использовались два приема преобразования нелинейной системы уравнений в линейную. В первом приеме переход к линейной системе осуществлялся путем представления величины расхода воды на нижнем временном слое

$$Q_k = \frac{1}{n_k} i_k^{1/2} (h_k^j)^{5/3} B_k \tag{I4}$$

во втором – в результате линеаризации нелинейного члена при разложе-

ния в ряд Тейлора

$$Q_k^{i+1} \approx \frac{5}{3} \frac{1}{n_k} i_k^{\frac{1}{2}} (h_k^i)^{\frac{2}{3}} h_k^{i+1} b_k - \\ - \frac{2}{3} \frac{1}{n_k} i_k^{\frac{1}{2}} (h_k^i)^{\frac{5}{3}} b_k \quad (15)$$

Получаемые в результате этих преобразований линейные системы уравнений решались методом исключения Гаусса. Численные эксперименты по расчету склонового стока путем реализации нелинейной системы уравнений (13) и двух линейных показали, что на склонах с резким изменением ширин и уклонов по длине решение задачи обеспечивает только обращение к нелинейной системе уравнений. Для склона с постоянной по всей его длине шириной, уклоном и шероховатостью расчеты склонового стока, выполненные с помощью каждой из трех указанных выше систем уравнений, приводили к одинаковым результатам. Наблюдалось только небольшое волнобразное изменение расходов воды в период выхода потока на установившиеся режимы при использовании линейных систем уравнений.

Все дальнейшие расчеты склонового стока методом конечных элементов выполнялись на основе решения нелинейной системы уравнений (13). Численными экспериментами оценивалось влияние характера разбивки склона на результаты расчета гидрографа стока. При разбивке склона длиной 200 м на отдельные элементы были использованы следующие варианты. В первом варианте склон был разделен на 20 элементов длиной 10 м, во втором - на 5 элементов длиной 40 м, в третьем варианте - на 10 элементов, длины которых, начиная с верхнего конца склона, составили следующие величины: 20, 10, 30, 10, 40, 15, 25, 10, 30, 10 м. В эксперименте использовалась следующая информация о склоне и об осадках: уклон склона - 0,05; коэффициент шероховатости Маннинга - 0,05; интенсивность осадков - 0,5 мм/мин, продолжительность дождевания - 1800 с, шаг по времени - 60 с. Расчеты с использованием трех вариантов разбивки склона на элементы показали, что ветви подъема и спада гидрографа оказываются одинаковыми. Влияние разбивки на элементы обнаружено только при выходе потока на установившийся режим. Первый вариант разделения склона приводил в расчетах стока к точной величине установленвшегося расхода - 0,0833 m^3/s , использование второго и третьего вариантов - занижало величину установленного расхода соответственно на 0,27% и 1,11%. Расхождение в балансе водных масс, поступающих на склон и стекающих с него, в расчетах по третьему варианту

составило около 0,1%.

РАСЧЕТ СКЛОНОВОГО И РУСЛОВОГО СТОКА НА РЕАЛЬНОМ ВОДОСБОРЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Располагая алгоритмом расчета движения воды по склону, схематизированному набором четырехугольных площадок (элементов) был организован расчет движения воды по всей поверхности водосбора, который схематизировался следующим образом. вся площадь водосбора представляется полосками склонов, каждая из которых начинается на водоразделе и примыкает к участку русла. Водораздел может быть как внешним (совпадать с границей всего водосбора) так и внутренним. При расчленении водосбора на отдельные полоски следует руководствоваться топографической картой. На первом этапе выделяется главное русло водосбора, определяются притоки различных порядков, проводятся внутренние границы водоразделов. Затем, вся русловая сеть разбивается на отдельные участки (элементы), при этом точки впадения притоков должны совпадать с узлами сопряжения отдельных участков русла. Длина каждого элемента русловой сети определяет ширину с нования левого и правого склонов, примыкающих к этому элементу. Разделение каждой полоски склона на отдельные элементы осуществляется с учетом характеристик подстилающей поверхности: уклоны, растительность, воднофизические характеристики почвогрунтов. Необходимо стремиться к однородности указанных характеристик в пределах элемента полоски.

Расчет руслового стока также производится с помощью уравнений кинематической волны, которые реализуются методом конечных элементов с помощью изложенного здесь алгоритма. Схематизация русла совершенно аналогична схематизации полоски склона. Русло разбивается на отдельные участки (элементы) для каждого из которых задается длина, ширина верхнего и нижнего основания, уклон, шероховатость.

Общая процедура расчета движения воды по склонам и русловой сети организована следующим образом:

1. Задаваясь интенсивностью эффективных осадков (разность между интенсивностью осадков и инфильтрации) на расчетный шаг по времени производится вычисление глубин потока во всех узлах элементов на всех полосках склона на следующий момент времени;

2. Последовательно вычисляются глубины воды в узлах элементов притоков первого порядка, второго порядка и т.д., используя информацию о боковом притоке, определенном на первом шаге;

3. Определяются глубины воды в узлах элементов главного русла водосбора с учетом сосредоточенных и распределенных боковых притоков, вычисленных на первом и втором шаге.

Затем вся процедура расчета повторяется для следующего шага по времени.

Расчет влагопереноса в почве для последующего определения интенсивности инфильтрации производится по уравнению диффузии влаги

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right] \quad - (16)$$

где θ - объемная влажность почвы, $D(\theta)$ - коэффициент диффузии влаги, $K(\theta)$ - гидравлическая проводимость. Численное интегрирование (16) проводится по четырехточечной неявной схеме с решением системы разностных уравнений методом прогонки /2/. Для учета пространственной неоднородности инфильтрации по территории водосбора выполняется расчет влагопереноса в нескольких точках. Число таких точек определяется как количеством пунктов наблюдений за осадками, так и количеством типов почвогрунтов.

В качестве примера рассмотрим расчеты склонового и руслового стока методом конечных элементов, которые были выполнены для водосборной площади р. Репинки до замыкающего створа п. Репино (203 км^2). Р. Репинка является правым притоком р. Рики и образуется в результате слияния двух небольших рек: Студеная и Пилипец. Площадь водосбора - 223 км^2 . Р. Репинка находится на территории Закарпатской воднобалансовой станции. На рис. I показана схематизация водосборной площади, в пределах которой выделены 120 полосок склона, каждая из которых включает от 2 до 6 элементов. Русловая сеть представлена главным руслом р. Репинки и восемью притоками. В расчетах использован случай выпадения осадков от 18 августа 1970 г., слой осадков составил 35,5 мм. Эффективные осадки были рассчитаны с помощью коэффициента стока, составившего величину 0,147. Коэффициент шероховатости Мачнинга для склона принят равным 0,1, для главного русла и притоков - 0,02. Шаг по времени - 60 мин. На рис. 2 приведены расчетный и наблюденный гидрографы для отмеченного выше случая выпадения осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в модели формирования дождевого стока схематиза-

ции процессов склонового и руслового стока, основанная на использовании метода конечных элементов, довольно точно воспроизводит условия формирования стока на речном водосборе. Рассмотренная модель может явиться прежде всего эффективным инструментом для организации краткосрочных прогнозов стока. Кроме этого, такое подробное представление водосборной плодородии может быть использовано в задаче оценки влияния хозяйственной деятельности на формирование стока. Представляется также возможным с помощью этой модели производить расчеты максимальных расходов воды для различного рода проектных изысканий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kibler D.F., Woolhiser D.A., 1972, Mathematical properties of the kinematic cascade. - J.Hydrol., vol. 15, p. 131-147.
2. Демидов В.Н., Кучмент Л.С., 1979. Опыт применения двумерной модели формирования дождевого стока для реальных водосборов. Труды Гидрометцентра СССР, вып. 218, с. 33-42.
3. Jayawardena A.W., White J.K., 1979. A finite-element distributed catchment model, II, Application to real catchments. - J.Hydrol., vol. 42, p. 231-249.
4. Ross B.B., Contractor D.N., Shanholtz V.O., 1979. A finite-element model of overland and channel flow for assessing the hydrologic impact of land-use change. - J.Hydrol., vol. 41, p. 11-30.

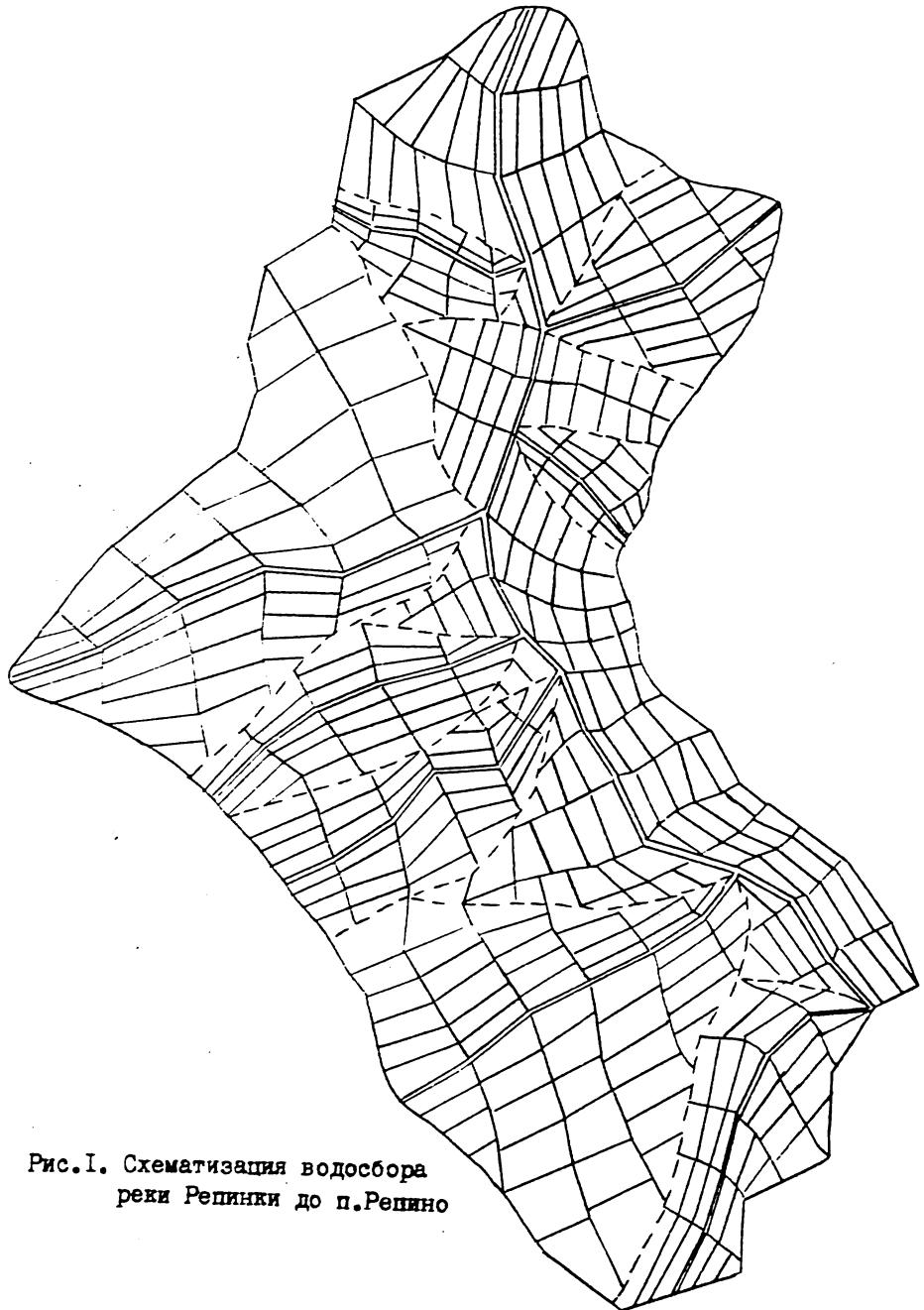
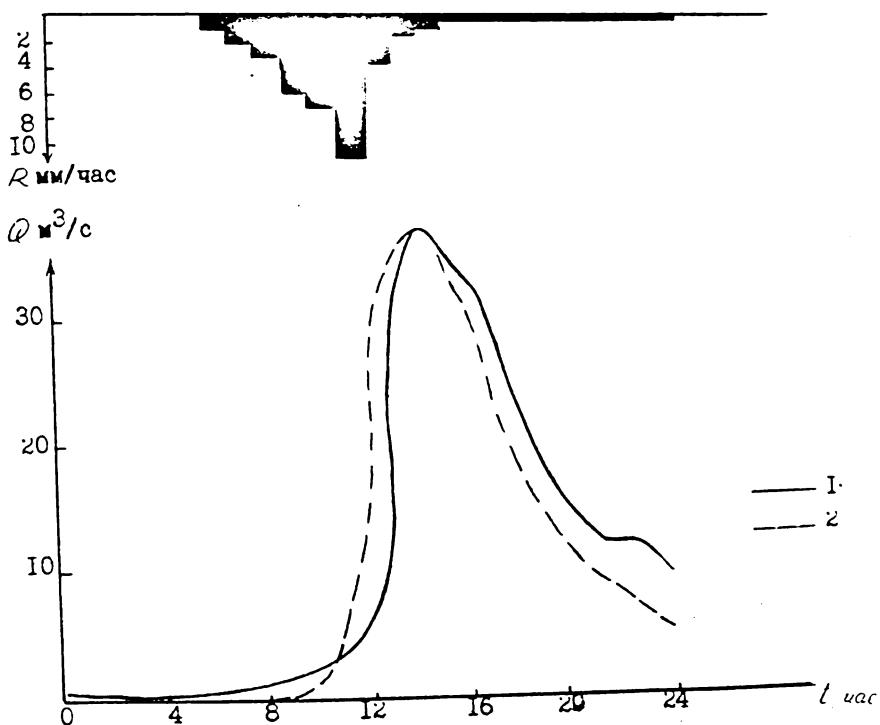


Рис. I. Схематизация водосбора
реки Репинки до п.Репино



18 августа 1970г.

Рис.2. Наблюденные (1) и рассчитанные (2) расходы воды.
Река Репинка - п.Репино.

W. G. S. Scanning (L.) 00000000000000000000000000000000

ADAPTIVE VORHERSAGE DES WELLENABLAUFES IN FLUSSSTRECKEN

Br. Ing. Jan Szolgay, Institut für Hydrologie und Hydraulik,
826 51 Bratislava, Czechoslovakia

ADAPTIVE RIVER FLOW FORECASTING

In the submitted paper practical aspects of using adaptive flood routing models based on Kalman filtering have been investigated. Discrete state-space representation of the cascade of linear reservoirs /Kalinin-Miljukov model/, has been developed. The performance of the cascade of linear reservoirs, its stochastic version solved by filtering has been studied on ten flood waves on two rivers in Slovakia. The intercomparison showed the advantage of using Kalman filtering for forecast leads shorter than the average travel time of the modelled river reaches.

АДАПТИВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Перспективным путем для решения проблем прогноза и управления для водохозяйственных систем в реальном времени является применение одного из методов теории оценивания - фильтра Калмана.

В предлагаемой статье автор исследовал возможности практического пользования адаптивных моделей с фильтром Калмана в прогнозах движения поводочных волн в руслах рек. Было введено дискретное представление каскады линейных дос хранилищ /модель Калинина и Мильюкова/, в пространстве состояний. Модель была вставлена в единую стохастическую рамку, которая позволяет решить ее помошью фильтра Калмана.

Модель Калинина и Мильюкова, ее адаптивный вариант были сравниены на десятих поводках двух рек Словакии. Сравнение показало, что результаты адаптивных моделей были лучшие для заблаговременности прогнозы короче чем время добегания моделированных речных участков.

EINLEITUNG

Durch die immer intensivere Nutzung des Wasserangebotes hervorgerufene Notwendigkeit zur dessen Steuerung und Regelung, der ständig wachsende Einfluss menschlicher Eingriffe in das natürliche Abflussregime der Flüsse und die wirtschaftlich immer stärker spürbare Bedrohung durch Hochwasser, machen die Entwicklung neuer Verfahren zur kurzfristigen Abflussvorhersage notwendig. Dabei muss aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen versucht werden den Abflussvorgang mit einem Minimum zur Verfügung stehenden Daten zu erfassen und beschreiben und die mathematische Modelle so aufzubauen, dass der Rechenaufwand bei der Identifikation und der operativen Vorhersage so gering wie möglich gehalten wird. Es können meistens nur relativ einfache Modelle genutzt werden, die das Auftreten von Vorhersagefehlern unvermeidlich erscheinen lassen. In den letzten Jahren wurden daher Verfahren gesucht, die eine mögliche Verbesserung eines Vorhersageverfahrens nicht durch die Verbesserung und Verdichtung der Messungen oder durch eine Verfeinerung des Modellaufbaus, sondern vielmehr durch andere Hilfsmittel ermöglichen. In dieser Hinsicht scheinen vor allen sogenannte adaptive Methoden perspektiv zu sein. Diese passen das Modell laufend den aktuellen Geschehen durch eine, aus der Differenz zwischen den vorhergesagten und beobachteten Werten abgeleitete Korrektur an. Die Korrektur kann entweder die Modellparameter, oder den jeweiligen Modellzustand, oder auch den Modellaufbau rekursiv beeinflussen. Adaptive Parameterschätzung, adaptive Zustandschätzung, adaptive Identifikation. Dies kann durch verschiedene Verfahren geschehen /z.B. lineare und nichtlineare Filtration, Methoden der stochastischen Approximation, adaptive Beobachter usw./, umfassenden Überblick darüber gibt Eykoff [2], mit hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Anwendungen befassen sich Chiu [1], O'Connell [7], Szolgay [8], Wood und Szöllösi-Nagy [1]. Da man sich aber mit dem praktischen Wert dieser Modelle bis jetzt relativ wenig beschäftigt hat, wurde hier versucht ein, auf der Basis des KALMAN-Filters /der durch seine Eigenschaften für hydrologische Applikationen als besonders perspektiv erscheint [1], [3], [4]/ beruhendes suboptimales Zustandschätzverfahren, gekoppelt mit dem Kalinin-Miljukov Modell zu testen, und mit dem klassischen Kalinin-Miljukov Modell zu vergleichen.

ZUSTANDSRAUMFORMULIERUNG DES KALININ-MILJUKOV MODELLS

Um die KALMAN-Filterung anwenden zu können, muss das mathematische Modell durch die folgende vektorielle stochastische Differenzengleichung /mit auf 1 normierter Abtastperiode/ beschrieben werden:

$$\underline{x}/a+1/ = \underline{\Phi} /a+1, a/\underline{x}/a/+ \underline{\Psi} /a+1, a/\underline{u}/a+ \underline{f} /a+1, a/\underline{w}/a/ \quad (1)$$

Dabei sind $\underline{\Phi}$, $\underline{\Psi}$, \underline{f} Übergangsmatrizen des Systems, \underline{x} ist der Zustandvektor mit $E[\underline{x}/a_0/] = 0$ /als Zustand bezeichnet man jene Größen, deren Kenntnis es erlaubt gemeinsam mit der Kenntnis des Modells und der Eingangsgrößen das künftige Verhalten des System zu beschreiben/ \underline{u} ist der Eingangsvektor. Das Systemverhalten wird durch den Störungsvektor \underline{w} beeinflusst, der die, bei der Modellbildung entstandene Fehler ^{ERZUME} repräsentiert. Die Kovarianzmatrix $E[\underline{x}/a_0/\underline{x}/a_0/^\text{T}]$ sei gegeben, aber \underline{x}/a sei nicht /physikalisch/ messbar, sondern nur eine vertrauchte Linearkombination der Komponenten von \underline{x}/a /

$$\underline{y}/a+1/ = \underline{H}/a+1/ \underline{x}/a+1/ + \underline{v}/a+1/ \quad (2)$$

Dabei sind \underline{y} die Messungen, \underline{H} die Messungamatrix und \underline{v} die Störung, durch die Messfehler modelliert werden. Speziell seien \underline{v} und \underline{w} von einer ^{ERZUME} unabhängiges vektorielles weisses Rauschen mit gegeben Erwartungswerten und Kovarianzmatrizen. /Manche dieser Bedingungen sind leicht zu lockern, man vergrössert doch dadurch den Rechenaufwand [3], In hydrologischen Anwendungen wurden fast ausschliesslich die oben angeführten benutzt./ Der KALMAN-Filter schätzt dann aus den Messdaten im jeden Zeitpunkt den Systemzustand so, dass der mittlere Betrag des Schätzfehlers minimal wird. Durch die mitgeschätzte Kovarianzmatrix der Vorhersagefehler sind auch Wahrscheinlichkeitsverhersagen möglich.

Die gesuchte diskrete Formulierung das Modells kann man oft aus der kontinuierlichen ableiten. Die kontinuierliche Zustandsraumformulation der deterministischen linearen Speicherkaskade mit skalaren Eingang leitete Szöllösi-Nagy [10] ab. Zur Beschreibung der Wellentransformation ist es vorteilhafter, wenn man mit je einer Eingangsgröße für jeden Speicher rechnet, um seitliche Zuflüsse oder Wasserfassungen modellieren zu können. Betrachtet man auch die Störungsgrößen als separate Eingangsgrößen, so kann man leicht, analog mit Szöllösi-Nagy [10], die kontinuierliche Zustandsraumformulierung des

so erweiterten Kalinin-Miljukov Modells erhalten /Szolgay [8], [9] /. Durch die Kombination der Kontinuitätsgleichung und der Kenngleichung jedes linearen Speichers bekommt man die Zustandsraumgleichungen in der Form

$$\frac{dx}{dt} = F/t/ \underline{x}/t/ + C/t/ \underline{u}/t/ + G/t/ \underline{w}/t/ \quad (3)$$

$$y/t/ = H/t/ \underline{x}/t/ + v/t/ \quad (4)$$

wo \underline{x} der Vektor der Speichervolumen ist, die Systemmatrizen $C=I$ und $G=I$ / I ist die Einheitsmatrix/,

$$\underline{F} = \frac{1}{k} \cdot \begin{bmatrix} - & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & & & \ddots & \\ 0 & \dots & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \underline{H} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \frac{1}{k} \end{bmatrix}^T$$

k ist die Speicherkonstante, \underline{x} , \underline{u} , \underline{w} , und y haben die gleiche Bedeutung wie vorher. Die diskrete Version dieses Modells kann wie folgend abgeleitet werden. Für allgemeine Eingangssignale ist die Lösung der Gl. 3

$$\underline{x}/t/ = \Phi/t, t_0/ \underline{x}/t_0/ + \int_{t_0}^t \Phi/t, \tau/ [G/\tau/ \underline{u}/\tau/ + C/\tau/ \underline{w}/\tau/] d\tau \quad (5)$$

für $t \geq t_0$, Φ ist die Übergangsmatrix des Systems /Meditch [4] /. Betrachtet man die Eingangssignale zwischen zwei Messungen als konstant und Gl. 5 ist integrierbar, so kann man direkt das diskrete Modell erhalten, wenn man die Übergangsmatrix des Systems kennt. Diese wurde von Napiorkowski und Strupczewski [6] bzw. von Szöllösi-Nagy [10] abgeleitet. Bezeichnet man $t_{a+1} - t_a = T$ /Abtastintervall/, gilt für jeden Element der Übergangsmatrix :

$$\Phi/t, \tau/_{i,j} = \frac{[t-\tau]^{i-j} e^{-\frac{|t-\tau|}{k}}}{[i-j]! k^{i-j}} \quad , \quad i > j ; \Phi_{i,j} = [0] \quad i < j \quad (6)$$

Wobei ist $1 \leq i \leq n$ und $1 \leq j \leq n$, n ist die Zahl der Speicher. Da in Gl.3 $G = C = I$, genügt es die Matrix Φ zu integrieren. Durch Integration per partes erhält man für jeden Element von $\Psi = \int$ die folgende rekursive Formel /Szolgyay [8, 9] /

$$\int_{aT}^{a+1/T} \left[\frac{U_{a+1/T-\tau}^{n-1}}{n-1/! k^{n-1}} \right] e^{-1/k[U_{a+1/T-\tau}]} d\tau = - \frac{T^{n-1} e^{-1/T/k}}{n-1/! k^{n-2}}$$

$$\int_{aT}^{a+1/T} \left[\frac{U_{a+1/T-\tau}^{n-2}}{n-2/! k^{n-2}} \right] e^{-1/k[U_{a+1/T-\tau}]} d\tau . \quad (7)$$

Für $n=1$ gilt direkt :

$$\int_{aT}^{a+1/T} e^{-1/k[U_{a+1/T-\tau}]} d\tau = k - k e^{-1/T/k} \quad (8)$$

So bekommt man für die Elemente der gesuchten Übergangsmatrizen /wobei $\Psi = \int /$ folgendes :

$$|\Phi|_{i,j} = \left[\frac{T^{i-j} e^{-1/T/k}}{i-j/! k^{i-j/}} \right], i > j ; |\Phi|_{i,j} = [0], i < j \quad (9)$$

$$|\Psi|_{i,j} = \left[k - \sum_{l=0}^{i-j} \frac{T^l e^{-1/T/k}}{l/! k^{l-1}} \right], i > j ; |\Psi|_{i,j} = [0], i < j \quad (10)$$

Die zweite Systemgleichung für das diskrete Modell ist mit Gl.6 identisch. Setzt man $\Gamma = 0$, bekommt man Gl.1,2 und 9,10 die diskrete Version des klassischen Kalinin-Miljukov Modells mit folgenden vorteilhaften Eigenschaften : die Übergangsmatrizen sind für verschiedene Modellstrukturen leicht programmierbar, es ist keine Konvolution notwendig, seitliche Zuflüsse und Wasserfassungen sind leicht zu berücksichtigen, die Speicherkonstante kann man zeitvariant gestalten und in Gl.6 kann man direkt ein lineares Gerinneabschnitt einbauen [8], [9].

VERGLEICH DER MODELLE

Die Vorhersagegenauigkeit der zwei Versionen des Kalinin-Miljukov Verfahrens wurde an 6 Hochwasserwellen mit verschiedenen Charakter an der Donau zwischen Wien und Bratislava und an 4 Wellen an dem Fluss Váh zwischen Drahovce und Šala verglichen. Für längere Prognosefristen als die mittlere Laufzeit /cca 9, bzw. 18 Stunden/, wurde angenommen, dass am Modelleingang eine „gute“ Vorhersage zur Verfügung steht.

Um das adaptive Modell optimal zu entwerfen, braucht man die Störungen im Gl. 1 und 2 genau zu definieren. Da aber dies in der Praxis kaum möglich ist [5], wurde ein suboptimales KALMAN-Filter benutzt /die Varianz der Vorhersage ist grösser, als das erreichbare Minimum/. Die Parameter der Modellstörung wurden on-line adaptiv durch ein modifiziertes Kovarianzalgoritmus nach Sage und Husa [5][7] geschätzt. Die Messfehler wurden als minimal festgelegt.

Für die Auswertung des Vergleichs wurden folgende Bewertungskriterien benutzt: 1. „Coefficient of efficiency“ von Nash ; 2. Mittelwert des absoluten Fehlers $\sum|V-M|/N$; 3. Standardfehler $[\sum(V-M)^2/N]^{1/2}$; 4. Maximaler Fehler ; 5. Mittelwert des Fehlers, wobei V den berechneten, M den gemessenen Wert und N der Anzahl der Messwerte entspricht. Mittlere Werte der Vergleichskriterien sind in Tabellen 1 und 2. K deutet auf das klassische, A auf das adaptive Verfahren. Die wichtigsten Erfahrungen des Vergleichs sind:

- die benutzte adaptive Version lieferte viel bessere Resultate bei kürzeren und vergleichbaren Prognosefristen mit der mittleren Laufzeit bei genügender Anzahl von Vorhersageschritten /cca 10-15/ für das Algoritmus um sich halbwegs „einstellen“ zu können, was man aus den Resultaten auf dem Fluss Váh deutlich sieht /das schränkt natürlich seine Benutzbarkeit für Vorhersagen von isolierten Ereignissen stark ein/ ;
- bei längeren Prognosefristen sind beide Modelle vergleichbar da sich der, durch die Annahme über den schrittweise konstanten Eingangssignal eingeführte, Fehler für den KALMAN-Filter als korreliertes Rauschen am Systemeingang bemerkbar machte, worauf er nicht natürlich vorbereitet war ;
- die Annahme, dass die Modellstörung weißes Rauschen ist, scheint doch beeinschränkend zu sein, obwohl die Autokorrelationsfunktion der Vorhersagefehler keine, oder fast keine Korrelation aufweist

/der Filter arbeitet fast optimal, alle mögliche Informationen für die Vorhersage sind ausgeschöpft/.

Tabelle 1.

Prognose- frist /Stunden/ Modell	Nash Koeffizient	Mittl. abs. Fehler	Standard- fehler	Maximaler Fehler	Mittlerer Fehler
DCNAU	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
6	K	0,980	152,8	184,6	570,6
	A	0,996	66,2	98,5	348,9
12	K	0,991	150,6	172,2	556,8
	A	0,995	114,0	155,1	377,5
18	K	0,996	141,0	144,6	403,4
	A	0,996	123,4	167,6	402,5
24	K	0,996	148,7	159,4	419,4
	A	0,996	138,6	195,7	403,6

Tabelle 2.

Prognose- frist /Stunden/ Modell	Nash Koeffizient	Mittl. abs. Fehler	Standard- fehler	Maximaler Fehler	Mittlerer Fehler
VAH	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
6	K	0,970	73,9	80,3	173,8
	A	0,989	39,5	52,1	116,6
12	K	0,966	72,3	75,7	166,6
	A	0,989	60,1	73,7	134,3
18	K	0,991	74,0	77,8	147,5
	A	0,597	100,0	132,3	220,2
24	K	0,991	90,4	91,1	168,3
	A	0,990	85,3	110,3	180,8

SCHLUSSBETRACHTUNGEN

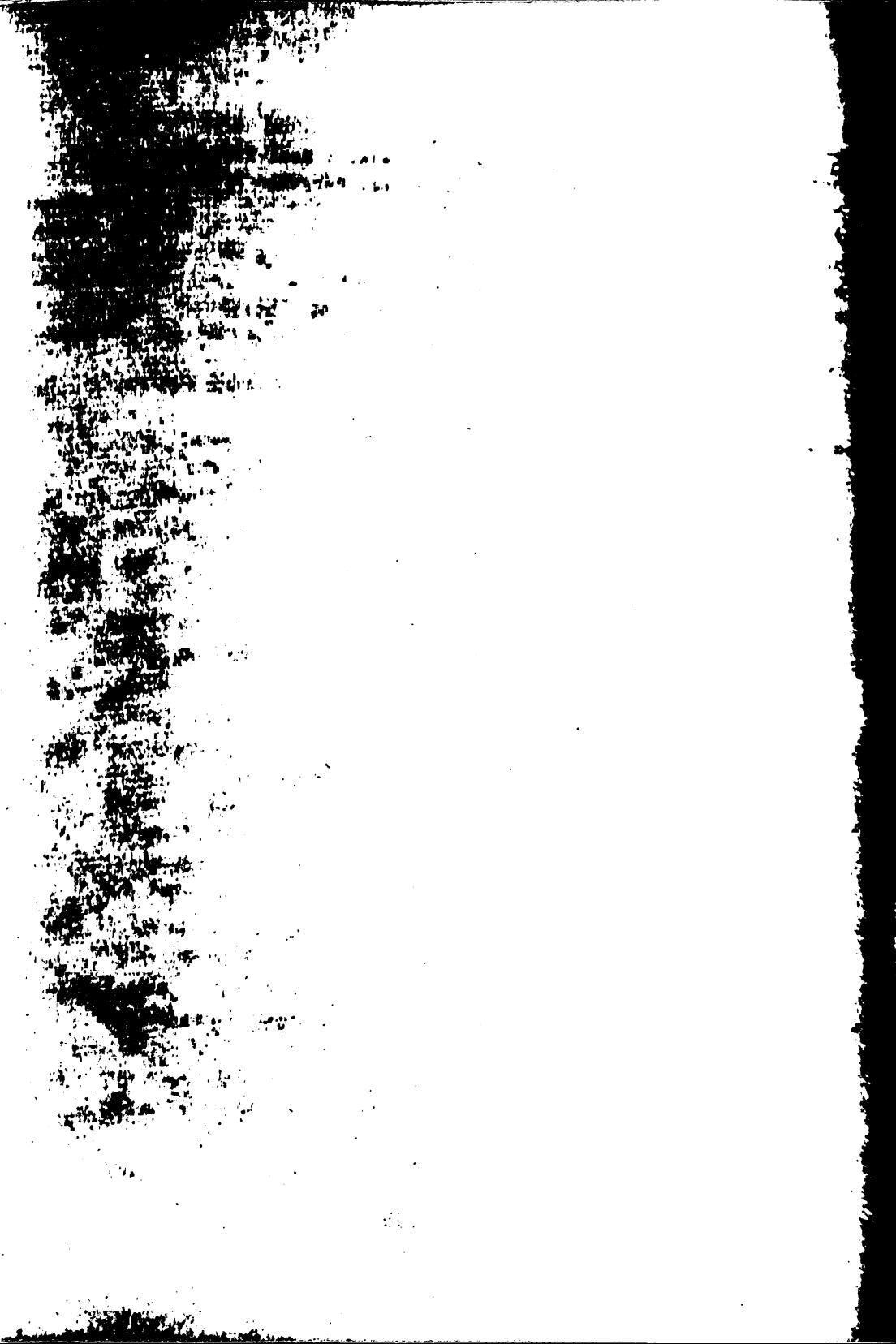
Obwohl die Resultate des adaptiven Modells recht vielversprechend waren, scheint es notwendig zu sein, bevor man es praktisch weit verwenden kann, noch die stochastische Teilmodelle des Gesamtmodells weiter und gründlicher zu erforschen, da sie die Güte der Resultate stark beeinflussen. Offen bleibt dabei aber die Frage, im welchen Masse man die Resultate durch viel komplexere adaptive Algorithmen /und natürlich viel grösseren Rechenaufwand/ grundlegend verbessern kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] CHIU, CHAO-LIN ed. : Applications of Kalman Filter to Hydrology, Hydraulics and Water Resources. Univ. of Pittsburg Press, ^{Pitts}Pittsburg, 1978.
- [2] EYKHOFF.P. : System Identification. John Wiley, London, 1974.
- [3] GELB, A. : Applied Optimal Estimation. MIT Press, Cambridge, 1974.
- [4] MEDITCH, J.S. : Stochastic Optimal Linear Estimation and Control. McGraw-Hill, New York, 1969.
- [5] MEHRA, R.K. : Approaches to Adaptive Filtering. IEEE Trans. on Automatic Control, AC-17, 1972, october, 693-698.
- [6] NAPIORKOWSKI, J.J. - STRUPCZEWSKI, W.G. : The Properties of the Kernels of Volterra Series Describing Flow Deviations from a Steady State in an Open Channel. Journal of Hydrology 52, 1981, 3/4, 185-198.
- [7] O'CONNELL, P.E. ed. : Real-time Hydrological Forecasting and Control. Inst. of Hydrology, Wallingford, 1980.
- [8] SZOLGAY, J. : Adaptive Modelle für hydrologische Vorhersagen. Ph.D.Dissertation /slovakisch/ ÚHH SAV, Bratislava, 1981.
- [9] SZOLGAY, J. : Zur Diskretisierung von kontinuierlichen Wellentransformationsmodellen. Vodohosp.časopis, 30, 1982, 2, 141-154. /slovakisch/.
- [10] SZOLLÓSI-NAGY, A. : State Space Models of the Nash-Cascade, Kinematic and Dynamic Waves. Res.rep.TULEA 1981:14, 68, Inlea.

[11]

WOOD, E.F. - SZÖLLÖSI-NAGY, A. eds. : Real-Time Forecasting/
Control of Water Resource Systems. Pergamon Press, Oxford,
1980.



ZUR PROBLEMATIK DER ENTWICKLUNG VON MODELLEN FÜR DIE
KURZFRISTIGE ABFLUSSVORHERSAGE

D. GUTKNECHT u. W. KRESSER

REZUME

ON THE PROBLEM OF MODELLING FOR SHORT-TERM
STREAMFLOW FORECASTING

A b s t r a c t. Although in the field of the short-term streamflow forecasting some experience has been reached nevertheless either in the small catchments or in the large ones a lot of problems are still waiting for solution. These problems concern the following:

- Taking into account the basin process regarding the runoff as data input for model developing
- Formulating difficulties aiming to develop a model of a complex natural process (rainfall-runoff process)
- Limited representativeness of data input due to the errors or scarce data and consequently to these shortenings the development of an "empirical" model becomes difficult
- Capability to develop the forecast through the models of "reference" type and to perfect the model structures
- Drawing up the forecast with an enough range of time in view to make all the necessary provision for decision-making, and last
- Accuracy of the streamflow forecasts, taking into account the Man's impact on the hydrological regime.

К вопросу о проблематике разработки моделей для краткосрочного
прогнозирования стока

Д. ГУТКНЕХТ и В. КРЕССЕР, Вена

/Резюме/

Хотя в области краткосрочного прогнозирования стока уже имеется некоторый опыт, тем не менее как у небольших так и у больших бассейнов возникает ряд проблем, ждущих еще своего решения. Это касается в первую очередь

- учета в бассейне событий, связанных со стоком, в качестве исходных данных для построения модели,
- трудности формулирования для целей построения модели сложного природного процесса /процессов осадков и стока/,
- ограниченной выразительности вводных данных вследствие ошибок или незначительного количества данных и связанных с этим трудностей при "эмпирическом" построении модели,
- возможностей улучшения прогнозов путем "доводки модели" и совершенствования структуры модели,
- выдачи прогноза с соблюдением достаточно длинного срока прогноза для возможного принятия необходимых мер и, наконец,
- обеспечения будущих прогнозов стока при росте антропогенных воздействий на общий режим стока.

В настоящей специальной статье вышеуказанные проблемы и варианты их решения подвергаются более подробному обсуждению.

Durch eine kurzfristige Abflußprognose soll die Reaktion eines Gewässers auf die verschiedenen abflußwirksamen Ereignisse in seinem Einzugsgebiet vorhergesagt werden. In der Zeitspanne zwischen diesen Ereignissen und dem an einer bestimmten Meßstelle auftretenden Abfluß hat die Prognose zu erfolgen, die im wesentlichen drei Arbeitsgänge umfaßt, und zwar

- die Registrierung der abflußrelevanten Ereignisse und hydro-meteorologischen Verhältnisse,
- die Berechnung der entsprechenden Abflüsse, d.h. die Vornahme der eigentlichen Prognosenberechnung und schließlich
- die Ausgabe der Abflußprognose [9].

Während die Beobachtung und Registrierung der abflußwirksamen Ereignisse und (Boden-)Verhältnisse an Hand eines bereits eingerichteten Meßnetzes erfolgt, ist die Berechnung der zu erwartenden Abflüsse und u.U. auch noch die Ausgabe der Prognose nicht selten mit großen Schwierigkeiten verbunden. Die richtige Bestimmung der Abflüsse setzt ja die hinreichende Kenntnis der Beziehungen zwischen den abflußrelevanten Ereignissen bzw. Verhältnissen und dem Abfluß voraus. Diese, aus der Vergangenheit zu gewinnenden Beziehungen können im einfachsten Fall aus einem Satz von Formeln bestehen. Allgemein kann man von einem Prognosemodell sprechen, dessen Entwicklung oft erhebliche Probleme aufwirft. Das trifft besonders dann zu, wenn die Prognosezeit, also die Zeitspanne zwischen der Angabe und dem Eintreten der vorausgesagten Abflüsse eine bestimmte Lösung aufweisen soll, um das Ergreifen gewisser Maßnahmen wie Hochwasserwarnung oder Vorabsenkung zu ermöglichen. Aus dieser Bedingung entstehen aber sowohl bei kleinen als auch bei großen Flüssen meist größere Schwierigkeiten bei der Erstellung der Prognose.

Bereits die Modellbildung kann Probleme aufwerfen, insbesondere aus der Forderung der Praxis, den überaus komplexen Vorgang des

Hochwasserablaufs in einem Fluß- bzw. Einzugsgebiet durch ein möglichst einfach aufgebautes und leicht anzuwendendes Modell wiederzugeben. Struktur und Aufbau von praktisch eingesetzten Vorhersagemodellen fußen daher nur in seltenen Fällen auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten dieses Vorganges und werden zum überwiegenden Teil auf empirische Weise aus beobachteten Ein- und Ausgangsdaten abgeleitet.

Die dabei verwendeten Methoden können von der Mehrfachregressionsanalyse mit ihren verschiedenen Auswahlmethoden über ein Mehrkanalfilterverfahren bis zu relativ hoch entwickelten Methoden der Systemidentifikation reichen [3,6]. Bei allen Unterschieden, die sich auf Grund verschiedener Ansätze zur Parameterschätzung und verschiedener Gütekriterien dabei ergeben, kann als gemeinsames Merkmal all dieser Methoden der Modellentwicklung festgehalten werden, daß sowohl die Modellstruktur als auch die Modellparameter durch die einbezogenen Daten bestimmt werden. Abbildung 1 gibt ein Bild von diesen Zusammenhängen.

Für das Ergebnis einer Modellbildung nach dieser Vorgangsweise ist es nun von großer Bedeutung, welche Rolle die dabei auftretenden Meß- und Modellfehler spielen. Zur Verdeutlichung verschiedener, möglicher Fälle wird in der folgenden Übersicht von gegensätzlichen Positionen ausgegangen. Der Annahme eines theoretisch wohl fundierten Modellansatzes wird der Fall gegenübergestellt, in dem der Ansatz in weiten Grenzen noch offen ist und erst im Zuge der Modellidentifikation festgelegt wird. Die Datensituation wird durch Güte und Aussagekraft der Daten charakterisiert, für die die Einstufungen "gut" bzw. "schlecht" gelten mögen. Unter diesen Annahmen lassen sich die nachstehenden vier Fälle unterscheiden.

Fall A umschreibt die günstigste Situation, die zu einem sowohl von der Modell- wie auch von der Datenseite her gut abgesicherten Resultat führt.

		Datenbeschaffenheit "gut"	Datenbeschaffenheit "schlecht"
Modell- ansatz	abgesichert durch "Vorwissen"	A <input checked="" type="checkbox"/>	B Beachtung der Meß- störgröße
	zu ermitteln durch Modell- identifikation	C Regression, system- theoret. Methoden	D <input type="checkbox"/>

Fall B wird ebenfalls aufgrund des bekannten Modellansatzes zu verlässlichen Resultaten führen, wenngleich bezüglich der Einbeziehung der Daten Überlegungen anzustellen sind und negativen, durch Datenunsicherheit bewirkten Effekten unter Umständen durch geeignete Ansätze durch Verwendung entsprechend groß gewählter Varianzen der Meßstörgröße entgegenzuwirken ist.

Die Situation im praktischen Vorhersagefall ist im allgemeinen durch die Fälle C und D umschrieben. Der Umstand, daß im Fall C "gute" Daten vorliegen, macht es möglich, die gebräuchlichen Verfahren der empirischen Modellentwicklung anzuwenden wie zum Beispiel

- die automatischen Auswahlverfahren der Regressionsanalyse [2] (Schrittweise Mehrfachregression, Regression mit Vorwärts- bzw. Rückwärtselimination, Best subset-Regression etc.) oder
- die Verfahren auf Basis der Selbstorganisationsmethode [5].

Dabei u.U. auftretenden numerischen Schwierigkeiten, die von einer linearer Abhängigkeit der Eingangsgrößen herrühren, kann man durch geeignete Hilfsmittel wie Orthogonalisieren, Zusammenfassung von Gliedern [2,7] oder durch Verwendung der Ridge-Regression [8] begegnen, sodaß in der Regel ein Modellansatz zu erzielen ist, mit dem eine relativ hohe Güte der Wiedergabe der beobachteten Werte erreicht wird.

Offen bleibt zunächst aber noch die Frage, wie sich ein solches Modell, das den bisher beobachteten Werten "optimal" angepaßt ist, verhält, wenn es auf neue, in der Zukunft auftretende Situationen

angewendet wird. Aufschluß darüber läßt sich näherungsweise erhalten, indem die vorhandenen Datensätze in eine "Eich"-Phase und in eine "Test"-Phase geteilt werden, wovon ein Teil der Modelleichung, der andere dem Modelltest dient. Aus dem Vergleich der Fehlermaße von Eich- und Test-Phase ergibt sich ein Einblick in das Vorhersageverhalten. Ganz generell wird eine Übernahme des Modells auf künftige Ereignisse jedoch nur unter der Voraussetzung möglich sein, daß der Vorgang immer in ähnlicher Weise abläuft. Eine zusätzliche Anpassung des Modells an die aktuellen Daten läßt sich dann durch den Einbau eines rekursiven Parameterschätzverfahrens, mit dessen Hilfe das Modell "nachgeführt" wird [1,4], erreichen.

Kaum oder nur schwer zu lösen sind die mit der Modellentwicklung verbundenen Probleme dann, wenn wie im Fall D die vorhandenen Unterlagen "schlecht" sind. Dabei ist zu beachten, daß Daten in Zusammenhang mit der Modellentwicklung auch dann als schlecht zu bezeichnen sind, wenn sie - unabhängig von etwaigen Meßfehlern - Diskrepanzen aufweisen, die sich zum Beispiel in einem unterschiedlichen Verhalten der betrachteten Ganglinien an Ober- und Unterstrompegeln im Zeit- und Frequenzbereich ausdrücken.

Eine sorgfältige Analyse der Ganglinien der letzten größeren Hochwasserereignisse an der oberösterreichischen Donau bestätigt die Zunahme solcher Diskrepanzen in den letzten Jahren. So ergab sich, daß

- am Vorhersagepegel mitunter sprunghafte Änderungen auftraten, die an keinem Pegel oberstrom ein Äquivalent finden,
- Kreuzkorrelationsfunktionen bei gleichem natürlichen Aufbau bei verschiedenen Ereignissen eine gänzlich verschiedene Form aufweisen,
- aus manchen Kreuzkorrelationsfunktionen auf negative Laufzeiten zu schließen wäre,
- Hochwasserfrachten nicht übereinstimmen und
- Unstimmigkeiten dieser Art mit der Zeit zunehmen.

Für die Entwicklung eines Vorhersagemodells ergeben sich daraus Probleme in verschiedener Hinsicht, insbesondere:

- Modellidentifikations- und Paramterschätzverfahren reagieren auf vereinzelte Sprünge und Höcker in den Ganglien, indem sie diese plötzlichen Änderungen als "informativ" werten. Dies führt zu mitunter völlig verschiedenen Gleichungen für die einzelnen Ereignisse und zu einer erhöhten Unsicherheit in Bezug auf die Anwendbarkeit des Modells.
- Das Auftreten plötzlicher Änderungen lässt auch den Einsatz adaptiver Verfahren fraglich, wenn nicht überhaupt sinnlos erscheinen, da ein Reagieren des Modells bei abrupten Durchflusschwankungen oft zu einem "Übersteuern" führen würde.
- Verschwindende bzw. unter Umständen sogar negative Laufzeiten schließen überhaupt die Möglichkeit aus, Vorhersagen zu erstellen. Sinnvolle Vorhersagen wären in solchen Fällen nur möglich, wenn der Vorgang, der zur Ausbildung dieser Störungen führt, im vorhinein in die Vorhersagenerstellung einzbezogen werden könnte.

Als Folgerungen für künftige Arbeiten zur Vorhersagenermittlung ergibt sich daraus, daß eine Modellentwicklung nach den üblichen Methoden unter einer solchen, durch stark beeinflußte Daten charakterisierten Situation kaum mehr möglich ist. Zur Verbesserung dieser Situation wäre daran zu denken, einerseits Informationen über den Prozeßablauf mit aufzunehmen und andererseits die durch den Einstau aller Pegelprofile verloren gegangenen Informationen über die Abflußsituation durch Verbesserung der derzeitigen Durchflußangaben an den beeinflußten Stellen wieder herzustellen.

Erst bei entsprechenden Vorkehrungen in dieser Richtung ist zu erwarten, daß wieder Vorhersagen mit der gewünschten Genauigkeit erstellt werden können.

Literaturverzeichnis:

- [1] BECKER,A., E.GLOS, B.POLTE und P.SESNOWSKI:
 Operative hydrologische Vorhersagen, mit Nachführung von
 Modellgrößen. IX.Konferenz der Donauländer über hydrolo-
 gische Vorhersagen, Budapest 1977.

- [2] DRAPER,N. and H.SMITH: Applied regression analysis.
John Wiley & Sons, 2nd edition, New York 1981.
- [3] EYKHOFF,P.: System Identification-Parameter and state estimation.
John Wiley & Sons, New York 1974.
- [4] GUTKNECHT,D.: Theorie der Vorhersagemodelle.
In: Operationelle Wasserstands- und Abfluß-Vorhersagen.
Schriftenreihe des DVWK, Heft 51 (1980), S.10 - 46.
- [5] IKEDA,S., S.FUJISHIGE und Y.SAWARAGI: Non-linear prediction model of river flow by self-organization method.
Int.Journal Systems Sci., 7 (1976), S.165 - 176.
- [6] ISERMANN, R.: Prozeßidentifikation
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1974
- [7] JENSEN,H.: Anwendung der Regressionsanalyse.
In: Hydrologische Prognosen für die Wasserwirtschaft.
Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr.12 (1974), S.137 - 164.
- [8] KITANIDIS,P.K. and R.L.BRAS: Collinearity and stability in the estimation of rainfall-runoff model parameters.
Journal of Hydrology, 42 (1979), S.91 - 108.
- [9] KRESSER,W.: Zur Geschichte der hydrologischen Vorhersagen im Donauraum.
Österreichische Wasserwirtschaft 32 (1980), S.238 - 251.

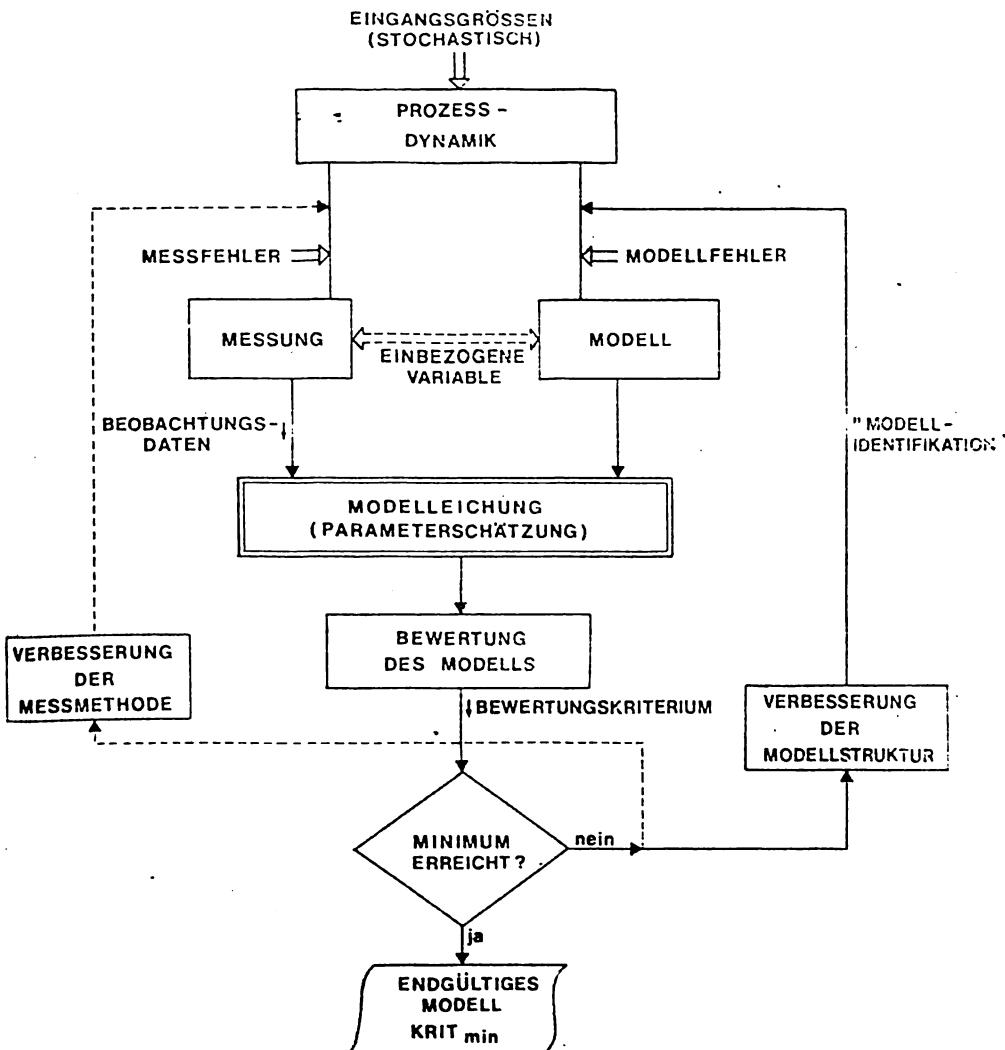
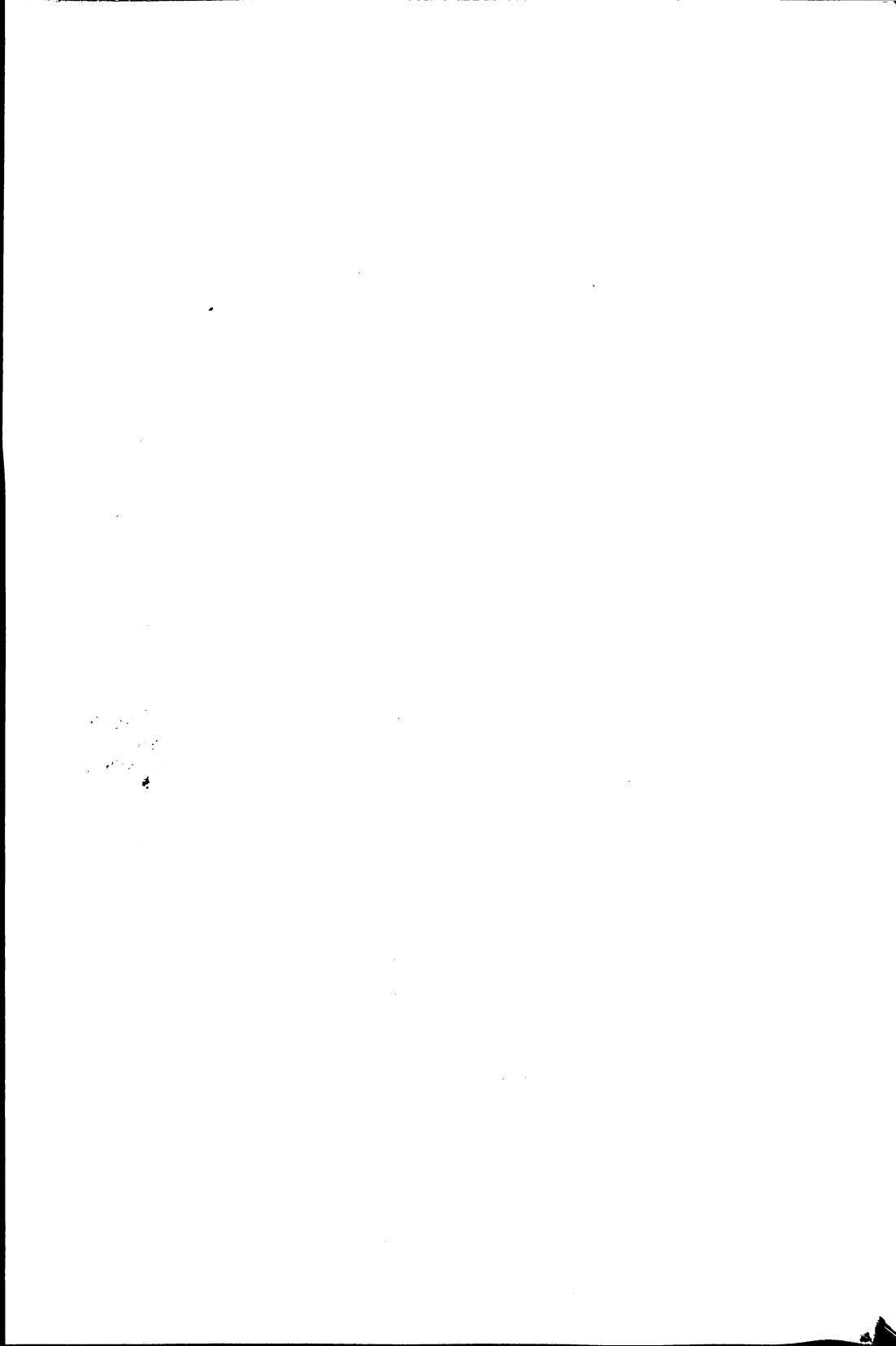


Abb.1: Prinzip der Modellentwicklung



ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЕЖЕДНЕВНЫХ УРОВНЕЙ
ДУНАЯ, ОСНОВАННАЯ НА КЛАСТЕРНОМ АНАЛИЗЕ И
ОПОЗНАНИИ ОБРАЗОВ, С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЯ ПО-
СТОЯННОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОГНОЗОВ

| Иштван Жуффа, Технический институт им. Михая Поллак, Бая,
| Венгрия

, Иштван Абони, Институт водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

REZUME

REAL-TIME FORECASTING MODEL FOR THE HUNGARIAN
PART OF RIVER DANUBE USING CLUSTER ANALYSIS
AND PATTERN RECOGNITION TECHNIQUES

The forecasting model used since 1975 is continuously improved. The procedure is based upon a multivariate cross-regressive model of the daily water stage differences and is updated at every tenth day. The algorithm selects the most important variables from the large amount of data by two filters. The algorithm is very fast and gives essentially the same results as the more exact factor analysis but with a ten times less CPU time. The regressive model was improved in 1979 by including a cluster model. Since 1980 pattern recognition improves forecasting. The procedure is fully automatic in the sense that the algorithm selects, on the basis of the incoming TELEX data and previous predictions, which model to activate, whether the regressive model, the cluster model or the one using pattern recognition. Updating is also done automatically together with the evaluation of previous forecasts. Data coming into the data base are checked by effective multistage screening methods.

ECHTZEITVORHERSAGE FÜR DIE UNGARISCHE
DONAU-STRECKE MIT CLUSTERANALYSE UND
ERKENNUNGSMECHANISMUS

Der Algorithmus war im Jahre 1975 ausgearbeitet worden und wurde seitdem fortwährend weiterentwickelt. Er basiert sich auf mehrvariablen Kreuzkorrelationsrelationen zwischen den täglichen Wasserstandsänderungen, die alle 10 Tage erneuert werden. Aus den zur Verfügung stehenden vielen Variablen sucht das Programme den relevantesten mit Hilfe von zweier Filtern. Dieser sehr schneller Algorithmus ergibt praktisch die gleiche Resultate, wie die, die mit der exakteren Methode der Faktorenanalyse in einer 10-fach längeren Rechenzeit

zu bekommen sind. Das Regressionsmodell wurde 1979 mit Cluster-Submodellen erweitert, und seit 1980 sind die Vorhersagen - wenn nötig - mit Erkennungsmechanismus erweitert. Das ganze System läuft automatisch: der Rechner selbst entscheidet auf Grund der durch Telex erhaltenen Daten und der Auswertung der Vorhersagen, ob das Regressions-Basismodell, ein Clustermodell, oder das Erkennungsmodell angewandt wird. Die 10-tägige Erneuerung des Systems wird auch automatisch durchgeführt, mit Rücksicht auf den Vorhersagen der vorhergegangenen Dekade. Der Rechner kontrolliert sowohl die täglich angekommenen Daten, wie auch die, die alle 10 Tage zu die Datenbasis gefügt werden.

СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

Наш метод относится к чисто статистической группе методов прогноза. Достоинство этого метода заключается в следующем:

- непрерывное возобновление параметров, минимизирующих целевую функцию $\sum u_i^2$

- разработка программы, которая содержит в себе автоматический контроль основных данных и определение показателей эффективности прогноза.

Отдельно занимались выделением случайных ошибок, связанных с неопределенностью наблюдений (отчет по водомерной рейке).

Базисом данных прогностической модели является временной ряд ежедневных уровней воды, измеренных вдоль продольного профиля водотока. Базис данных возобновляется одновременно выпуском ежедневных прогнозов и для определения прогностического наставления используются данные последних 3-х месяцев.

Общий вид нашего прогностического уравнения в случае непрерывного в времени ряда:

$$\hat{\Delta x}_i^{(t+k)} = A_{i,0} + \sum_{j=1}^n B_{i,j} \Delta x_j^{(t_{opt})} + \sum_{j=1}^n C_{i,j} * x_j^{(t_{opt})} \quad 1)$$

где $\hat{\Delta x}_i^{(t+k)}$ - прогностическое значение одновременного изменения уровня воды на i -той водомерной рейке с заблаговременностью k дней; t - время выпуска прогноза; $A_{i,0}$ - постоянный член, если зависимый переменный i -ый; n - число водомерных реек; $B_{i,j}$ - взвешивающие факторы; $\Delta x_j^{(t_{opt})}$ - ежедневные изменения уровня воды относительно Δx_i с временным сдвигом t_{opt} ; t_{opt} - оптимальный интервал, определяется по минимуму корреляционной функции r_{xi} , $x_j = f(t)$, если $t_{opt} < k$, тогда $t_{opt} = k$; $C_{i,j}$ - взвешивающие факторы; $x_j^{(t_{opt})}$ - уровни воды временных рядов, которые являются независимыми переменными.

Система обозначений прогностического уравнения (1) предполагает,
что

$$D_i < D_{i+1} \quad i=1, 2, \dots, (n-1)$$

где D_i - расстояние i -ой водомерной рейки от устья.

Определение параметров А, В и С производится по методу наименьших квадратов.

Группу независимых переменных уравнения при определенных зависимых переменных и заблаговременствах отбираем с помощью частичных корреляционных факторов (для i -го переменного). В первую очередь исследуем знак частичного корреляционного фактора, так как отрицательная связь между изменениями уровня воды по существу не возможна. Многолетний опыт доказал, что этот метод действительно фильтрует избыточные переменные.

REZUME

Эта модель была приемлема для участка реки Дуная между Бадалештом и Апатином. Анализируя автокорреляционную функцию расхождений и показатели прогноза (показатель эффективности, индекс корреляции), пришли к выводу, что эффективность краткосрочного прогноза - учитывая неточность отсчетов - в дальнейшем не возрастает. Для исправления прогноза с заблаговременностью более 3 дней ввели перегруппировку данных по интервалам и изменениям уровней воды.

Прогностическое уравнение с группированными данными имеет следующий вид:

$$\hat{x}_i^{(t+k)} = A_{i,0} + \sum_{j=i}^n B_{i,j} * x_j^{(t_{opt})} \quad (2)$$

ПРИНЦИПЫ ГРУППИРОВКИ

а Произвольным образом произвели разделение подъема и спада паводочной волны в случае изменения уровня воды.

б Пределы интервалов уровня воды определялись автоматически. Беря интервалы через 50 см и принимая R (многократный корреляционный фактор) дискриминантом,

$$R(H < H_0) + R(H > H_0) \neq R_{\max}$$

если начальный уровень разделения H_0 , при котором удовлетворяется це левая функция

$$R(H < H_0) > R(H) \wedge R(H) > H_0 > R(H)$$

Таким образом, с помощью этой группировки учитываем среднее действие поймы, которое влияет на достаточно высокий уровень воды. Чем больше расхождение между конкретным и средним состоянием поймы, тем больше ошибок содержит прогноз.

717. в) Дискриминантом сгруппированных данных по алгоритмам опознания образов является расстояние между секторами данных.

Группируем элементы вектора в нарастающем порядке

$$T_l = \sqrt{\sum_{j=i}^n (x_j^{(t)} - x_j^{(l)})^2 + \sum_{j=i}^n (\Delta x_j^{(t)} - \Delta x_j^{(l)})^2} \quad l=1, 2, \dots, (t-1)$$

REZUME
На основании первоначального индекса первых 90 элементов определяем элементы статистической выборки.

РАЗРАБОТКА ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗОВ

Полный прогностический метод в основном ориентирован на применении ЭВМ, не обходится без современных вычислительных средств. Основным требованием при составлении программ является программное обеспечение для безошибочного действия системы. Таким образом, полная система прогнозов содержит не только выпуск прогнозов и составление уравнений, но и возможность контроля и модификации входных данных, а также дополнительный контроль прогностических значений.

a) $H_{\min} < H(t) < H_{\max}$

где $H(t)$ — наблюденный уровень воды в момент времени t . H_{\min} и H_{\max} — граничные значения, которые расчитываются по средним значениям и дисперсии данных.

b) $\Delta H_{\min} < \Delta H(t) < \Delta H_{\max}$

где $\Delta H(t)$ — наблюдаемое изменение уровня воды в t день.

c) $|H(t) - H_{\min}| < H_k$

где $\tilde{H}(t)$ — интерполированное значение уровня воды в момент времени t , $-$ извне заданный предел. Этот метод предполагает известными $H_{(t+1)}$

и $H_{t+2} \cdot H_k$ - извне заданный предел.

По этим критериям исследуем временной ряд изменений в обоих направлениях. Десятое условие нашего контроля:

$$||H(t) - \hat{H}^{(k=1)}(t)|| < H'_k$$

где $\hat{H}^{(k=1)}_t$ - прогнозическое значение на время t с заблаговременностью 1 день.

Те данные, которые удовлетворяют всем десяти условиям, входят в состав базиса данных прогноза, а исследование подозрительных данных и их коррекция является задачей инженера-специалиста.

Первая задача программы, выдаваемой ежедневные прогнозы, - исследование актуальности хранимых уравнений по поступающим входным данным:

$$\text{REZUME } E(t) = \sum_{j=1}^n (x_{j,t} - \hat{x}_{j,t}^{(k=1)})^2 < K \quad (3)$$

где $E(t)$ - сумма квадратов разности фактического и прогнозического значения уровня воды (при $k = 1$) на всех станциях на время t ; K - предел, который зависит от колебания уровня воды.

Таким образом, время между составлением двух прогнозических уравнений изменяется динамично, соответственно ходу водного режима. Обновление уравнений связи проводится в том случае, если не выполняется неравенство (3). Выбором соответствующего порога K можно оптимизировать работу системы.

Если условие (3) выполняется, то серия хранимых уравнений является действительной и второй задачей нашей программы является составление ежедневных прогнозов. Это всегда производится по двум этапам.

Вначале составляется прогноз по уравнениям, которые были определены непрерывным рядом данных. По прогнозическим значениям наша программа автоматически выбирает для каждой станции то уравнение, которое соответствует ожидаемому уровню воды и его изменению.

Последующий контроль прогнозических значений показал, что при больших изменениях уровня воды ($\Delta H > 10$ см на Дунае) тот прогноз оказывается лучшим, который был составлен по группированным данным.

Комплектность прогнозической программы обозначает контроль значений уровня воды, которые были спрогнозированы в прошлом, возможность анализа расхождений, определение прогнозических чисел, справедливых

на данный отрезок времени.

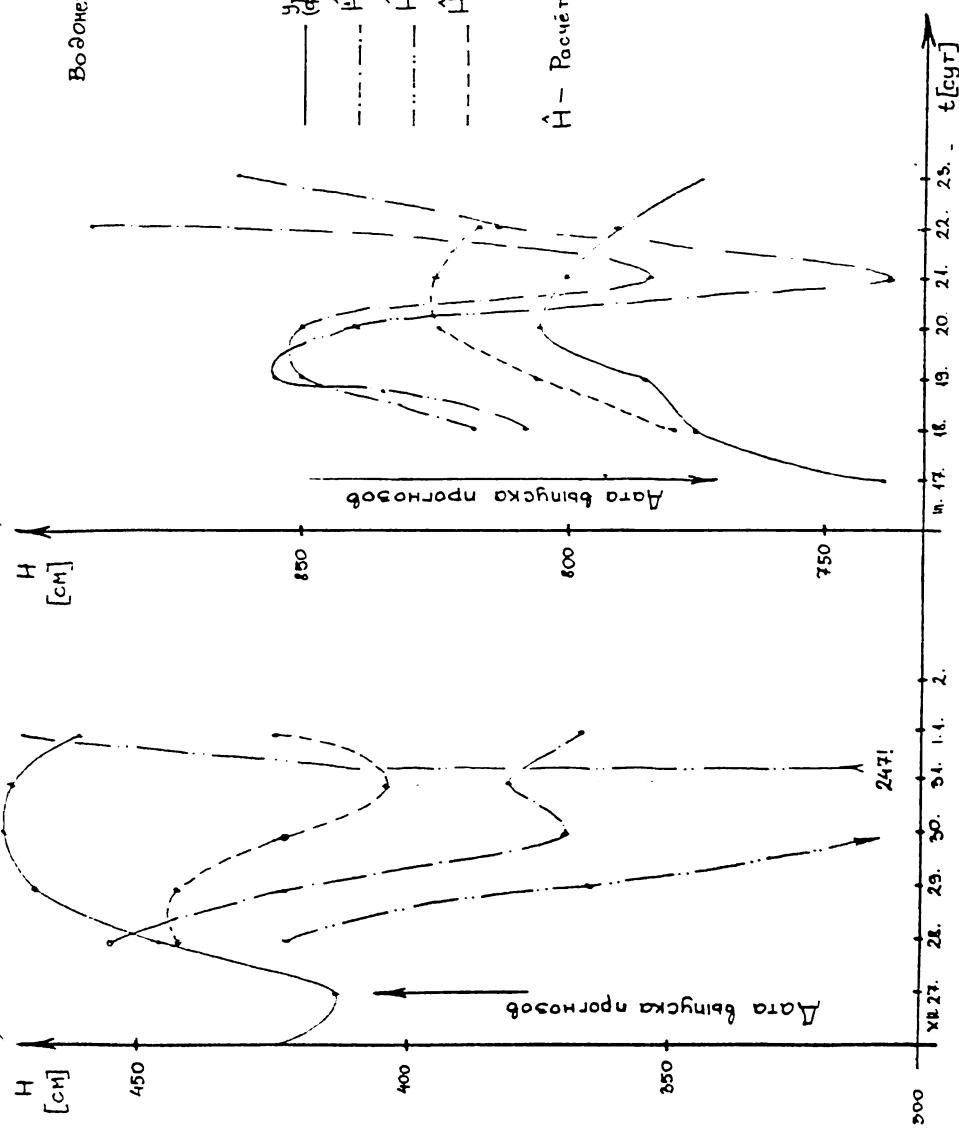
На приведенном рисунке показана сходимость между прогностическими значениями, полученных разными методами, и фактическими. Очевидно, что линейная модель, составленная на основании непрерывного ряда данных, не пригодна в таких случаях для прогноза. Кроме этого модели, работающие с сгруппированными данными спада и подъема, значительно отличаются от наступающих значений уровня воды.

Наилучшее согласование получается с использованием уравнений процесса опознания образов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ABONYI, I., ZSUFFA, I.: Folyamatos vizállás-előrejelzés jelen-tősebb mellékfolyó nélküli folyószakaszon, Vizügyi Közlemények, 1978/3.
- [2] REZUME
[2] SZESTAY, K.: A Duna vizállásának folyamatos előrejelzése. Kézirat, 1965.
- [3] KONTUR, I., SZÖLLÖSI-NAGY, A.: A kovariancia és korreláció függvények elméletének és becslésének az áttekintése, Hidrológiai Közlöny, 1973.
- [4] PRÉKOPA, A.: Valószínűségelmélet. Műszaki Könyvkiadó, 1972.
- [5] ZSUFFA, I.: A folyamatos előrejelzési rendszer kidolgozása a legújabb matematikai statisztikai eljárással, VITUKI témajelentés, 1981.

Водонапорный пост Мокач





ЛИНЕЙНАЯ ГИДРОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОКА

кнк. Ладислав Каменски

кнк. Виктор Мигине

кнк. Штефан Подолянски

Словацкий гидрометеорологический институт, Братислава

Гидрологический центр, Банска Бистрица

LINEAR HYDROMETRIC RUNOFF MODEL

The paper presents results of research of a linear hydrometric runoff model when it is used for discharge forecasting. The known model makes use of discharge dependency in an outlet section of the river system QD on a discharge sum of I upper profiles SQH regarding the lag time TAU according to the basic relation:

$$QD(T) = a + b \cdot SQH(I, T-TAU(I))$$

In spite of present methods the method of comparative analysis is used which considers indefinite lag time to be another independent variable continuously varying with a cyclic speed change in a stream that enables to find an optimum time correspondence of flood waves. The method provides analysis of different conditions of hydrometric dependency that show possibilities and limitations of its model for discharge forecasting.

LINEARES HYDROMETRISCHES MODELL DES ABFLUSSES

Im Beitrag werden Forschungsergebnisse des linearen hydrometrischen Abflussmodells bei seiner Applikation auf die Durchflussvorhersage vorgelegt. Dieses bekannte Modell nutzt die Abhängigkeit des Durchflusses im abgeschlossenen Profil des Flusssystems QD von der Durchflusssumme von I oberen Profilen SQH unter Berücksichtigung des fortschreitenden Zeitraums TAU laut Grundbeziehung

$$QD(T) = a + b \cdot SQH(I, T-TAI(I))$$

Im Unterschied zu den bisherigen Methoden wird die Methode der komparativen Analyse angewendet, bei der unbestimmte fortschreitende Zeitraum für eine weitere unabhängige Veränderliche gehalten wird und sich fliessend mit der zyklischen Geschwindigkeitsänderung in der Strombahn verändert, wodurch eine optimale Kongruenz der Durchflusswellen gesucht wird. Diese Methode ermöglicht die Analyse verschiedener Bedingungen der hydrometrischen Abhängigkeit, die Möglichkeiten und Einschränkungen ihres Modells für die Durchflussvorhersage zeigen.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для волны паводка в рассматриваемом нижнем (замыкающем створе для упрощения предполагается, что сложена из суммы расходов в верхнем створе на главном водотоке и не отдельных притоках. Трансформирующее влияние русла и влияние неустановившегося движения на реаультирующую волну паводка в нижнем створе неизвестно и не принимается во внимание.

Итак, если в распоряжении имеются контролируемые расходы только в нескольких верхних створах, представляющие в сумме только часть реаультирующего расхода, мы предполагаем общезвестную и ясную зависимость в виде:

$$QH(T) = QB(1, T-TAU(1)) + QB(2, T-TAU(2)) + \dots + QM = CQB(I, T-TAU(I)) + QM \quad (1)$$

где $QH(T)$ = расход в нижнем створе в реальном времени;

I = количество контролируемых притоков, включая верхний створ на главном водотоке;

$QB(I)$ = расход в I -ом верхнем створе;

$TAU(I)$ = время добегания расходов в I -ом створе;

QM = неконтролируемая боковая приточность за время соответствующее времени добегания из наиболее удаленного верхнего створа.

При строго уравновешенных условиях формирования стока на всей площади бассейна доля неконтролируемого притока является константной величиной, из чего следует обычно используемая наиболее простая зависимость:

$$QH(T) = K \cdot C \cdot QB(I, T-(TAU(I))) \quad (2)$$

которая в целях практического использования преобразуется в абсолютно линейный вид с условием, что суммарная константа "A" близка нулю:

$$QH(T) = A + B \cdot SQB(I, T-TAU(I)) \quad (2a)$$

Однако, в действительности условия формирования стока очень неравномерные, что находит яркое отражение в различной доле неконтролируемого притока, а именно, не только при каждой волне паводка, но и за время ее возникновения. Поэтому необходимо искать новые независимые переменные, которые бы подходящим способом выразили неизвестное влияние промежуточного водосбора.

Зависимость (2a) является основной формой линейной гидрометрической модели стока, кажущаяся необыкновенно простой, общедоступной и притом достаточно недорогим средством для прогноза расходов. Однако, ее применение требует прежде всего знания времени добегания из каждого верхнего створа, а также в преобразованном виде необходимого выражения неизвестного влияния промежуточного водосбора. До сих пор используемые методы вышеупомянутое основное условие не учитывали, это вело к тому, что возможности линейной модели были недооценены, несмотря на то, что не были в достаточной степени известны.

Основным недостатком было неясность во времени добегания расходов, при которой невозможно провести подробный

анализа гидрометрической зависимости. Нам удалось найти метод, полностью отстраняющий упомянутый недостаток.

П. МЕТОД КОМПАРАТИВНОГО АНАЛИЗА

Основой нашего метода является моделирование предполагаемого строения гидрографов на вычислительной машине по зависимости (2а), при котором неизвестное время добегания ТAU мы просто считаем новой независимо переменной с отличительным обозначением ДТ. Моделируем естественный процесс формирования стока, отраженный в волнах в верхних створах с заблаговременностью, имеющей строгие закономерности. Время добегания физически зависито от расстояния или пути L (км) и средней скорости потока ВС (км/час). В соответствии с этим основной вид гидрометрической зависимости мы преобразовали следующим образом:

$$\begin{aligned} DT(I) &= L(I)/BC \\ QH(T) &= A + B \cdot CQB(I, T-DT(I)) \end{aligned} \quad (3)$$

Скорость ВС колеблется в определенном известном диапазоне, который специально выбираем больше, например от 4 до 12 км/час. Расстояние L для каждого створа известно. В результате вычисления зависимости (3) в данных пределах цикла ВС с единичным интервалом изменения будут получены $12 - 4 + 1 = 9$ результатов, которые легко можно сравнить по средней квадратической ошибке. Результаты будут отличаться только в зависимости от использованного смещения времени ДТ, поскольку остальные условия остались без изменения. В нашем распоряжении имеются данные для компартивного анализа одного из основных условий гидрометрической зависимости, который открывает до сих пор неиспользованные возможности.

Смещение времени, соответствующее наименьшей ошибке, дает оптимальный результат. Такое смещение времени, выведенное для целой волны или даже комплекса волн, не является тождественным с временем добегания расходов в смысле его терминологической definicции.

Из общего количества результатов можно выбрать согласно заранее установленным критериям, например по требуемой достоверности прогноза. Однако, указанный метод, ес-

тественно, позволяет проводить подробный анализ времени добегания в зависимости от величины расхода. Его значение в том, что позволяет точный анализ реальных условий зависимости и оптимизацию модели с критерием наименьшей ошибки.

Подобным образом мы проводили анализ других условий зависимости, которые можно легко и точно определить. Ко ротко опишем результаты.

III. ПРОВЕРКА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Прежде всего мы попытались проверить саму гидрометрическую зависимость (2a) по соотношению (3). Для этого была использована водомерная сеть на Гроне на участке от Брезне до Бенской Быстрицы, на котором контролируется 79% среднегородского расхода. Для отдельных волн мы получили среднюю квадратическую ошибку в оптимальной позиции смещения времени с диапазоном от 1,01 до 6,04 %. По правилу, если в диапазоне 3 x средняя квадратическая ошибка находится все входные данные, то абсолютная ошибка колеблется от 3 до 18 %. Более значительные расходы мы в состоянии непосредственно регистрировать с абсолютной ошибкой от 5 до 15 %, причем непрямое определение расходов с помощью уровня воды связано с новой неизвестной ошибкой. По сравнению с ошибкой модели это неожиданный результат, который без сомнения доказывает, что простая линейная зависимость (3) является подходящим упрощением сложных условий естественного формирования стока.

Достоверность гидрометрической зависимости обязательно достигает достоверность определения расходов, что можно выгодно использовать даже для контроля рассчитанных расходов на рассмотренных гидрографах. Действительно, более грубая реультирующая ошибка и нелогическая величина коэффициентов (когда "A" отрицательное или "B" меньше 1) сигнализируют грубые ошибки входных расходов или их временных ординат, которые при непрямом выведении из уровней воды, небольшой чувствительности, неточности во времени и высокой аварийности лимнографов нельзя исключить.

IV. ВЛИЯНИЕ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ПРИТОКА

С точки зрения прогноза нес интересует только текая комбинация верхних створов, которая обеспечивает как можно большую заслуговременность с критерием определенной допустимой ошибки. Поэтому выбираются наиболее удаленные верхние створы, причем увеличивается влияние неконтролируемого притока. Естественно, результатом чего является увеличение ошибки модели, появляющееся в результате неравномерного формирования стока.

Рассматривали мы и другие гидрометрические элементы, у которых имелись предисылки определенным способом сигнелизировать изменения влияния промежуточного водосбора. Из них логически обоснованным и подходящим оказалось только расход в нижнем створе с одинаковым индексом времени как у расходе I - $QH(T-ΔT(I))$. С данной новой независимой переменной основной вид модели выглядит следующим образом:

$$QH(T) = A + B \cdot CQE(I, T-ΔT(I)) + C \cdot QH(T-ΔT(I)) \quad (4)$$

Аппроксимация по данной расширенной зависимости (4) дает в общей сложности меньшую ошибку, чем основная зависимость (3), так что позволяет увеличить время заслуговременности прогноза с помощью выбора удаленных верхних створов с меньшей долей расходов в земыкающем створе.

Интересно отметить тот факт, что смещение времени ΔT в данном случае уже не имеет оптимальную позицию, поскольку в результате увеличения скорости BC сокращается разность во времени ΔT и $QH(T-ΔT)$ приближается к $QH(T)$. Поэтому ошибка с увеличением скорости непрерывно уменьшается с понижением интенсивности. Вместо расхода в нижнем створе со смещением времени ΔT (I) можно использовать любой промежуточный створ, что дает дальнюю возможность оптимизации модели.

V. ВЫБОР СТВОРОВ

Расчет по зависимости (3) с постепенным прибавлением верхних створов нам показал зависимость ошибки от доли контролируемых расходов в земыкающем створе. Согласно результатам, полученным нами в нескольких бессейнах, доля расходов CQE/QH не должна бы быть меньше 0.35. Последнее является предельным условием надежности модели для прогно-

зе расходов.

Известно, что интенсивность формирования стока уменьшается с площадью бассейна. При истоках водотока она наибольшая, потом постепенно понижается приблизительно в логарифмическом порядке. Из этого видно, что минимальную долю контролируемого расхода можно в верхней части водотока достигнуть только на небольшом расстоянии, в природных условиях Словакии приблизительно только в пределах 50 км. Кроме того, в верхней части бассейна отмечается самая большая скорость водотока, что при небольшом расстоянии дает краткое время дебегания.

Это очень важно для оценки пригодности гидрометрической модели в речной системе водотока. Рекомендуем ее использовать в более нижних частях водотока, где небольшая как интенсивность формирования стока, так и скорость водотока. Для верхних частей водотока более выгодной является модель стока, вызванного осадками, которую можно и необходимо комбинировать с линейной моделью для получения комплексной системы прогноза.

У1. ВЕТВЬ ГИДРОГРАФА

В каждом случае, при каждой волне паводка и не во всех до сих пор рассмотренных водотоках отмечалась реальность ветвей гидрографа. Для восходящей ветви выходит по ясным причинам самая большая ошибка модели, для нисходящей ветви ошибка значительно меньше, для всего гидрографа колеблется в пределах обеих ветвей.

Если расхождения не слишком большие, с практической точки зрения, мы рекомендуем использовать модель, составленную для всего гидрографа.

УП. РАЗЛИЧИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

Ошибка линейной модели, рассчитанной для отдельных гидрографов, при соблюдении ограничительных условий удивительно мала. Однако, если ее вычислим из комплекса различных гидрографов, ошибка значительно увеличится, несмотря на то, что для каждого из использованных гидрографов не-

значительна. Это ясно говорит о том, что каждая волна возникает при различных условиях, которые найдут отражение в различной доле неконтролированного притока.

Поэтому рекомендуем разделять гидрологические условия на несколько основных типов и модель рассчитать для каждого из них, например: для ревномерного формирования стока, для меньшей (большой) доли неконтролированного притока, для весеннего стока, вызванного таянием снега, с более низких (высоких) мест расположения и т.д.

Готовая и заранее разработанная модель, тщательно составленная из комплекса различных гидрографов, при очень различных условиях не будет недежной. Условия, при которых именно возникла волна, часто нельзя определить. В таких случаях несгодимо модель составить именно для возникающей волны согласно данным, дистанционно передаваемым с водомерной сети в кратких временных интервалах. В настоящее время в практике эта возможность не используется, поскольку требует дистанционную передачу максимально недежных данных.

УШ. ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЭБМ

На двух приложениях представлены данные, полученные с помощью вычислительной машины, которые очень наглядно показывают и описывают не только суть модели, но и, главным образом, метод ее выведения и возможности, которые она дает. Приложения включают типичные примеры применения модели на Сленой. Рассмотренные верхние створы Рожняве и Штитник дают величину расхода в Ленертовцах как замыкающем створе с площадью бассейна $I = 800 \text{ км}^2$ $CQB/QH = 0,39$.

Данные в первой таблице рассчитаны по основной зависимости (3), это видно из того, что коэффициент "Ц" равен 0, данные во второй таблице, которая дана для сравнения, рассчитаны по преобразованной зависимости (4). Такие таблицы будут получены для отдельных гидрографов и для всего их комплекса, а именно, для всех возможных комбинаций створов речной системы; это большое количество данных, которое позволяет анализ условий и оптимизацию модели для прогноза расходов.

Достоверность модели демонстрирует также приложенный график, на котором проведено сравнение действительного и рассчитанного гидрографов из вышеупомянутых таблиц.

ЛИТЕРАТУРА -

1. Balco, M.: Určenie prietokov v klesajúcej vetve prie-
tokovej vlny pomocou lineárnej korelácie, ŠÚH SAV,
Bratislava, 1970.
2. Dub, O., Němec, J.: Hydrologie, SNTL, Praha, 1969.
3. Kamenšký, L., Mihina, V., Podolinský, Š.: Predpoved
povodňových prietokov pre Hron v Banskej Bystrici,
SHĽÚ, Bratislava, 1978.
4. Попов, Е.Г.: Гидрологические прогнозы, Гидрометеоиздат,
Ленинград, 1957.
5. Šmelko, Š., Wolf, J.: Štatistické metódy v lesníctve,
Príroda, 1977.

ЛІНЕАРНА КОФЕРЕНЦІЯ РИСКОВА ПО ЗАВІСНОСТІ
QHCT=АНБІСОВІ, Т-ДІСІ) +Ч+НКТ-ДІСІ), КДЕ ДІСІ=ЛІЧНІ, ВІС

ВЧИСЛЕННЯ ДЛЯ: 5. ВОЛНИ

МАКСИМУМ РИСКОВ В НІЖНІМ СТЕПІ. 250.0 Н+ІС

Таблиця №1

СТВОР	КІЛОПЕТРАН КН	СКОРОСТЬ ВС КМ/ГАД.	Н	А	КОЕФІЦІЕНТИ			ПОГРЕДНОСТЬ	
					Б	Ч	Р	С	С2
РОЖНІВА									
58.1	55.9	0.0							
ШТИТНИК									
ЛЕНАРТОВІВ									
ВОСХОДЯЩАЯ ВЕТВЬ ВОЛНИ:									
5	519	-26.027	2.916	0.000	0.3901	18.1	18.59		
6	-23.620	2.739	0.600	0.9873	14.2	14.51			
7	-23.035	2.735	0.600	0.9212	12.1	12.34			
8	-23.635	2.633	0.000	0.9828	11.0	11.19			
9	-21.535	2.634	0.000	0.9301	10.7	10.95			
10	-21.167	2.610	0.600	0.9927	11.0	11.22			
11	-20.804	2.585	0.600	0.9931	11.5	11.72			
НИХОДЯЩАЯ ВЕТВЬ ВОЛНИ:									
5	636	1.845	2.512	0.000	0.9534	5.4	5.45		
6	1.185	2.567	0.900	0.9951	5.6	5.92			
7	1.629	2.610	0.600	0.9979	6.2	6.32			
8	2.476	2.671	0.600	0.9975	6.1	6.80			
9	2.421	2.712	0.600	0.9371	6.2	6.32			
10	1.345	2.711	0.600	0.9533	7.5	7.69			
11	1.763	2.754	0.600	0.9261	7.6	7.4			
ЦЕЛАЯ ВОЛНА:									
5	1205	-6.193	2.630	0.600	0.9934	15.6	15.69		
6	-6.733	2.655	0.600	0.9935	14.1	14.37			
7	-6.572	2.656	0.600	0.9865	14.1	14.36			
8	-6.428	2.631	0.600	0.9375	14.6	15.05			
9	-5.212	2.627	0.600	0.9654	15.9	16.22			
10	-5.820	2.635	0.600	0.9840	16.7	16.96			
11	-5.634	2.613	0.600	0.9225	15.5	17.84			

ЛИНЕАРНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ РАССОДА ПО ЗАЕЧНОСТИ

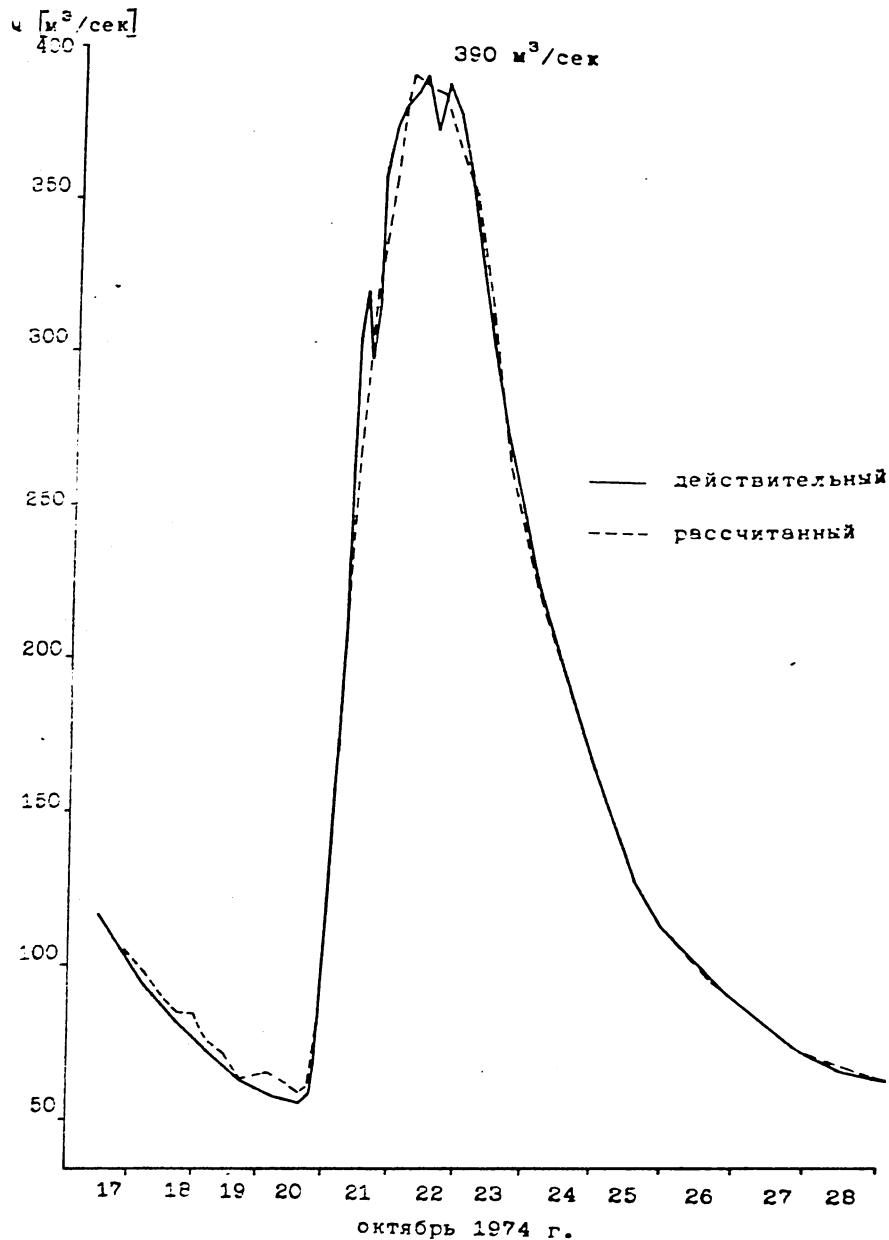
$QH(T) = A + B \cdot S_0(T) + C \cdot H - D \cdot T - E \cdot T^2$; КДЕ A, B, C, D, E - ПАРАМЕТРЫ; S_0 -

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛЯ: 5. ВОЛН

МАКСИМАЛЬНЫЙ РАССОД В НИЖНЕМ СТВОЛЕ: 333.0 $H \cdot S_0$

Таблица №2

СТВОЛ	КИЛОМЕТРАЖ КМ	СКОРОСТЬ ВС КМ/ЧАС	Н	А	КОЭФФИЦИЕНТЫ			ПОГРУЖЕНИЕ С
					Б	Ц	Р	
РОЖДАЕВА	58.1							
ЩИТИНКА	55.9							
ЛЕНЯРТОВСКИЙ	0.0							
ВОСХОДЯЩАЯ ВЕТВЬ ВОЛНЫ:								
5	510	-28	816	3.645	-0.344	0.9850	16.6	16.95
6	-25	657	3.103	-0.145	0.9884	13.9	14.16	
7	-23	378	2.804	-0.032	0.9912	12.1	12.32	
8	-21	397	2.507	0.068	0.9929	10.8	11.05	
9	-19	238	2.196	0.198	0.9942	9.8	10.02	
10	-18	879	2.035	0.259	0.9947	9.4	9.58	
11	-16	860	1.878	0.321	0.9951	9.0	9.19	
НИСХОДЯЩАЯ ВЕТВЬ ВОЛНЫ:								
5	698	2.650	1.869	0.230	0.9992	3.7	3.81	
6	1.971	1.696	0.315	0.9994	3.2	3.26		
7	1.621	1.582	0.367	0.9995	3.0	3.03		
8	1.303	1.453	0.423	0.9996	2.8	2.86		
9	1.026	1.306	0.486	0.9996	2.7	2.72		
10	0.898	1.225	0.519	0.9996	2.6	2.66		
11	0.779	1.139	0.554	0.9996	2.5	2.59		
ЦЕЛАЯ ВОЛНА:								
5	1208	-6.116	2.540	0.036	0.9861	15.5	15.82	
6	-5.912	2.161	0.187	0.9903	13.0	13.26		
7	-5.768	1.951	0.270	0.9922	11.6	11.85		
8	-5.453	1.742	0.352	0.9937	10.5	10.67		
9	-5.036	1.525	0.435	0.9949	9.4	9.57		
10	-4.789	1.414	0.478	0.9955	8.7	9.05		
11	-4.517	1.301	0.521	0.9966	8.4	8.54		



НЕЛИНЕЙНЫЙ ГРАФИЧЕСКИЙ РЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД ДЛЯ
ПРОГНОЗОВ МЕЛКИХ ВОДОТОКОВ В БАССЕЙНЕ ДУНАЯ

Калман Кориш, Будапештский политехнический университет, Бу-
дапешт, Венгрия

Иштван Юхас, Научно-исследовательский центр водного хозяй-
ства, Будапешт, Венгрия

REZUME

NONLINEAR GRAPHICAL REGRESSION METHOD FOR FORECASTING
FLOWS ON SMALL CATCHMENTS IN THE DANUBE BASIN

The paper presents a nonlinear graphical regression method for small catchments in Hungary. Rainfall induced flood characteristics can be estimated by this method up to the catchment area of $F = 5 + 600 \text{ sqkm}$. Baseflow can also be determined yielding an estimate for the lateral inflows. Flood wave characteristics are computed from the volume, peak flow, time to peak and lag time, respectively. A transformation table than gives continuous hydrographs. Total flow is computed as a sum of surface flow and groundwater flow. Results are given for the hydrographs of the Borsod-ivánka section of the Eger Creek ($F = 1237 \text{ sqkm}$).

DURCHFLÜBVOHRSAGE AN KLEINFLIEßGEWÄSSERN MIT EINEM
NICHTLINEAREN GRAPHISCHEN REGRESSIONSVERFAHREN

Der Artikel führt ein nonlineares Regressionsmodell für ungarische Kleinfließgewässer vor. Das Modell ist für die Niederschlag-Abflussvorhersage auf Einzugsgebieten bis $5-6000 \text{ km}^2$ geeignet, aufgrund der Eigenschaften der Hochwasserwellen. Die Basisdurchflüsse, sowie die Seitenbelastungen der Flüsse des Donautals können bestimmt werden. Die Seitenbelastung kann einfach durch die Ermittlung der Durchfluszeitreihe der Kleinfließgewässern berücksichtigt werden. Die Hochwasserwelle wird im Modell von der Masse, dem Scheiteldurchfluss, der Länge der Steigungsperiode und der Verzögerungszeit berechnet. Davon werden kontinuierliche Hochwasserwellen mit einer Transformationstabelle hergestellt. Die ganze Durchfluszeitreihe wird berechnet, wo Oberflächenabfluss und Grundwasserzufluss ist. Numerisches Beispiel wird für den Pegel Borsodivánka auf dem Eger-Bach ($F=1237 \text{ km}^2$) beigelegt.

ВВЕДЕНИЕ

В современном водном хозяйстве все более важная роль принадлежит водным ресурсам малых водотоков, особенно при использовании водохранилищ. Это вызывает необходимость более точного познания условий стока малых водотоков и водоемов. Однако описание режимов малых водотоков, знание характеристик гидрографов стока необходимы не только в отношении использования, но и в отношении регулирования вод. Последнее требует знания ряда параметров, для расчета которых необходимо дальнейшее совершенствование исследования стоков с точки зрения гидрологии.

Целью настоящей работы является дать краткий обзор об имеющейся в распоряжении базе данных и с учетом существующих пособий попытаться создать возможность для развития расчетов гидрографов малых водотоков горных и холмистых территорий.

Конечная цель - создание пособия и методов для определения полного гидрографа стоков. Настоящая работа служит обоснованием этого, исходя из расчетов метода и пособия, изготовленных в 1975 году Научно-исследовательским центром водного хозяйства ВИТУКИ и Будапештским политехническим университетом [БМЕ] [7], а также из разработки ВИТУКИ 1976 года [16]. Гидрологическое развитие методов расчета стока городских, промышленных территорий, служащее вторым этапом, осуществляется также на основе разработок ВИТУКИ, ГВВХ (Государственное ведомство водного хозяйства) и БМЕ [11, 21]. Зарубежные методы - с учетом особенностей отечественных гидрологических условий - используются в целях усовершенствования собственных методов [1, 6, 9, 10, 18, 19, 20].

ИМЕЮЩИЙСЯ В РАСПОРЯЖЕНИИ МАТЕРИАЛ О ВОДОСБОРАХ ВЕНГРИИ

Подробные, более или менее длинные ряды об уровнях воды имеются для 64 станций. Из них на 8 станциях имеются ряды данных более 20 лет, на 46 станциях - более 10, но менее 20 лет, а на 16 станциях - менее 10 лет. В последние годы территориальные водохозяйственные управления установили на сети новые самописцы уровней воды, поэтому привлечение этих станций к исследованиям расширит сферу обработки [15]. Для значительной части станций был или может быть разработан подробный гидрограф на основе измерений расходов, служащий основой для обработок.

Для большинства исследуемых водосборов данные об осадках или другие характеристики, необходимые для анализа процессов стока (влажность почвы, климатические условия и т.д.), имеются только частично

или недостаточно подробные. Почти или полностью отсутствует сеть плювиографов, необходимая для более тонкой обработки данных. Плювиографы установлены на некоторых водосборах и находятся в ведении Государственной метеорологической службы, ВИТУКИ или компетентных водохозяйственных управлений.

К исследованиям следует привлекать прежде всего водосборы, которые оснащены самописцами для измерения осадков, а при разработке метода или методов анализа учитывать их при исследовании водосборов, не располагающих данными подробных наблюдений за осадками.

СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Модель может использоваться для водотоков горных и холмистых территорий, следовательно, на территориях со свободным дебеганием, и величина A водосбора - в рамках рассматриваемой категории - должна находиться в широких пределах ($A < 6000 \text{ км}^2$).

Рассматривается расчет дождевых паводков. Предлагаемая методика основана на одновременном применении нелинейного регрессионного расчета дождевого стока и метода единичного паводка. Примеры приводятся для мелких водотоков бассейна реки Тисы.

Исходной концепцией модели может служить определение поверхностного $Q_\Delta(t)$ и подземного $Q_a(t)$ стоков в отдельности, кроме того получение полного гидрографа суммированием

$$Q(t) = Q_a(t) + Q_\Delta(t) \quad (1)$$

Для этого уже известны многочисленные примеры в отечественной гидрологической практике [2, 5, 7, 8, 12, 13, 14].

Для вычисления подземного стока или притока сначала целесообразно использовать линейный или нелинейные регрессионные модели. С их применением, например, можно встретиться в работах некоторых авторов [5, 7, 13].

Определение паводочных гидрографов поверхностного стока представляет собой значительно более сложную задачу. Сначала на основе данных об осадках надо определить стекающий объем воды. Как для зимних, так и для весенне-летних и осенних месяцев оказывается наиболее целесообразным применение нелинейной корреляционной модели [5, 8, 12, 13, 14, 16, 17]. Определение зимних стоков осложняется расчетами слоя воды в снежном покрове и учетом замерзания грунта. Для расчета массы

дождевых паводков самой надежной оказывается зависимость

$$L = f(M_{20}, D, t_c, C)$$

в противоположность зависимостям, непосредственно определяющим прежний недостаток стока [7, 13, 14]. В выражении L - стекающий объем паводочной волны, M_{20} - индекс осадков предыдущих 20 дней, D - знак месяца, t_c - продолжительность осадков, C - количество осадков.

Со знанием количества поверхностного стока уже становится возможным расчет гидрографа паводка. Гидрограф паводочной волны во многих работах и пособиях [3, 5, 6, 7, 12, 13, 14] определяется многопараметровой корреляционной моделью. Например, венгерское пособие о водемах горных и холмистых территорий [7] позволяет вычислить гидрограф паводочных волн треугольной формы. Для их определения можно пользоваться единичными гидрографами, приведенными на рис. 1.

Широко применяются различные методы единичных гидрографов паводков [2, 4, 6, 16].

Грей применил единичный гидрограф паводочных волн треугольной формы [6]. а Ковач - классический метод расчета единичных паводочных волн [16]. Опыт показывает целесообразность метода единичных паводочных волн по своей эффективности.

Для определения единичного гидрографа паводочных волн практически известно три простейших метода, описанных ниже: классический метод, метод моментов и метод суммарной кривой "S".

Классический метод основывается - на основе анализа наблюденных осадков и паводочных волн - на решении системы уравнений

$$Q_{\Delta 1} = h_1 \cdot y_1$$

$$Q_{\Delta 2} = h_1 \cdot y_2 + h_2 \cdot y_1$$

$$Q_{\Delta 3} = h_1 \cdot y_3 + h_2 \cdot y_2 + h_3 \cdot y_1$$

$$Q_{\Delta i} = h_1 \cdot y_i + h_2 \cdot y_{i-1} + h_3 \cdot y_{i-2} + \dots + h_i \cdot y_{i-(k-1)}$$

Для значений y_1, y_2, y_3, \dots (Q_i - ординаты наблюдений паводочной волны над базисным стоком, h_i - значения осадков, формирующих сток, $y_{\Delta i}$ - ординаты единичного гидрографа относительно к интервалу времени ΔT).

Метод моментов со знанием моментов паводочной волны и стокообразующих осадков ($\bar{t}_{Q_\Delta}, \bar{t}_h, \sigma_{t_{Q_\Delta}}, \sigma_h$) задает моменты единичного гидрографа:

$$\bar{t}_y = \bar{t}_{Q_\Delta} - \bar{t}_h = \frac{1}{\sum Q_\Delta} \sum_{i=1}^n i \cdot Q_{\Delta i} - \frac{1}{\sum h_i} \sum_{i=1}^n i \cdot h_i \quad (4)$$

$$\sigma_{t_y}^2 = \sigma_{t_{Q_\Delta}}^2 - \sigma_{t_h}^2 = \frac{1}{\sum Q_\Delta} \sum_{i=1}^n (i - \bar{t}_{Q_\Delta})^2 \cdot Q_{\Delta i} - \frac{1}{\sum h_i} \sum_{i=1}^n (i - \bar{t}_h)^2 \cdot h_i$$

где, \bar{t}_{Q_Δ} гидрограф расходов, h_i - ордината стокообразующего осадка. Со знанием моментов единичного гидрографа и предположением соответствующей функции гидрографа можно определить единичный гидрограф. Наиболее распространены, например, виды логарифмически нормальной функции распределения (Вен Те Чоу) или Гамма-функции распределения (Калинин, Нэш, Дуг, Контур).

Метод суммарной кривой "S" задает - путем соответствующей трансформации кривой $Q_{\Delta i}$, составленной непрерывным суммированием ординат наблюденного гидрографа, - единичный гидрограф с учетом гидрографа осадков, формирующих сток, а также соответствующего интервала времени ΔT .

Из перечисленных методов самым перспективным оказывается предложенный, так как при практических расчетах является простейшим и самым однозначным, но кроме этого речь может идти и о методе моментов. Классический метод до сих пор не дал хороших результатов для определения единичного гидрографа зимнего периода [16].

Зная единичный гидрограф, уже можно определить гидрограф поверхности стока, если известны произвольные стокообразующие осадки.

Расчеты исходных данных для нелинейного графического способа расчета и расчеты по единичному паводку по кривой "S" производились по машинной программе, составленной на языке ФОРТРАН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] BECKER, A.: The integrated hydrological catchament model, EGMO, Bull. Hydr. Sci. 22. h.l.sz. 145-151 p.
- [2] BME-Vizgazd. és Vizép. Int.: Hazai vizfolyásaink vizállás-vízhozam értékeinek előrejelzése. Bp. 1977. 1-162 p.
- [3] BOGNÁR, A., SZILÁGYI, E.: Árvizi előrejelzés hegy- és dombvidéki vizgyűjtőre rövididejű adatsorok alapján, Vizügyi Közl. 1978/4.
- [4] BRATÁN, M.: Az egységni árhullámkép vizsgálata, BME Szakdolgoz.. Budapest, 1974. 1-42 p.
- [5] FEHÉR, J.: Capadék-lefolyás kapcsolatok vizsgálata vizrendezési feladatok megoldásához, BME Diplomamunka, Budapest, 1976. 1-³⁷-
- [6] GRAY, O.M.: Handbook of the principle of hydrology, A WIC Publication, C.N.C. - I.H.D. Canada 1973.
- [7] JUHÁSZ, I., KORIS, K.: Esőből keletkező árhullámok jellemzőinek meghatározása (dombvidéki területekre), VIZDOK, Budapest, 1975. 1-244 p.
- [8] JUHÁSZ, I., KORIS, K.: Kisvizgyűjtők lefolyásidősorainak modellezése és a hazai fejlesztés lehetőségei, Hidrológiai Közlöny Budapest, 1981.
- [9] KISS-GUBA, F.: Hidrológiai rendszermodellek vizsgálata I-II, BME Diplomamunka, Budapest, 1978. 1-103 p.
- [10] KISS-GUBA, F.: A Boughton modell és paraméter optimalisációja (Kézirat), BME, Budapest, 1978. 1-51 p.
- [11] KONTUR, I.: Felszini viz összegyülekezésének számítása, Tervezési segédlet, BME, 1976. 1-40 p.
- [12] KORIS, K.: Kisvizgyűjtők hidrológiai vizsgálata, BME Doktori Értekezés, Budapest, 1975. 1-80 p.
- [13] KORIS, K.: Kisvizfolyások vizhozamidősorának modellezése és a modell gyakorlati alkalmazása, BME, Budapest, 1978.
- [14] KORIS, K.: Lefolyásviszonyok modellezése kisvizgyűjtőkön, MHT Országos Vándorgyűlés, Keszthely, 1979. 1-11 p.
- [15] KOVÁCS, GY.: A korszerű vizrajzi munka alapelvei I-II, Vizügyi Közl., Budapest, 1979/3-4.
- [16] KOVÁCS, GY.: Módszer kidolgozása a téli és a koratavaszi lefolyás előrejelzésére, Tsz.: 2.1.1. 7411/2. VITUKI 1-3. 1.p.. Budapest, 1976.
- [17] KOVÁCS, GY.: A dombvidéki kísérleti vizgyűjtőkön szerzett információk hasznosítása a vizrendezés célkitűzései érdekében, Tsz.: 7631/1518, VITUKI.

- [18] MAGYAR, P.: Hegy- és dombvidéki vizhozamidőszorok meghatározása
-Stanford modell segítségével, VITUKI, Budapest, 1975.
- [19] SZÖLLÖSI-NAGY, A.: A lefolyási jelenségek modellezése és rövíá
távu előrejelzése Nash-féle kaszkádokkal, Hidrológiai Közl.
Budapest, 1974/4. 164-175 p.
- [20] SZÖLLÖSI-NAGY, A., BARTHA, P.: A vizrajzi előrejelzés fejleszté-
si programja első esztendejének eredményei és tapasztalatai,
VITUKI Közl., 24/4. Budapest, 1980. 1-17 p.
- [21] WISNYOVSZKY, I.: Települések csapadékcsatornázása, VMGT 96.
VIZDOK, Budapest, 1978. 1-241.

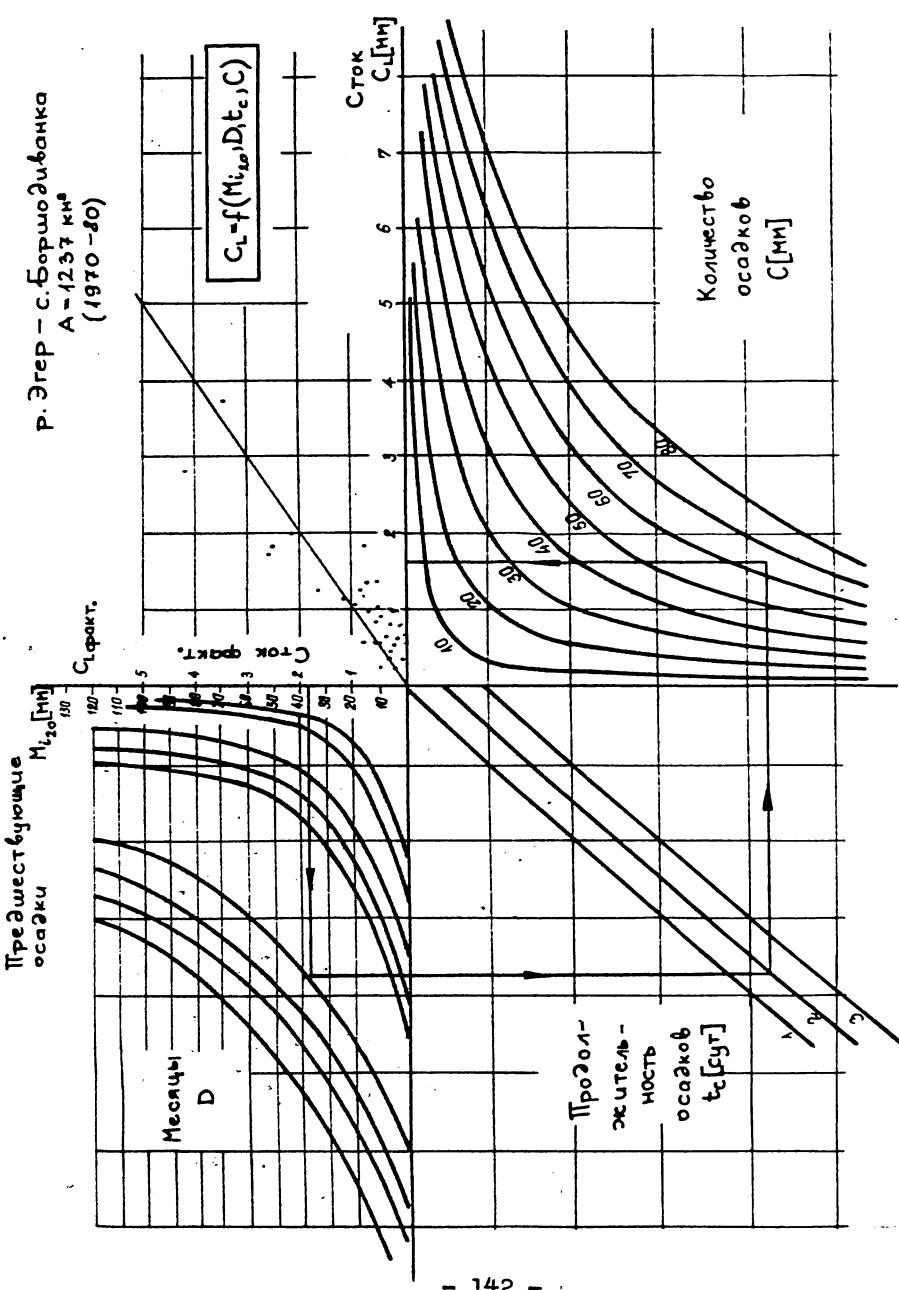
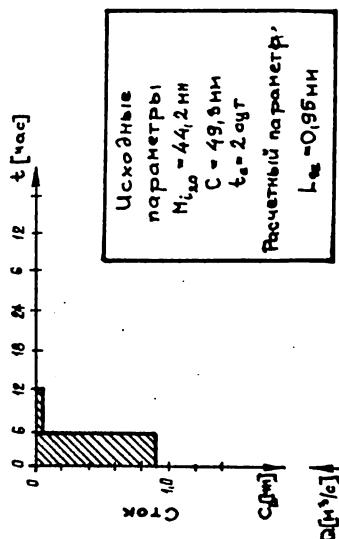


Рис. 4. Зависимость для расчета стока



Р. Эгер - с. Боршо Эчебанка
 $A = 1237 \text{ км}^2$
 10-17/X 1976 г.

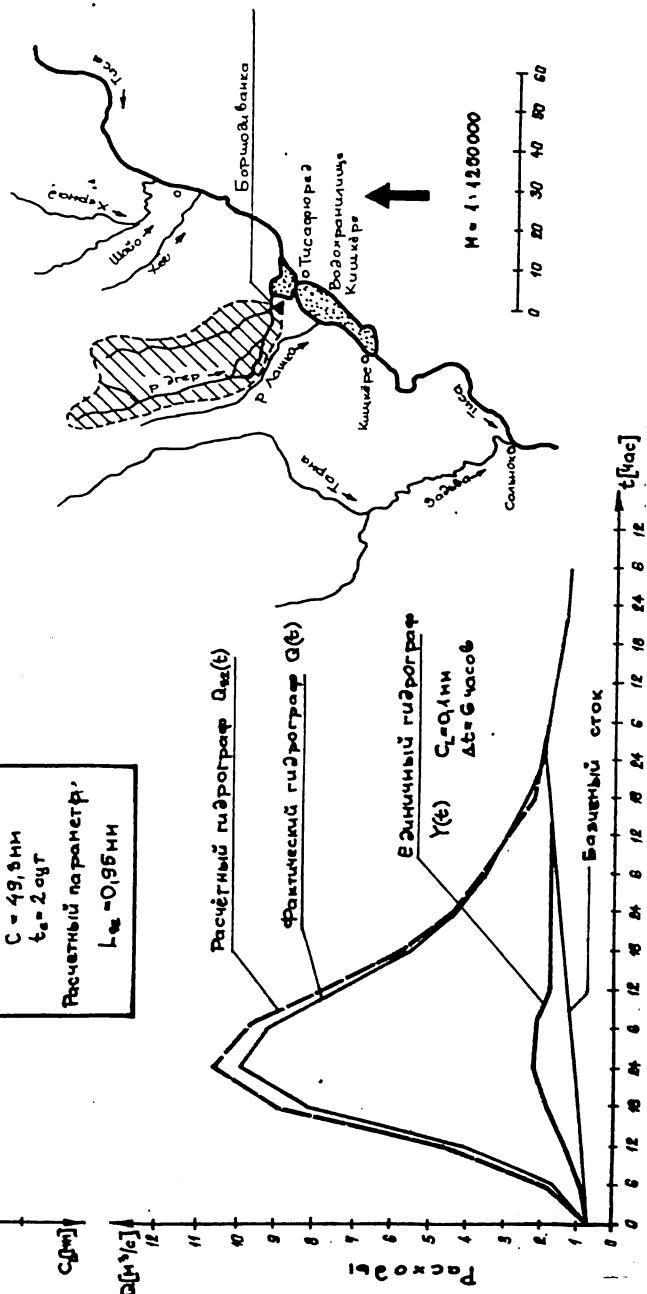
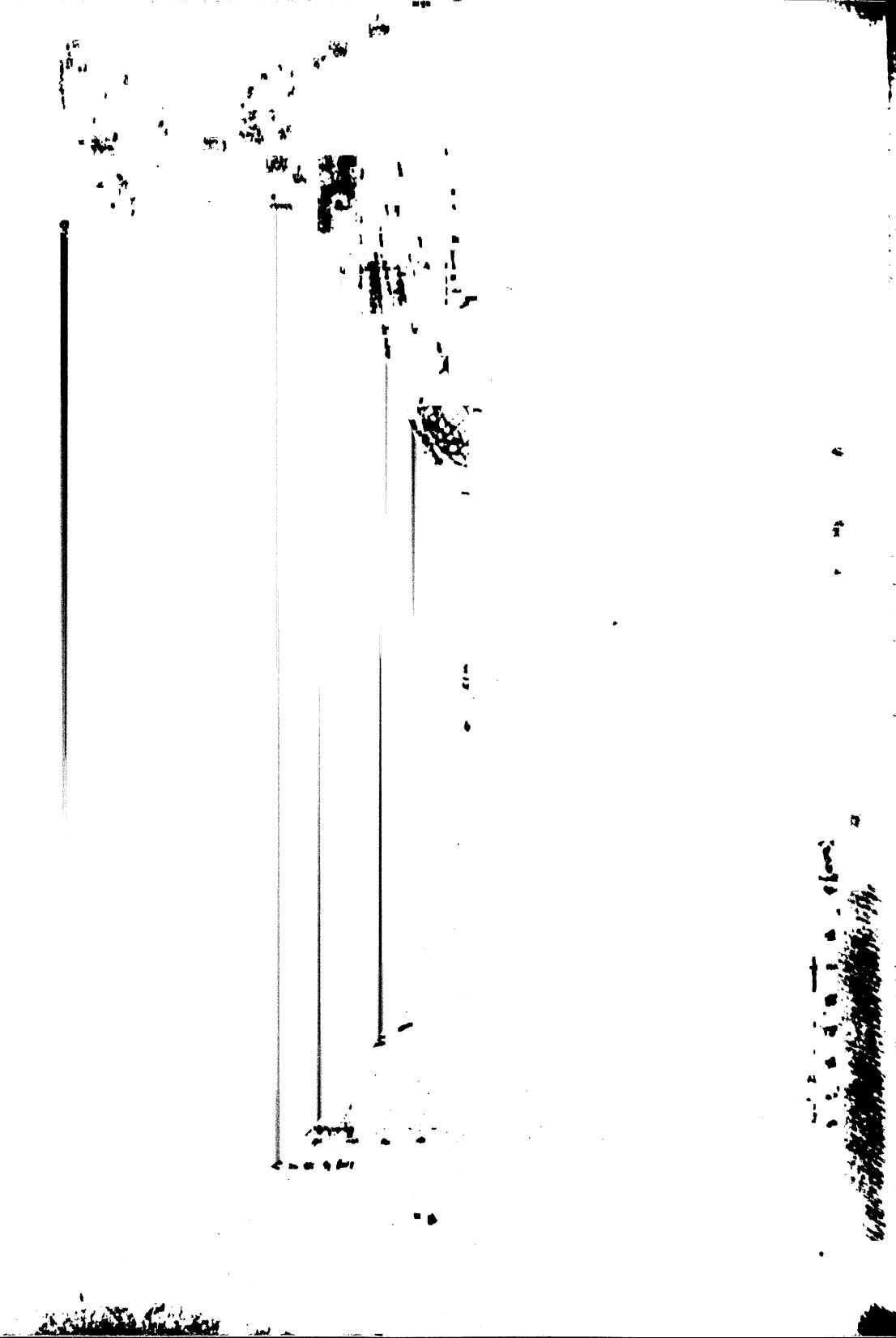


Рис. 2 Пример применения модели



ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛЬМАНА ДЛЯ КОРРЕКЦИИ
ПРОГНОЗОВ ПО ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ КАСКАДНОГО ТИПА

András Selleimi-Nádai, Éva Mekisz, Научно-исследовательский
центр водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

REZUME

UPDATING DISCRETE CASCADE MODEL FORECASTS
BY KALMAN FILTERING

The paper derives and applies the adequate discrete model of continuous cascade models of Kalinin-Milyukov-Nash type. The state and input transition matrices of the discrete state model are in a dual relationship. The discrete state model is discretely coincident with the continuous one but at the same time it does consider dynamic changes taken place in between subsequent sampling points. The residuals of the discrete deterministic model are described by autoregressive models of varying order. The discrete cascade and the time series model are than put up into a joint structural-stochastic model whose forecasts are recursively updated by the Kalman-filter algorithm. Numerical results on rainfall/run-off modeling and channel rouging are presented.

MIT KALMAN-FILTER ERNEUERTEN VORHERSAGEN
EINES LINEAREN KASKADENMODELLS

Im Artikel wird die adäquate Diskretisierung kontinuierlicher Kaskadenmodelle und ihre Anwendung für Abflussvorhersage vorgeführt. Die Zustands- und Eingangsübergangsmatrizen des Modells stehen in Dualrelation. Das diskrete Zustandmodell ist (diskreter Weise) koinzident mit dem kontinuierlichen Modell, und berücksichtigt auch die dynamischen Änderungen des Systems zwischen den diskreten Musterungszeitpunkten. Die Residuen des diskreten deterministischen Modells werden mit einem Autoregressions-Zeitreihenmodell variabler Ordnung berücksichtigt. Die Vorhersagen, ermittelt mit dem durch die Verkoppelung diskreter Kaskaden und Zeitreihenmodell entstehenden strukturell-stochastischen Modell, werden mit dem Algorithms des Kalman-Filters rekursive erneuert. Numerische Anwendungen des Modells werden in der Niederschlag-Ablussvorhersage und in Flood-Routing vorgeführt.

ВВЕДЕНИЕ

В докладе изложен метод построения адекватной дискретной модели каскада водохранилищ по соответствующей непрерывной линейной модели и ее применение для прогнозов стока (расходов). Модель трансформации описывается в пространстве состояний, что приводит к алгоритмам, легко реализуемых на ЭВМ и позволяющим легко обновлять параметры и описание прогнозной модели. Предполагая, что имеется соответствующая модель в пространстве состояний, т.е. имеем внутреннее описание динамической гидрологической системы, с применением современных методов дискретной фильтрации - в первую очередь знаменитого фильтра Кальмана - можно легко решить задачи прогноза/обновления на малых вычислительных машинах или даже на современных микропроцессорах. Более того, метод фильтрации кроме решения проблемы прогноза/актуализации открывает возможность ~~внешней~~ описания неточностей прогноза при установленвшемся или в реальном масштабе времени.

Однако, условием применения методов фильтрации является дискретная модель процесса. При описании дискретной модели соответствующей непрерывной моделью необходимо сохранить адекватное описание внутренней динамики процесса. Созданная модель является адекватной в том случае, если в дискретных моментах времени совпадает с непрерывной моделью и учитывает динамику процесса в интервале между двумя соседними дискретными моментами времени. Для адекватной дискретной модели выполняются требования неразрывности и транзитивности.

АДЕКВАТНАЯ ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ УРАВНЕНИЯ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ

Приближенное решение уравнения неустановившегося движения, выведенное Калининым и Милюковым (1958), основано на принципе характерных участков. Этот принцип приводит к уравнениям, формально совпадающим с уравнениями, полученными Нэшем (1957) при моделировании дождевого стока в бассейне (ряда последовательно соединенных линейных водохранилищ). Выход системы, состоящей из нескольких характерных участков, может быть расчитан на основе данных входных расходов и импульсной переходной функции (функция влияния или в гидрологии кривая добегания стока), применяя интеграл свертки (Дюамеля). Как это было показано в работе Барта и Селлеши (1958), исследование дискретных значений функции влияния непрерывной модели в интеграле свертки (суммы) приводит к ошибкам, хотя применяя некоторые коррекции, результаты

могут быть удовлетворительными. В качестве основы построения адекватной дискретной модели может быть использована модель каскада линейных водохранилищ в пространстве состояний (Селлеши-Надь, 1976). Если вектор состояний $\underline{x}(t)$ определяет объем воды на характерных участках и $u(t)$ — верхние граничные условия, тогда линейное непрерывное уравнение состояний записывается в виде

$$\dot{\underline{x}}(t) = F\underline{x}(t) + Gu(t) \quad (1)$$

где

$$F = \begin{bmatrix} k & & & & & \\ k & -k & & & & \\ & k & -k & & & \\ & & \ddots & \ddots & & \\ & & & \ddots & \ddots & \\ 0 & & & & k & -k \end{bmatrix}$$

(2)

$k=1/K$, K — время добегания на характерном участке и $G = [1, 0, \dots, 0]^T$.

Выход на конце n -ного характерного участка

$$y(t) = H \underline{x}(t) \quad (3)$$

где $H = [0, 0, \dots, k]$.

Уравнение (1) и (3) однозначно определяют непрерывную модель каскада линейных водохранилищ Калинина-Милкова-Нэша.

Для определения адекватной дискретной модели предполагается, что имеются наблюдения на входе $u(t)$ и на выходе $y(t)$ системы для равных Δt интервалов времени, т.е., имеются дискретные временные ряды входа и выхода. Задача заключается в построении дискретной модели линейного каскада, которая дает результат в дискретных точках, совпадающих с результатами непрерывной модели, и учитывает динамику изменений между двумя дискретными моментами времени.

Дискретное уравнение, соответствующее непрерывному уравнению (1), имеет следующий вид:

$$\underline{x}_{t+\Delta t} = \Phi(\Delta t)\underline{x}_t + \Gamma(\Delta t)u_t \quad (4)$$

где Φ — матрица перехода состояний (Селлеши-Надь, 1982)

$$\Phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} e^{-k\Delta t} & 0 & \dots & 0 \\ k\Delta t e^{-k\Delta t} & e^{-k\Delta t} & \dots & 0 \\ \frac{(k\Delta t)^2}{2!} e^{-k\Delta t} & k\Delta t e^{-k\Delta t} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(k\Delta t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-k\Delta t} & \frac{(k\Delta t)^{n-2}}{(n-2)!} e^{-k\Delta t} & \dots & e^{-k\Delta t} \end{bmatrix} \quad (5)$$

TITLE
AUT.
и

$$G(\Delta t) = \begin{bmatrix} (1-e^{-k\Delta t})/k \\ (1-e^{-k\Delta t}(1+k\Delta t))/k \\ \vdots \\ (1-e^{-k\Delta t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(k\Delta t)^j}{j!})/k \end{bmatrix} \quad (6)$$

REZUME

вектор обращения входа, предполагая что на входе системы $u(\tau) = \text{const}$, $\tau \in [t, t + \Delta t]$.

Уравнение измерений (выхода) для дискретной модели остается неизменным по сравнению со случаем непрерывной модели (Медич, 1969):

$$y(t) = H x_t \quad (7)$$

поскольку уравнение измерения (выхода) получается путем линейной трансформации вектора состояний. Дискретная модель каскада линейных звенохранилищ однозначно определяется тройкой матриц (Φ , G , H).

Интересно отметить связь, существующую между вектором перехода состояния и вектором перехода входа. Рассматривая Δt как переменную в первой колонке матрицы перехода состояний, можем найти ответы каскадов на единичный импульс увеличением их порядка (n). Вектор перехода входных величин содержит функцию перехода системы. Это не удивительно, поскольку для указанных столбцов векторов характерно то же дифференциальное/интегральное отношение, что и на ответы линейных систем на единичный импульс/функцию единичного скачка. Это является последст-

вием дифференциального/интегрального отношения между единичным импульсом (δ функция) и функцией скачка.

Определение параметров дискретной модели линейных водохранилищ изложено в докладе Ханачек и Харкани (1982), представленных также на настоящей Конференции.

Титл. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОШИБОК ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ

На основе уравнений (4) и (7) при известных значениях параметров можно составить прогнозы расходов. При этом ряд ошибок таких прогнозов остается корректированным, указывая что из-за несовершенности описания физических процессов дискретная модель линейных каскадов не использует в полной мере информацию, содержащуюся в данных. Построением стохастической модели для описания оставшейся информации можно добиться уменьшения ошибок прогноза. Автокоррелированный ряд может быть моделирован моделью АРСС ($\mu, 1$) - (модель авторегрессии - скользящего среднего) -, уравнение которой в пространстве состояний записывается в виде

$$\begin{matrix} x_{n+1,t} & a_1 & a_2 & \dots & a_\mu & x_{n+1,t-\Delta t} & 1 \\ & 1 & 0 & & 0 & \cdot & \cdot \\ & & & & & \cdot & \\ & = & \cdot & & & \cdot & + & \cdot \\ & & \cdot & & & \cdot & & w_{t-\Delta t} \\ & & & & & \cdot & & \\ & & & & & \cdot & & \\ x_{n+\mu,t} & 0 & \dots & & 1 & 0 & x_{n+\mu,t-\Delta t} & 0 \end{matrix} \quad (8)$$

где

$$x_{n+1,t} = \epsilon_t$$

$$x_{n+2,t} = \epsilon_{t-1}$$

$$x_{n+\mu,t} = \epsilon_{t-\mu+1}$$

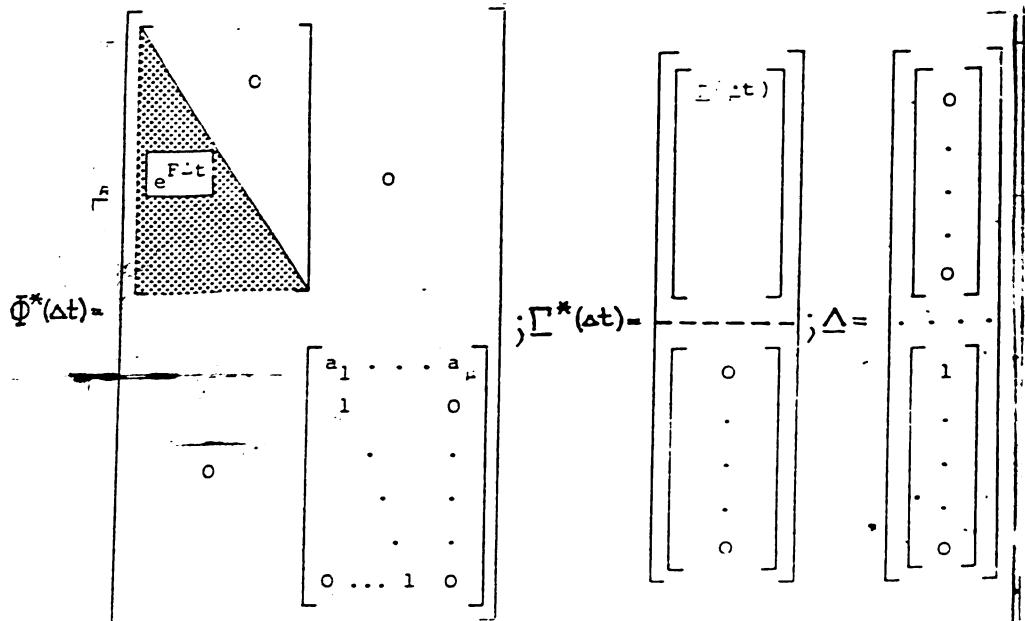
остатки дискретной модели; μ - порядок модели авторегрессии; a_1, a_2, \dots, a_μ - параметры модели авторегрессии; w - гауссовский белый шум. Параметры модели определяются по статистической выборке решением уравнения Юла-Уолкера, что автоматически определяет тот прям-

док авторегрессионной модели, при котором w является белым шумом.

Расширяя вектор состояний дискретной модели линейных водохранилищ, получаем обобщенную структурно-стохастическую модель, для которой уравнение в пространстве состояний записывается в виде

$$\underline{x}_t^* = \underline{\phi}^*(\Delta t) \underline{x}_{t-\Delta t} + \underline{\Gamma}^*(\Delta t) \underline{u}_{t-\Delta t} + \underline{\Delta w}_{t-\Delta t} \quad (9)$$

где



Уравнение измерений (выхода) с учетом (7)

$$\underline{y}_t = \underline{H}^* \underline{x}_t^* \quad (10)$$

где

$$\underline{H}^* = [0, 0, \dots, k \mid 1, 0, \dots, 0].$$

Уравнениями (9) и (10) представлена линейная динамико-стохастическая модель стока в пространстве состояний.

РЕККУРЕНТНЫЙ ПРОГНОЗ И ОБНОВЛЕНИЕ

Построенная линейная динамико-стохастическая модель пригодна для решения задачи условного прогноза в реальном масштабе времени. Для этого применяется алгоритм, известный под названием фильтра Кальмана. Реализация этого алгоритма состоит из двух реккурентно повторяющихся шагов:

'Прогноз на время опережения (дебегания) Δt

$$\underline{x}_{t+\Delta t}^* = \underline{\phi}^*(\Delta t) \underline{x}_{t-\Delta t | t-\Delta t} + \underline{\Gamma}^*(\Delta t) \underline{u}_{t-\Delta t} \quad (11)$$

$$\underline{P}_{t | t-\Delta t} = \underline{\phi}^*(\Delta t) \underline{P}_{t-\Delta t | t-\Delta t} \underline{\phi}^{*T}(\Delta t) + \underline{\Delta Q \Delta}^T \quad (12)$$

Обновление (уточнение) прогноза при первом наблюдении (измерении значения z_t)

$$\underline{K}_t = \underline{P}_{t | t-\Delta t} \underline{H}^{*T} [\underline{H}^* \underline{P}_{t | t-\Delta t} \underline{H}^{*T}]^{-1} \quad (13)$$

$$\underline{x}_{t | t} = \underline{x}_{t | t-\Delta t}^* + \underline{K}_t [z_t - \underline{H}^* \underline{x}_{t | t-\Delta t}^*] \quad (14)$$

$$\underline{P}_{t | t} = [I - \underline{K}_t \underline{H}^*] \underline{P}_{t | t-\Delta t} \quad (15)$$

где Q - квадрат дисперсии белого шума w ; K - весовой вектор Кальмана; P - ковариационная матрица ошибок оценки.

Сведения об алгоритме здесь не излагаются, их можно найти в монографиях Медича (1969), Вуда и Селлеши-Надь (1980). Применение фильтра Кальмана представляет возможным определение не только условного математического ожидания, но и условной ковариационной матрицы оценки, характеризующей надежность оценивания. Прогноз на несколько шагов вперед получается путем умножения (11) на матрицу перехода состояний. Прогнозы на каждом шагу реккурентным образом обновляются по мере поступления новых данных (измерений) и постепенно уточняются прогнозы. Блок-диаграмма алгоритма представлена на рис. 1.

На рис. 2 показаны результаты, полученные с применением модели для реки Тисы на участке Полгар-Ташконь (среднее течение) по данным 1980 года. По рисунку видно, что хотя линейная дискретная модель каскада водохранилищ (Калинин-Милков-Нэш) хорошо описывает физический процесс, ошибки детерминистического прогноза еще имеют сильную внут-

ренную коррелированность. На рисунке представлены также результаты прогнозов после добавления стохастической модели (APCC) и видно, что объединенная динамико-стохастическая модель уже использует всю информацию, содержащуюся в исходных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

TITL

Целью настоящего доклада явилось представление объединенной структурно-стохастической модели, пригодной для прогнозирования в реальном масштабе времени. Структурная часть (динамическая модель) получена созданием адекватной дискретной модели каскада линейных водохранилищ (метода Калинина-Милюкова-Нэша). Ряд ошибок прогнозов по дискретной модели каскадов моделируется процессом авторегрессии - скользящего среднего. Прогноз и его рекуррентное обновление расчитывается алгоритмом фильтра Кальмана. Изложенные результаты являются частью широких исследований поиска общеприменимой модели единой структуры для прогнозов в реальном масштабе времени. Полученные результаты доказывают, что рекуррентные алгоритмы пригодны для прогнозов в реальном масштабе времени, создавая обратную связь с ошибками прогнозов и обновляя таким образом прогнозируемые значения подобно тому, как в случае, когда при каждом шаге определялись новые прогнозные зависимости с учетом предыдущих ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] BARTHA, P., SZÖLLÖSI-NAGY, A.: A Tisza vizjárásának folyamatos előrejelzése a fokozatosan változó nempermanens vizmozgás egyenleteinek közelítő megoldásával, VITUKI Jelentés, 721/1/12/1, Budapest, 1982.
- [2] HANÁCSEK, I., HARKÁNYI, K.: A Nash kaszkád off-line paraméter-optimálásának módszerei és összehasonlításuk. A Konferenciára benyújtott tanulmány, 1982.
- [3] КАЛИНИН, Г.П., МИЛЮКОВ, П.И.: Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс, Труды ЦИП, №.66, Ленинград, 1958.
- [4] MEDITCH, J.S.: Stochastic Optimal Linear Estimation and Control. McGraw-Hill, New York, 1969.
- [5] NASH, J.E.: The form of the instantaneous, unit hydrograph, Proc. IASH Assemb. Gén. Toronto, Ont. 3:113-131, 1957.
- [6] SZÖLLÖSI-NAGY, A.: Introductory remarks on the state modeling of water resource systems, IIASA Res. Memo 76-73, 1976.

- 7] SZÖLLÖSI-NAGY, A.: The discretization of the continuous linear cascade by means of state space analysis, Journal of Hydrology, 58, 3-4, 223-236, 1982.
- 8] WOOD, E.F., SZÖLLÖSI-NAGY, A.: Real-time forecasting/control of water resource systems, Pergamon, Oxford, 1980.

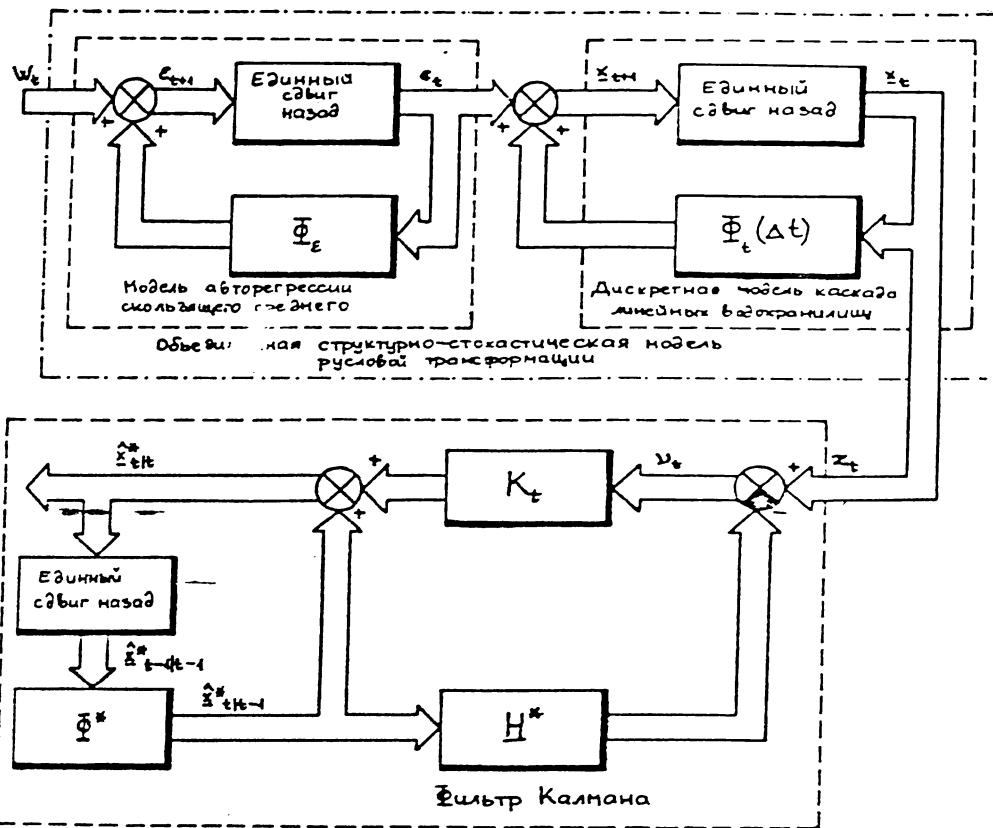


Рис. 1.

Рис. 2.

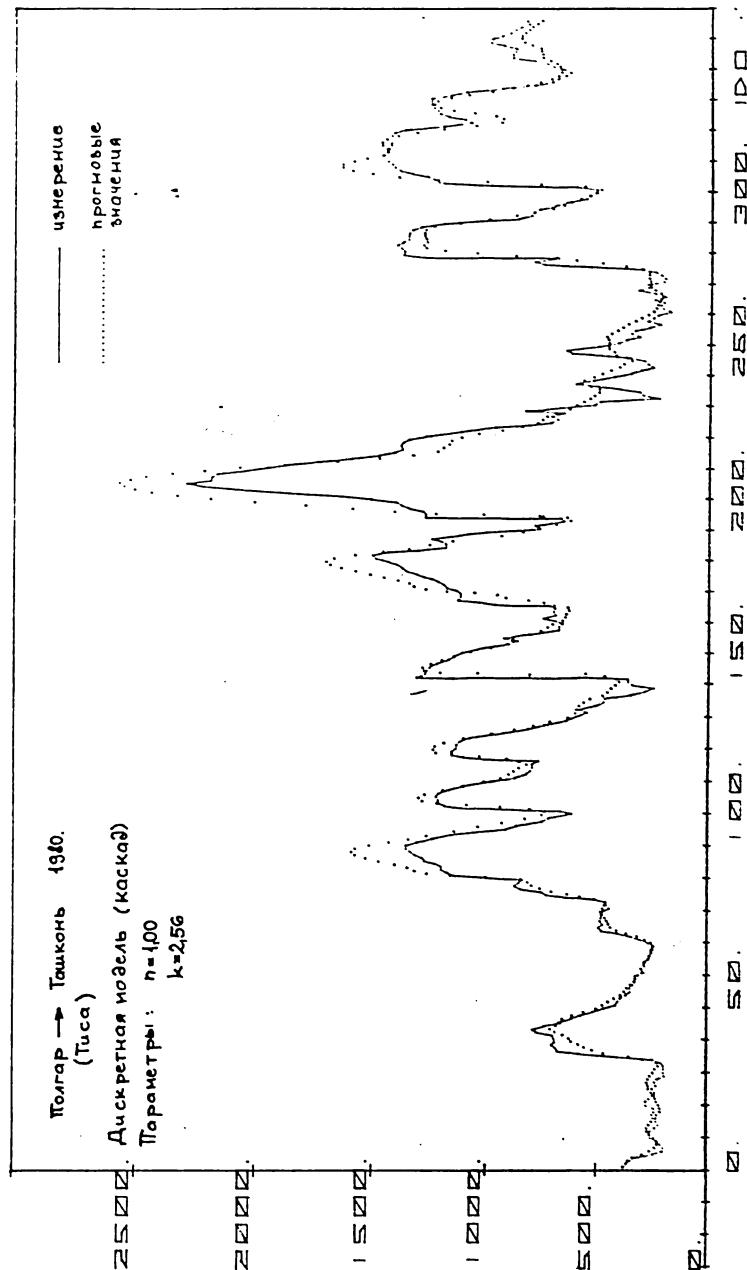
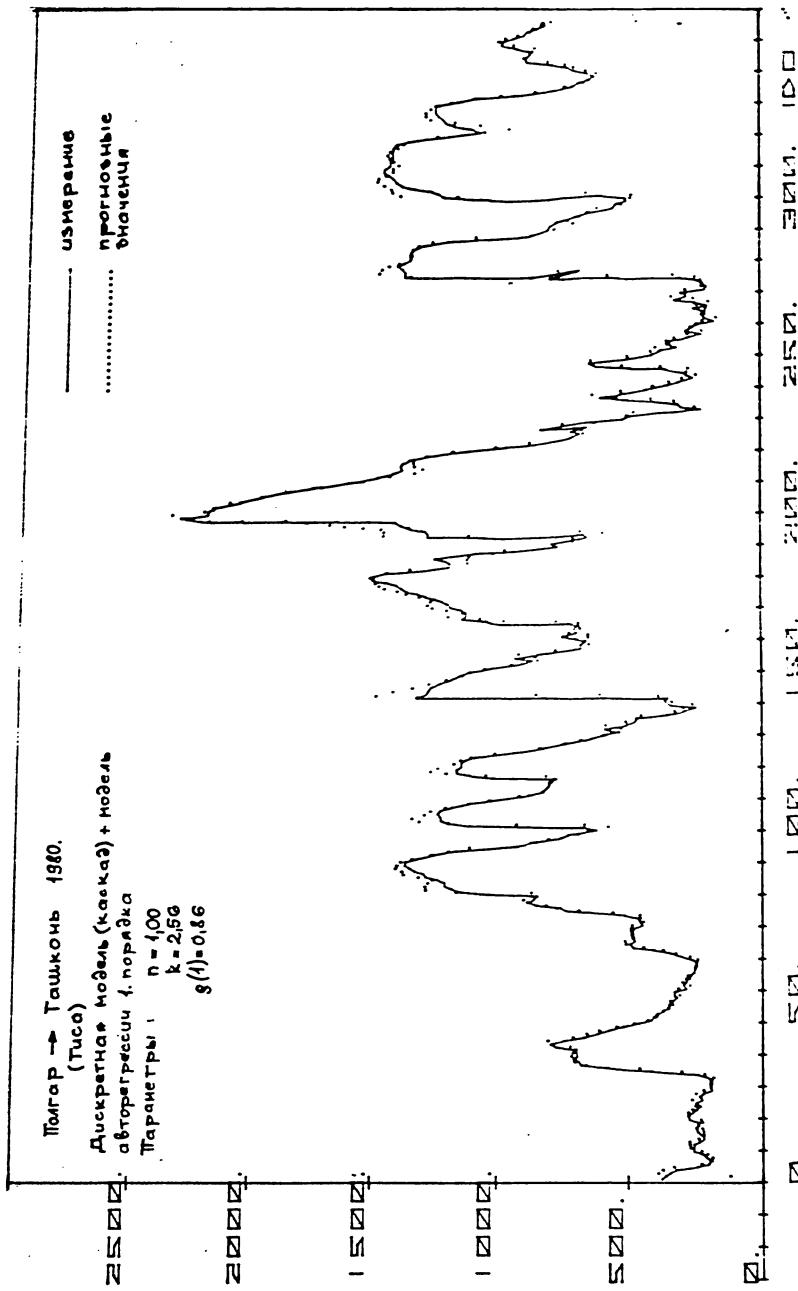


Рис. 3.



ДВУМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Попов Е.Г., Трубников Н.А., Гидрометцентр СССР
Москва, СССР

"TWO-DIMENSIONAL MODEL OF RAINFALL FLOOD FORMATION

ABSTRACT

A variant of the two-dimensional model has been developed for flood discharge calculations in rather large natural river basins. The model includes two systems of hydrodynamic equations describing the rainfall excess and the overland and channel flows within the catchment area. The system of flow equations ensures discontinuous solutions along schematized channel reaches. The relief of a catchment and the width of channels being given the model makes it possible to determine the discharges at the basin outlet from the rainfall graph and the initial soil moisture content. Five model parameters need to be determined by optimization methods. The model has been realized for a 2400 square km catchment area. It provides a good opportunity for numerical experiments which are necessary for its further development and improvement.

ZWEIDIMENSIONALES MODELL DER REGENHOCHWASSERFORMIERUNG

Es wird eine Variante des für die Berechnung der Regen hochwassermengen in ziemlich grossen Flussbecken erarbeiteten Modells betrachtet. Das Modell schliesst Systeme hydrodynamischer Gleichungen für die Berechnungen der Wasserausbau und des Abfließens auf den Abhängen und Talwegen in Bereich des Einzugsgebiets ein. Das Gleichungssystem des Abfließens stellt die Berechnung von Diskontinuitätsgleichungen für Talwege sicher. Bei dem vorausgegebenen Relief des Einzugsgebiets und der Breite des Flussbettes erlaubt das Modell die Berechnung von Abflussmengen an der Abflussmessstelle des Einzugsgebiets nach den Angaben über den Regenverlauf und die Anfangsfeuchtigkeit des Bodens durchzuführen. Fünf Parameter des Modells werden nach der Optimierungsmethode vorläufig bestimmt. Das Modell wurde am Beispiel eines Einzugsgebiets mit der Fläche von 2400 km² realisiert. Das Modell gibt eine gute Möglichkeit für numerische Experimente, welche für dessen weitere Entwicklung notwendig sind.

ВВЕДЕНИЕ

Неравномерность выпадения осадков, многообразие форм рельефа и неоднородность почвенного и растительного покрова обуславливают большую неравномерность процесса формирования дождевого стока в речных бассейнах. Двумерная модель в связи с этим наиболее подходит для математического описания этого процесса. Ее разработка, однако, связана с большими трудностями и требует определенной схематизации процесса. Это обусловлено как ограниченностью необходимой информации, так и чисто вычислительными трудностями.

В последние годы в Гидрометцентре СССР ведутся исследования по разработке двумерной модели формирования дождевых паводков, и создано несколько ее вариантов /5, 6, 4/. Предлагаемый вариант модели более полно отражает процессы влагообмена и водоотдачи бассейна, включая почвенную и подземную ее составляющие, а также склоновый сток и сток по русской сети. Усложнение модели вносит дополнительные трудности в ее реализацию, связанные, в частности, с постановкой граничных условий и расчетом разрывных решений, которые возникают при переходе от склонового к русскому стеканию.

Модель разработана с расчетом на достаточно крупные речные бассейны и реализована на примере гористого бассейна площадью 2,4 тыс. км².

СТРУКТУРА И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛИ

Речной бассейн рассматривается как гидродинамическая система, ограниченная в пространстве контуром внешнего водораздела, снизу – постоянной глубиной расчетного слоя почвы, и с поверхностью, открытой для влагообмена с атмосферой. В соответствии с природным процессом формирования дождевого стока модель включает две взаимосвязанные компоненты: (а) систему уравнений, позволяющих вести расчет водоотдачи по площади бассейна (модель водоотдачи) и (б) систему уравнений для расчета склонового и русского стока (модель стекания). Первая модель описывает вертикальный влагоперенос в почве: испарение, инфильтрацию, почвенную и подземную водоотдачу через земную поверхность. Функцией состояния в этой модели является влажность почвы, заданными функциями являются зависимости испарения, почвенной водоотдачи, коэффициентов диффузии и влагопроводности от влажности почвы, а также подземная водоотдача.

Вторая модель отображает стекание избыточной воды в русловую сеть и далее по ней к замыкающему створу бассейна. В уравнениях, описывающих этот процесс, исключены инерционные члены, речные русла принимаются прямоугольными с различной шириной в зависимости от размера частного бассейна. Функцией состояния в этой модели является глубина потоков, заданными функциями являются уклоны земной поверхности и их направления, ширина русел и пероховатость поверхности склонов и дна русел.

Расчет ведется в системе прямоугольных координат X, Y, Z , в которой ось Z направлена вертикально вниз. Шаг расчетной сетки в плоскости XY определяется, в первую очередь, размером бассейна, а также степенью неравномерности выпадения осадков по площади. Размер шага по вертикали принят равным шагу измерения влажности почвы. Для наглядности на рис. I представлена блок-схема модели для отдельного элемента бассейна. В пределах каждого такого элемента расчет вертикального влагопереноса решается как одномерная задача.

Начальное состояние системы и внешнее воздействие на нее определяют ее реакцию и дальнейшее ее состояние. По начальному распределению глубин потоков и влажности почвы и заданным осадкам определяется дальнейшее распределение глубин потоков влажности почвы и сток в любом створе речной сети.

Функция состояния системы (глубина потоков и влажность почвы) и другие ее функции осредняются в пределах принятых шагов пространственно-временной сетки. Изменчивость этих величин в масштабах, значительно меньших, чем размах принятых шагов пространственно-временной сетки, сказывается в силу нелинейности системы и учитывается с помощью эмпирических коэффициентов.

Все входящие в модель функции предполагаются достаточное число раз дифференцируемыми по всем аргументам за исключением особо оговоренных случаев.

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ВОДООТДАЧИ

Под водоотдачей понимается количество воды, идущей на сток в единицу времени или в течение расчетного интервала времени. В период формирования дождевых паводков водоотдача складывается из избытка осадков над инфильтрацией, поступления подземных вод и отдачи временно задержанной дождевой воды в почве и на поверхности земли – в лесной подстилке, депрессиях микрорельефа. Почвенная водоотдача происходит с определенным отставанием во времени по отношению к осадкам.

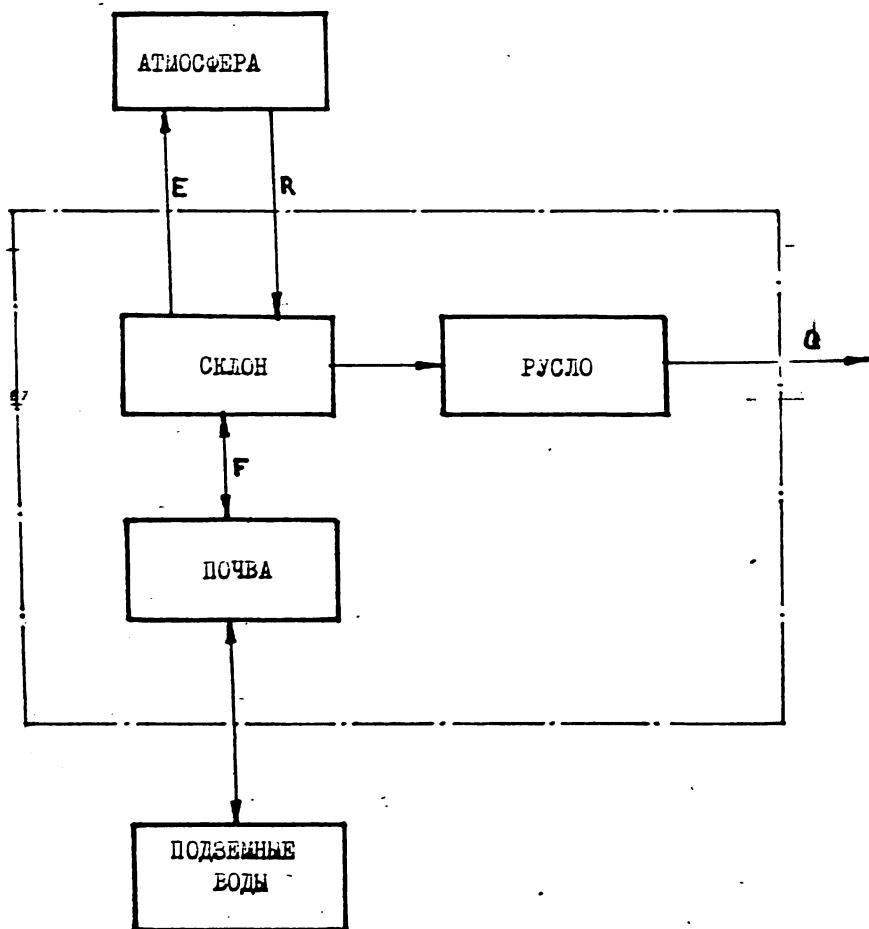


Рис. I. Блок-схема модели для отдельного элемента площади бассейна

но окончании дождя происходит постепенное уменьшение почвенной водоотдачи, которая прекращается при снижении влажности почвы до определенного предела. При длительном бездождном периоде идет процесс испарения влаги, и сток формируется только за счет подземных вод.

Решающая роль в формировании водоотдачи принадлежит, таким образом, осадкам и вертикальному влагопереносу в почве. Уравнение этого переноса имеет вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial W}{\partial z} - K \right) \quad \text{при } t > 0. \quad (I)$$

Здесь $D = D(W)$ и $K = K(W)$ – соответственно коэффициенты диффузий и влагопроводимости, $W = W(x, y, z, t)$ – влажность почвы.

$$W = W_0 \quad \text{при } t = 0, \quad (2)$$

где $W_0 = W_0(x, y, z)$ представляет собой начальное распределение влажности почвы в бассейне.

Верхнее граничное условие выражается через интенсивность влагообмена и влажность почвы

$$\left. \begin{array}{l} F = R - E - G - U_0, \text{ если } W < P \\ W = P, \text{ если } F \leq R - E - G - U_0 \end{array} \right\} \quad \text{при } t \geq 0, \quad (3)$$

где P – пористость почвы, $R = R(x, y, t)$, $E = E(W)$, $G = G(W)$, $F = F(W)$ и U_0 – соответственно интенсивность осадков, испарения, почвенной водоотдачи, влагообмена через поверхность почвы и подземной водоотдачи.

Нижнее граничное условие выражается через влажность почвы на нижней границе расчетного ее слоя

$$W = W_L \quad \text{при } t \geq 0, \quad (4)$$

где $W_L = W_L(x, y, t)$ – ход влажности почвы на нижней границе системы.

Коэффициент диффузии аппроксимируется зависимостью Гарднера $\beta /$.

$$D = D_0 \exp[A(W - W_s)], \quad (5)$$

где D_0 – коэффициент диффузии при максимальной влажности, A – константа.

Коэффициент влагопроводности определяется по формуле Аверьянова

-Будаговского /1/

$$K = K_0 \left(\frac{W - W_k}{P - W_k} \right)^4, \quad (6)$$

где K_0 - коэффициент фильтрации, W_k - влажность завяления.

Для расчета испарения с почвы используется модифицированная формула Будаговского /2/

$$E = E_0 \left(\frac{W - W_E}{P - W_E} \right), \quad (7)$$

где E_0 - испаряемость, P - влажность разрыва капиллярных связей.

Интенсивность влагообмена через поверхность бассейна определяется по обобщенной формуле Дарси

$$F = -D \frac{\partial W}{\partial z} + K, \quad (8)$$

а интенсивность почвенной водоотдачи по формуле

$$G = G_0 \left(\frac{W - W_C}{P - W_C} \right)^3, \quad (9)$$

где G_0 - почвенная водоотдача при влажности полного насыщения, а W_C - константа.

Замкнутая система уравнений (1)-(9) позволяет рассчитывать распределение водоотдачи по площади. Уравнения решаются конечно-разностным методом по неявной схеме, составленной с учетом требований о сохранении объемов.

Разностная система для уравнения (1) с условиями (2)-(4) решается методом прогонки с итерациями /II/. Коэффициенты рассчитываются пользуясь формулами (5)-(9) по значениям влажности почвы, взятым из предшествующего приближения. Для первого приближения величина влажности почвы берется на предшествующий момент времени.

РАСЧЕТ СКЛОНОВОГО И РУСЛОВОГО СТЕКАНИЯ

Двумерные уравнения для расчета стекания получены осреднением в вертикали уравнений неразрывности и уравнений движения Рейнольдса.

Уравнение водного баланса для элемента склона записывается в виде:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial V_x H}{\partial x} + \frac{\partial V_y H}{\partial y} = R - E - F, \quad (10)$$

где $H = H(x, y, t)$ – глубина потока, $V_x = V_x(x, y, t)$, $V_y = V_y(x, y, t)$ – составляющие скорости потока.

уравнения движения после упрощения уравнений Рейнольдса /3/, исключения инерционных членов, замены уклона водной поверхности уклоном дна потоков и выражения касательных напряжений на дне формулой трения получат вид:

$$J_x = \frac{V_x V}{C_0^2 H}, \quad J_y = \frac{V_y V}{C_0^2 H}, \quad (II)$$

где $J_x = J_x(x, y)$, $J_y = J_y(x, y)$ – составляющие уклона земной поверхности, $V = V(x, y, t)$ – скорость потока, C_0 – эмпирический коэффициент, учитывающий ручейковый характер склонового стока.

Разрешив уравнения (II) относительно V_x , V_y , получим:

$$V_x = C_0 \frac{J_x}{\sqrt{J}} H^{1/2}, \quad V_y = C_0 \frac{J_y}{\sqrt{J}} H^{1/2}, \quad (12)$$

где $\tau = J(x, y)$ – уклон земной поверхности.

Из уравнений (12) следует, что линии тока должны совпадать с направлением уклонов, поскольку составляющие скорости потоков пропорциональны составляющим уклонов земной поверхности. Подставив (12) в (10), получим двумерное уравнение склонового стока:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(C_0 \frac{J_x}{\sqrt{J}} H^{3/2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(C_0 \frac{J_y}{\sqrt{J}} H^{3/2} \right) = R - E - F \text{ при } t > 0. \quad (13)$$

Уравнение (13) имеет характеристическую систему /12/:

$$\frac{dH}{dt} = R - E - F - \frac{\partial}{\partial x} \left(C_0 \frac{J_x}{\sqrt{J}} H^{3/2} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(C_0 \frac{J_y}{\sqrt{J}} H^{3/2} \right), \quad (14)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{3}{2} C_0 \frac{J_x}{\sqrt{J}} H^{1/2}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{3}{2} C_0 \frac{J_y}{\sqrt{J}} H^{1/2}. \quad (15)$$

Дифференциалы характеристик на плоскости x, y пропорциональны J_x и J_y . Следовательно, траектории характеристик на этой плоскости совпадают с линиями тока. Все характеристики входят в область решения на водораздельных линиях, поэтому на этих линиях необходимо ставить граничное условие. Некоторые характеристики совпадают с русловыми линиями, а другие смыкаются с ними, и здесь происходит разрыв решения. В этом случае решение вдоль русловых линий описывается уравнением русового потока в следующем виде:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(C \sqrt{J} H^{3/2} \right) = \frac{1}{B} \left[\frac{|J_x J_{y,n} - J_y J_{x,n}|}{J J_n} C_0 \sqrt{J_n} H^{3/2} + \right. \\ \left. + \frac{|J_x J_{y,l} - J_y J_{x,l}|}{J J_l} C_0 \sqrt{J_l} H^{3/2} \right] \quad \text{при } t > 0, \quad (16)$$

где $\frac{\partial}{\partial l}$ – производная по направлению русловой линии,

$C = C(x, y)$ – коэффициент Шези, $J_{x,n}, J_{y,n}, J_n, J_{x,l}, J_{y,l}, J_l, H_n, H_l$ – значения функций соответственно справа и слева по ходу русловой линии, $B = B(x, y)$ – ширина русел.

В качестве начального условия принимается

$$H = H_0 \quad \text{при } t = 0, \quad (17)$$

где $H_0 = H_0(x, y)$ – глубина установившегося потока в условиях длительного бездождного периода, а в качестве граничного условия – равенство нулю глубины потока на водоразделах в любой момент времени, т.е.

$$H = 0. \quad (18)$$

Расход воды в руслах вычисляется по формуле:

$$Q = B C \sqrt{J} H^{3/2}, \quad (19)$$

где $Q = Q(x, y)$ – расход воды в русле.

Функцию C представим в виде:

$$C = C_0 S, \quad (20)$$

где $S = S(x, y)$ – функция, выражаящая отношение коэффициента Шези к эмпирическому коэффициенту C_0 ; а функцию B представим в виде:

$$B = B_0 \Phi, \quad (21)$$

где B_0 – ширина русла в замыкающем створе, $\Phi = \Phi(x, y)$ – отношение ширины данного русла к ширине русла в замыкающем створе.

К приведенным выше уравнениям (13), (16)–(21) добавляются еще три очевидных уравнения для уклонов

$$J_x = \frac{\partial Z_0}{\partial x}, \quad (22)$$

$$J_y = \frac{\partial Z_0}{\partial y}, \quad (23)$$

$$J = \sqrt{J_x^2 + J_y^2}, \quad (24)$$

где $Z_0 = Z_0(x, y)$ – апликата поверхности бассейна.

Система уравнений (13), (16)–(24) позволяет рассчитывать при известной водоотдаче склоновый и русловой сток.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ

Полная система уравнений (1)–(9), (13), (16)–(24) является нелинейной и замкнута относительно 12 неизвестных функций $H, Q, B, C, J_x, J_y, J, W, E, F, G, D, K$. В системе имеется три постоянные заданные функции Z_0, S, Φ , характеризующие рельеф и ширину русел, и двенадцать параметров: $B_0, C_0, E_0, G_0, U_0, D_0, A, K_0, P, W_E, W_C, W_L$, семь из которых принимаются постоянными на основе эмпирических данных, а пять C_0, E_0, D_0, K_0, G_0 находятся методом оптимизации. Кроме того, в систему входят четыре задаваемые функции: W_0, W_L, H_0 и R , характеризующие соответственно предшествующее увлажнение почвы, ход влажности на нижней границе расчетного слоя почвы, начальную глубину потоков и ход осадков. По этим данным рассчитывается дальнейшее увлажнение почвы и ход стока в створах русловой сети.

Сначала решается замкнутая система уравнений для расчета склонового и руслового стока. Метод решения первой системы указан выше. Для ее решения, а также решения системы уравнений для расчета склонового и руслового стока речной бассейн схематизируется на равномерной прямоугольной разностной сетке. Водоразделы и русла заменяются ломаными, проходящими через узловые точки сетки и состоящими из отрезков,

направленных по осям x и y . Для каждого элемента разностной сетки определяются составляющие углов по тем же осям. Построенная разностная схема реализуется по одним и тем же формулам независимо от того совпадает ли данный узел с руслом или нет. Разностная система для уравнения стекания (13) и (16) составлена для расчетов методом переменных направлений /10/ и решается путем итераций.

При испытании модели на бассейне площадью 2,4 тыс. км² расчетная сетка была принята с шагом по горизонтали, равным 5 км, по вертикали - 10 см, а расчетный интервал времени равнялся 1 часу. Речная сеть схематизировалась потоками с 5 по 9 порядок по классификации Ржаницына /8/, в соответствии с которой задавалась ширина каждого потока. Коэффициент Шези определялся по формуле Маннинга с учетом порядка потока и средней его глубины. Коэффициент шероховатости брался из таблицы для горных рек /7/.

Для проверочных расчетов использовались 20 паводковых периодов длительностью 10 суток каждый. Следует отметить, что данные об осадках и стоке в бассейне были недостаточно подробны. Особенно ограниченными были данные о влажности почвы. Поэтому испытание модели было дополнено численными экспериментами в целях определения ее чувствительности по параметрам и исходным данным.

Оптимизация параметров проводилась по трем паводкам в два этапа. Сначала искались три параметра D_0 , K_0 , E_0 , определяющие расчетный объем стока. Затем находились два параметра C_0 и G_0 , влияющие на форму гидрографа паводка. Величина подземной (базисной) водоотдачи, в целях упрощения расчетов, принималась равной базисному стоку, деленному на площадь бассейна. В принципе, она может определяться для различных частей бассейна по данным о базисном стоке малых рек.

Программа реализации модели составлена на языке PL/1. Проверочные расчеты показали удовлетворительное совпадение формы рассчитанных и фактических гидрографов. Более значительные погрешности имели место в объемах стока, что обусловлено недостатками данных о влажности почвы. Это подтверждается численными экспериментами, которые указывают на относительно большую чувствительность модели к данным о влажности почвы. Пример расчета паводковых расходов показан на рис. 2.

Преимущество двумерной модели состоит в том, что она позволяет непосредственно учитывать неравномерность формирования дождевого стока, используя, например, данные радиолокационного измерения осадков. Модель построена так, что позволяет вносить уточнения в расчеты отдельных элементов, не нарушая ее общей структуры.

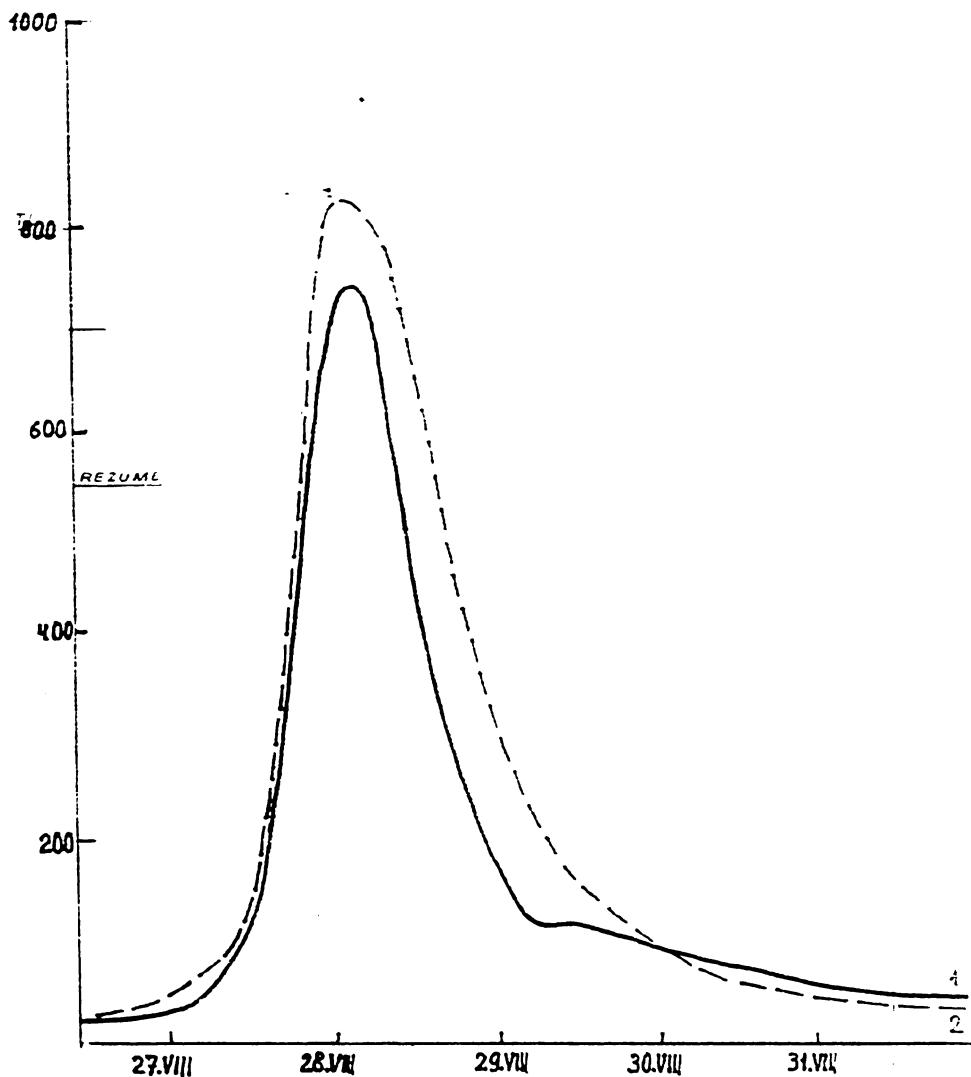


Рис. 2. Пример расчета паводковых расходов:
1 - фактический, 2 - расчетный гидрограф

ЛИТЕРАТУРА

1. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. Москва, Издательство АН СССР, 1955, 139 с.
2. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. Москва, "Наука", 1964, 243 с.
3. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1979, 312 с.
4. Демидов В.Н., Кучмент Л.С. Опыт применения двумерной модели формирования дождевого стока для реальных водосборов. Труды Гидрометцентра СССР. 1975, вып. 218, с. 38-42.
5. Кучмент Л.С., Трубихин Н.А. Двумерная модель формирования стока на водосборе, основанная на уравнениях кинематической волны. Труды Гидрометцентра СССР, 1977, вып. 183, с. 21-28.
6. Кучмент Л.С., Трубихин Н.А. К численной реализации двумерной модели кинематической волны при сложной топографии водосбора. Труды Гидрометцентра СССР, 1978, вып. 207, с. 102-107.
7. Расчеты паводочного стока. Под редакцией А.А. Соколова, С.Е. Рантса, М. Рома. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1978, с. 261.
8. Ржаничин Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1960, 240 с.
9. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Том. I. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1965, 664 с.
10. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. Москва, "Наука", 1971, 552 с.
11. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задачи газовой динамики. Москва, "Наука", 1980, 352 с.
12. Тихонов А.Н., Васильева А.Б. Свешников А.Г. Дифференциальные уравнения. Москва, "Наука", 1971, 552 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ СЖАТОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ
(CLS) В ПРОГНОЗАХ ДОЖДЕВОГО СТОКА НА ВОДО-
СБОРАХ БАССЕЙНА ДУНАЯ

Михайло Анджелич, Союзный гидрометеорологический институт,
Белград, Югославия

Габор Балинт, Корнел Харкани, Научно-исследовательский центр
водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

REZUMEN

APPLICATIONS OF THE CONSTRAINED LINEAR SYSTEM (CLS)
TO RAINFALL-RUNOFF MODELING IN THE DANUBE BASIN

The Constrained Linear System program package (CLS) developed by Todini et al. (1974) was adapted and used for predicting discrete time linear hydrologic systems with multiple inputs and a single output. Attempts were made to use CLS to model rainfall-runoff process for different subcatchments of the Danube Basin. For rainfall-runoff modelling it is necessary to separate the precipitation input into different input vectors based upon different areas or different antecedent moisture conditions. Case studies are given for the Velika Morava and Tisza Rivers.

ANWENDUNG EINES BESCHRÄNKTN LINEAREN SYSTEMS FÜR
NIEDERSCHLAG-ABFLUßVORHERSAGE AUF DEM EINZUGSGEBIET
DER DONAU

Das Programm Paket, ausgearbeitet bei Todini und seinen Mitarbeitern in 1974 für beschränkte lineare Systeme (CLS=Constrained Linear Systems), wird bei diskreten linearen Multi-Input, Singular-Output Systemen angewandt. Es wurden Experimente in verschiedenen Teil-Einzugsgebieten der Donau mit dem CLS-Modell für die Beschreibung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses durchgeführt. Bei der Anwendung des Niederschlag-Abflussmodells, es scheint zweckmäßig zu sein, die verschiedenen Abfluss-Eingänge auf verschiedenen Input-Variablen aufzuteilen, entweder mit der Aufteilung des Einzugsgebietes, oder nach den vorhergegangenen Bodenfeuchtigkeitsverhältnissen. Es wurden Fallstudien für die Einzugsgebiete der Welika Morawa und der Theiss anfertigt.

ВВЕДЕНИЕ

Система программ, которая была разработана Тодини и коллективом [3, 4, 5], начиная с начала восьмидесятых годов была успешно применена в целях моделирования гидрологических процессов. Исходя из приобретенного опыта, в Союзном гидрометеорологическом институте (Белград) данный метод определения параметров был адаптирован и применен для различных водосборов притоков Дуная.

СЖАТАЯ ЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА (CONSTRAINED LINEAR SYSTEM)

Большинство линейных систем являются более простыми по своей структуре и легче подаются математической обработке. Авторы методики ставили перед собой задачу нахождения корреляционного метода типа "черного ящика" для стационарной во времени системы, взаимно связанный ряд таких систем приводит к сильно нелинейной и даже временно нестационарной результирующей системе (Дуг [2]). Зная, что данный подход при моделировании процессов осадки-сток приводит к ошибкам, все же в ряде случаев в связи с погрешностью исходных данных оценка по методу наименьших квадратов приводит к таким же или меньшим ошибкам, чем по какой-либо концептуальной модели.

Дискретная линейная система с N входами может быть описана в форме:

$$q = H \cdot u + \epsilon \quad (1)$$

где u - вектор с длиной ($N \cdot k$) , функция импульсной реакции или функция влияния; k - длина отдельных функций влияния; q - вектор входа с длиной (m) в заданном интервале времени Δt ; H - матрица с размером ($m, N \cdot k$) дискретных во времени векторов входа; ϵ - вектор ошибок с длиной (m).

В линейной системе типа (1) оценку u находим как обратную матрицу матрицы $(H' V_{\epsilon}^{-1} H)$, при $V_{\epsilon}=1$ ошибки принимаются нормально распределенными и случайными. Матрица $(H' V_{\epsilon}^{-1} H)$ часто определяется ошибочно [1] и Тодини показал, что при $N > 1$ в результате обратной операции уровень ошибок будет близким к значению параметров. [4].

Натал и Тодини показали, что u можно удачно оценить, если при решении линейной гидрологической системы в случае применения метода наименьших квадратов вводятся некоторые ограничения в виде неравенств и равенств [4, 5]. В случае линейной модели осадки в сток имеем

априорную информацию о поведении параметра u . Само собой разумеется, что является целесообразным, если метод оценки учитывает эту информацию и уменьшает возможную область появления u . Если имеем линейную систему, тогда можно предположить, что $u \geq 0$, т.е. это однозначно с тем, что вода течет только вниз по течению.

Принимая процесс осадки-сток стационарным во времени, получим:

$$\sum_{j=1}^k u(i-1)k+j = \phi_i \quad i=r+1, \dots, N \quad (2)$$

где ϕ_i - постоянный коэффициент стока, учитывающий потери исходных осадков P_i до выхода, и r - число входов в виде притоков.

При $r > 0$ имеем $P_i, i=1, \dots, r$ притоков и по уравнению непрерывности выходит, что

REZUME

$$\sum_{j=1}^k u(i-1)k+j = 1 \quad i=1, \dots, r \quad (3)$$

Оценка параметра u по данной методике с применением ограничений получается как

$$J(\epsilon' \cdot c) = \frac{1}{2} u' H' H u - u' H' q$$

$$u \geq 0$$

$$Gu = 1$$

где матрица G определяется следующим образом:

Если $r=1$, G является матрицей размером $(1, Nk)$, элементы которой

$$g_{1,(i-1)k+j} = \frac{\sum_{\tau=1}^{m-j+1} P_i(\tau)}{\sum_{\tau=1}^m Q(\tau)} \quad i=1, \dots, N \quad j=1, \dots, k \quad (5)$$

Данная матрица выражает следующие ограничения

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k u(i-1)k+j \sum_{\tau=1}^{m-j+1} P_i(\tau) = \sum_{\tau=1}^m Q(\tau)$$

которое выражает потери между N входом осадков P_i и выходом Q при $P_i(\tau) = 0, 1-k \leq \tau \leq 0$.

Если $r > 0$, тогда матрица G с размером $(r+1, Nk)$, элементы которой равны нулю, за исключением

$$g_{s,(s-1)k+j} = 1$$

$$g_{r+1,(i-1)k+j} = \frac{\sum_{\tau=1}^{m-j+1} P_i(\tau)}{\sum_{\tau=1}^m Q(\tau) \sum_{s=1}^r P_s(\tau)} \quad \begin{matrix} s=1, \dots, r \\ i=r+1, \dots, N \\ j=1, \dots, k \end{matrix} \quad 7$$

Выражая разностное (3), получаем следующее уравнение неразрывности для всей системы или r число притоков и N-r входов в виде осадков при условии $m \gg k$

$$\sum_{i=r+1}^N \sum_{j=1}^k u_{(i-1)k+j} \sum_{\tau=1}^{m-j+1} P_i(\tau) = \sum_{\tau=1}^m [Q(\tau) - \sum_{s=1}^r P_s(\tau)] \quad 8$$

После оценки параметров и по системе программ CLS при помощи уравнения (2) получим априорные значения для входов осадков P_i ; т.е.

$$P_i = \sum_{j=1}^k u_{(i-1)k+j} \quad i=r+1, \dots, N \quad 9)$$

В целях удобства представления приведенные равенства показаны для тех случаев, когда значения k равны для каждого N входа, но программы, разработанные Мартелли, Тодини И Валлис, дают возможность использовать переменную k.

В случае одного входа осадков наблюдается, что и имеет форму, которая соответствует гидрологическим особенностям водосбора, и если исходные данные не содержат значительные ошибки, кривая имеет плавный ход. В конце функции влияния могут появиться некоторые помехи. Если и значения близки к нулю, то это говорит о том, что значение k больше чем это позволяют имеющиеся данные.

ПРИМЕНЕНИЕ СЖАТОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Возможности использования системы программ CLS исследовались на данных 17 осадкомерных постов и расходов в створе Тисабеч водосбора Верхней Тисы (с площадью 9707 км^2). Расчеты производились для периода с 1 мая по 31 октября 1970 года.

TITL. Индекс предшествующего увлажнения API был оценен по формуле:

$$\text{API}_t = \text{API}_{t-1} \cdot K + P_t \quad (10)$$

Aut.

где P - осадки; K - постоянная рецессии для учета сезонных изменений по формуле

$$K = K_0 + \text{acos}[\omega(T + \phi)] \quad (11)$$

REZUME

где K_0 - среднее значение постоянной ($0,7-0,9$); ω - максимальное отклонение от K_0 ; ϕ - расстояние максимума K от начала года.

В ходе расчетов имеется возможность задавать два пороговых значения. Предшествующие появлению некоторого паводка осадки суммируются по программе в целях учета предшествующего увлажнения. Если индекс предшествующего увлажнения превосходит заданное пороговое значение, то входной вектор осадков разбивается на части. При наличии одного порога он разбивается на две части, а при наличии двух порогов - на три. Таким образом, в расчетах имеем $n+1$ значений коэффициента стока при наличии $0 \leq n \leq 2$ порогов.

Входные параметры модели изменяют таким образом, чтобы отклонение расчетных гидрографов от наблюденных было бы минимальным. Отклонение расчетного ряда исследуется путем определения следующих статистических характеристик:

- среднее квадратичное отклонение от фактического ряда
- коэффициент постоянства
- наибольшее положительное отклонение
- минимальное отрицательное отклонение
- процентное отклонение пиков гидрографа.

При выборе входных параметров следует стремиться к тому, чтобы значения указанных статистических характеристик принимались за минимум.

Расчеты проводились по схеме проба-ошибка. Используя данные об осадках на водосборе Верхней Тисы и данные о расходах в створе Тисы

беч, оценку повторяли пять раз, постепенно улучшая при этом статистику ошибок. Входные и статистические параметры, характеризующие согласие расчетного и фактического гидрографов, приведены в таблицах 1 и 2 (также приводятся и расчитанные значения коэффициентов стока).

Таблица 1
Входные данные и значения коэффициентов стока

№ пп	K_o	α	ϕ	Число по- рогов	Значение по- рога (m^3/s)	Коэффициент стока
1	-	-	-	-	-	0.838
2	0.90	0.00	-	1	4000	0.785 0.877
3	0.74	0.00	-	1	3000	0.860 0.816
4	0.74	0.00	-	2	1700 2800	0.919 0.855 0.773
5	0.74	0.15	121	2	1700 2800	1.613 1.1011 0.536

Таблица 2
Статистика ошибок

№ пп	s	C_p	MPE	MNE	δ
1	280	10.40	805	-2205	-58
2	269	11.06	822	-1845	-48
3	254	14.24	982	-1532	-40
4	249	13.45	852	-1430	-38
5	229	11.04	690	-1410	-37

Применяемые обозначения:

s - среднее квадратичное отклонение

C_p - коэффициент постоянства

MPE - наибольшее положительное отклонение

MNE - минимальное отрицательное отклонение

δ - процентное отклонение пиков.

CLS также применена на реке В. Морава с целью исследования возможности ее применения для оперативного краткосрочного прогнозирования.

ния суточных расходов воды на выходном створе водосбора. Параллельно с моделью CLS применялась и модель MANS, а некоторые результаты совместно выполненных анализов приведены в работе [6].

Идентификация и оценка параметров модели CLS для сбора реки В. Морава выполнена для выходного створа Любический мост с площадью водосбора 37320 км². При этом в качестве входных данных использовали расходы воды на 13 водомерных постах и осадки на 10 осадкомерных пунктах за период 8 лет.

В процессе идентификации функций импульсной реакции (U_i) использовались различные комбинации входных переменных (в виде расходов Q_i и осадков P_i) и входных параметров (K_0 , α , φ , число и значение порогов) в зависимости от заданного периода заблаговременности прогнозов. Для объективной оценки качества исследуемых вариантов использовались упомянутые статистические параметры ошибок прогнозов (σ , C_p , MPE, MNE и %). Было исследовано 14 вариантов, причем 3 для суточных, 3 для двухсуточных, 4 для трехсуточных и 4 для четырехсуточных прогнозов расходов воды на в/п Любический мост. Полученные статистические параметры приведены в таблице 3.

Таблица 3
Статистика ошибок прогнозов воды на р. В. Морава, в/п Люб. мост

Заблаго- времен- ность	Вари- анты	σ	C_p	MPE	MNE	%
1 сут.	1	41,3	6,87	312	-423	2,2
	2	38,4	6,74	362	-415	3,5
	3	40,0	7,28	370	-424	3,8
2 сут.	1	61,7	5,82	359	-652	-6,6
	2	63,8	8,67	370	-661	-5,7
	3	60,0	5,33	324	-306	-5,2
3 сут.	1	86,9	5,10	541	-855	-10,4
	2	87,0	5,30	559	-838	-11,7
	3	86,0	5,02	539	-830	9,6
	4	92,8	6,70	622	-865	-14,0
4 сут.	* 1	108,9	5,61	506	-845	-31,0
	2	109,6	5,68	514	-841	-345
	3	137,7	11,97	515	-1007	-43,8
	4	111,2	6,16	539	-855	-36,2

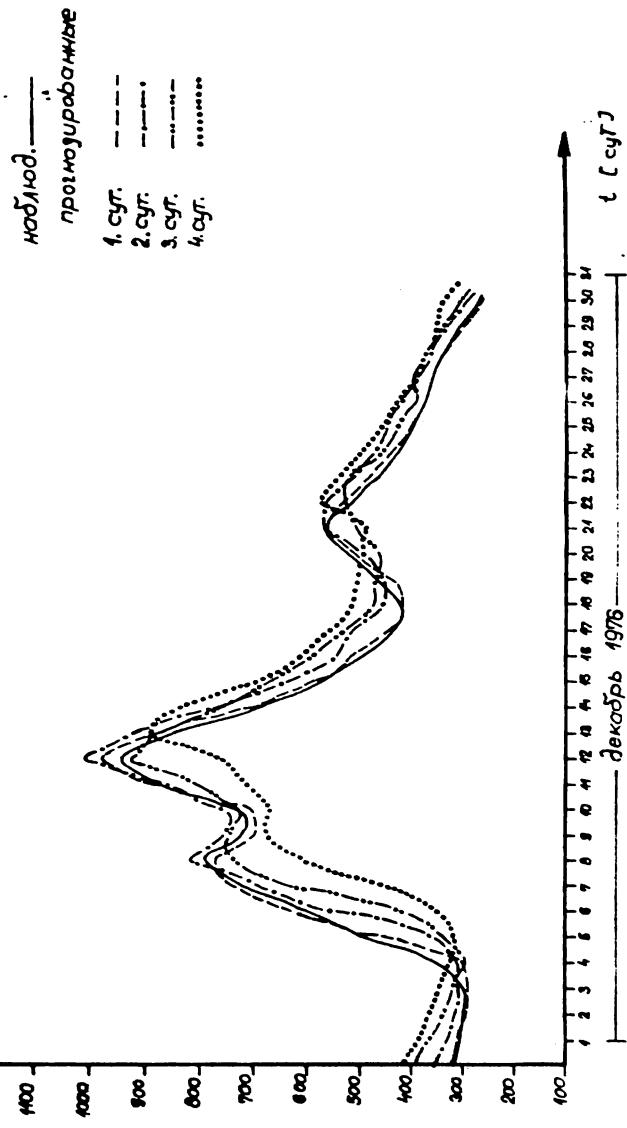
На основании полученных статистических показателей за оценочный период (табл. 3) выбраны варианты для выпуска 1, 2, 3 и 4 суточных прогнозов (выбранные варианты обозначены звездочкой). На рис. 1 приведены сопоставленные наблюденный и прогнозированный гидрографы паводка, выбранного из трехлетнего проверенного периода.

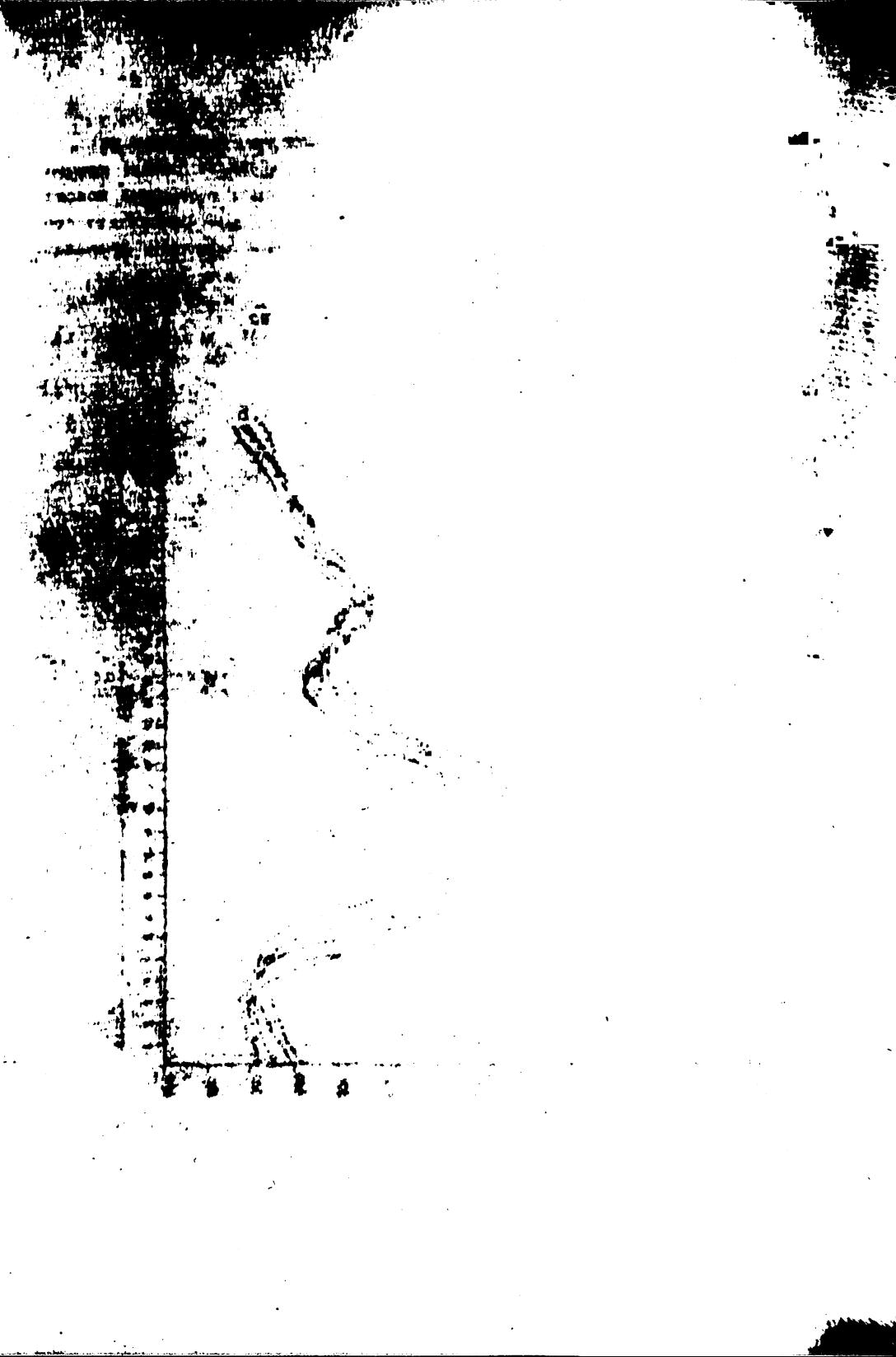
ЛИТЕРАТУРА

- [1] ABADIE, J.: Integer and Non Linear Programming, North Holland Publ. Co. Amsterdam, 1970.
- [2] DOOGHE, J.C.I.: Problems and Methods of Rainfall-Runoff Modelling, Workshop on Mathematical Models in Hydrology, Pisa, December, 1974.
- [3] MARTELLI, S., E. TODINI and J.R. WALLIS: CLS: Constrained Linear Systemsé Program Information and Guideé Workshop on Mathematical Models in Hydrology, Pisa, December, 1974.
- [4] NATALE, L. and E. TODINI: Black-Box Identification of a Flood Wave Propagation Linear Model, IAHR Istanbul, September, 1973.
- [5] NATALE, L. and E. TODINI: A Constrained Parameter Estimation Technique for Linear Models in Hydrology, Publ. 13, Inst. of Hydraulics, University of Pavia, Julyé 1974.
- [6] АНДЖЕЛИЧ, М., ЯНКОВИЧ, Д.: Результаты применения двух прогностических моделей на Великой Мораве, XI Конференция приднайских стран по гидрологическим прогнозам, Бухарест, 1982.

Рис. 1.

Надкоденний у прогнозурований глинеродка, що б/н. мост.





ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ МОДЕЛЕЙ КАСКАДА ЛИНЕЙНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ И ДИСКРЕТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ, А ТАКЖЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СХЕМЫ ПРИ РАСЧЕТАХ ТРАНСФОРМАЦИИ ПАВОДОЧНЫХ ВОЛН

Индраш Селлеши-Надь, Петер Барта, Научно-исследовательский центр водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

REZUME

THE EQUIVALENCE OF THE KINEMATIC WAVE AND LINEAR CASCADE MODELS AND THEIR CHANNEL ROUTING STABILITY CONDITIONS

The paper shows an equivalence between the first oder approximation of the Saint-Venant equation of the gradually varying unsteady flow, i.e. the kinematic wave, and the Kalinin-Milyukov-Nash cascade consisting of a series of linear reservoirs. The equivalence holds if the spatial derivative of the kinematic wave equation is approximated by using a backward spatial difference scheme. Due to this equivalence the same linear transformation is valid for the discrete time-discrete space kinematic waves as for the discrete linear cascades. The attenuation of the discrete kinematic wave is due to the numerical diffusion resulting from the application of backward difference scheme. This diffusion is a unique function of the Courant number. The paper derives a condition for the time interval and stability of channel routing. This condition is expressed in terms of the Courant number and can be established from the hydraulic parameters of the river reach considered.

ÄQUIVALENZ DER KINEMATISCHEN WELLE UND DER KASKADENMODELLE; STABILITÄTSKRITERIEN IHRER ANWENDUNG FÜR FLOOD-ROUTING

Der Artikel zeigt die Äquivalenz zwischen der Approximation erster Ordnung der Saint-Venant Gleichung (die kinematischen Welle) in der Kalinyin-Milyukov-Nash Kaskade (bestehend aus einer Reihe elementarer, linearer Speicher) für die Beschreibung des eindimensionellen, sich allmählig verändernden Wasserlaufes. Die Äquivalenz existiert, wenn das longitudinelle Derivat in der partiellen Differentialgleichung der kinematischen Welle mit einem retardierten Differenzschema beschrieben wird. Infolge der Äquivalenz wird die Relation zwischen beiden, in Zeit u. Raum diskreten, hi-

nearen, kinematischen Wellen, wie im Falle diskreter Kaskaden, durch dieselbe lineare Transformation erzeugt. Die Verflachung der diskretisierten kinematischen Welle wird durch eine numerische Diffusion aufgrund der Anwendung des retardierten Differenzschemas verursacht. Der Umfang der Diffusion hängt von der Courant-Nummer ab. Der Artikel gibt eine von der Courant-Nummer abhängige Bedingung für das Zeitintervall des Flood-Routings an und zeigt, daß es aus den hydraulischen Parametern der gegebenen Flußstrecke unmittelbar zu berechnen ist.

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические методы прогноза руслового стока в принципе все основаны на одномерных дифференциальных уравнениях неустановившегося движения воды (уравнения Сен-Венана). Эти уравнения, однако, решаются лишь при известных граничных условиях. Этот факт является труднопреодолимым препятствием применения гидродинамических методов в непрерывных гидрологических прогнозах, поскольку граничные условия известны только до момента выдачи прогноза. Таким образом, производится фактически не прогнозирование, а расчет трансформации паводочных волн на данном участке. Иными словами производится интерполяция и не экстраполяция (как во времени, так и в пространстве).

Очевидно, однако, что гидродинамические уравнения, описывающие физические закономерности движения воды в руслах, должны учитываться при построении моделей прогнозов. Это достигается соответствующим упрощением дифференциальных уравнений Сен-Венана. Эти упрощения составляют класс решений, которые называются гидравлическими методами (кинематическая волна, диффузионная волна, метод Маскингама и т.д.).

К другому классу методов расчета трансформации паводков относятся так называемые гидрологические методы, которые основаны на уравнении непрерывности (метод линейного водохранилища, метод Калинина-Милюкова-Нэша).

Для обоих классов характерно, что процесс стока они описывают только приближенно, их применение в оперативных прогнозах дало положительные результаты, чем объясняется их широкая популярность.

При обзоре литературы эти два класса моделей кажутся независимыми как в отношении методического подхода, так и в отношении параметров. Целью настоящего доклада является доказательство эквивалентности моделей дискретной кинематической волны (апроксимация уравнений Сен-Венана первого рода) и гидрологических моделей Калинина-Милюкова-Нэша (каскад линейных водохранилищ). При доказательстве эквивалентности

изложены эффект цифровой диффузии и условия распластывания расчетного гидрографа.

РЕАКЦИЯ НА ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС МОДЕЛИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ

Линейная кинематическая волна является приближением первого порядка одномерной кинематической волны, описываемой уравнениями Сен-Венана. Метод был разработан Лайтеллем и Виттэном (1955) для расчета трансформации паводков в длинных руслах (на основе принципа волн малых амплитуд, т.е. линеаризацией полных дифференциальных уравнений). В дальнейшем метод был применен для описания процессов поверхностного стока (Вольшер-Лиггит, 1967). Линейная кинематическая волна является решением дифференциального уравнения первого порядка в частных производных

REZUME

$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial t} + C \frac{\partial f(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

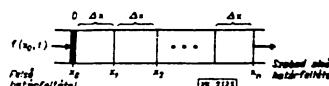
где $f(x, t)$ – расход воды на расстоянии x в момент t ; C – скорость движения паводочной волны.

При этом граничными условиями являются:

$$f(0, t) = f(x_0, t),$$

$$f(x, t) \neq \infty, \quad \text{если } x \rightarrow \infty, \quad t \geq 0,$$

Предположим, что участок разделен на n число интервалов длиной Δx (рис. 1).



1. ábra. A lineáris kinematikus hullám térfelübeli diskretekkel díszítésének sémaja

Rис. 1. Схема пространственной дискретизации линейной кинематической волны

Fig. 1. Scheme of resolving into finite space elements the linear kinematic wave

Bild 1. Schema der räumlichen Diskretisierung der linearen kinematischen Welle

В уравнении (1) частная производная по длине записывается конечными разностями по ретардированной схеме

$$\frac{df(x_j, t)}{dt} = -C \frac{f(x_j, t) - f(x_{j-1}, t)}{\Delta x} = \frac{C}{\Delta x} f(x_{j-1}, t) - \frac{C}{\Delta x} f(x_j, t); \quad 1 \leq j \leq n. \quad (3)$$

Вписывая модель в пространстве состояний, вектор состояний определяется расходами на границах интервалов x_j ; $j=1, 2, 3, \dots, n$

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} f(x_1, t) \\ f(x_2, t) \\ \vdots \\ f(x_n, t) \end{bmatrix}$$

— при верхнем граничном $u(t) = f(x_0, t)$, что обозначают расходы в верхнем створе. В этом случае уравнение пространственно-дискретной кинематической волны может быть представлено в следующем виде:

РЕЗУЛЬТАТЫ

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \frac{C}{\Delta x} \begin{bmatrix} -1 & & & 0 \\ 1 & -1 & & \\ & 1 & -1 & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} C/\Delta x \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} u(t), \quad (4)$$

или в матричной форме

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = F\mathbf{x}(t) + Gu(t) \quad (5)$$

что соответствует уравнению состояния линейной непрерывной динамической системы с постоянными во времени параметрами. Матрица состояний F типа Тэлли (см. определение Рожа, 1974) и ее структура идентичны структуре матрицы состояний модели Калинина-Милюкова-Нэша (Селлеш-Надь, 1981а). Расход на выходе последнего частичного участка совпадает с расходом на конце расчетного участка

$$y(t) = [0, 0, \dots, 1] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

или

$$y(t) = H\mathbf{x}(t). \quad (7)$$

Рассматривая модели линейной кинематической волны и Калинина-Милюкова-Нэша на основе принципов теории систем, можно установить их

эквивалентность. Это легко доказывается расчетом их реакции на единичный импульс, поскольку две системы эквивалентны, если функции их реакции (функции влияний) одинаковы. Известно, что функция влияния линейной динамической системы $h(t)$ может быть определена из модели в пространстве состояний уравнением

$$h(t) = H \Phi(t) b,$$
(9)

где $\Phi(t)$ - матрица перехода состояний, которая определяется как экспонент матрицы состояний, если система имеет во времени постоянные коэффициенты:

$$\Phi(t) = \exp(Et)$$

Путем элементарных преобразований (Селлеши-Надь, 1981а) может быть определена матрица перехода состояний дискретной по длине кинематической волны в форме следующей нижней треугольной матрицы:

$$\Phi(t) = \begin{bmatrix} e^{-C_{\Delta x} t} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{C}{\Delta x} t e^{-C_{\Delta x} t} & e^{-C_{\Delta x} t} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{C}{\Delta x} t\right)^{m-1} \frac{1}{(m-1)!} e^{-C_{\Delta x} t} & \left(\frac{C}{\Delta x} t\right)^{m-2} \frac{1}{(m-2)!} e^{-C_{\Delta x} t} & \dots & e^{-C_{\Delta x} t} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Умножая матрицу справа на вектор (колонку) G , получаем первую колонку матрицы $\Phi(t)$, умноженную на $C/\Delta x$, что в свою очередь перемножая в дальнейшем слева на вектор (ряд) H , получаем

$$h(t) = \frac{C}{\Delta x} \left\{ \left(\frac{C}{\Delta x} t\right)^{m-1} \frac{1}{(m-1)!} e^{-C_{\Delta x} t} \right\}, \quad (10)$$

что является функцией влияния линейной кинематической волны. При $K = \Delta x/C$ она совпадает с известной функцией влияния модели Калинина-Милькова-Нэша, что означает эквивалентность этих моделей.

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ПО ВРЕМЕНИ ЛИНЕЙНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ И ЭФФЕКТ ЦИФРОВОЙ ДИФФУЗИИ

Вследствие эквивалентности моделей линейной кинематической волны и Калинина-Милюкова-Нэша результаты дискретизации, полученные недавно для последних (Селлеши-Надь, 1981б), справедливы и для случая дискретной в пространстве и во времени модели кинематической волны. Наиболее важным следствием является что любые дискретные представления в пространстве состояний дискретной в пространстве и непрерывной во времени линейной кинематической волны связаны между собой путем линейной трансформации. Дискретная модель не только совпадает в дискретных точках с непрерывной моделью кинематической волны, но и учитывает динамику изменений между соседними дискретными точками. Доказательство этому приведено в указанной статье (Селлеши-Надь, 1981б).

При дискретизации во времени модели наблюдается еще одно интересное явление, которое заслуживает внимания при расчетах: явление цифровой диффузии. Известно, что линейная кинематическая волна (Раудкиви, 1979) является решением уравнения конвекции, при этом волна соответственно не распластывается, а только продвигается, не изменяя свою форму. При практических расчетах, когда приходится работать с дискретными во времени и в пространстве данными, оказалось, что наблюдается явление затухания кинематической волны. Объяснение этого явления было дано в работе Кунге (1969) при обобщении метода Маскингама. Доказано, что неожиданное затухающее влияние метода происходит в результате того, что используемая при решении уравнения кинематической волны ретардированная конечно-разностная схема приводит к известной модели Маскингама и распластывание происходит вследствие использования ретардированной, а не центральной схемы конечных разностей. Это явление названо цифровой диффузией, поскольку явление распластывания свойственно данной расчетной схеме, а не самой модели.

При практических расчетах необходима дискретизация и дискретной в пространстве, непрерывной во времени кинематической волны. На основе эквивалентности матрица перехода состояний дискретной в пространстве и во времени кинематической волны может быть получена из матрицы перехода состояний модели Калинина-Милюкова-Нэша (Селлеши-Надь, 1981б)

$$\Phi(\Delta x, \Delta t) = \begin{bmatrix} e^{-\epsilon} & 0 & \dots & 0 \\ \epsilon e^{-\epsilon} & e^{-\epsilon} & & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\epsilon^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\epsilon} & \frac{\epsilon^{n-2}}{(n-2)!} e^{-\epsilon} & \dots & e^{-\epsilon} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

Число

$$\epsilon = C \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{\Delta t}{K} \quad (12)$$

число Куранта.

При исследовании линейных водохранилищ и эффекта цифровой диффузии Понс (1980) доказал, что число Куранта, которое с устойчивостью расчленной схемы, определяет степень цифровой диффузии, а именно:

1. $\epsilon = 2$, т.е. когда шаг по времени равен двойному значению коэффициента запаса (времени добегания), расход на выходе системы равен среднему расходу на входе системы.

2. $\epsilon > 2$ приводит к цифровой неустойчивости системы.

3. В интервале $0 < \epsilon < 2$ проявляется эффект цифровой диффузии.

С учетом эквивалентности эти свойства справедливы и для случая кинематической волны. На рис. 2 представлены паводочные волны при дискретизации по длине $n = 1, 2, \dots, 9$ и при числах Куранта $\epsilon = 2$ и $\epsilon < 2$, на основе которых можно сделать следующие выводы:

1. При данном числе Куранта более частой дискретизации по длине соответствует уменьшение максимума волны и увеличение времени запаздывания (добегания).

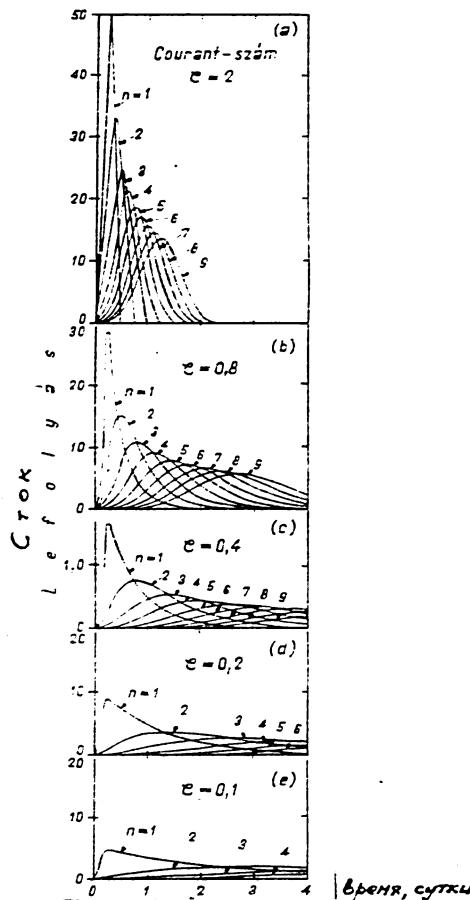
2. При данном шаге дискретизации по длине уменьшению числа Куранта соответствует уменьшение максимума и увеличение времени добегания (запаздывания).

3. Асимметрия волн связана с числом Куранта. При увеличении числа Куранта положительная асимметрия уменьшается и при $\epsilon = 2$ исчезает.

Дискретная кинематическая волна, охарактеризованная матрицей перехода состояний (11), дает результат, который учитывает эффект распластывания паводка при числе Куранта $0 < \epsilon < 2$, когда выполняется условие

$$|\Delta t| < 2K$$

13



2. ábra. Árhullámképek a \mathcal{C} Courant-szám és a hosszmenti felosztás n számának függvényében (Ponce nyomán)

Рис. 2. Гидрографы паводков в зависимости числа Куранта \mathcal{C} и числа участков по длине (по Понсе)

Fig. 2. Flood hydrographs as a function of the Courant number \mathcal{C} and the number n of longitudinal division (after Ponce)

Bild 2. Hydrographen in Abhängigkeit von der Courant-Zahl und der Zahl n der längenmässigen Aufteilung (nach Ponce)

В результате эквивалентности моделей критерий устойчивости однозначно определяется для метода Калинина-Милюкова в зависимости от параметров русла.

При определении длины характерного участка в методе Калинина-Милюкова был применен следующий способ. Предположили, что на данном участке водотока нарушаются установившееся движение и при этом расход воды нижнего створа не меняется (рис. 3).



3. ábra. A rízfelszín alakulása per-

manentis állapot esetén (1) és az

áraddás időszakában (2)

Рис. 3. Поверхность воды при уста-

новившемся состоянии (1) и во время

подъема подвода (2)

Fig. 3. The surface profile under

steady-flow conditions (1) and on

the rising limb (2)

Bild 3. Gestaltung der Wasser-

oberfläche in permanentem Zu-

stand (1) und während der Stei-

gung (2)

Расход воды на участке является функцией уровня H и уклона I . Полный дифференциал расхода, таким образом, равен

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial H} dH + \frac{\partial Q}{\partial I} dI.$$

Если $dQ = 0$, то

$$\frac{\partial Q}{\partial H} dH + \frac{\partial Q}{\partial I} dI = 0,$$

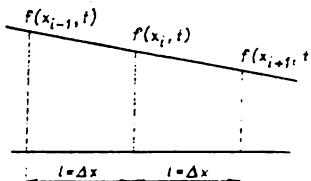
Поскольку $dH = -IdI$ и $Q = m\sqrt{I}$ (где m - коэффициент пропуск-
ной способности), длина характерного участка равна

$$l = \frac{\frac{\partial Q}{\partial I}}{\frac{\partial Q}{\partial H}}, \quad (14)$$

или

$$l = \frac{k}{2\sqrt{I} \frac{\partial H}{\partial Q}}$$

Запишем уравнение диффузионной волны при условии, что изменение расхода по длине на характерном участке линейное (рис. 4).



REZUME

4. ábra. A vizhozam $f(x, t)$ változása a jellemző szakaszon, ha a permanens állandó megszűnő.

Рис. 4. Изменение расхода воды на характерном участке $f(x, t)$ после разрушения установившегося состояния

Fig. 4. Variation of the discharge $f(x, t)$ over the typical section after a disturbance of steady conditions

Bild 4. Veränderlichkeit $f(x, t)$ des Durchflusses entlang der charakteristischen Strecke nach dem permanenten Zustand

Уравнение диффузионной волны является дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа:

$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial t} = -C \frac{\partial f(x, t)}{\partial x} + D \frac{\partial^2 f(x, t)}{\partial x^2}, \quad (15)$$

где C – коэффициент скорости движения волны; D – коэффициент диффузии

Переходя к конечным разностям

$$\frac{df(x_i, t)}{dt} = -C \frac{f(x_i, t) - f(x_{i-1}, t)}{\Delta x} + D \frac{f(x_{i+1}, t) - 2f(x_i, t) + f(x_{i-1}, t)}{(\Delta x)^2},$$

учитывая линейность изменения расхода на участке

$$f(x_{i-1}, t) - 2f(x_i, t) + f(x_{i+1}, t) = 0,$$

получим

$$\frac{df(x_i, t)}{dt} = -C \frac{f(x_i, t) - f(x_{i-1}, t)}{\Delta x},$$

что является уравнением кинематической волны при дискретизации по длине с шагом $\Delta x = \Delta x$.

Критерий устойчивости в этом случае может быть определен по принципу характерного участка.

Avt. При шаге $\Delta x = \Delta x$ число Куранта

$$\varrho = C \frac{\Delta t}{\Delta x} = C \frac{\Delta t}{k \frac{\partial H}{\partial f}} = \frac{\Delta t}{2\sqrt{I} \frac{\partial H}{\partial f}}, \quad (16)$$

REZUME
т.е. схема устойчива, если

$$2\sqrt{I} C \frac{\Delta t}{k} \frac{\partial f}{\partial H} < 2;$$

или

$$\Delta t < \frac{k}{C\sqrt{I}} \frac{\partial H}{\partial f}. \quad (17)$$

При этом учитывается, что

$$\begin{aligned} k &= \frac{f}{\sqrt{I}}, \\ \Delta t &< \frac{f}{C I} \frac{\partial H}{\partial f}. \end{aligned} \quad (18)$$

Критерий устойчивости или значение Δx , Δt , которые соответствуют устойчивой дискретной схеме, могут быть определены непосредственно из гидравлических характеристик потока. Очевидно также, что хотя Δt изменяется с увеличением расхода, это слабо выражено, потому что при этом увеличиваются значения C и I и уменьшается $\partial H / \partial f$, что вместе компенсируют влияние увеличения расхода (f). Для практических расчетов в большинстве случаев Δx , Δt могут принять постоянными для всей амплитуды изменения расхода.

ВЫВОДЫ

В данной статье рассматривалась связь между аппроксимацией первого рода динамической волны, описываемой уравнениями Сен-Венана, и моделью каскада линейных водохранилищ Калинина-Милюкова-Нэша с применением метода представления моделей в пространстве состояний, в результате чего получены следующие результаты:

1. Установлено, что если в уравнении линейной кинематической волны в частных производных производная по длине аппроксимируется ретардированной схемой в конечных разностях, то полученная дискретная по длине и непрерывная во времени модель может быть записана системой обычных дифференциальных уравнений, матрица коэффициентов которых относится к матрицам типа Тэлли и ее структура идентична со структурой матрицы системы модели Калинина-Милюкова-Нэша.

2. Импульсно-переходная функция дискретной по длине и непрерывной во времени линейной кинематической волны совпадает с импульсно-переходной функцией (функцией влияния) метода Калинина-Милюкова-Нэша, что означает эквивалентность этих моделей.

3. Вследствие эквивалентности моделей их параметры находятся во взаимной и однозначной связи.

4. Из эквивалентности также следует, что связь между дискретными во времени и в пространстве линейными кинематическими волнами может быть осуществлена путем той же линейной трансформации, как и в случае метода Калинина-Милюкова-Нэша (Селлеши-Надь, 1981б).

5. Распластывание дискретной во времени и в пространстве линейной кинематической волны является следствием цифровой диффузии при использовании ретардированной конечно-разностной схемы. При использовании непрерывной модели существует чистая трансляция.

6. Степень цифровой диффузии является однозначной функцией числа Куранта. Расчет трансформации дает устойчивое решение при выполнении условия (13) или (18).

ЛИТЕРАТУРА

- .1] CUNGE, J.A.: On the Subject of Flood Propagation Computation Method (Muskingum Method). Journal of Hydraulic Research, Vol. 7 No.2, 1969.
- .2] KOVÁCS, GY.: A felszini lefolyás általános vizsgálata és az árvizek előrejelzése, II. rész, Vizügyi Közlemények, 1974, 2.

- .. Lighthill, M.J., Whitlam, G.B.: On kinematic waves: Flood movements in long rivers. Proc. Royal Soc., London, 1955.
- 4] Neditch, J.S.: Stochastic Optimal Linear Estimation and Control, McGraw-Hill, New York, 1969.
- 5] Ponce, V.M.: Linear Reservoirs and Numerical Diffusion, J. Hyd. Div., Proc. ASCE, Hy5, 1980.
- 6] Raudkivi, A.J.: Hydrology - an advanced introduction to hydrological processes and modeling. Pergamon Press, Oxford, 1979.
- 7] Rózsa, P.: Lineáris algebra. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- 8] Szöllösi-Nagy, A.: State space models of the Nash-cascade, kinematic and diffusion waves. Research Report TULEA 1981:14, Série A.No.68., University of Lulea, Lulea, 1981a.
- 9] Szöllösi-Nagy, A.: On the discretization of the continuous Nash-cascade. Journal of Hydrology 1981b.
- 10] Woolhiser, D.A., Liggett, J.A.: Unsteady one-dimensional flow over a plane - The rising hydrograph. Water Resources Res., Vol.3, No.3, 1967.

and the world's largest industrial complex.
The city is situated on the coast of the Gulf of California, about 100 miles from the
Mexican border. It is a major port of entry for
international trade, particularly in oil and gas products.
The city has a population of approximately 1 million people, making it one of the largest
cities in Mexico. It is a major center for
industry, agriculture, and tourism.
The city is known for its beautiful beaches, warm climate,
and friendly people. It is also a popular destination for
international tourists, particularly from the United States.
The city is located in a region of Mexico known as the
Baja California Peninsula. The peninsula is a
long, narrow strip of land extending from the
Mexican mainland into the Pacific Ocean.
The city is located on the eastern side of the peninsula,
near the mouth of the Colorado River. The river
flows through the city, providing water for
irrigation and industry.
The city is surrounded by desert landscape, with
mountains to the east and the ocean to the west.
The city is a major economic center for the region,
with a diverse economy based on
agriculture, mining, and tourism.
The city is also a major cultural center, with
a rich history and a vibrant arts scene.
The city is a major transportation hub, with
airports, ports, and railroads connecting it to
other parts of Mexico and the United States.
The city is a major political center, with
a strong local government and a representative
government at the state and national levels.
The city is a major educational center, with
several universities and colleges offering
degrees in various fields of study.
The city is a major medical center, with
several hospitals and clinics providing
healthcare services to the community.
The city is a major sports center, with
several professional and amateur teams
competing in various sports.
The city is a major entertainment center, with
several theaters, museums, and other cultural
institutions providing entertainment and education
to the community.
The city is a major industrial center, with
several large corporations operating in
the city, including oil and gas companies,
mining companies, and food processing companies.
The city is a major agricultural center, with
several large farms and ranches operating in
the surrounding desert landscape.
The city is a major tourist center, with
several attractions and activities available
for visitors, including beaches, mountains,
deserts, and cultural sites.
The city is a major economic center for the region,
with a diverse economy based on
agriculture, mining, and tourism.
The city is also a major cultural center, with
a rich history and a vibrant arts scene.
The city is a major transportation hub, with
airports, ports, and railroads connecting it to
other parts of Mexico and the United States.
The city is a major political center, with
a strong local government and a representative
government at the state and national levels.
The city is a major educational center, with
several universities and colleges offering
degrees in various fields of study.
The city is a major medical center, with
several hospitals and clinics providing
healthcare services to the community.
The city is a major sports center, with
several professional and amateur teams
competing in various sports.
The city is a major entertainment center, with
several theaters, museums, and other cultural
institutions providing entertainment and education
to the community.
The city is a major industrial center, with
several large corporations operating in
the city, including oil and gas companies,
mining companies, and food processing companies.
The city is a major agricultural center, with
several large farms and ranches operating in
the surrounding desert landscape.
The city is a major tourist center, with
several attractions and activities available
for visitors, including beaches, mountains,
deserts, and cultural sites.

2 8071
7-12-74

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
ДИСКРЕТНОГО КАСКАДА ТИПА НЭШ

Иштван Ханачек, Корнел Харкани, Научно-исследовательский
центр водного хозяйства, Будапешт, Венгрия

Résumé

COMPARISON OF OFF-LINE PARAMETER OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR THE DISCRETE KALININ-MILYUKOV-NASH CASCADE

Two methods of the off-line parameter optimization were adapted and used for the estimation of the parameters, n and K , of the discrete Nash cascade model. The essence of the first method is to search the solution as a grid point in a network defined by the feasible values of the parameters. An optimum is found by moving through the grid points, using first greater, then smaller grids, by gradually reducing the length of steps. The second method due to Rosenbrock is a fast optimal parameter search similar to the gradient techniques. A least squares technique was used to estimate the parameters. Both optimization methods were applied and compared in the case of rainfall-runoff and channel routing processes. Numerical results are presented.

OFF-LINE PARAMETEROPTIMIERUNGSVERFAHREN
DER DISKREten NASH-KASKADE

Zwei Parameteroptimierungsverfahren wurden bei der Parameterschätzung des diskreten Nash-Kaskadenmodells angewandt. Das eine spannt im Parameterraum eine Ebene auf den Gitterpunkten der möglichen Extremwerten der Parameter auf. Die Parameteroptimierung wird durch der Verkleinerung des Gitters erzielt, wenn mit immer kleineren Schritten die optimalen Parameter-Gitterpunkte gefunden werden. Die andere, bei Rosenbrock ausgearbeitete Methode sucht die optimalen Parameter wie ein Gradientenalgorithmus. Die Parameterschätzung wurde mit der Methode der kleinsten Quadraten durchgeführt.

Beide Optimisationsverfahren sind für Niederschlag-Abfluß- und Abfluß-Abflußvorhersagen getestet worden. Eine Vergleichung der verschiedenen Resultaten wird im Artikel beigebracht.

Одной из предпосылок надежных гидрологических прогнозов является точное значение параметров моделей. Для определения или восстановления ~~верных~~ параметров требуется много времени даже в случае использования ЭВМ.

В настоящем докладе представляются и сравниваются два таких метода (один по Розенброку, а второй непосредственно по сетке), применяя которые можно быстро и надежно определить параметры моделей прогнозирования. Оба метода были применены для оценки параметров каскадов Нэша.

МЕТОД РОЗЕНБРОКА

Часто встречаются с такими задачами, когда нужно находить экстремальные значения функции. Если имеется несколько переменных, тогда эта задача может оказаться весьма трудоемкой. Для решения таких задач Розенброк ~~разработал~~ с ~~ой~~ автоматический метод [1]. С помощью этого метода можно просто и надежно определить наименьшую и наибольшую величины какой-либо функции.

Метод простой и похож на градиентный подход. Его сущность заключается в следующем:

Допустим, что задан набл t и y^* расчет (t, k_1, k_2, \dots, k_n) ряд данных, где k_1, k_2, \dots, k_n - параметры, подлежащие оптимизации.

С помощью метода наименьших квадратов найдем минимум такой функции θ , которую можем записать в следующем виде:

$$\theta(k_1, k_2, \dots, k_n) = \sum [y_{\text{набл}}(t) - y_{\text{расчит}}^*(t, k_1, k_2, \dots, k_n)]^2$$

Таким образом, наша задача заключается в том, чтобы найти тот вектор параметров, при котором среднеквадратичное отклонение будет минимальным. Для удобства расчета предположим, что наша функция имеет только два параметра. Изобразим эти параметры: на двух осях параметры, а на третьей значения функции θ при этих значениях параметров. Получим пространственную поверхность и найдем ее минимум.

Сначала зададим произвольные значения параметров и таким путем определим значение функции. Примем т.н. вектор начального шага $e(e_1, e_2)$. Зафиксируем один из параметров, например k_2 , и из исходной точки продвинемся в другую точку на расстояние e_1 в направлении параметра k_1 и в этой новой точке определим значение функции $\theta(k_1 + e_1, k_2)$. Если величина значения функции здесь меньше или равна предыдущей, тогда мы продвигаемся к минимуму поверхности. В таком случае предположим, что в дальнейшем это направление будет правильным.

величину e_1 сократим: $a e_1$ при $a < 1$. Однако, если во второй точке значение функции больше предыдущего, то эта попытка считается неудачной и расчет продолжим из предыдущей точки, но расстояние и направление изменим: $b e_2$ при $-1 < b < 0$. Эмпирические опыты показывают, что значение коэффициентов нужно выбирать следующим образом: $a = 3$, $b = 0,5$ [Хуэстер, Мизе, 1973, [2]). Таким же путем проделаем попытку со вторым параметром. Зафиксируем k_1 и расчитаем k_2 . Если закончим расчет для обоих параметров, начнем все сначала. Попытки повторяем до тех пор, пока не получим минимум. Все это очень просто, если найдем удачные шаги. В случае большого количества неудачных шагов длина шага будет настолько короткой, что в конце концов попадем в исходную точку. После этого повторяется один удачный шаг и один неудачный. Нужно изменить направление попыток. Для этой цели используем ортогонализационный метод Грамма-Шмидта. Суть этого метода заключается в следующем: Если в линейном пространстве существует линейно независимый вектор, тогда существует и такая ортонормированная система векторов, которая представляет то же самое линейное множество. Вращение происходит рекуррентным образом. Все это можно описать следующим образом:

Пусть будет базис основной системы координат при первой попытке: b_1, b_2, \dots, b_n (в n черном пространстве). Предположим, что по направлению b_1 сделано s_1 удачных попыток, а по направлению b_2 — s_2 и т.д.

Тогда новый базис:

$$\begin{aligned} a_1 &= s_1 b_1^0 + s_2 b_2^0 + \dots + s_n b_n^0 \\ a_2 &= \quad s_2 b_2^0 + \dots + s_n b_n^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$a_n = s_n b_n^0$$

Новый ортогональный единичный вектор $(b_1^1, b_2^1, \dots, b_n^1)$ определяется следующим образом:

$$a_1 = a_1 \quad b_1^1 = \frac{d_1}{|d_1|}$$

$$d_2 = a_2 - a_1 b_1^1 b_1^1 \quad b_2^1 = \frac{d_2}{|d_2|}$$

$$d_n = a_n - \sum_{j=1}^{n-1} a_n b_j^{-1} b_j \quad b_n^{-1} = \frac{d_n}{a_n}$$

Трансформацию можно произвести лишь в том случае, если $s_1 \neq 0$. Это является условием линейной независимости.

После трансформации попытки продолжим в новой системе координат. Исходными значениями параметров задаются те, которые были заданы при минимальном значении функции. Эту трансформацию можно произвести с помощью тригонометрических зависимостей.

Вышеописанную процедуру повторяем до тех пор, пока не удовлетворим условиям конвергенции, которые задаются нами. Это значит, что

$$|\theta_{\min}^{\text{real}} - \theta_{\min}^{\text{calculated}}| < \epsilon$$

где: $\theta_{\min}^{\text{real}}$ - минимальное значение функции по ряду наблюдения, $\theta_{\min}^{\text{calculated}}$ - минимальное значение функции по расчетному ряду и ϵ - достаточно маленькое число ($0 < \epsilon$).

В ходе практического применения метода Розенброка был приобретен следующий опыт. Программа, составленная по алгоритму метода, работает быстро. В зависимости от того, как были заданы исходные значения, минимум поверхности можно достичь после 20-30 шагов. Естественно, что если требуемая точность очень высокая, тогда скорость замедляется, т.к. в окрестности минимума возрастает число неудачных попыток. Результаты расчетов будут тем точнее, чем ближе будут изолинии к форме круга. Если минимум значения функции находится в такой "долине", которая весьма длинная по сравнению с шириной (длина долины до бесконечности превышает ширину или их соотношение приближается к бесконечности), тогда минимум трудно найти при конечном числе попыток. Причина этого заключается в том, что при вращении базиса дальше идти можно лишь в сравнительно узком интервале, а поиск этого интервала требует длительного времени. В этом случае следует дополнить метод с учетом свойств данной модели. Так поступим и мы.

МЕТОД СЕТКИ

Сущность метода заключается в следующем [3]: представим сетку в плоскости или пространстве между экстремальными значениями параметров.

После этого постепенно сужаем сетку. Шаги сужения всегда уменьшаются. Решением является нахождение узла сетки, представляющего оптимальные параметры. Сетка сужается таким образом, чтобы искомый узел всегда оставался внутри. Точность искомых параметров характеризуется величиной самой последней сетки.

Для показа метода рассмотрим пример, который приведен на рис. 1. Предположим, что наша модель содержит два параметра: k_1 и k_2 . Физически возможные экстремальные значения параметров:

$k_{1\min}$, $k_{1\max}$. Представим сетку в плоскости между экстремальными значениями параметров. Разметка сетки следующая:

$\Delta k_1'$ по направлению k_1
 $\Delta k_2'$ по направлению k_2

Нижний индекс показывает параметр, верхний указывает на то, что о каком шаге идет речь.

Каждый узел этой сетки представляет k_1-k_2 пару параметров. Первый шаг: для каждого узла вычисляем прогноз с теми параметрами, которые относятся к каждому узлу. После этого определяем расхождение между спрогнозированным и действительным рядами (расхождение можно характеризовать среднеквадратичным отклонением, суммой абсолютных отклонений, весовыми отклонениями и т.д.). Значит, это расхождение относим к каждому узлу как еще одна (в нашем случае третья) координата. Так мы найдем функцию ошибок в дискретной форме. Затем ищем минимум этой функции, при котором параметры нашей модели будут оптимальными.

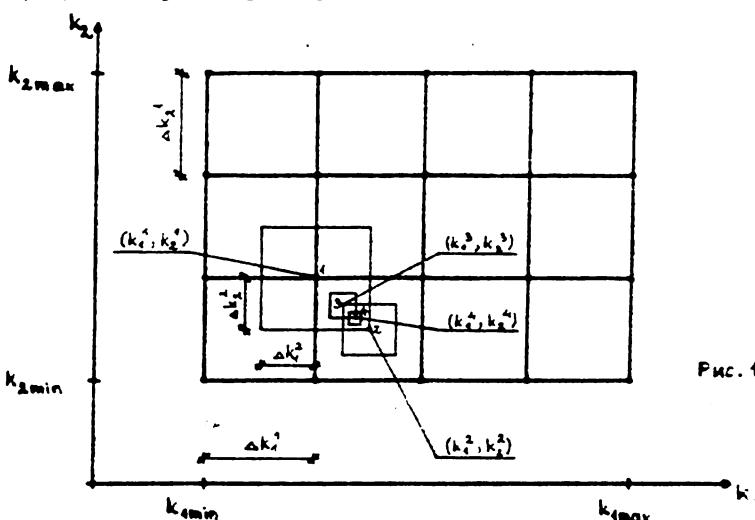


Рис. 1.

Второй шаг: отыщем узел сетки, к которому относится самая маленькая координата (например, сумма квадратов отклонений). В нашем примере этой точкой будет: (k_1^1, k_2^1) . Затем вокруг этой точки представим новую сетку, но размер ее составит лишь половину прежней. По направлению k_1 : $\Delta k_1^2 = \Delta k_1^1/2$, а по направлению k_2 : $\Delta k_2^2 = \Delta k_2^1/2$. Таким образом, наша сетка уже имеет только 3×3 узла и координаты будут следующие:

$$(k_1^1 - \Delta k_1^2, k_2^1 + \Delta k_2^2) \quad (k_1^1, k_2^1 + \Delta k_2^2) \quad (k_1^1 + \Delta k_1^2, k_2^1 + \Delta k_2^2)$$

$$(k_1^1 - \Delta k_1^2, k_2^1) \quad (k_1^1, k_2^1) \quad (k_1^1 + \Delta k_1^2, k_2^1)$$

$$(k_1^1 - \Delta k_1^2, k_2^1 - \Delta k_2^2) \quad (k_1^1, k_2^1 - \Delta k_2^2) \quad (k_1^1 + \Delta k_1^2, k_2^1 - \Delta k_2^2)$$

Из этих девяти узлов опять найдем тот, в котором значение функции будет наименьшим. Вокруг этого узла опять представим новую сетку, которая имеет узлы 3×3 , но размер сетки вновь составляет половину предыдущей. Этот процесс продолжается до тех пор, пока размер сетки сокращается до того, что будет ниже заданных размеров, т.е. при

$$\Delta k_1^n < \Delta k_1^{n-1} \quad \text{и} \quad \Delta k_2^n < \Delta k_2^{n-1}$$

новую сетку уже не представляем. В этом случае узел очень близок к минимуму значения функции. Точность можно повысить, что связано лишь с продолжительностью выполнения расчета на ЭВМ. Величины Δk_1^n и Δk_2^n целесообразно задавать таким образом, чтобы они были в тесной связи с точностью измерения исходных данных (например, расходов воды).

Если задаем Δk_1^1 и Δk_2^1 для первого шага, а также и Δk_1^n , Δk_2^n для последнего шага, тогда число представленных сеток определяется следующим образом:

$$n = \max \left[\left(\log \frac{\Delta k_1^1}{\Delta k_1^n} \right)^2, \left(\log \frac{\Delta k_2^1}{\Delta k_2^n} \right)^2 \right] + 1$$

Это значит, что при первом шаге имеем

$$N_1 = [(k_{1\max} - k_{1\min})/\Delta k_1^1 + 1] \cdot [(k_{2\max} - k_{2\min})/\Delta k_2^1 + 1]$$

узлов, а дальше $N_2 = N_3 = \dots N_i = N_n = 3 \times 3 = 9$, т.е. суммарно

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = N_1 + 9(n-1)$$

Так в N точках нужно определить значение функции ошибок для того, чтобы минимум значения функции можно было бы определить с заданной точностью.

Рассмотрим пример: пусть $k_{1\min} = 0,01$, $k_{1\max} = 5,00$, $k_{2\min} = 1$, $k_{2\max} = 20$, $\Delta k_1^n = 1,28$, $\Delta k_1^1 = 0,01$, $\Delta k_2^n = 4$, $\Delta k_2^1 = 1$ и тогда

$$\underline{n} = [\max(\log \frac{1,28}{0,01}, \log \frac{4}{1}) + 1]$$

Здесь $n = 8$ (Если для n получится дробное число, тогда оно округляется в меньшую сторону, на что указывает квадратная скобка).

Число узлов при первом шаге:

$$N_1 = [(5-0.01)/1.28+1] [(20-1)/4+1] = 4.5 = 20$$

Общее число узлов

$$N = 20+9(8-1) = 83$$

Если сетку между $k_{1\min} + k_{1\max}$ и $k_{2\min} + k_{2\max}$ просчитали бы по Δk_1^n и Δk_2^n , тогда число шагов

$$N = [(5-0.01)/0.01+1] . [(20-1)/1+1] = 500.20 = 10.000$$

Результат получили бы тот же самый. Очевидно, что по предложенному методу оценки параметров при 83 шагах можно найти минимум с такой же точностью, как при 10000 шагах. Начальный шаг может быть увеличен в том случае, если знаем, что в рамках сетки существует только один минимум и, таким образом, можно сократить время расчета. Если в рассматриваемой области функция имеет несколько минимумов, тогда расстояние начального шага нужно сократить в соответствии со свойствами функции.

В нашем докладе рассмотрен пример модели дискретных каскадов Нэша. Видно, что для этой модели минимализируемая функция имеет только один минимум. Таким образом, начальный шаг довольно большой и число шагов будет сравнительно невелико.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ НЭША

В дальнейшем лишь очень коротко рассмотрим пространственно-временное описание модели дискретных каскадов Нэша [4, 5].

Предположим, что из непрерывного входа $u(t)$ и выхода $y(t)$ | возьмем выборку по эквидистанционному интервалу времени Δt . В результате этого получим дискретные ряды входа и выхода

$$u_t, y_t, t = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots$$

Применим дискретную форму каскадов, которая дает тот же результат, что и непрерывная модель - дискретно консидент, и в то же время учитывает динамические изменения между соседними дискретными значениями времени.

Дискретная пространственно-временная модель имеет следующую форму:

~~Блок-схема~~

$$x_t = x_{t-\Delta t} + A_{t-\Delta t} u_t$$

где: x - переменная состояния системы, выражает состояние системы в момент времени t в данном случае выражает количество зарегулированной воды ;
 $x_{t-\Delta t}$ - обозначает состояние системы в момент $t-\Delta t$;
 $A_{t-\Delta t}$ - матрица перехода состояния, относящаяся к выборке по Δt ;
 u_t - матрица перехода входа, предполагая, что вход постоянный в интервале Δt , т.е.

$$u_t = \text{const}, \quad t = t - \Delta t, t,$$

соответственно интервалу выборки Δt форма матрицы п.п. будет следующей:

$$A_{t-\Delta t} = \frac{e^{-k\Delta t}}{0} \quad \frac{0}{\frac{k\Delta t}{1!} \cdot e^{-k\Delta t}} \quad \frac{0}{e^{-k\Delta t}} \quad \dots \quad \dots \quad 0$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\frac{k\Delta t^2}{2!} \cdot e^{-k\Delta t} \quad \frac{k\Delta t \cdot e^{-k\Delta t}}{(n-1)!} \quad \frac{e^{-k\Delta t}}{(n-2)!} \quad \dots \quad \dots \quad e^{-k\Delta t}$$

$$\frac{(k\Delta t)^{n-2}}{(n-1)!} \quad \frac{(k\Delta t)^{n-2}}{(n-2)!} \quad \dots \quad \dots \quad e^{-k\Delta t}$$

которая не зависит от \underline{t} , так как модель во времени является стационарной.
Размерный вектор перехода входа имеет следующую форму:

$$\begin{aligned} & 1 - e^{-k \cdot \underline{t}} / k \\ & 1 - e^{-k \cdot \underline{t}} \cdot (1 + k \cdot \underline{t}) / k \\ \underline{x}(\Delta t) = & \vdots \\ & (1 - e^{-k \cdot \underline{t}} \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(k \cdot \underline{t})^j}{j!}) / k \end{aligned}$$

Обозначения в матрице перехода $\underline{\underline{x}}(\Delta t)$ состояния и $\underline{\underline{y}}(\Delta t)$ выхода следующие:

$\underline{\underline{x}}$ - интервал выборки (1 час, 1 сутки и т.д.);

n - единичные каскады в последовательном присоединении;

$k = \frac{1}{\underline{k}}$ - является коэффициентом зарегулированности

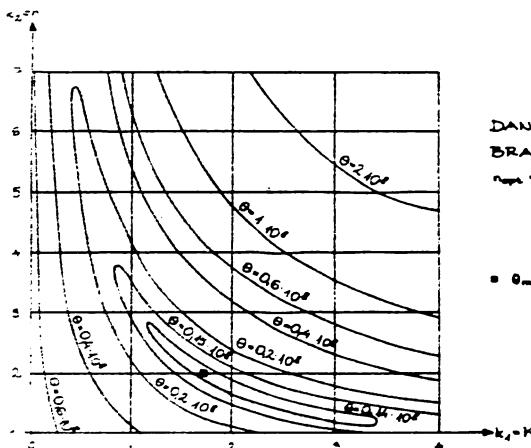
$\underline{k} \cdot n$ - время добегания.

Зная матрицы перехода состояния и вектор перехода входа, однозначно спецификуем дискретное уравнение состояния. Поскольку выход из последнего единичного водохранилища является выходом всей системы, то уравнение входа, относящееся к дискретному уравнению состояния, сложится согласно следующему:

$$\begin{aligned} \underline{x}_{\underline{t}} = & (0, 0, \dots, k) \cdot \underline{x}_1(\underline{t}) \\ & \underline{x}_2(\underline{t}) \\ & \vdots \\ & \vdots \\ & \underline{x}_n(\underline{t}) \end{aligned}$$

Введем вектор строки \underline{H} с размером n : $\underline{y}_{\underline{t}} = \underline{H} \cdot \underline{x}_{\underline{t}}$

На рис. 2 показана $\underline{\underline{y}} = \sum_{\underline{t}} (\underline{y}_{\underline{t}} - \underline{y}_{\underline{t}}^*)^2$ в зависимости от параметров. Полученные параметры с помощью метода наименьших квадратов в общем будут действительны для всего ряда. Это значит, что с теми же самыми параметрами можем работать при меженных и высоких водах. Среднее отклонение будет минимальным. Применяя метод наименьших квадратов, между двумя станциями получим среднее время добегания как результат умножения $k \cdot n$. Этим объясняется то, что на рис. 2 мы видим гиперболы, т.к. по формуле $T=n \cdot k$ связь между параметрами является гиперболической.



DANUBE
BRATISLAVA → BUDAPEST 1976.
 $n_{opt} = 2 \quad K_{opt} = 1.68$
 $\bullet \quad 0_{max} = 0.15 \cdot 10^4$

Рис. 2.

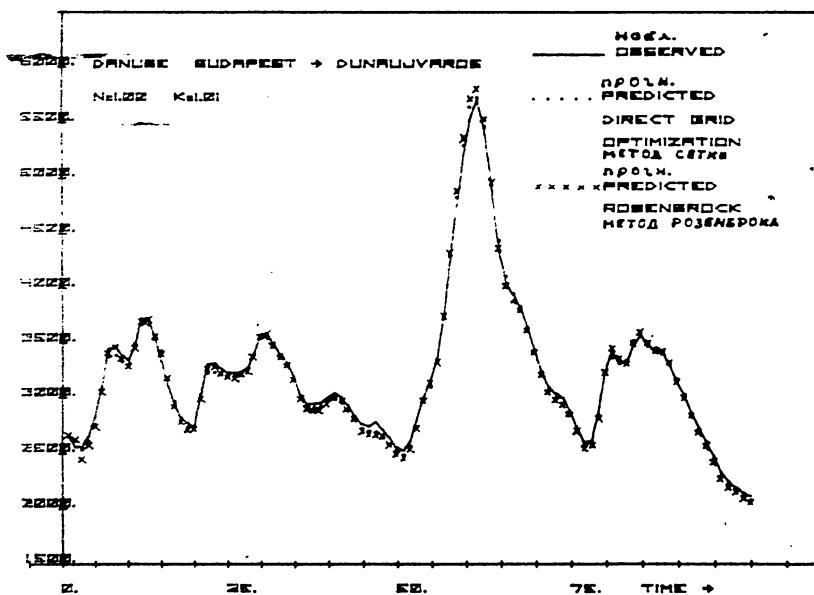


Рис. 3.

В случае, если хотим получить параметры, с которыми в окрестности пиков наблюденные и прогнозируемые величины будут ближе, тогда отклонение между рядами нужно увеличить пропорционально величинам расходов. В этом случае нужно найти минимум функции

$$= \sum_t (Y_t - Y_t^*) \cdot Q_t^2$$

Таким образом, прогноз пиков паводков может дать лучший результат. Естественно, что при оценке параметров можно применять различные методы в зависимости от того, с какой точки зрения производим оптимизацию. Для того же входа и выхода можно вычислить параметры по разным методам, читая всегда разные факторы при оптимизации.

Нами было использовано два метода оптимизации для оценки параметров дискретных каскадов Нэша. В обоих случаях критерием был принцип наименьших квадратов. Согласно высказанному определяли параметры для некоторых участков Дуная. Методы действуют быстро. На рис. 3 представлены результаты прогнозов, рассчитанных с оптимальными параметрами с заблаговременностью 1 день.

Для обоих методов составлены программы на языке ФОРТРАН для ЭВМ типа Р-10, работающей в ВИТУКИ.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Количество шагов при применении метода Розенброка зависит от того, что из какой точки начинаем расчет. В удачном случае исходная точка может быть очень близкой к минимуму. В другом случае уклон значения функции может быть очень большим. В обоих случаях расчет состоит только из нескольких шагов.

Если функция имеет несколько минимумов, тогда может оказаться, что из-за уклона мы прийдем не к абсолютному минимуму, а к ближерасположенному минимуму. Если минимум расположен в узкой долине, которая на дне имеет незначительный продольный уклон, тогда очень медленно получим абсолютный минимум. В таком случае необходимо применять дополнительный метод.

В методе сетки число шагов всегда постоянное, если критерий конвергентии не меняется. Метод всегда можно удачно использовать, но работает он несколько медленнее, чем метод Розенброка. Если поверхность имеет только один минимум, тогда первые шаги могут быть большими. Таким образом, время работы в этом случае значительно сокращается. Если

число оптимизируемых параметров увеличивается, тогда время расчета увеличивается во второй степени.

Итоги:

- метод Розенброка работает быстрее, но не всегда приводит к оптимальным параметрам;
- метод сетки несколько медленнее, но по нему всегда получаем оптимальные параметры.

Сравнение показано на рис. 3.

Опираясь на результаты наших исследований, рекомендуем метод сетки для определения параметров модели каскадов Нэша.

ЛИТЕРАТУРА

1. ROSEN BROCK, H.H.: An Automatic Method for Finding the Greatest or Least Value of a Function. Computer Journal 3. 1960. p. 175
2. KUESTER, J.L. - MIZE, J.H.: Optimization Technique with FORTRAN McGraw Hill Book Company, 1973. New York
3. HARKÁNYI, K.: Közvetlen optimalizáló eljárás hidrológiai elqrejelzõ modellek paramétereinek gyors meghatározásához. Vízügyi Közlemények 1984 Budapest
4. Szöllösi-Nagy András: State-Space Models of the Nash-Cascade, Kinematic and Diffusion Waves. Research Report TULEA 1981:14, University of Luleå, Sweden
5. Szöllösi-Nagy, A.: On the Discretization of the Continuous Nash-Cascade. Research Report TULEA 1981:17, University of Luleå, Sweden

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАВОДОЧНЫХ ВОЛН В МЕСТЕ СЛИЯНИЯ
ДВУХ РЕК МЕТОДОМ ЦЕПИ ШЛЮЗОВ

Болтан Балинт, Водохозяйственное управление Верхне-тисайской
территории, Нирельхаза, Венгрия

FLOOD-ROUTING BY A CASCADE OF SLUICES
ON A RIVER REACH WITH TRIBUTARY

One of the most difficult tasks of flood-routing is to model the confluence of two rivers. One can simulate the confluence of rivers Tisza and Szamos quite well by using a cascade of sluices. The cascade of sluices is a model of joint deterministic-stochastic type. It is applicable both for design and forecasting. The deterministic part divides the reach into reservoirs separated by imaginary sluices. The flows from one reservoir into the next one are computed by the equation of water movement through sluices. The lower boundary condition is estimated from the statistical characteristics of the model. The errors of the deterministic model are determined at the beginning of the flood hydrograph and are described by an autoregressive model. The expected errors of the hydrograph are calculated by this model. Forecasts are computed as the sum of the outputs of the deterministic and stochastic models. The optimum of the three parameters is determined by a special algorithm. The stochastic parameters are calculated in each case from the error time series.

FLOOD-ROUTING MITTELS EINES SCHLEUSEKETTEN-
MODELLS AN FLUßSTRECKEN MIT ZUFLUß

Flood-Routing ist am schwierigsten durchzuführen an Flussstrecken mit Zufluß. Das im Artikel vorgeführte Schleuseketten-Modell ist gut für die Beschreibung der Konfluenz der Flüsse Tisza und Szamos geeignet. Das ist ein gekoppeltes deterministisch-stochastisches Modell, geeignet für Projektion und Vorhersage. Der deterministische Teil verteilt den Fluß auf Speichern, die voneinander mit imaginären Schleusen getrennt sind. Der Übergang aus einem Speicher in den anderen geschieht gemäß den hydraulischen Gesetzen des Durchflusses unter Schleusen. Der untere Grenzbedingungen des Mc-

deßls werden aufgrund statistischer Kennzeichen approximiert. Auf die Fehlerreihe des deterministischen Komponenten, ermittelt nach den ersten gemessenen Daten des Hochwassers, wird ein Autoregressionsmodell gesetzt, um auch die Erwartungswerte der Fehlerreihe vorherzusagen. Die Wasserstandsvorhersage wird zuletzt die Summe der Vorhersagen des deterministischen und des stochastischen Komponenten. Die drei Parameter des deterministischen Modells werden off-line kalibriert, die des stochastischen Komponenten am Anfang jeder Hochwasserwelle wieder erneuert.

ВВЕДЕНИЕ

Задача прогноза уровней воды в реках сводится к нахождению способа расчета движения и трансформации паводка по мере перемещения его по реке и по истечении времени. В случае слияния двух водотоков исходными данными для прогноза уровней на участке, расположенного ниже места слияния, являются уровни на участках рек, находящихся выше этого места. При прогнозе, по сути дела, расчитываем реакцию какого-либо нижнего створа на входной сигнал (гидрограф) створа, расположенного выше по течению.

Прогноз может производиться на основании использования методов двух типов. К первому типу относятся точные гидродинамические методы, а ко второму - приближенные гидрологические. Настоящая работа посвящена одному из методов второго типа. Наиболее известными из этого типа являются следующие:

- метод линейного резервуара,
- метод Маскингама,
- метод характерного участка (Калинина-Милюкова),
- метод каскадов.

Характерной чертой этих методов является применение кинематического принципа, означающего, что условия, имеющие место ниже рассматриваемого створа, не влияют на поведение уровня в этом створе [12]. Из-за пренебрежения влиянием снизу, эти методы пригодны для моделирования слияния двух водотоков лишь в случае правомерности линейного принципа наложения течений.

В новейшей отечественной литературе известны попытки разработать более совершенные методы прогноза. Так, например, Сидъярто разбирает паводок на элементарные волны, имеющие вид единичной функции Хевисайда, и рассматривает их распространение, с точки зрения террии вероятности [10]. Контур для описания движения элементарных порций воды применяет модель со случайным блуждением [5]. Последний подход

в принципе пригоден для учета влияния снизу, но практическое его применение требует еще некоторых дальнейших разработок.

В зарубежной литературе в последнее время был опубликован ряд перспективных методов, дополняющих традиционный детерминистический подход элементами теории случайных процессов, которые позволяют предсказать погрешность прогноза. Однако и эти методы не пригодны для описания поведения уровней вблизи места слияния рек, так как в их основе положен кинематический принцип [1, 8, 9].

Среди прочих и это обстоятельство явилось причиной необходимости разработки метода шлюзов, объединяющего элементы детерминизма и теории случайных процессов и пригодного для учета влияния снизу.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

основного уравнения

При разработке метода основное внимание было уделено описанию беспроточных участков рек, что, однако, не является предметом настоящей работы.

Для вывода основного уравнения разделим реку и ее приток на элементарные резервуары так, как это показано на рис. 1. Резервуар, содержащий в себе узел слияния, должен одновременно содержать и участок ниже места слияния, и участки от обоих водотоков выше этого узла. При этом участки выше узла должны иметь длину вдвое меньшую, чем соответствующие элементарные резервуары. Пусть резервуары отделены друг от друга виртуальными шлюзами, работа которых регулируется уровнями резервуаров, примыкающих к ним снизу таким образом, что нижние края их щитов постоянно находятся на одной высоте с ними (рис. 2). Это моделирует уравнение энергии.

Скорость движения воды при этом вычисляется по формуле шлюза:

$$u(t)_{i-1,i} = \mu_{i-1,i} \sqrt{2g\Delta h_{i-1,i}(t)} \quad (1)$$

где v [м/с] - средняя скорость течения; μ - коэффициент гидравлического сопротивления шлюза за номером $(i-1, i)$; g [м/с²] - ускорение силы тяжести; i - порядковый номер элементарного резервуара; $\Delta h_{i-1,i} = H_{i-1} - H_i$; H_i - абсолютная отметка уровня воды в i -том резервуаре.

Изменение объема воды в i -том резервуаре с учетом непрерывности движения может быть вычислено по уравнению

$$\frac{dV_i}{dt} = Q_{i-1,i} - Q_{i,i+1} = \sqrt{2g}(-i-1,i)F_{i-1,i}\overline{\Delta h_{i-1,i}} - i,i+1F_{i,i+1}\overline{\Delta h_{i,i+1}} \quad (2)$$

Приблизим дифференциальное уравнение (2) уравнением в конечных разностях и примем во внимание, что

$$\Delta V_i(t, t+\Delta t) = \Delta L_i B_i \Delta h_i(t, t + \Delta t) \quad (3)$$

где V_i - объем в i -том резервуаре; ΔL_i - длина i -того резервуара; B_i - ширина свободной поверхности в i -том резервуаре при отметке уровня H_i .

Подставляя (3) в уравнение (2), получим выражение для изменения уровня в i -том резервуаре за время $t, t + \Delta t$:

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2g}\Delta t}{\Delta L_i B_i} (-i-1,i)F_{i-1,i}\overline{\Delta h_{i-1,i}(t)} - i,i+1F_{i,i+1}\overline{\Delta h_{i,i+1}(t)} \quad (4)$$

Из уравнения (4) вытекает, что изменение уровня за время $(t, t + \Delta t)$ однозначно определяется уровнями и уклонами, имевшими место в момент t . К такому же результату приходим, если в системе уравнений Сен-Бенана пренебрегаем инерционными членами и переходим в ней от дифференциалов к конечным разностям.

Как показывает опыт, для участка реки Тисы Башарошнамень-Захонь пренебрежение инерционными членами вносит погрешность не более 1%.

Переход же к конечным разностям приводит к заведомо меньшим погрешностям, чем часто практикуемая замена гидрографа ступенчатым графиком. Действительно уравнение (4) не предполагает постоянного 'входного' сигнала в течение времени $(t, t + \Delta t)$, а исходит лишь из постоянства уклонов и положения щитов виртуальных шлюзов. Уклоны для каждого Δt рассчитываются заново, а щиты шлюзов в начале каждого мгновенно устанавливаются в положение, соответствующее измененным за предыдущее Δt уровням. На основании закона Куранта-Фридриха-Леви может быть выведено и условие устойчивости конечно-разностной схемы (4). При вычислениях мы принимали Δt равным 300 секундам.

Уравнение (4) может быть упрощено введением коэффициента сопротивления $\gamma^* = \frac{F}{B}$, имеющего размерность длины, и принимая глубину потока в пределах одного резервуара постоянной. Это приведет к равенствам:

$$F_{i-1,i} = F_{i,i+1} = F_i \quad u_{i-1,i} = u_{i,i+1} = u_i \quad (5)$$

Подставляя равенство (5) в уравнение (4), получим уравнение

$$\Delta h_i(t, t+\Delta t) = u_i^* \frac{\sqrt{2g\Delta t}}{\Delta L_i} (v_{\Delta H_{i-1,i}(t)} - v_{\Delta H_{i,i+1}(t)}) \quad (6)$$

которое является более простым, чем уравнение (4). При использовании уравнения (6) установившись можно считать лишь установившееся равномерное движение.

Задание начального условия

При задании начального условия имеем две возможности.

а) Принимаем, что в начальный момент времени как в реке, так и в ее притоках имеет место установившееся равномерное движение, т.е. уровни в элементарных резервуарах могут быть определены линейной интерполяцией по трем значениям (по одному значению в реке и притоке выше точки слияния и по значению в самой точке слияния).

б) Начальное условие вычисляем, исходя из известных геометрических характеристик русел и шероховатости по одному из гидродинамических методов или по разработанной для этой цели разновидности метода цепи шлюзов.

Задание нижнего граничного условия

Имеются также два варианта:

а) Задаем гидрограф в нижнем створе. В этом случае появляется возможность расчета и изучение гидрографа в каком-либо промежуточном створе. Такой случай встречается обычно при проектных разработках.

б) Граничные условия задаем посредством его статистических характеристик метода цепи шлюзов, например, принимается, что изменение уровня в элементарном резервуаре, расположенного под данным резервуаром, может быть вычислено по изменению уровня в рассматриваемом резервуаре по формуле

$$\Delta h_{i+1}(t, t+\Delta t) = E \Delta h_i(t, t+\Delta t) \quad (7)$$

Коэффициент расплагивания E при этом определяется статистическими методами на основании данных о промежутках за время наблюдений падоках.

Разновидности детерминистической части метода

Различные сочетания основных уравнений (4) и (6) и вариантов задания условий однозначности позволяют конструировать множество разновидностей метода, из которых, естественно, всегда нужно выбирать ту, которая наиболее приспособлена к условиям решаемой задачи.

+Впервые - исключительно для целей прогнозирования - нами была разработана та простейшая разновидность, которая использует уравнение (4) и для которой за начальное условие принимается установленное равномерное движение, а за нижнее крайнее условие - зависимость (7). Нижеприведенные результаты получены именно этим методом.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕТОДЕ ЦЕПИ ШЛОЗОВ

Допустим, что прогнозируемый детерминистическим методом гидрограф отличается от реального и погрешность этого - стационарный случайный процесс, дискретные значения которого составляют временной ряд случайных величин. Этот временной ряд описываем авторегрессионной моделью [3]:

$$\epsilon(t+r\Delta t) = a_0 + a_1 \epsilon(t+(r-1)\Delta t) + a_2 \epsilon(t+(r-2)\Delta t) + \dots \xi(t+r\Delta t) \quad (8)$$

где ϵ - разность между прогнозным и реальным уровнями в момент времени $t, t+\Delta t, t+2\Delta t, \dots, t+r\Delta t$; Δt - временной шаг, в данном случае равный 2 часам; ξ - погрешность авторегрессивной модели.

Обозначим момент составления прогноза через T . Если $(t+r\Delta t-T)$ меньше порядка r авторегрессионного процесса, то прогноз $\epsilon(t+r\Delta t)$ производится частично на основании измеренных, а частично на основании прогнозированных погрешностей. Если справедливо неравенство

$$t+(r-p)\Delta t > T$$

то прогноз погрешности $\epsilon(t+r\Delta t)$ осуществляется полностью на основании прогнозированных погрешностей, поскольку в момент T не располагаем измерениями относительно членов ряда (8). Таким образом, число временных шагов r не ограничено и для любого момента T возможно составление прогноза:

$$\hat{H}_n(t+r\Delta t) = H_n^d(t+r\Delta t) + \epsilon(t+r\Delta t)$$

где \hat{H}_n - прогнозный уровень в n -ом резервуаре (в нижнем створе) по-

объединенному методу; H_n^d - прогноз уровня по детерминистической части метода; ε - прогноз погрешности. Уравнение (9) является основным уравнением объединенного метода.

Порядок р авторегрессионного процесса можно определить, применив принцип ступенчатого регрессивного анализа, на основании достоверности коэффициентов.

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

Оптимальный выбор параметров μ^* и E осуществляется с помощью специального метода, основанного на том, что μ^* сильно влияет на скорость прохождения паводка и мало на его высоту, а изменение величины E , наоборот, сильно сказывается на амплитуде колебания уровня и почти не сказывается на скорости прохождения.

REZUME

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ

Разновидность метода, описанная выше, была применена для моделирования слияния рек Тисы и Самош. В качестве верхних створов были выбраны створы у сел Тивадар (Тиса) и Ралолт (Самош). Узел слияния расположен у города Башаршнамень.

В результате моделирования были получены на удивление хорошие результаты не смотря на то, что пришлось ввести дополнительные упрощения, связанные с тем, что в районе слияния больших рек установившееся движение не является одновременно и равномерным.

Действительно, записав уравнение (6) для узла слияния, получим

$$\Delta h_c = \frac{2\Delta t \cdot \mu^* \sqrt{2g} \left(\frac{B_{lc}}{B_{cl}} \sqrt{\Delta h}_c + \frac{B_{mc}}{B_{cl}} \sqrt{\Delta h}_{mc} - \sqrt{\Delta h}_{cl} \right)}{\frac{B_{lc}}{B_{cl}} \Delta L_F + \frac{B_{mc}}{B_{cl}} \Delta L_M + \Delta L_E} \quad (10)$$

где индекс c соответствует узлу слияния; индексы lc , mc , cl - совместным с узловым резервуаром границам элементарных резервуаров, а индексы F , M и E - главному водотоку, притоку и участку ниже места слияния.

Если дистанции выбрать так, чтобы выполнялось равенство $\Delta h_{lc} = \Delta h_{mc} = \Delta h_{cl}$, то из зависимости (10) вытекает следующее условие стационарности течения:

$$\frac{B_{fc}}{B_{cl}} \sqrt{\Delta H_k} + \frac{B_{mc}}{B_{cl}} \sqrt{\Delta H_{mc}} - \sqrt{\Delta H_{cl}} = 0$$

из которого следует

$$\frac{B_{fc}}{B_{cl}} + \frac{B_{mc}}{B_{cl}} = 1$$

или

$$B_{fc} + B_{mc} = B_{cl} \quad (2)$$

Равенство (11) указывает на то, что равномерное установившееся движение может существовать лишь в том случае, если суммарная ширина свободной поверхности рек выше точки слияния равна ширине свободной поверхности ниже пункта слияния. В действительности такое условие редко выполняется, поэтому при расчетах вместо реального значения B_{cl} принималась фиктивная величина ширины реки $B_{cl} = B_{fc} + B_{mc}$. В случае использования уравнения (4) вместо уравнения (6) необходимость введе-
ния подобного уравнения отпадает.

Используя данные о четырех паводках различной высоты, были по-
добрены оптимальные значения коэффициентов сопротивления главной реки
притокам, а также коэффициенты расплетывания. Были получены следующие
результаты:

дата	$M(\epsilon)$ (см)	$D(\epsilon)$ (см)	$M(\xi)$ (см)	$D(\xi)$ (см)	Δt макс дет.	(час) случ.	Δh макс дет.	(см) случ.
04. 1969	-12,7	14,8	0,4	2,3	0	-1	-9	-1
07. 1971	6,3	35,2	-4,5	2,0	0	0	-13	-4
05. 1958	24,2	9,6	-1,3	1,1	3	0	24	0
06. 1970	-5,4	18,4	1,5	2,4	0	0	4	1
средние по объемлен- ной методике:			-0,98	1,95		-0,25		-1,0

где $M(\epsilon)$ и $D(\epsilon)$ - среднее значение и дисперсия погрешности детер-
министической части метода; $M(\xi)$ и $D(\xi)$ - то же для авторегрессион-

16 462

ногого процесса (8); $\Delta T_{\text{макс}}$ - погрешность в определении момента максимума паводка; $\Delta h_{\text{макс}}$ - погрешность прогноза максимума.

Точность метода была проверена на участке слияния сопоставлением прогнозных и измеренных уровней трех паводков со сложным очертанием гидрографа (рис. 3, 4, 5).

Паводок 1970 года хорошо описывался как детерминистическим, так и объединенным методами. В случае двух других паводков (ноябрь 1969 и октябрь 1974 годов) начальное условие оказалось неустановившимся, из-за чего прогнозные уровни убывали и при неизменных уровнях в ~~выше-~~
~~авт.~~ лежащих створах. Поэтому детерминистическая часть метода дала заниженные прогнозные уровни. Однако авторегрессионная модель (8) хорошо описывала погрешность детерминистического прогноза, что указывает на перспективность сочетания детерминизма и элементов теории случайных процессов, тем более что при прогнозах погрешности чаще всего возникают ~~РЕЗУМЕ~~ из-за неправильного задания начального условия.

Ниже приводятся характерные данные трех упомянутых паводков:

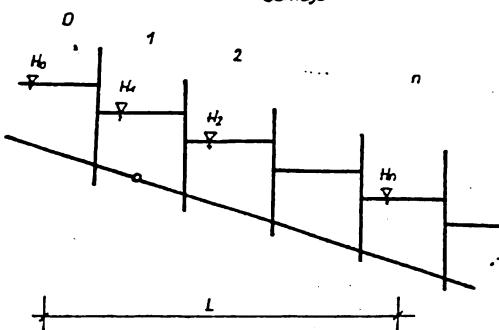
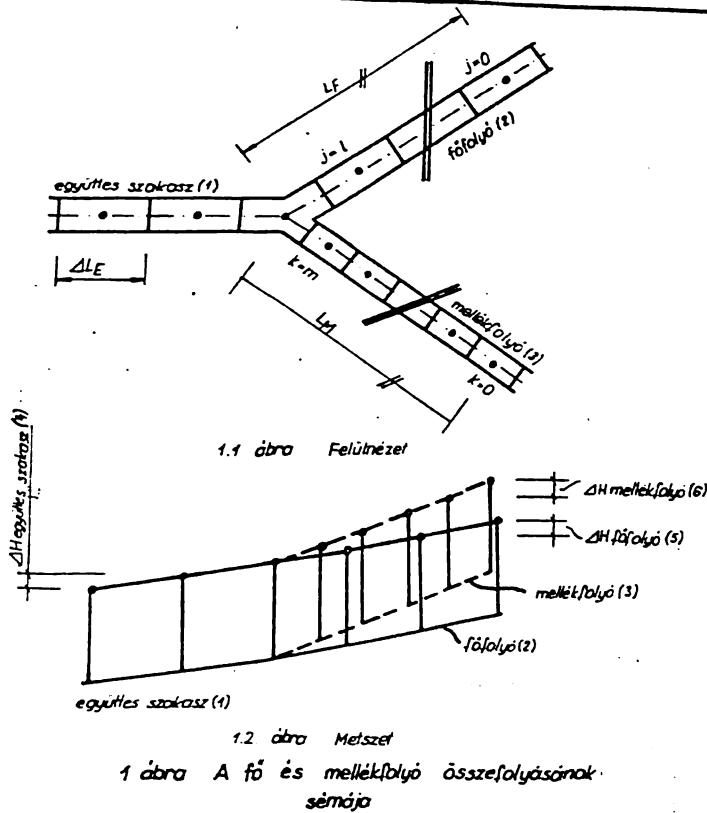
Д а т а	M(ϵ) (см)	D(ϵ) (см)	M(ξ) (см)	D(ξ) (см)	$\Delta T_{\text{макс}}$ (час)		$\Delta h_{\text{макс}}$ (см)	
					дет.	случ.	дет.	случ.
11. 1969	-64,0	24,7	-5,5	4,0	2	2	-85	-6
10. 1974	-39,7	14,0	-4,6	4,0	-1	2	-52	-7
03. 1970	-0,9	23,5	-2,6	2,7	2	1	-3	-1
средние по объединенной методике:			-4,2	3,6			1,7	-4,7

При рассматривании полученных результатов необходимо обратить внимание на то, что они получены при частоте отсчета уровней два раза в сутки. Исключение составляет непосредственные временные окрестности максимумов, когда отсчеты берутся через два часа. Такая частота наблюдений достаточна для Дуная, но неудовлетворительна для Верхней Тисы и является источником дополнительных погрешностей, на которые еще накладываются ошибки самого отсчета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ANDJELIC, M., SZÖLLÖSI-NAGY, A.: On the use of stochastic - structural models for real time forecasting of river flow on the River Danube. Oxford Symposium, 1980.

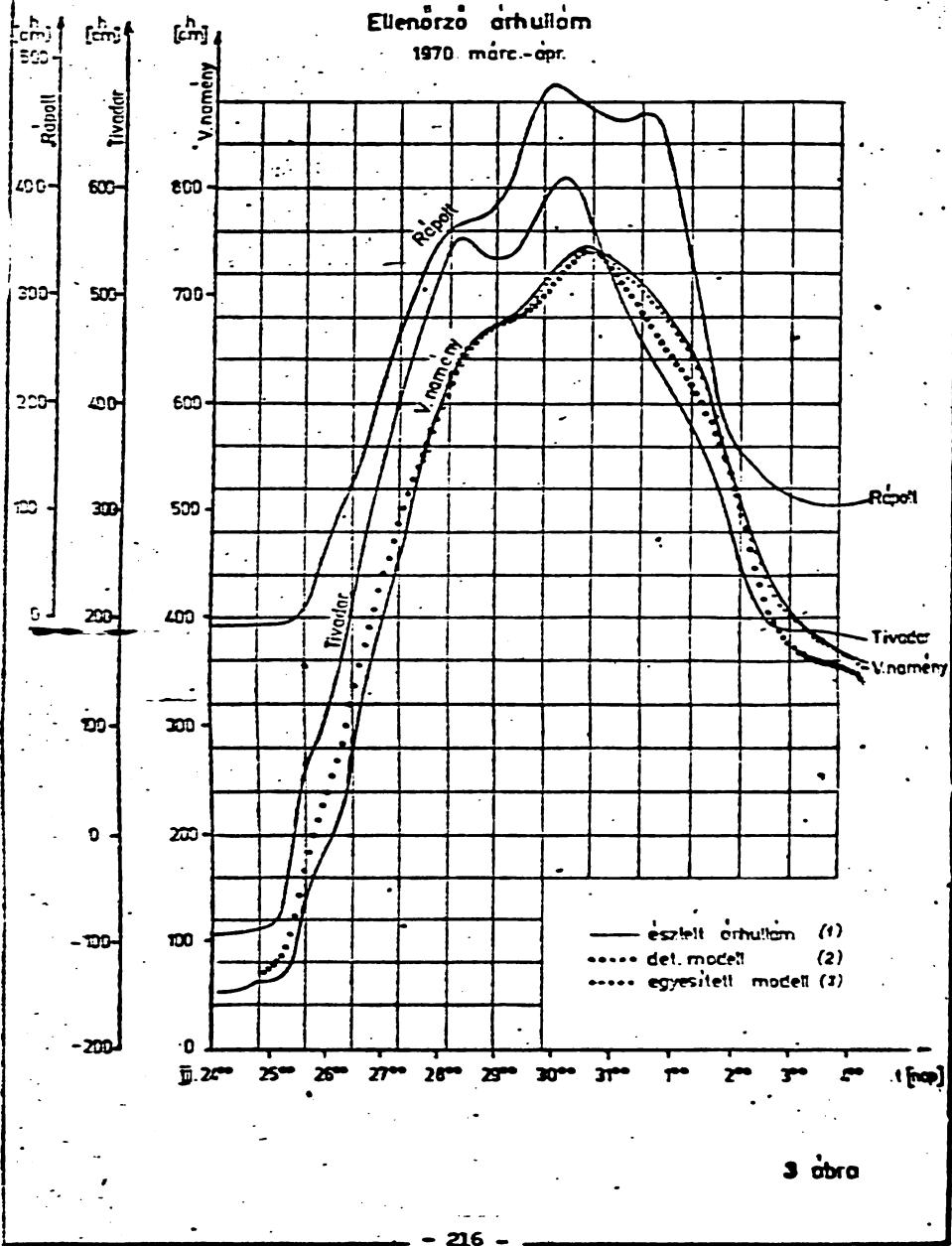
- [2] BÁLINT, Z.: Árhullámkép - áthelyezések tapasztalatai a FeIső-Tisza-n. MHT. II. Országos Vándorgyűlés, Pécs, 1981.
- [3] GIHMAN, I.I.; SZKOROHOD, A.V.: Bevezetés a sztochasztikus folyamatok elméletébe. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [4] Hydrological forecasting. T.N. No.92(WMO-No.228), 1969.
- [5] KONTUR, I.: A lefolyás általános lineáris kaszkád modellje. Hidrológiai Közlöny, 1977/9.
- [6] Koncepció tervezet a vizrajzi előrejelzés fejlesztési programjához. Tanulmány, VITUKI, Budapest, 1978.
- [7] KOZÁK, M.: A szabad felszinű nem-permanens vizmoszgások számítása. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1977.
- [8] MARIVOET, J.L., VANDEWILLE, G.L.: A real-time rainfall-runoff model. Oxford Symposium, 1980.
- [9] RADEMACHER, O.: Combined application of adaptive correction methods for discharge forecasts and reservoir regulation. Oxford Symposium, 1980.
- [10] SZICSYÁRTÓ, Z.: Vízhozam hullámképek meghatározása valószínűséggel elméleti alapon. Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények, 1965/3-4.
- [11] V. NAGY, I.: Hidrológiai rendszervizsgálatok. Kézirat, Tan-könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [12] WEINMANN, P.E., LAURENSEN, E.M.: Approximate flood routing methods. A review. Proc. ASCE. J. Hydr. Div., 1979/12.



2. ábra A zsinjalplán modell vázlatá

Ellenőrző árhullám

1970. márc.-ápr.

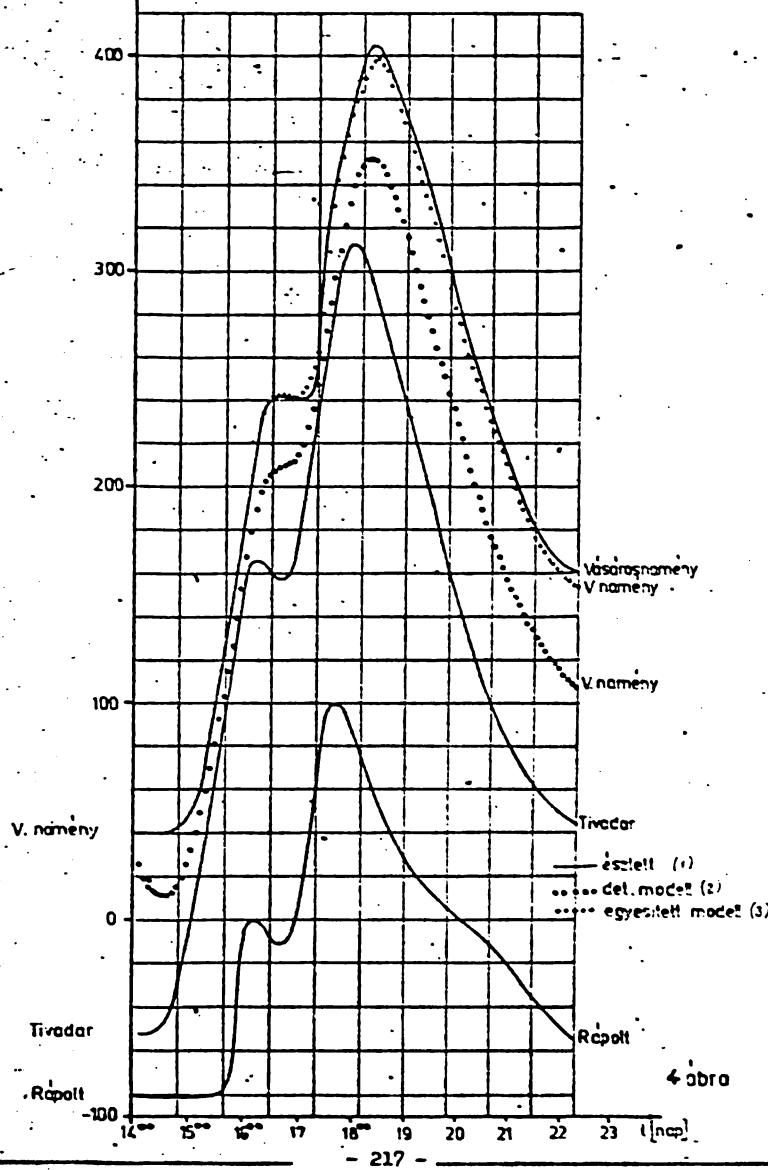


3. ábra

Ellenőrző árhullám

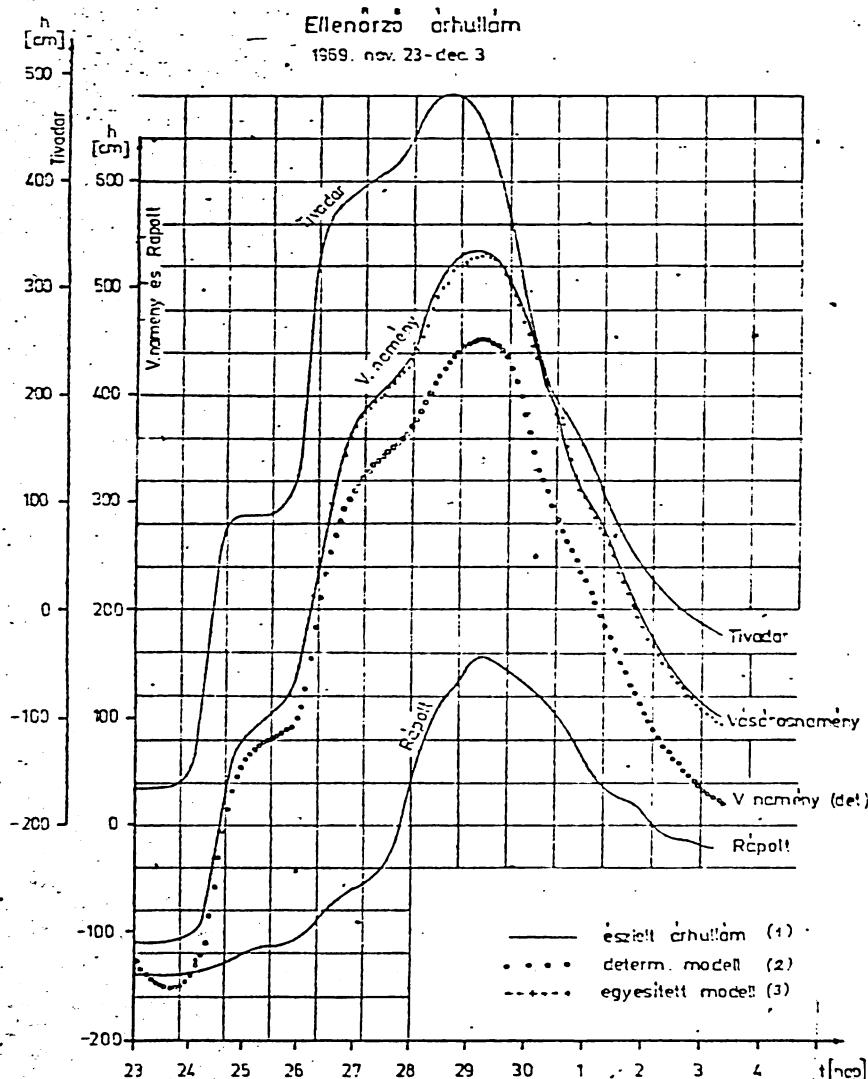
1974. okt. 14-22

[cm]



Ellenorzó árhullám

1959. nov. 23-dec. 3



5. ábra

ПРОГНОЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВОЛНЫ ПАВОДКА В ЕСТЕСТВЕННОМ
РУСЛЕ С ПОМОЩЬЮ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

иж. Ярослав Драко, канд. наук
Словацкий гидрометеорологический институт, Братислава

ROUTING OF THE FLOODS BY MEANS OF A MULTILAYER NON-LINEAR
MODEL IN A RIVER REACH

Ing. Jaroslav Drako, CSc.
Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava

The paper presents a model that simulates a hydrological system activity by transforming input values through a series of the equal reservoirs. The model is based on the use of a threshold concept when expressing analytically the transformation function of the reservoir. This enables to simulate successfully also the hydrological systems activities characterized by a high degree of nonlinearity. The form of the transformation function is then represented by several linear or nonlinear functions, depending on the number of thresholds.

VORHERSAGE DER BEWEGUNG DER DURCHFLUSSWELLE IM NATÜRLICHEN
FLUSSBETT DURCH EIN MEHRSCHEINTIGES UNLINEARES MODELL

Im Beitrag ist ein Modell angeführt, das die Tätigkeit des hydrologischen Systems durch Transformation Eintrittsdaten durch eine Serie von gleichen Behältern reproduziert. Die tragende Idee des Modells ist die Einführung der Schwelle /threshold concept/ beim analytischen Ausdruck der Transformationsfunktion des Behälters, was auch ermöglicht, die Tätigkeit der hydrologischen Systeme mit Erfolg zu simulieren, die sich mit einer hohen Stufe von Unlinearität auszeichnen. Die Form der Transformationsfunktion ist dann mit vielen linearen und unlinearen Funktionen repräsentiert, abhängig von der Menge den Schwellen. Um die Tätigkeit des Modells einzuschätzen, sind im Beitrag auch die Ergebnisse der Applikation des Modells an der Donau im Flussbaschnitt Kleinstock - Bratislava angeführt.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время много специалистов в теоретической гидрологии считают линейное моделирование стока устаревым. Это результат действительности, что большинство процессов, связанных с процессом стока, и нелинейный характер. Нелинейное воздействие гидрологической системы можно выразить с помощью использования нескольких линейных функций или самой нелинейной функции, которая своим видом выражает нелинейность природной системы.

В статье описана модель, представляющая вид функции трансформации с помощью линейных или нелинейных функций, ход которых определен для выбранной амплитуды (слоя) расходов с помощью одной группы параметров модели. Для проверки функционирования данной модели в статье даны результаты применения линейной и простой нелинейной модели для выбранного участка Дуная.

II. ДЕФИНИЦИЯ ПРОБЛЕМЫ

Основной работой гидропрогнозной информационной службы в СГМИ является прогноз уровня воды и расходов в выбранных прогнозных створах на водотоках ССР. На чехословацкой территории Дуная створы: Братислава, Медведево, Комарно и Штурково. Прогноз для Братиславы проводится на основе информации, полученной из Австрии - створ Линц, Иббс, Киншток и Вена. В результате водохозяйственных воздействий на территории Австрии, и учитывая заблаговременность гидрологического прогноза, для моделирования трансформации волн паводка мы разработали систему, репрезентованную речным участком Киншток - Братислава. Входными данными в систему являются волны паводка, зарегистрированные в створе Киншток, выходными данными - расходы в Братиславе. Проблема, которую мы будем решать, - прогноз трансформации волн

пводка с помощью математических моделей для створе Бретислава на основе расходов, полученных в створе Киншток. Для проверки функции отдельных моделей, при расчете мы не рассматривали приток с промежуточного водосвода.

Расчет был проведен для волны паводка, кульминирующей 4.VII.1977 г. в Бретиславе при расходе 6 370 м³/сек.

III. ТЕОРИЯ МОДЕЛИ

Основой модели является метод Кремета - трансформация волны паводка под действием водоема с водосливом без регулирующего затвора [1]. Степень с какой трансформируются входные данные на выходные определена видом функции трансформации трансформации, которая соответствует кривой объемов водоемов. Результирующее воздействие гидрологической системы моделируется путем трансформации волны паводка, продвигающейся в серии вышеупомянутых водоемов.

Функция трансформации водоема выражена следующим управлением:

$$Q = QT_i + B_i(V - V_i)^{EX_i} \quad (1)$$

где Q обозначает сток из водоема;

V обозначает объем в водоеме, соответствующий Q;

QT_i является величиной расхода, определяющей i-ый слой функции трансформации;

V_i является объемом в водоеме, соотвествующим QT_i;

B_i является коэффициентом трансформирующей функции, соответствующим i-ому слову;

EX_i является экспонентом, соответствующим i-ому слову.

Уравнение непрерывности:

$$(P - Q) \cdot DT = \pm \Delta V \quad (2)$$

где P - приток в водоем в интервале DT;

Q - сток из водоема в интервале DT;

ΔV - изменение объема в водоеме за интервал DT.

Оба управления являются основой решения.

Параметры модели являются:

QT_i, B_i, EX_i и количество водоемов в серии - PN

Расчет величины Q в интервале $i+1$ проводится с помощью известных величин Q_i, P_{i+1} и итеративным методом, который дан на рис. I. Для каждого водоема в серии проводится сравнение рассчитанной величины Q с предельной величиной QT_i . Если $Q < QT_i$, то расчет проводится для слоя QT_i, QT_{i+1} для которого действительны параметры $B_{i+1}, EX_{i+1} \times QT_{i+1}$.

IУ. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

Трансформирующая функция водоема в линейной модели выражена кривой. Поэтому величина параметра EX равна 1 и ее наклон определен величиной параметра B . Линейная модель, примененная в системе, выбранной между станциями Киншток - Братислава, имела следующие параметры:

$PN = 8$

$B1 = 0.35$

$El = 1$

Входными данными в систему являлись расходы на водомерном посту Киншток, измеряемые каждые три часа. Результаты расчета изображены на рис. 3 с помощью пунктирной линии. Сплошной линией изображен гидрограф, полученный в Братиславе.

IУ.1 ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

Нелинейная модель, примененная для вышеупомянутого участка, имела следующие параметры:

$PN = 8$

$B1 = 0.000 02$

$El = 2$

Трансформирующая функция водоема изображена на рис. 4. Результаты расчета рассматриваемой волны паводка изображены на рис. 5.

IУ.2 ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ

Для моделирования трансформации волны паводка на выбранном участке реки мы выбрали модель, состоящую из двух слоев. При выборе предельной величины расходе QT_2 мы исходили из формы кривой времени дебегения расходов между

постами Киншток и Бретислава (рис. 6). Форма кривой времени добегания расходов выразительно изменяется приблизительно при уровне 650 см, соответствующем расходу $5 \cdot 175 \text{ м}^3/\text{сек}$. Поэтому предельную величину расхода мы выбрали равной $5 \cdot 000 \text{ м}^3/\text{сек}$. Остальные параметры модели следующие значения:

$$B_1 = 0.00002$$

$$E_1 = 2$$

$$B_2 = 0.233$$

$$E_2 = 1.001$$

$$Q_{T_2} = 5 \cdot 000$$

Ход функции трансформации изображен на рис. 7. Результаты расчета на рис. 8.

У. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из представленных результатов, полученных при применении линейной, простой нелинейной и многослойной нелинейной моделей для моделирования трансформации волны паводка на Дуне на участке Киншток - Бретислава, видно, что природные гидрологические системы, характеризующиеся высокой степенью нелинейности, можно с успехом воспроизводить с помощью моделей, которые своей структурой данную нелинейность передают.

На рассматриваемом речном участке происходит значительное изменение в воздействии системы при расходе, достигающем приблизительно $5 \cdot 000 \text{ м}^3/\text{сек}$. Тогда выразительно начинает проявляться еккумуляционное воздействие природной системы, в результате чего наступает резкое увеличение времени добегания с 15 час. на 60 час., согласно величине расхода. Поэтому величину расхода $5 \cdot 000 \text{ м}^3/\text{сек}$. мы можем считать предельной величиной, с которой наступает иное поведение гидрологической системы. При подробном анализе нескольких волн паводка можно наблюдать второе такое изменение при расходах речных $2 \cdot 000 \text{ м}^3/\text{с}$. Данная предельная величина при простой нелинейной модели неясно выражена параметром E_X , определяющим вместе с параметром B форму трансформирующей функции. Поэтому простая нелинейная модель дает лучшие результаты, чем линейная модель, однажды

ко, оно может быть успешно применен только при моделировании волны паводка, кульминация которых не превышает в створе Кинешек $5 \text{ ООО м}^3/\text{сек.}$ При волнах, превышающих $5 \text{ ООО м}^3/\text{сек.}$, простая нелинейная модель не может отразить резкое изменение в деятельности гидрологической системы, и гидролог при оптимизации параметров данной модели должен продумать, провести ли оптимизацию так, чтобы была передана ветвь добегания гидрографа паводка, или сосредоточить свое внимание на воспроизведение ходе кульминации паводка. В первом случае произойдет отклонение от наблюдавших расходов при кульминации паводка, во втором случае — на начальной ветви гидрографа.

Благодаря своей структуре, многослойная нелинейная модель дает возможность гидрологу провести оптимизацию для выбранного диапазона расходов, для которого действительная одна группа параметров модели. Для начальной ветви гидрографа, когда волна паводка передвигается еще в русле реки, деятельность системы будет воспроизведена параметрами модели, имеющими другие значения, чем параметры, воспроизводящие воздействие гидрологической системы при развитой паводковой ситуации, когда происходит наполнение многочисленных рукавов вдоль водотока, покрытие водой затопляемых земель, увеличение пероховатости и подобные явления.

Поэтому результаты, полученные при применении данной модели, точнее по сравнению с вышеупомянутыми моделями, это доказывают приложение графические выходные данные из ЭВМ.

У1. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многослойная нелинейная модель была разработана на основе богатого опыта, полученного при применении нелинейной модели А. Свободы, модуля GLS и познаний, полученных при работе с другими моделями при решении задач СГМИ.

Многослойная нелинейная модель благодаря своей гибкой приспособляемости позволяет воспроизвести нелинейное воздействие гидрологической системы во всем диапазоне расходов на рассматриваемом речном участке. Простая оптимали-

зация модели, небольшое их количество и невысокие требования к емкости ЭВМ предназначают данную модель для внедрения в прогнозную практику ГИПС и для ее дальнейшего использования при решении различных задач гидрологии и водного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klemeš, V.: Zjednodušené řešení transformace povodňové vlny nádrží. Vodohospodársky časopis SAV, 8/4, 1960, s. 317.
2. Svoboda, A.: Matematické schémy priameho odtoku z horských povodí. Záverečná správa, UHH SAV, 1975.
3. Kunsch, I., Hajtašová, K., Drako, J.: Hydrologické predpovede na Dunaji v podmienkach zmeneného odtokového režimu. Záverečná správa, SHMÚ, 1979.

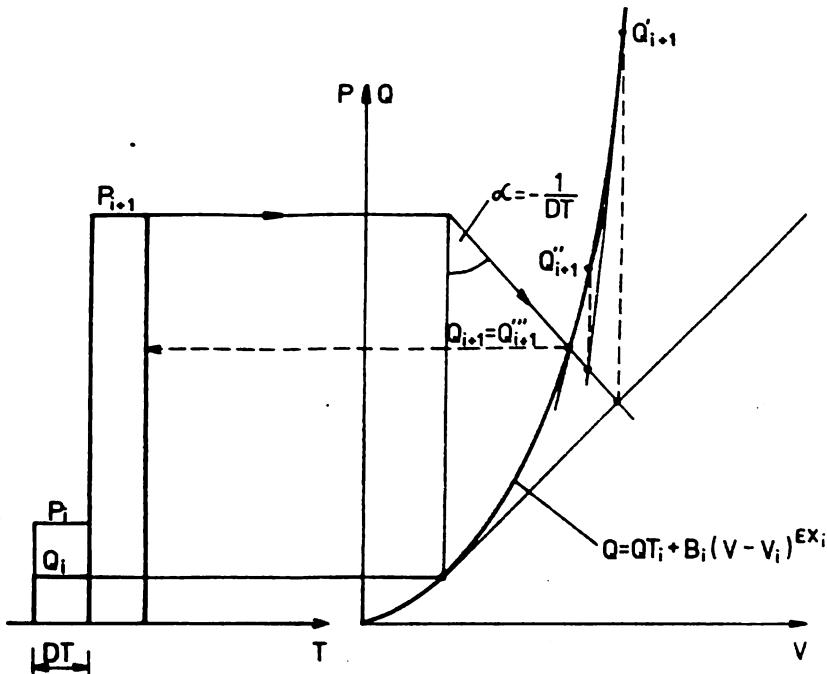


Рис.1 Ход решения для Q_{i+1}

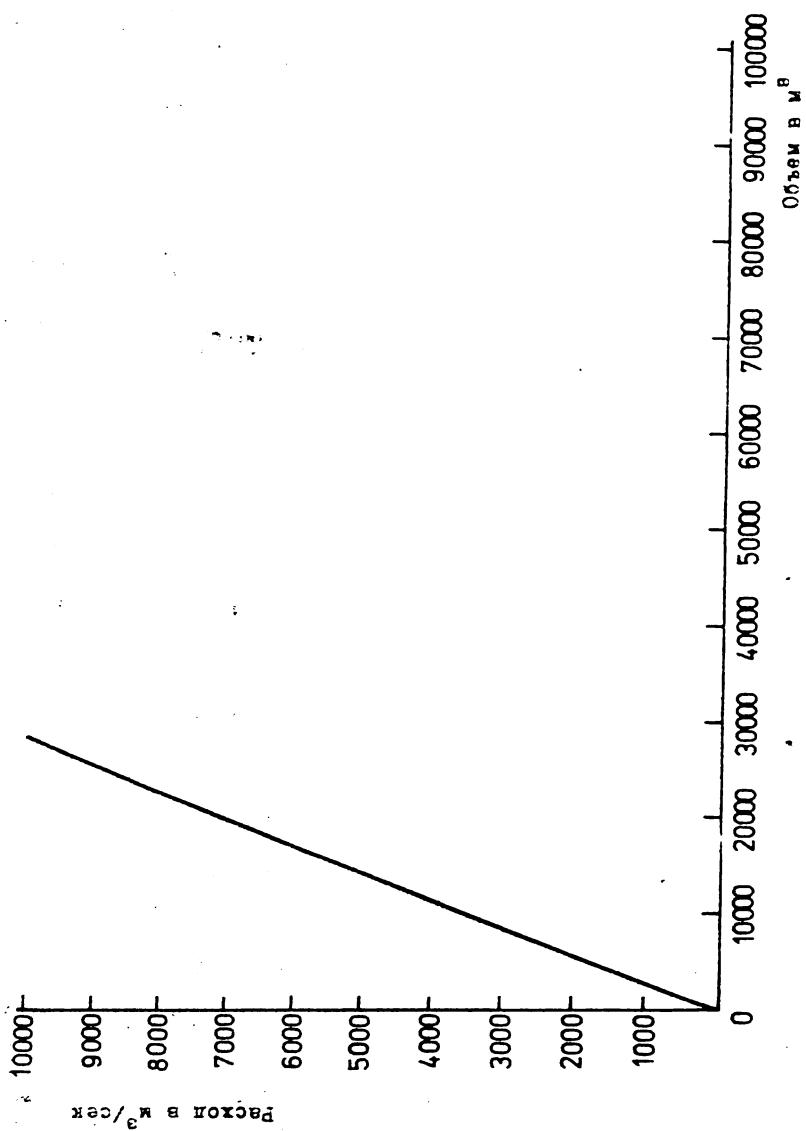
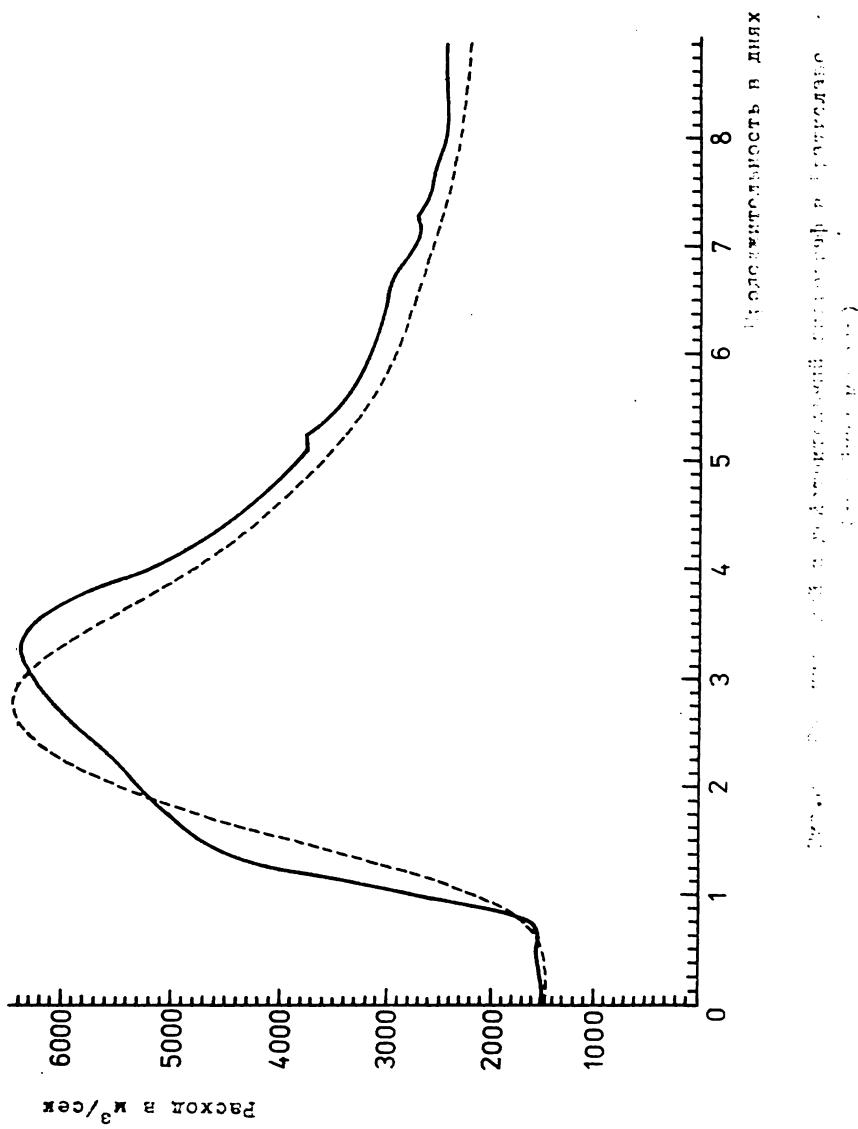
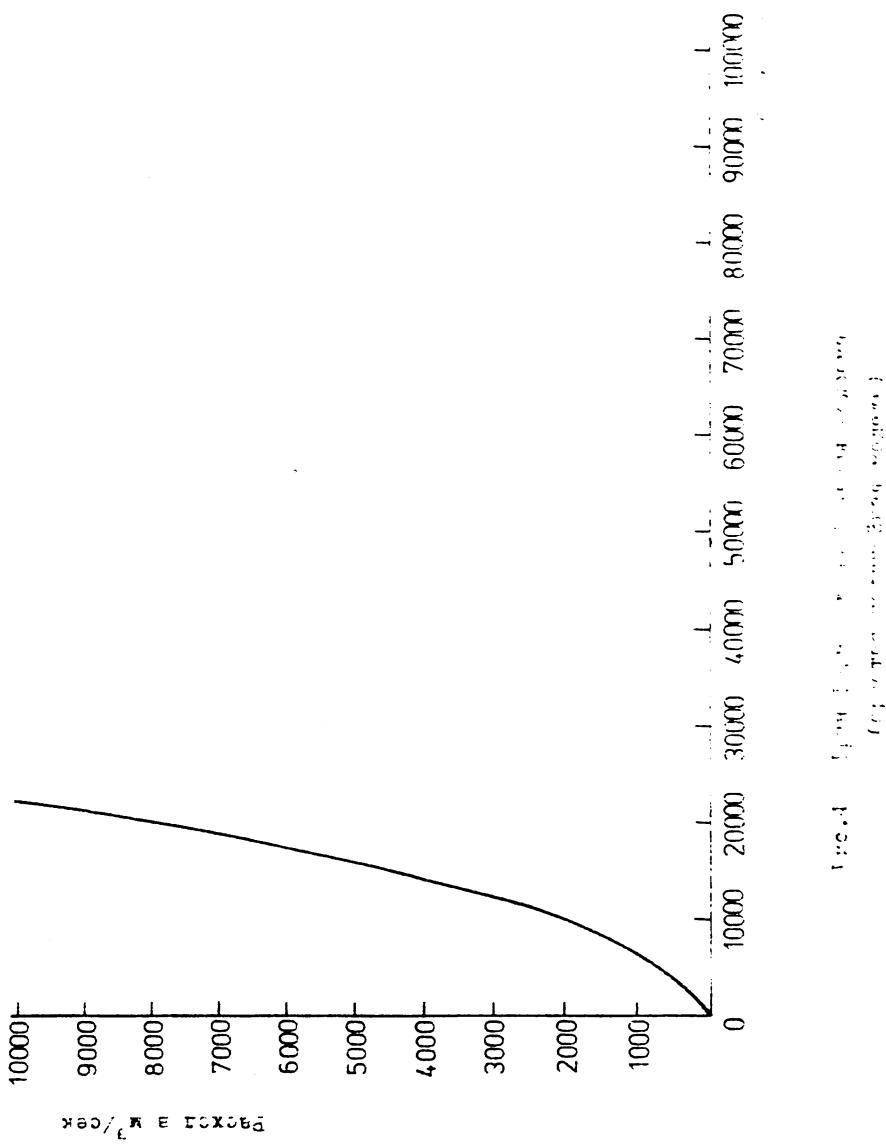
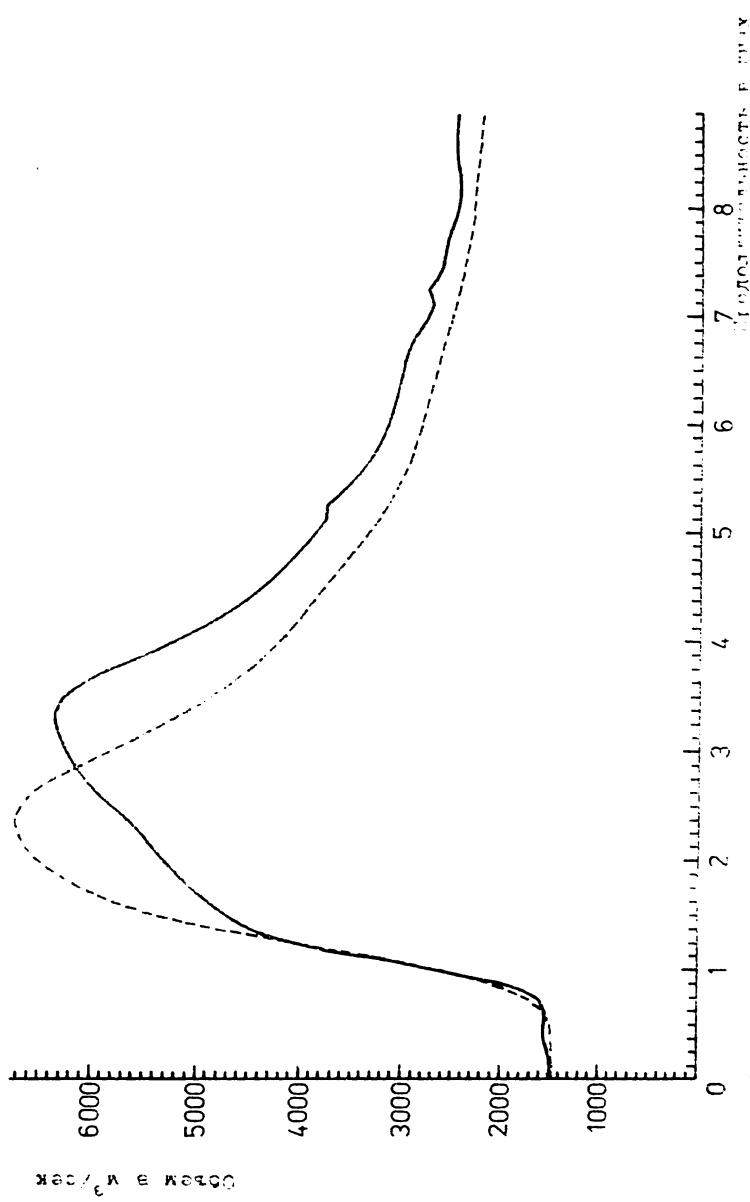


Рис.2 . Трансформированная функция водоотвода
(линейная модель)





Сравнение кривых и логарифмический график в координатах
(стационарная вязкость в кратчайшем
моменте)



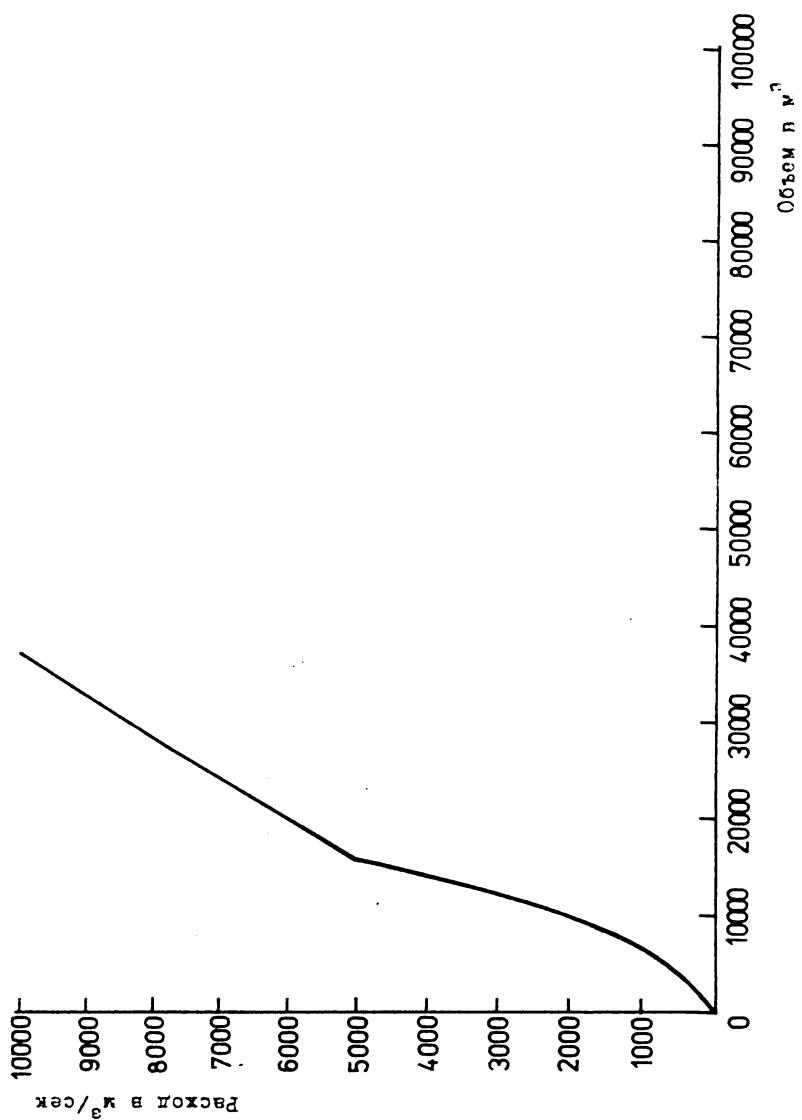


Рис. 6 Трансформированная функция водоема
(наглослойная нелинейная модель)

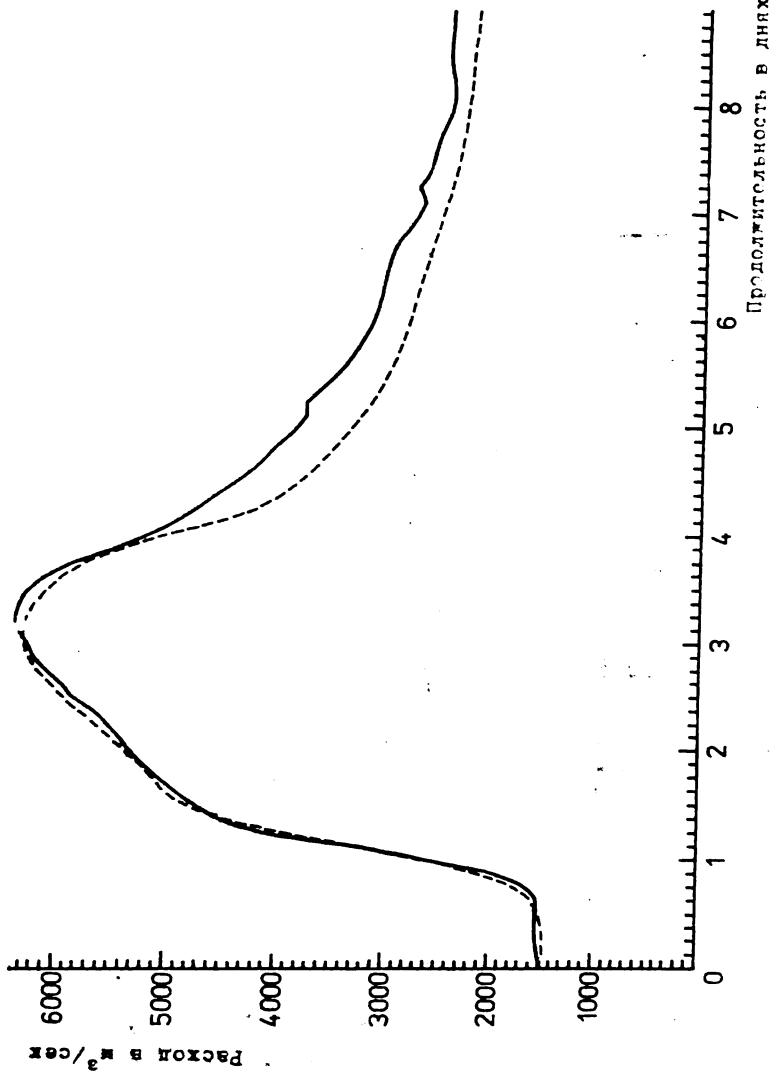


Рис.7 Рассчитанный и действительный гидросгѣт в Братиславе
(многослойная плотинна чутиница моделъ)

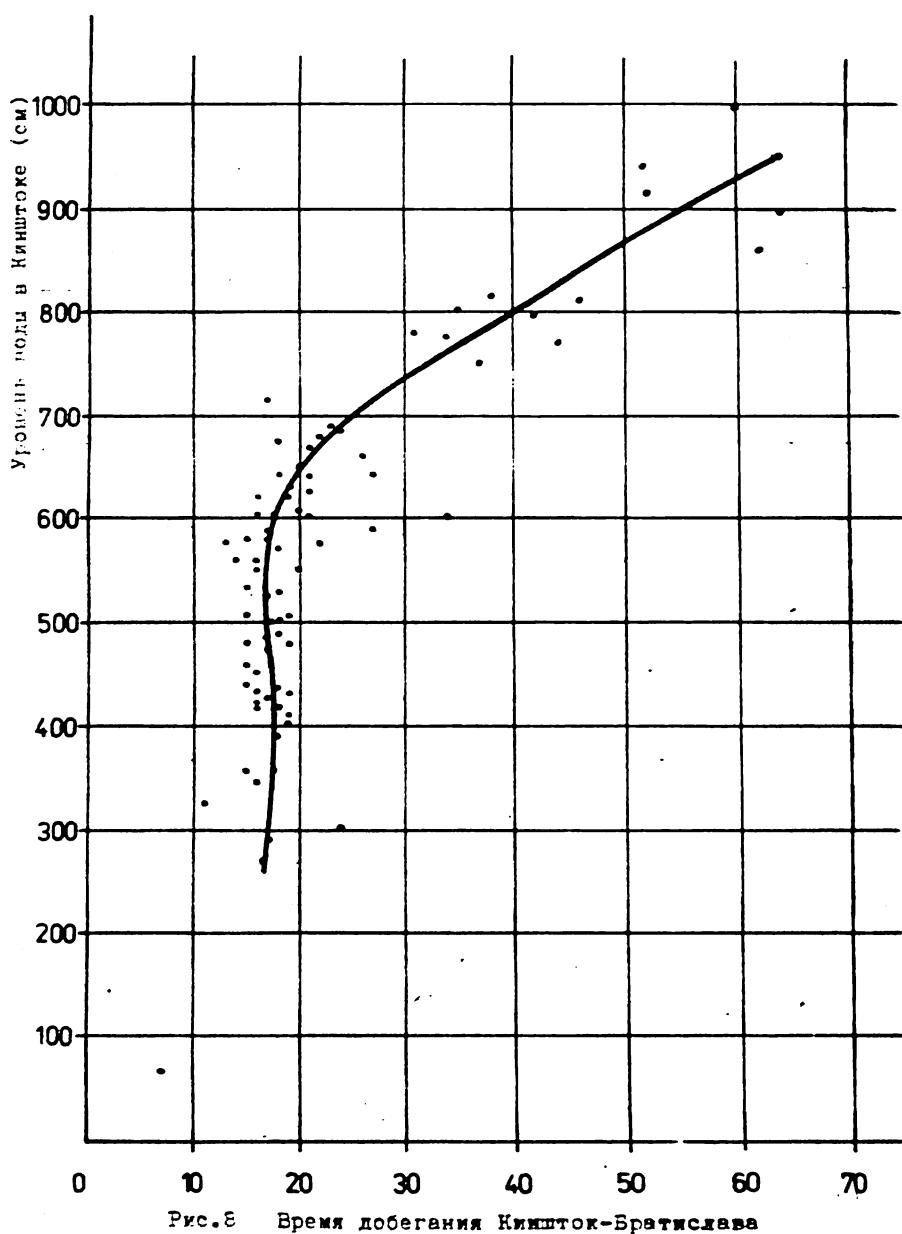


Рис.8 Время добегания Киннеток-Братислава

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ПАВОДКОВЫХ ВОЛН НА РЕКАХ
РУМЫНИИ, ВЛАДАЮЩИХ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ "Е-
ЛЕЗНЫЕ ВОРОТА"

Петру Шерсан, Маринела Симота
Институт метеорологии и гидрологии
Бухарест - Румыния

MODEL FOR INFLOW FLOOD FORECASTING IN THE IRON GATE
RESERVOIR FROM ROMANIAN RIVERS

Abstract. The mathematical model for flood wave forecasting consists in the following main parts:

- calculation of the average rainfall over the basin using "square grid" method;
- determination of net rainfall making use of the "warning basins" and/or SSARR method;
- integrating the runoff from small basins making use of the synthetic unit hydrograph;
- routing of floodwaves using the Muskingum methods with variable parameters.

The model has tested for Romanian rivers which flow in the Iron Gate reservoir.

Using the model we can forecast the inflow hydrograph in Iron Gate reservoir, which is needed for establish optimum policy for the operation of hydro-electric power plant.

VORHERSAGEMODELL DER HOCHWASSERWELLEN AUF DEN RUMANISCHEN
FLÜSSEN, DIE IN DEN STAUSÉE EISERNES TOR MUNDEN

Zusammenfassung. Das mathematische Vorhersagemodell besteht aus folgenden Hauptteilen:

- Berechnungsstruktur des mittleren Regens
 - Bestimmung des "Netto" Regens
 - Integrierung des Abflusses in kleinen Einzugsgebieten
 - Fortpflanzung der Hochwasserwellen
- Das Modell wurde für rumänische Flüsse geeicht. Auf Grund der Vorhersage kann eine optimale Arbeitsweise des EKW Eisernen Tor bestimmt werden.

Смешанная румынско-югославская комиссия, на ХХУП заседании внесла рекомендацию по улучшению гидрологических прогнозов на реках Румынии, притоках водохранилища Железные ворота, а также по увеличению заблаговременности этих прогнозов до 5 дней.

В зависимости от гидрологических характеристик и расположения бассейнов рек по отношению к водохранилищу была разработана математическая модель дождь-сток для прогноза паводковых волн в створах:

р. Караш на гидрометрической станции Вэрэдия

р. Нера на гидрометрической станции Найдеш

р. Черна на гидрометрической станции Топлеш

р. Тимиш на гидрометрической станции Грэничери.

Модель состоит из следующих частей:

- структура осреднения дождя по бассейну при использовании метода "квадратной сетки";

- структура стокообразующих осадков при использовании модели и/или метода предупреждающих бассейнов;

- структура интегрирования стока в малых бассейнах по методу одиночного гидрографа;

- структура распространения паводков по руслу методом Маскингама с переменными параметрами.

При помощи первых трёх структур модели прогнозируются паводковые волны на реках Караш, Нера и Черна, в то время как для реки Тимиш необходимо применение полной модели.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ДОЖДЯ

Для рассматриваемого гидрографического бассейна "квадратная сетка" накладывается на существующую сеть дождемерных, передающих данные станций. Для каждого узла сетки определяются осадки по методу средневзвешенных с учётом расстояний от него до близрасположенной дождемерной станции. Средний дождь для каждого подбассейна, прилегающего к рассматриваемому створу, расчитывается как среднеарифметическая значение осадков, полученных в узлах, относящихся к данному подбассейну /6/.

Расчёт проводится для интервалов времени Δt , определённых в зависимости от гидрометеорологических характеристик гидрографического бассейна.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКООБРАЗУЮЩИХ ОСАДКОВ

Стокообразующие осадки определяются при использовании упрощённой математической модели типа SSARR с применением соотношения между коэффициентом стока α и интенсивностью дождя I и показателем влажности почвы SMI /5/.

Во время прохождения паводка показатель влажности почвы для каждого шага времени Δt расчитывается по следующей формуле:

$$SMI_{j+1} = SMI_j + h_{pj} - h_{sj} \quad (1)$$

где:

SMI_j , SMI_{j+1} - являются показателями влажности почвы в момент j соответственно $j+1$;

h_{pj} - средний дождь по бассейну и за интервал Δt в момент j ;

h_{sj} - слой стока за интервал Δt и в момент j ;

Влажность почвы в момент начала паводка ($SMII$) зависит от расхода воды (Q_B) до паводка.

В случае последовательных паводков, когда основной расход не достиг расхода истощения, показатель влажности почвы для следующего паводка ($SMII$) расчитывается по уравнению:

$$SMII = SMI_F \cdot 0,9^{M+1} \quad (2)$$

где:

SMI_F - конечный показатель влажности почвы для предыдущего паводка, расчитанный по формуле (1);

M - число дней между последовательными дождями.

Для рек, впадающих в водохранилище Железные ворота, были выведены уравнения формы $\alpha = f(I, SMI)$ и $SMII = f(Q_B)$. Одни из примеров такого типа уравнений дан на рис.1 и 2 для реки Нера для гидрографической станции Найдаш.

Коэффициент стока может быть определён и по методу предупреждающих бассейнов /1/. Подчёркиваем, что определение слоя стока по методу предупреждающих бассейнов, производится сразу после дождя, в то время как применение модели SSARR даёт возможность определения этого слоя в любой момент, но с несколько меньшей точностью.

3. ИНТЕГРИРОВАНИЕ СТОКА В МАЛЫХ БАССЕЙНАХ

Интегрирование стока в малых бассейнах осуществляется при помощи единичного гидрографа.

Считается, что единичный гидрограф гидрографического бассейна, выраженный функцией распределения Гамма:

$$u(t) = \frac{1}{k_1 \Gamma(n)} e^{-\frac{t}{k_1}} \left(\frac{t}{k_1}\right)^{n-1} \quad (3)$$

где:

$\Gamma(n)$ - функция Гамма, а n и k_1 - параметры.

Параметры n и k_1 для гидрографических бассейнов, прилегающих к гидрометрическим станциям, определяются минимизацией объективной функции по методу Розенброка /4/.

Знание единичного гидрографа для неконтролируемых бассейнов осуществляется путём интерполяции, основанной на обобщении всех корреляций морфометрических элементов гидрографических и характерных элементов единого гидрографа /2/.

В качестве характерных элементов единичного гидрографа (ЕГ) были выбраны:

T_{CR} - продолжительность подъёма ЕГ

$$T_{CR} = k_1 (n-1) \quad (4)$$

Q_M - максимальный расход ЕГ

$$Q_M = \frac{1}{k_1 \Gamma(n)} \frac{(n-1)^{n-1}}{e^{n-1}} \quad (5)$$

В результате ряда анализов и испытаний были получены следующие корреляционные зависимости:

$$\begin{aligned} T_{CR} &= f \left(\frac{L}{\sqrt{I_r}} \right) \\ Q_M &= f \left(\frac{B}{L} \sqrt{I_b - I_r} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

где:

L - протяженность реки (км)

B - средняя ширина водобора (км)

I_b - средний уклон водосбора (м/км)

I_r - уклон реки (м/км)

При помощи программы ГИДРО, составленной на языке ФОРТРАН для вычислительной машины ФЕЛИКС-С 256, были определены единичные гидрографы для гидрографических бассейнов, контролируемых на гидрографической площаи Банат. Для примера на рис.3 представлены ЕГ бассейнов р.Караш, на гидрометеостанции Вэрэдия, р.Нера на ст. Найдеш и р. Черна на ст. Топлиц.

По полученным результатам были построены обобщенные зависимости для единичного гидрографа (рис.4).

На основе этих обобщенных зависимостей можно определить параметры единичных гидрографов для любого подбассейна на гидрографическом пространстве Банат путём решения системы уравнений:

$$\begin{aligned} k_1(n-1) &= T_{CR} = f_1 \left(\frac{L}{\sqrt{T_r}} \right) \\ \frac{1}{k_1 \Gamma(n)} \cdot \frac{(n-1)^{n-1}}{e^{n-1}} &= Q_M = f_2 \left(\frac{B}{L} \sqrt{T_b \cdot T_r} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Для решения системы уравнений (7) строится априори график функции $f_3(n)$, определяемой следующим образом:

$$f_3(n) = T_{CR} Q_M = \frac{1}{\Gamma(n)} \cdot \frac{(n-1)^n}{e^{n-1}} \quad (8)$$

Зная произведение $T_{CR} \cdot Q_M$, по графику функции $f_3(n)$ можно получить значение параметра n , который при замене в первом уравнении системы уравнений (7) даёт параметр k_1 .

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОБЕГАНИЯ ПАВОДКА ПО РУСЛУ МЕТОДОМ МАСКИНГАМА С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В общем, движение воды в руслах рек в период паводков медленное; поэтому кинетическим членом $\frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x}$, инерционным членом $\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$ и членом $\frac{\partial y}{\partial x}$ из уравнения динамики системы уравнений Сен-Венана можно пренебречь.

При решении системы уравнений Сен-Венана получаем:

$$Q_i^{n+1} = C_0 Q_{i-1}^{n+1} + C_1 Q_{i-1}^n + C_2 Q_i^n \quad (9)$$

где:

$$\begin{aligned} c_0 &= \frac{kx - \frac{\Delta t}{2}}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \\ c_1 &= \frac{kx + \frac{\Delta t}{2}}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \\ c_2 &= \frac{k(1-x) - \frac{\Delta t}{2}}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \end{aligned} \quad (10)$$

$$x = \frac{\Delta s}{v_p} \quad (11)$$

$$x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q_{i-1} k}{\Delta s^2 B I} \right) \quad (12)$$

в которых:

- Q_{i-1} – расход в створе $i-1$ (вверх по течению);
- Q_i – расход в створе i (вниз по течению);
- Q – расход, проходящий на участке $i-1, i$;
- k – время добегания паводковой волны из створа $i-1$ до створа i ;
- x – коэффициент осреднения, изменяющийся от 0 до 0,5;
- Δt – шаг времени (время от момента -1 до момента $+1$);
- Δs – длина участка расчёта ($i-1, i$);
- v_p – скорость добегания паводковой волны на участке ($i-1, i$);
- B – средняя ширина зеркала воды на участке ($i-1, i$);
- I – средний уклон поверхности воды при постоянном режиме стока.

Из вышеуказанного вытекает, что уравнение (9), известное под названием Масикгама, является очень хорошим приближением упрощённой системы уравнений Сен-Венана, при условии расчёта параметров x и k при помощи уравнений (11) и (12). Анализируя уравнения (11) и (12) получим, что параметры x и k являются функциями расхода, проходящего по расчётному участку и не постоянны как предполагается по методу, предложенному Мккарти.

Значения параметров для участка реки между двумя гидрометрическими станциями ($i-1, i$) определяются следующим образом /4/:

а) расчитываются начальные значения параметров на основе уравнений (11) и (12).

Параметр k является временем добегания паводковой волны на участке $i-1, i$. На основе гидрометрических данных, имеющихся на гидрометрических станциях $i-1, i$ и при использовании уравнения (11) можно вывести уравнение:

$$k = f_4(Q_{i-1}) \quad (13)$$

и следовательно получить начальные значения параметра k .

Форма этого уравнения зависит от характеристик русла на участке $(i-1, i)$.

В результате проведённых исследований было констатировано, что параметр x имеет небольшое значение по сравнению с параметром k , поэтому его можно считать постоянным. Считается, что начальное значение x составляет 0,35.

б) Расчётный участок $(i-1, i)$ расчленяется на подучастки, пользуясь условием:

$$\frac{2kx}{t} \leq N \leq \frac{2k(1-x)}{t} \quad (14)$$

Время добегания на каждом участке (k_{ss}) выражается уравнением

$$k_{ss} = k \cdot \frac{\Delta s_s}{\Delta s} \quad (15)$$

где:

Δs_s – длина расчётного участка.

В общем расчётные участки имеют одинаковую длину, но могут быть и различными, особенно, когда этого требует конфигурация гидрографической сети данного участка.

в) Гидрограф паводковой волны в створе $i-1$ перемещается по каждому подсектору N , одновременно с добавлением бокового притока в каждом подсекторе, определяемом при помощи единичного гидрографа. В результате получают гидрограф, вычисленный для створа .

г) Сравниваются вычисленный и наблюдённый гидрографы. Если эти два гидрографа совпадают, получаются оптимальные параметры k и x , а если нет, изменяют значения параметров k и x и вновь проводят расчёт до получения сходства этих гидрографов.

Для определения параметров k и x река Тимеш подразделена на 5 участков и 21 подучасток (рис.5). Оптимальные значения параметров x и

к для 5 расчётных участков определялись по расчётной программе ПРОПАГАРД для ЭВМ ФЕЛИКС С-256 и представлены на рис.6.

На основе указанного алгоритма для ЭВМ ФЕЛИКС С-256 был составлен ряд программ ПРОГНОЗА, по которым можно расчитать паводковые волны.

5. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА ПАВОДКОВЫХ ВОЛН

Составление прогноза паводковых волн проводится в зависимости от интенсивности имеющейся информации - по этапам, а именно:

ЭТАП ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОГНОЗА

Момент "0" наблюдается в момент достижения критического порога, определяемого в зависимости от основного расхода, количества и продолжительности осадков. В этот момент дождемерные посты гидрографического бассейна Банат начинают передачу данных об осадках через каждые 3 часа. Затем, необходим метеорологический прогноз о возможном количестве дождя, среднем по бассейну, которое добавляется к дождю, выпавшему до этого момента.

Зарегистрированные осадки, а также осадки, прогнозированные на дождемерных постах, входят как переменные в программу ПРОГНОЗА. Одновременно программа использует данные с диска, связанные с характеристиками гидрографического бассейна, параметры модели SSARR, параметры единичных гидрографов, данные о расчётных участках и параметры Маскингама.

Данные, полученные по программе, представлены на бланках следующим образом:

- таблица анализа стока по бассейну;
- таблица баланса паводков на каждом участке реки, расположенному между двумя гидрометрическими станциями;
- графики гидрографов, расчитанные по каждому подбассейну;
- графики гидрографов, измеренных до момента составления прогноза, для важных пунктов гидрографической сети.

Момент 1 проведение сразу после прекращения дождя первой реактиализации путём поправок прогнозированных осадков и возобновление программы ПРОГНОЗА.

ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ ПРОГНОЗА

В принципе, последующие этапы реактуализации прогнозов начинаются после регистрации максимальных расходов в предупреждающих бассейнах. Используя метод предупреждающих бассейнов, определяются коэффициенты стока α , которые сравниваются с полученными по программе ПРОГНОЗА в момент 1. Если значения близки, это значит, что прогноз, составленный в момент 1 является хорошим. В противном случае при помощи некоторых коэффициентов исправляется в соотношении сток-стокообразующий дождь, полученный по программе ПРОГНОЗА и снова возобновляется эта программа.

Затем, прогноз возобновляется по мере получения данных о зарегистрированных на некоторых гидрометрических станциях гидрографах. Зарегистрированные гидрографы сравниваются с гидрографами, рассчитанными по программе ПРОГНОЗА и в случае необходимости исправляются при помощи коэффициентов, после чего повторяется программа ПРОГНОЗА.

Для примера представлен прогноз паводка 2 - 5.05.197 г. на гидрометеостанции Грэничери (рис.7), результаты которого характеризуются ошибками, допустимыми в гидрологическом прогнозе.

Для гидрографических бассейнов Карац, Нера, Черна, в которых зона образования стока охватывает весь бассейн до гидрометрических станций, для прогноза паводковых волн используются только первые три структуры модели дождь-сток. В этих случаях прогноз паводковых не требует особых затрат труда и времени и может быть составлен вручную с помощью обычной вычислительной машины. Подобный расчёт представлен в таблицах 1 и 2, для паводка 2 - 5.05.1978 г. для гидрометеостанции Найдеш.

ЛИТЕРАТУРА

1. Diaconu C.,
Stănescu V.

A mathematical model for flood wave forecasting by means of warning basins
Hydrological Sciences Bulletin, XII,
No 5/1976.
2. Serban P.,

O metodă de determinare a hidrografiei lui unitar sintetic. Hidrotehnica
Nr.2/1976.
3. Serban P.,

A contribution to the flood propagation computation using the Muskingum method.
Meteorology and Hydrology No 2/1976.

4. Serban P.,
An automatic information system for
flood warning and prediction using
hydrometeorological data.
Hydrological Sciences Bulletin No 129/
1980.
5. X X
SSARR - Streamflow synthesis and
reservoir regulation U.S. Army
Engineer Division, North Pacific,
Portland, Oregon.
6. X X
NOAA Technical Memorandum NWS Hydro
14, U.S. Department of Commerce,
Washington, D.C., 1972.

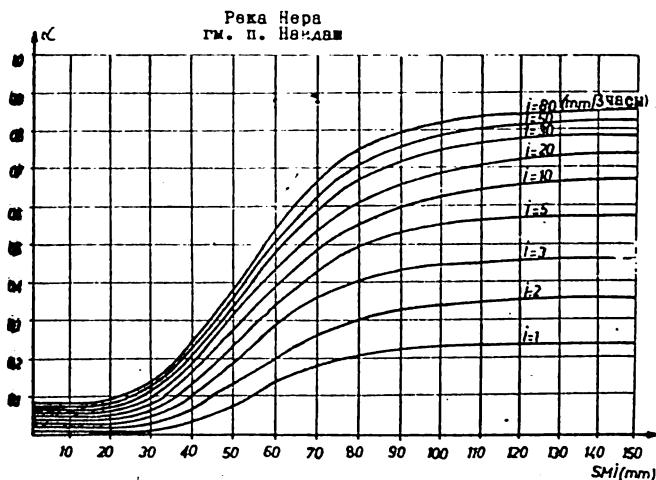


Рис.1 Зависимость коэффициента стока, показателя влажности от интенсивности дождя

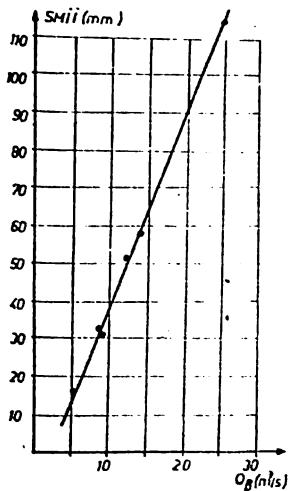


Рис.2 Зависимость между начальным расходом и увлажнением почвы

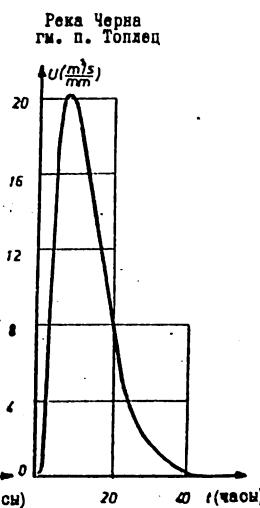
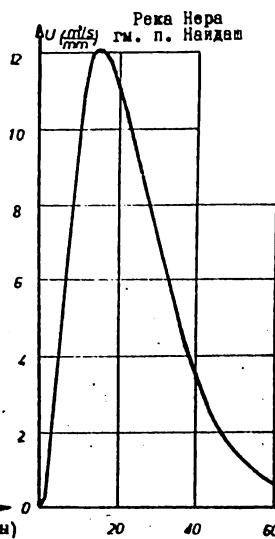
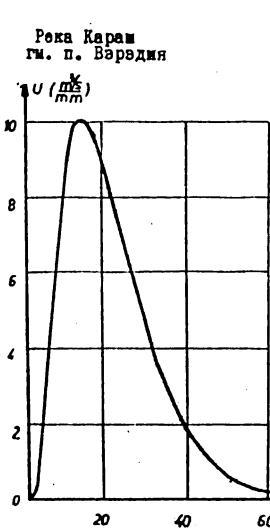


Рис.3 Единичные гидрографы вызванные дождём 3-х часовой продолжительности

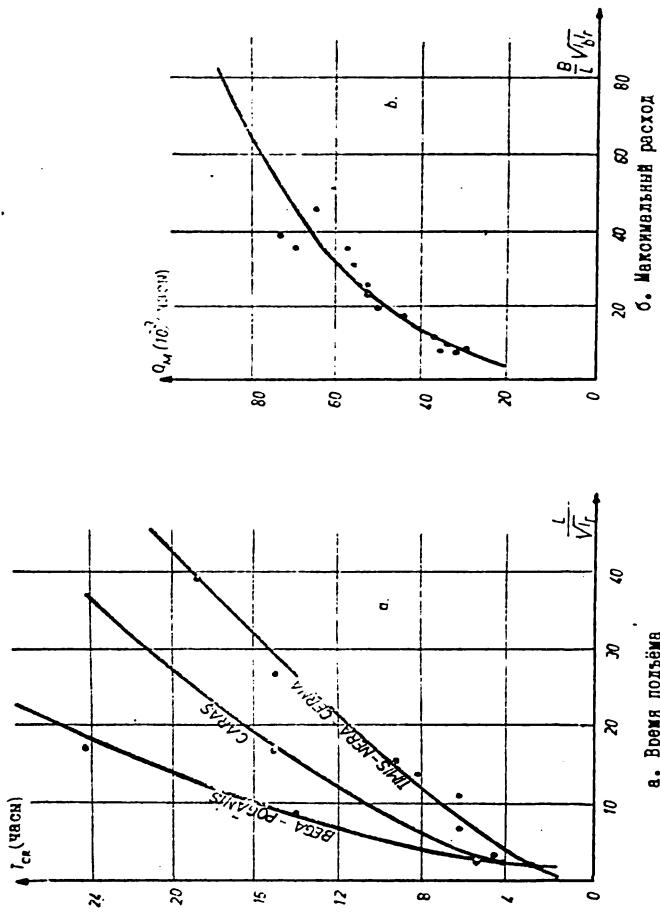


Рис. 4 Связь времени подъёма единичного гидрографа с характеристиками бассейна

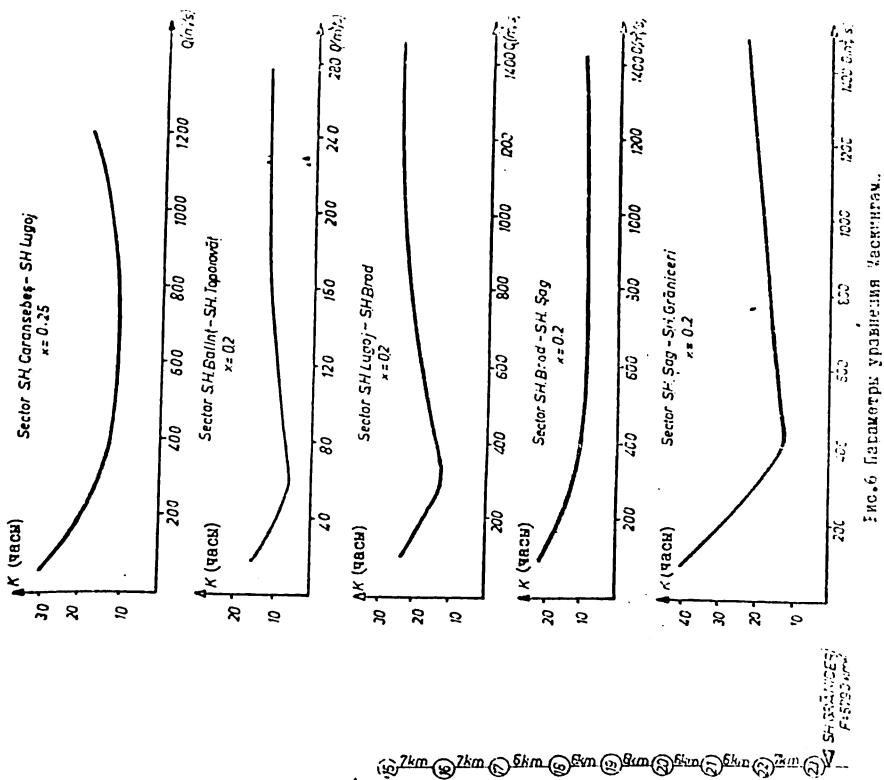


Рис.5 Расчёчная схема падоков

Фиг.6 Газометры Уравнения частичные.

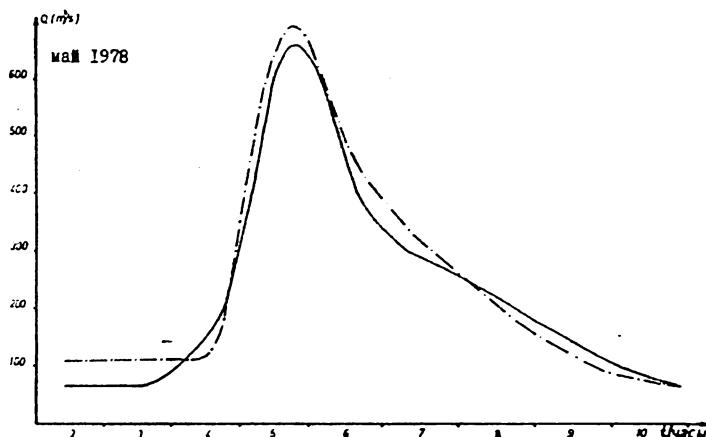


Рис.7 Гидрограф паводка расчётного (—) и измерённого (—) у гм. п. Граничерь на р. Тимиш

Таблица I
Расчёт слоя для гм. п. Наидам на реке Нера

День	Час	hp [мм]	hs [мм]	hp-hs [мм]	SMI [мм]
2 V	14	3,5	1,7	1,8	110
	14	4,0	2,0	2,0	111,8
	17	5,2	2,9	2,3	113,8
	20	4,9	2,6	2,3	116,4
	23	10,0	6,5	3,5	118,4
3 V	2	15,0	10,4	4,6	124,9
	5	11,0	7,4	3,6	125,5

Расчёт гидрографа расходов методом единичного гидрографа
для гм. п. Наидам на реке Нера

Таблица 2

T [дни]	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
$U(t) \left[\frac{m^3}{s}\right]$	2,4	6,5	9,7	14,6	12,4	14,7	10,7	9,6	7,9	6,6	5,3	4,3	3,4	2,6	2,0	1,5	1,2	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	
4,7	4,1	10,0	16,5	19,7	20,6	19,9	18,2	15,9	13,4	11,2	9,0	7,3	5,8	4,4	3,4	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	
2,0		4,8	13,0	19,4	23,2	24,2	23,6	21,4	18,8	15,8	13,2	10,6	8,6	6,8	5,2	4,0	3,0	2,4	1,8	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
2,9			7,0	18,8	28,1	33,6	35,1	33,9	31,0	27,3	22,9	19,1	15,4	12,5	9,9	7,5	5,8	4,4	3,5	2,6	1,7	1,5	1,2	0,9	0,6
2,6				6,2	16,9	25,2	30,2	31,5	30,4	27,8	24,4	20,5	17,2	13,1	11,2	8,8	6,8	5,2	3,9	3,1	2,3	1,6	1,3	1,0	0,8
6,5					15,6	42,2	63,0	75,4	74,6	76,0	69,6	61,0	51,4	42,9	34,5	28,0	22,1	16,9	13,0	9,8	7,8	6,9	3,9	3,3	2,6
10,4						21,0	67,6	100,9	120,6	125,8	121,7	111,3	97,8	82,2	68,6	55,1	44,7	35,6	27,0	20,9	15,6	12,5	9,4	6,2	5,2
7,4							17,1	48,1	76,8	85,8	83,6	86,6	79,2	69,6	58,5	48,8	39,2	31,8	25,2	19,2	14,8	11,4	8,9	6,7	4,6
$Q(t) = \sum Q_1 \cdot U(t)$	4,4	15,8	36,5	64,1	116,5	170	255,3	327,4	344,6	370	350,3	337	275,4	232	191,3	155	123,6	97,6	75,4	57,6	44,0	24,0	25,6	18,7	13,8
$Q(t) = Q_1 \cdot U(t) \cdot \%$	2,8	4,5	7,0	9,0	15,5	21,2	30,0	37,5	42,5	45,0	43,0	41,7	35,5	31,2	27,2	24,2	20,5	18,0	14,4	13,0	4,20	11,5	10,7	10,0	

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАВОДКОВ РЕКИ ДУНАЯ ДЛЯ УЧАСТКА БУДАПЕШТ-БАЯ

Дердь Буковски, Габор Антал, Водохозяйственное управление
Средне-западунайской территории, Секешфехервар, Венгрия

РЕЗЮМЕ

INTERPOLATION OF OPERATIONAL FLOOD FORECASTS FOR THE BUDAPEST-BAJA REACH OF RIVER DANUBE

Central forecasts for the Budapest and Baja/Mohács sections of River Danube are issued by VITUKI, during flood periods even up to one week in advance. However, the knowledge of flood levels for the intermediate sections is also necessary as the operational duties of the Water Authority, such as defending the levees, evacuation of the flood plains, operating the structures, etc., cover approximately 167 km in length along the Danube. Kalinin's method of "characteristic reaches" serves as a basis for the forecasting. It can be carried out either manually or by a programmable calculator. The operation of the Sió headworks during floods is one of the main tasks. The possibilities of closing flood gates were determined considering the discharge of the Sió river, the volume of the upstream reach and the change of the Danube water level, respectively. On the basis of predictions Danube floods can be closed down from the lower reach of the Sió and therefore costs of defence are reduced.

VERDICHTUNG OPERATIVER HOCHWASSERVORHERSAGEN AUF DER BUDAPEST-BAJA DONAUSTRECKE

Die Hochwasservorhersagen für die Me stationen Budapest-Baja (Mohács) der Donau werden im Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI), Budapest gemacht, in Hochwasserperioden auch bis 7 tägigen Zeitvorsprung. Es ist aber auch wichtig, die Wasserstände bei den Zwischenstationen zu kennen, weil die operative Hochwasserschutzmaßnahmen (u.a. die Entleerung des Vorlandes, des Auf- und Zumachen von Schleusen, usw.) der ganzen Strecke entlang, bei einer Länge von etwa 167 km gemacht werden. Die Vorhersage basiert auf der Milyukow'sche Methode der charakteristischen Strecken. Sie kann entweder manuell, oder mit einem programmierbaren Ta-

schenkalkulator durchgeführt werden. Eine der wichtigsten operativen Aufgaben ist die Bedienung des Mündungsobjekts des Sió-Kanals, besonders in Hochwasserperioden. Aufgrund der Durchlässe des Sió-Kanals, des Inhalts der oberen Kanalstufe und der Wasserstandsänderungen der Donau hat man die Sperrungsmöglichkeiten des Flottors während eines Hochwassers untersucht. Diese Vorhersagen ermöglichen einerseits die Aussperrung der Donauhochwässer aus der unteren Strecke des Sió-Kanals, andererseits die Erniedrigung der Hochwasserschutzkosten.

ВВЕДЕНИЕ

На венгерском участке реки Дуная между створами 1615-1465 р.км от устья ответственность за борьбу с наводнениями по правому берегу реки несет Водохозяйственное управление Средне-задунайской территории (рис. 1).

В период прохождения паводков прогнозы для створов Будапешт и Мочач на Дунайе выпускаются Государственной службой гидрологических прогнозов с заблаговременностью до одной недели. Защищаемый участок включается между этими створами, поэтому нам необходимо знать ожидаемые уровни также и внутри этого участка с целью решения оперативных задач: кроме защиты дамб открытие и закрытие затворов, эвакуация пойменных территорий и т.д.

МЕТОДИКА ТРАНСФОРМАЦИИ ПАВОДОЧНОЙ ВОЛНЫ

Основой методики является метод характерных участков Калинина [2].
Исходное соотношение:

$$Q_B = Q_H - \tau \frac{dQ_H}{dt} \quad (1)$$

где Q_B - расход воды в верхнем створе

Q_H - расход воды в нижнем створе

τ - время добегания (параметр метода характерных участков)

t - время

Начальным условием принимаем линейное изменение расхода, т.е. изменение (приращение или убывание) расхода ΔQ во времени (от t_1 до t_2) является линейным.

Уравнение (1) при заданных начальных условиях может быть решено трансформацией Лапласа. Полное решение является сложным, но при условии $t > t_2$ значительно упрощается. Это условие может быть всегда выполнено, поскольку время t_2 определяется нами.

Решение уравнения при $t > t_2$

тогда

$$P_B = Q_0 + z \Delta Q \quad (2)$$

где

или

$$z = f(\tau, t) = 1 - \frac{\tau}{t_2 - t_1} \left(e^{-\frac{t-t_2}{\tau}} - e^{-\frac{t-t_1}{\tau}} \right) \quad (3)$$

где b_0 — исходный (базисный) расход.

Если при решении считать расчетным интервалом времени (обычно одни сутки), то $t_2 - t_1 = 1$ и t растет всегда только на единицу. При этом значение функции $z(\tau, t)$ могут быть заранее расчитаны и по ним можно составить таблицу (табл. 1). С помощью этой таблицы расчет элементарных приращений (убываний) может быть произведен вручную. Ручной расчет полезен особенно тогда, когда створы находятся недалеко друг от друга; в этом случае τ мало и одновременные расходы в створах различаются незначительно.

Расчет упрощается с использованием настольного калькулятора особенно в тех случаях, когда программа может быть сохранена на магнитных картах. Нами была составлена программа для калькулятора типа ПТК-1095.

Согласно нашим исследованиям изменение времени добегания во время паводка должно быть учтено и в том случае, если створы находятся недалеко друг от друга. Решение этой проблемы покажем на следующем примере.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для створа Домбори на реке Дунае имеется кривая расходов. Методика основана на трансформации наблюденного паводка от створа Будапешт до створа Домбори. Расчет производился ручным способом. Прогноз отличается от этого тем, что сами приращения (убывания) расхода в створе Будапешт за единичные интервалы времени являются прогнозными величинами.

Примером расчета послужил паводок на Дунае в июле 1975 года. В первом, графе таблицы 2 приведены даты, а в третьей — суточное изменение

ние расхода в створе Будапешт. В таблице также приведен исходный расход Q_0 в створе Домб ori.

Исходный расход выбирается таким образом, чтобы его можно было бы считать установившимся. Этот исходный расход может быть различным в двух створах. Расчитав элементарные изменения расхода и имея время добегания τ , можно вычислить элементарные изменения расхода в створе Домб ori на каждый день.

Время добегания τ является непостоянным (рис. 2), поэтому при каждом элементарном изменении расхода должно учитываться изменение τ . Изменение времени добегания на Дунае было исследовано Сестаи. Из его работы [1] можно определить ожидаемую величину времени добегания фронта волны, разных частей фаз подъема и пика.

На исследуемом участке при расходах выше $4000 \text{ м}^3/\text{с}$ вода выходит на пойму, τ при этом резко увеличивается, затем интенсивность роста уменьшается. Из таблицы 2 видно, что 4 июля рост τ был определен неправильно, следовательно, расчетный уровень превысил наблюденный. Если бы рост τ был определен по рис. 2, то этой ошибки не произошло бы. Анализом этой ошибки мы хотим обратить внимание на большое значение правильного определения роста τ . Ход расчета на 3 июля подробно показан в таблице 2.

При оперативном прогнозировании уже по наблюденным уровням можно ежедневно уточнять прогнозы.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАВОДКА В СТВОРЫ, НЕ ИМЕЮЩИХ КРИВУЮ РАСХОДОВ

На исследуемом участке реки Дуная не все створы, для которых необходимо знать ожидаемые уровни воды, имеют кривую расходов. С помощью изложенной методики можно составить кривую расходов и для таких створов на основе известного расходного створа. Сначала трансформируем паводочную волну от известного створа до соседнего (неизвестного). На основе аналогии из этого можно определить интенсивность изменения τ . Таким методом были определены кривые расходов для расчетных створов участка от створа Адонь до устья Шио.

ЗНАЧЕНИЕ ПРОГНОЗА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТЬЕВОГО СООРУЖЕНИЯ НА РЕКИ ШИО

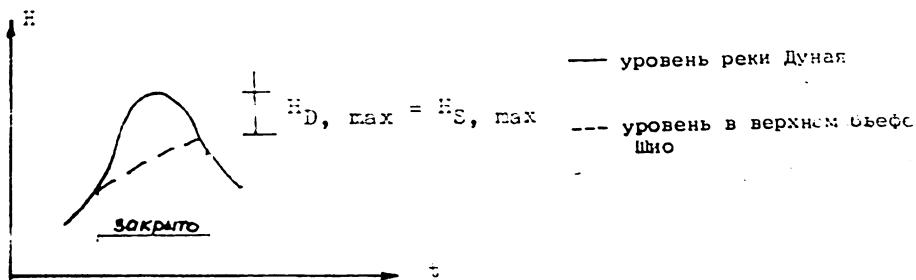
Ниже изложено непосредственное использование прогноза.

Река Шио, водосборная площадь которой составляет 14728 км^2 , впадает в Дунай на расстоянии 1497 км от устья (рис. 1). На расстоянии 3 км от устья Шио было построено устьевое сооружение, с помощью кото-

рого - при определенных условиях - паводки Дуная могут быть исключены с нижнего участка реки Шио [4].

Объем верхнего бьефа устьевого сооружения составляет всего 70 млн. м³, поэтому паводки на Дунае могут быть устранины при условии, если паводок отсутствует и на реке Шио. Расход реки Шио можно частично регулировать (в первую очередь с помощью попусков из озера Балатона).

Устьевое сооружение должно закрываться на ветви подъема волны Дуная, когда ожидаемый рост уровня в Дунае превышает изменение уровня в Шио при закрытых воротах, вследствие аккумуляции воды в верхнем бьефе.



Чем медленнее аккумуляция, тем эффективнее процесс. Противопаводочные ворота устьевого сооружения открываются при выравнивании уровней в верхнем и нижнем бьефах. Эффективность может быть охарактеризована срезкой, т.е. разностью максимальных уровней нижнего и верхнего бьефов: $H_{D, \text{ max}} - H_{S, \text{ max}}$.

С помощью графика (рис. 3) можно определить изменение уровня в верхнем бьефе при закрытых воротах за 24 часа в зависимости от начального уровня и от расхода реки Шио. По предсказанному уровню на Дунае в устье Шио и расходу на реке Шио можно определить оптимальный момент закрытия ворот. Расход реки Шио в устье может быть спрогнозирован по расходам реки Шио в створе Шимонторня и реки Надор в створе Цепе, а для большей заглавовременности необходимо учитывать и расходы на верхних участках рек Надор и Капош [4]. Попуск из Балатона во время дунайских паводков нежелателен.

Постоянным прогнозированием можем определить не только срок открытия, но и ожидаемый максимальный уровень в верхнем бьефе, что играет большую роль при защите дамб.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

В ходе исследований нами были выполнены расчеты трансформации паводков по наблюденным и по предсказанным уровням.

С помощью уравнения (2) можно составить непосредственный прогноз, в нашем примере на основании расходов в створе Будапешт можно рассчитать расходы для створа Домбори. Для прогнозирования необходимо знать тенденцию изменения расхода: рост, убывание, кульминация в верхнем створе; чем больше , тем менее зависит точность расчета от точности входной информации. Таким образом, точность прогноза может быть предсказана.

ВЫВОДЫ

Согласно поставленной перед нами задаче мы составили методику для трансформации и прогноза паводков для относительно однородного участка Дуная, где единственным значительным притоком его является река Бис.

Методика требует расходные величины, но прогнозирование возможно и для створов, не имеющих кривые расходов.

Методика - помимо расчета трансформации - дает возможность для определения кривых расходов, непосредственного прогнозирования и предсказывания погрешности расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. SZESZTAY, K.: Adalékok az árhullámok levonulási sebességének vizsgálatához. Építés és Közlekedéstud. Közl. IV.k. 1-2.sz., Budapest, 1960.
2. KALININ, G.P.: Vizállások és vizelezők előrejelzése. Vizügyi Közlemények, 1960. 4. füzet.
3. АПОЛЛОВ, Б.А., КАЛИНИН, Г.П., КОМАРОВ, В.Д.: Курс гидрологических прогнозов, Гидрометиздат, Ленинград, 1974.
4. ANTAL, G.: A Sió torkolati mű árvizi Üzemének vizsgálata, Székesfehérvár, 1980, kézirat.

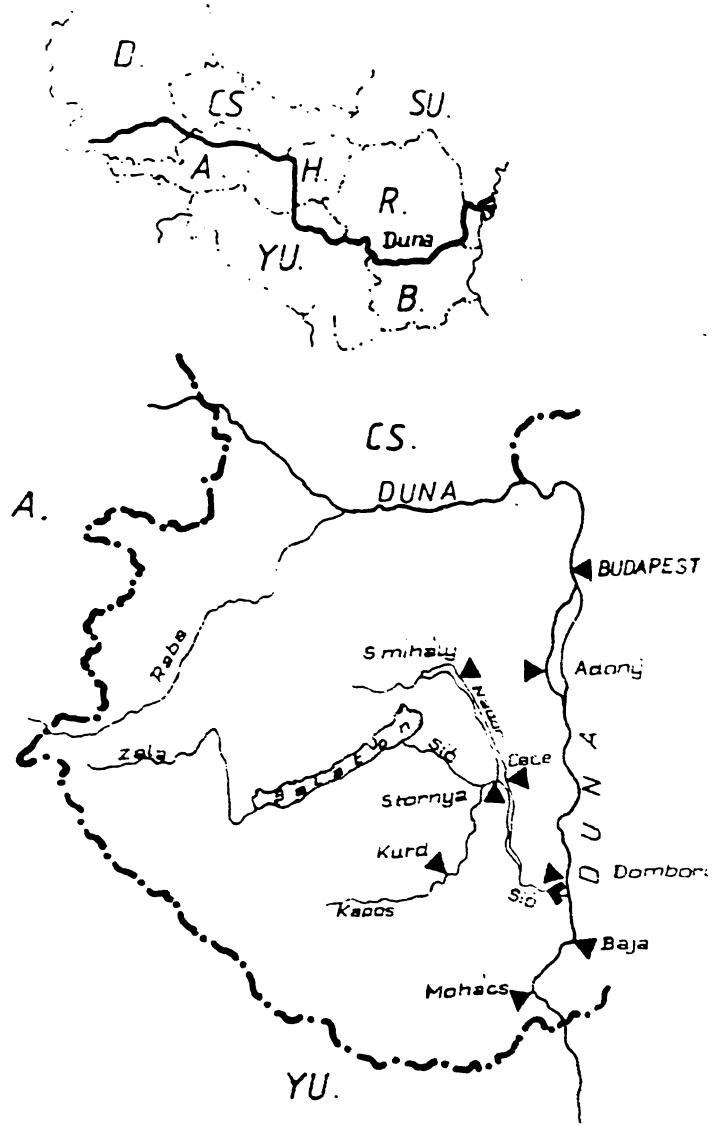
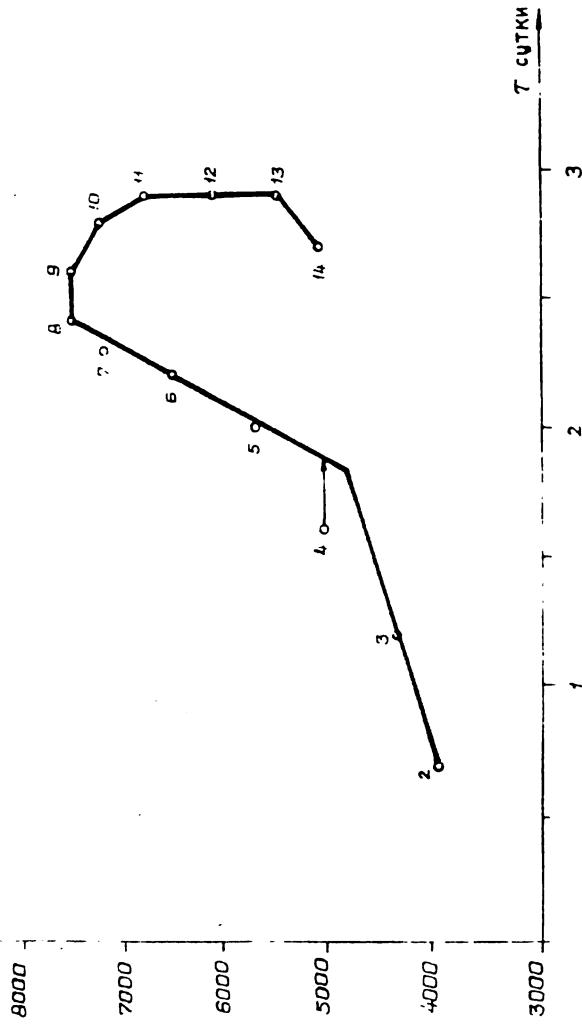


Рис. 1 Карта - схема венгерского участка
р. Дунай

БЪЛАПЕЦТ - ДОМБОРЯ



Изменение времени подлагания во время паводка р. Дунай
6 юлио 1975 - ого года. $T = f(Q)$

Рис. 2.

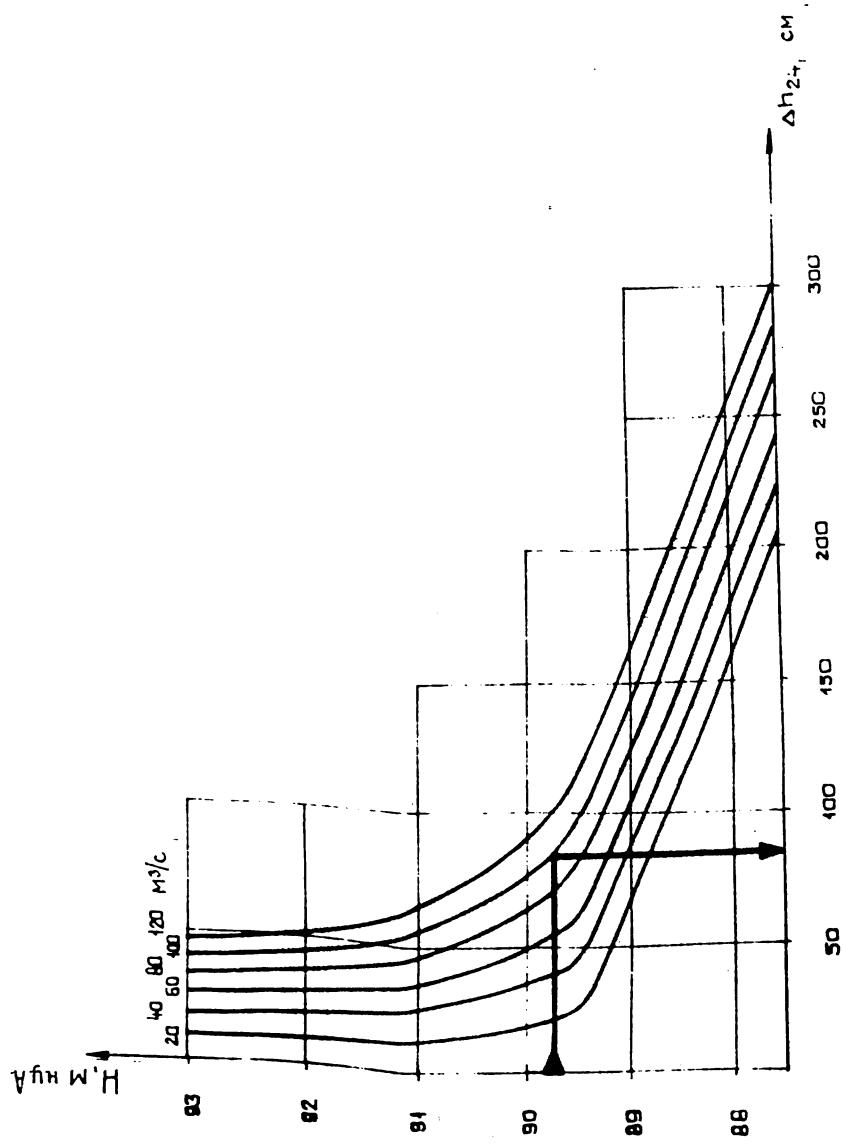


Рис. 3. Изменение уровня (Δh_{2z}) за сутки в зависимости от начального уровня верхнего бьефа (H_0 , м H₂O) и расхода р. Шио (Q_0 , m^3/c)

Таблица частных значений функции $z(\tau, t)$

Таблица 1.

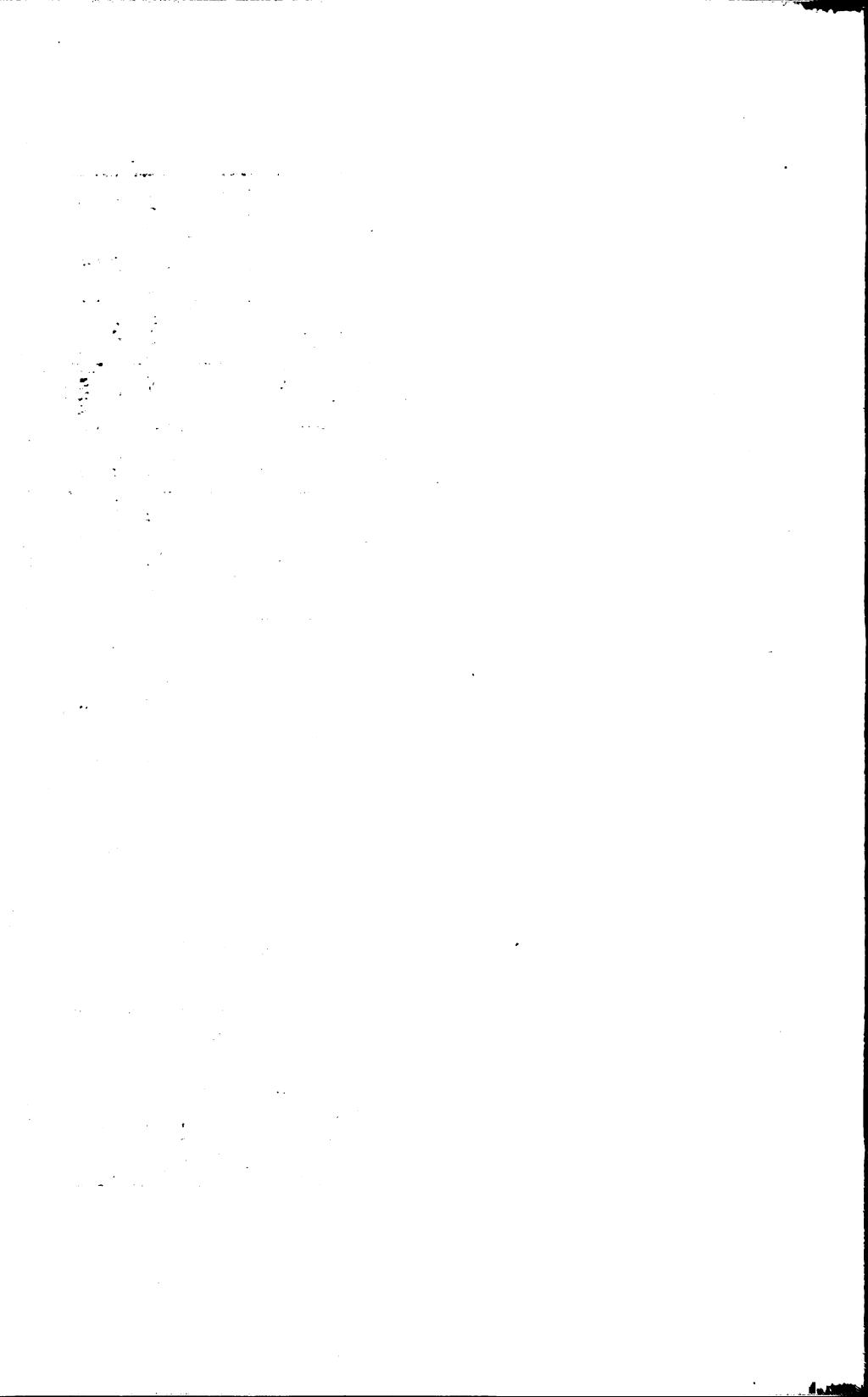
τ/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	1,2	1,6
	0,900	0,801	0,711	0,633	0,468	0,322	0,256
1,000	0,999	0,990	0,970	0,872	0,705	0,602	
	1,000	1,000	0,998	0,969	0,872	0,787	
			1,000	0,993	0,944	0,886	
				0,998	0,976	0,939	
				1,000	0,989	0,967	
					0,995	0,982	
					1,000	0,991	
						0,994	
						1,000	
$2,0$	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9
0,213	0,196	0,189	0,182	0,170	0,164	0,159	0,154
0,522	0,490	0,475	0,461	0,435	0,423	0,412	0,401
0,711	0,676	0,660	0,644	0,615	0,601	0,588	0,576
0,824	0,794	0,780	0,766	0,738	0,725	0,712	0,699
0,893	0,870	0,858	0,846	0,822	0,810	0,798	0,787
0,935	0,917	0,908	0,898	0,879	0,869	0,859	0,849
0,961	0,947	0,940	0,932	0,917	0,909	0,901	0,893
0,976	0,967	0,961	0,955	0,944	0,937	0,931	0,924
0,985	0,979	0,974	0,971	0,962	0,956	0,952	0,946
0,991	0,987	0,983	0,981	0,974	0,970	0,966	0,962
0,994	0,991	0,989	0,987	0,982	0,979	0,976	0,973
1,000	0,994	0,993	0,992	0,988	0,986	0,983	0,981
	1,000	1,000	1,000	0,992	0,990	0,988	0,986
			1,000	0,993	0,991	0,990	
				1,000	0,994	0,993	
					1,000	0,995	
						1,000	

Материална променливина на боярския р. Дунай от ст. Бъдешт до ст. Димитровград

(в съб. 1975 г.)

$Q_0 = 3800 \text{ м}^3/\text{s}$	Дата	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\Delta Q_{\text{бр.}}$		-0,7	1,2	1,6	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	2,9	2,7	
2	38/10	-110	51	71	85	91	96	100	103	105	106	107	108	109
3	42/9	380		108	229	270	302	326	341	344	354	359	366	370
4	48/0	61,0			177	355	464	530	575	597	613	629	643	654
5	56/60	690				147	338	450	528	567	593	616	634	651
6	64/80	820					161	390	528	675	854	696	737	754
7	71/90	710						134	326	437	505	559	603	634
8	74/80	300							55	130	176	210	238	254
9	74/90	0								0	0	0	0	
10	72/20	-270								-43	-108	-155	-189	-215
11	67/80	-440									-68	-176	-253	-313
12	60/60	-720										-111	-289	-423
13	54/20	-640											-99	-264
14	50/40	-380												-60
	ΣQ_A	3851	3979	4297	4663	5158	5730	6256	F587	6757	6789	6888	6404	6047
	$H_A, \text{м}, \text{см}$	620	638	641	626	680	737	785	810	819	821	815	796	766
	$H_A, \text{набл., см}$	524	536	572	624	646	734	782	807	823	828	813	796	760

Пътнаят 3-етапен $T = 1,2 \text{ сутн.}$ и $\Sigma Q = 3400 + 0,322 \cdot 380 + 0,705 \cdot 110 = 3979 \text{ м}^3/\text{с}$



ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ
ПРОГНОЗА ПАВОДКОВ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ТИСЫ

Шандор Ковач, Водохозяйственное управление Средне-Тисайской
территории, г. Сольнок, Венгрия

REZUME

THE APPLICATION OF REGRESSION EQUATIONS
FOR PREDICTING HIGH FLOWS IN THE MIDDLE PART OF
RIVER TISZA

The paper presents methods for predicting high flows in the middle part of River Tisza. The predictors were derived by means of linear and nonlinear regression analyses. The prediction of peak stages and continuous stage forecasts with 1,2 and 3 days lead time, respectively, are presented. Since the regression models are not really capable to follow changes of the flood wave travelling downstream therefore the flood waves were clustered into classes. In predicting peak flows the flood waves were classified into simple and composite waves, respectively. For continuous forecasts separate computations were done for the rising and falling limbs, respectively. The predictors derived in this manner proved to be suitable in accuracy. To preserve the accuracy, however, continuous updating is required by considering the latest flood waves. The paper presents numerical case studies for the middle part of River Tisza.

HOCHWASSERVORHERSAGE AUF DER MITTLERE STRECKE
DER THEISS MIT REGRESSIONSGLEICHUNGEN

„ handelt sich in dem Artikel um Vorhersagemethoden die zu Hochwasservorhersagen auf der mittleren Strecke der Theiss geeignet sind. Die Gleichungen der Vorhersage wurden mit linearen und nonlinearen Regressionsverfahren aufgestellt. Im Artikel werden Modelle für die Vorhersage des Scheitels und für 1,3 und 3-tägige Echtzeitvorhersage vorgeführt. Da die statische Regressionsmodelle nicht fähig sind, die Änderungen die in den Wellen während ihres Ablaufes auftreten zu beschreiben, eine Typisierung der verschiedenen Hochwasserwellen ist nötig geworden. Bei der Vorhersage des Hochwasserscheitels können z.B. die Wellen auf einfachen oder zusam-

mengesetzten Typen klassifiziert werden. Bei Echtzeitvorhersagen wurden die auf- und absteigende Äste mit verschiedenen Modellen beschrieben. Die so aufgestellten Gleichungen geben schon zuverlässige Vorhersagen. Um die Zuverlässigkeit dieser Gleichungen zu bewahren, soll man sie mit neuen Hochwellendaten wieder und wieder erneuern. Es werden im Artikel numerische Beispiele für die mittlere Strecke der Theiss vorgeführt.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В работе показаны модели прогноза паводков в среднем течении реки Тисы.

При построении прогностической модели принимались во внимание два требования. Во-первых, в интересах руководства по борьбе с наводнениями необходимо давать с достаточной точностью и заблаговременностью сообщения о режиме стока ожидаемой паводочной волны. Во-вторых, независимо от того, что методы построения модели математико-статистические, они должны быть в достаточной степени обновленными и отражать изменение водной системы реки. Это требование вызвано значительными изменениями водной системы Тисы за прошедшие годы.

В результате проведения работы по регулированию водного русла, строительства дамб уменьшилось время образования стока в верхнем течении реки, что способствует образованию паводочных волн. В среднем течении реки в связи со строительством летних дамб произошло сужение русла, что привело к повышению уровней реки.

Применяемый математический метод, метод регрессии, как известно, сам по себе не является методом прогноза. Пренебрежение гидрологическими и гидравлическими законами приводит к неточности прогностических зависимостей. Но с использованием связей, основывающихся на физических закономерностях, методы регрессии приемлемы для определения численных значений различных параметров. Ниже приведены прогнозы пика паводка и прогнозы ожидаемых уровней паводка с заблаговременностью 1, 2 и 3 суток.

ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА

В связи с развитием водного хозяйства возрос спрос на надежные прогнозы.

В ходе подготовки к борьбе против высоких паводков одной из важнейших характеристик является пик паводочной волны. Наряду с прогнозом пика паводка значительную информацию дают ежедневные прогнозы паводка. Эти прогнозы дают возможность организовать противопаводочную работу в

зависимости от степени наводнения, уточнить прогноз пика паводка.

Определение прогностической зависимости произошло на основании обработки данных действующих станций. Прогнозы были разработаны для пяти станций: Тисафюред, Кишкере, Сольнок, Тисауг и Чонград.

На рис. 1 представлена водная система реки Тисы и станции на ней, данные которых использовались при разработке прогноза.

МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПИКА ПАВОДКА

Физические основы модели

Формирование паводочной волны и ее форма зависят от рельефа и размера юэдосбора, морфологических и гидравлических характеристик русла реки. Знание этих характеристик, точность данных в большой мере ~~влияют на~~ эффективность прогностического метода.

Как уже упоминалось в предисловии, в последние годы значительно изменился режим стока водной системы Тисы. В условиях небольшого уклона русла среднего течения реки и сравнительно небольших поперечных сечений, образовавшихся в результате создания летних дамб, набегание незначительных волн, поступающих с верхних участков реки, приводит к высоким паводкам.

При проведении опытных прогнозов был сделан вывод о необходимости разделения паводочных волн на простые (однопиковые) и сложные (многопиковые). Вопрос о борьбе с паводками возникает в том случае, если максимальный уровень на водомерном посту Сольнок превышает 650 см. Выше этого уровня особенно важно знать параметры паводочной волны. При уровнях выше 650 см вода почти по всей длине реки выходит на пойму, что влияет на режим стока.

С учетом вышесказанного были выбраны 52 паводочные волны, максимальный уровень которых превысил 600 см по водомерному посту Сольнок. При прогнозе пика паводочной волны, ожидаемого на данном посту, используются уровни водомерных постов, относящихся к моменту времени t . Этот момент t — время наблюдения максимального уровня на выбранном верхнем посту.

Использованные математические методы

Построение прогностических связей происходило на основании вычисления регрессионных уравнений линейного и нелинейного типов. Расчеты производились на ЭВМ. Описание расчетов не приводится, по-

добные методы подробно изложены во многих работах [2]. Для характеристики более сложных гидрологических явлений используются расчеты нелинейной регрессии [1, 3]. Метод основывается на двух трансформациях:

Возможность использования правил линейной системы в нелинейной системе приводит к необходимости нормализации рядов зависимых и независимых переменных. Для получения действительной зависимости необходимо произвести обратную трансформацию значений, рассчитанных по линейной регрессии.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗОВ ЕЖЕДНЕВНЫХ УРОВНЕЙ ПАВОДКОВ

В случае краткосрочных прогнозов на бесприточных или слабопиточих участках рек, основанных на наблюдениях за уровнем воды, прогнозируемый уровень на нижнем посту "A" зависит от уровня воды на верхнем посту "B" и от времени добегания τ .

$$H_{A,t+\tau} = f(H_{B,t}, \tau) \quad (1)$$

где t - время выдачи прогноза, τ - заблаговременность прогноза.

Время добегания τ в момент времени t зависит от уровня воды исследуемого поста H , от уклона поверхности воды I , от длины участка реки L , морфологических характеристик русла K и коэффициента шероховатости n :

$$\tau = f(H, I, L, K, n) \quad (2)$$

На данном участке $L=const$; K и n зависят от H , отсюда $\tau = \tau(H, I)$, и из зависимости (1) получим

$$H_{A,t+\tau} = f(H_{B,t}, I_t) \quad (3)$$

Уклон водной поверхности I в момент времени t зависит от разности $H_{B,t}$ и $H_{A,t}$, следовательно:

$$H_{A,t+\tau} = f(H_{A,t}, H_{B,t}) \quad (4)$$

Эффективность прогнозов повышается при увеличении числа независимых переменных уравнения (4):

$$H_{A,t+\tau} = f(H_{A,t}, H_{B1,t}, H_{B2,t}, \dots, H_{Bn,t}) \quad (5)$$

Учитывая влияние интенсивности подъема и спада паводка на прогнозы, вместо уровней воды целесообразно использовать их изменение за какой-то период времени. Окончательную форму можно записать в следующем виде:

$$H_{A,t+\tau'} = f(H_{A,t}, \Delta H_{B1,t-(t-\tau')}, \dots, \Delta H_{Bn,t-(t-\tau')}) \quad (6)$$

где $\Delta H_{Bn,t-(t-\tau')}$ - изменение уровня воды за $t-(t-\tau')$ период на n -ом водомерном посту.

Авт. На первом этапе исследований расчеты производились на весь паводок. На втором этапе составлялись зависимости отдельно на периоды подъема и спада. Зависимости, полученные во втором случае, дают лучшие результаты.

Прогностические зависимости составлялись с использованием расчетов линейной регрессии.

ОЦЕНКА МЕТОДОВ

Для оценки оправдываемости прогностических зависимостей использовались следующие характеристики:

среднее абсолютное отклонение ошибки прогноза $\bar{\Delta}H$

среднее квадратичное отклонение проверочных прогнозов

степень точности методики

$$\gamma = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma'}{\sigma}\right)^2} \quad (7)$$

где σ - среднее квадратичное отклонение данных

η' - оценка эффективности методики

$$\eta' = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma'}{S}\right)^2} \quad (8)$$

где S - среднее квадратичное отклонение переменной от среднего ее изменения за период заблаговременности прогноза. Прогноз считается хорошим, если $\eta' \geq 0,90$; удовлетворительным, если $\eta' \geq 0,80$; слабым, если $\eta' \geq 0,60$; неудовлетворительным, если $\eta' < 0,60$.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ

Из-за ограниченных размеров работы прогностические уравнения приводятся лишь только для станции Сольнок.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПИКА ПАВОДКА

Прогнозы выдаются на момент времени поступления максимального уровня на станции Вашарошнамень, Токай, Тисафюред.

Прогностические уравнения расчитывались с использованием линейной и нелинейной регрессии. Из-за ограниченных размеров работы нелинейные зависимости не приводятся.

В уравнениях использовались следующие обозначения: m - максимальный уровень; e - одновременные уровни воды в момент времени поступления максимального уровня на верхнем выбранном посту; B_m - уровень воды на станции Вашарошнамень; T - уровень воды на станции Токай; Φ - уровень воды на станции Фелшебереки; $T\Phi$ - уровень воды на станции Тисафюред; C - уровень воды на станции Сольнок; $Ч$ - уровень воды на станции Чонград; CD - уровень воды на станции Сегед.

Прогностические уравнения имеют следующий вид:

а) на момент времени пика паводка у ст. Вашарошнамень:

- в случае однопиковых паводков

$$C_m = 0,345 B_m + 0,333 T_e + 0,171 C_e + 0,155 CD_e + 55$$

- в случае многопиковых паводков

$$C_m = 0,072 B_m + 0,223 T_e + 0,178 \Phi_e + 0,100 T\Phi_e + 0,255 C_e + 0,241 Ч_e + 0,060 CD_e + 44$$

б) на момент времени пика паводка у станции Токай

- в случае однопиковых паводков

$$C_m = 0,174 T_m + 0,213 B_e + 0,109 \Phi_e + 0,731 C_e + 0,0734 Ч_e - 71$$

- в случае многопиковых паводков

$$C_m = 0,055 T_m + 0,082 B_e + 0,142 \Phi_e + 0,364 T\Phi_e + 0,308 C_e + 0,176 Ч_e + 0,129 CD_e - 50$$

в) на момент времени пика паводка у станции Тисафюред

из-за небольшого расстояния Сольнок-Тисафюред нормализация

че производилась).

$$C_{..} = 0,096 T\Phi_M + 0,092 T_e + 0,805 C_e + 0,076 \Delta C_e - 14$$

Оценка прогностических уравнений с использованием линейной регрессии дается в таблице 1, а с использованием нелинейной регрессии — в таблице 2.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЕЖЕГОДНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ

Авт. В уравнениях используются следующие обозначения: t — время выдачи прогноза; τ — время, на которое выдается прогноз; C — уровень воды на станции Сольнок; ΔT_L — изменение уровня воды за период времени $(t-i)-(t-\tau-i)$ на станции Тисалек, ΔT_K — на станции Тисакеси, $\Delta T\Phi$ — за станции Тисафюред, ΔK — на станции Кишкере, ΔT_B — на станции Тисабеч. ΔT_U — ^{РЕЗЮМЕ} на станции Тисауг; i — принимает значения 0, 1, 2, 3 в зависимости от расстояния от прогнозируемой станции (в данном случае от Сольнока).

Прогностические зависимости имеют следующий вид:

а) прогноз на 1 день

— подъем паводка

$$C_{t+1} = 1,01 C_t + 0,231 \Delta T_U_{t-(t-1)} + 0,181 \Delta T_B_{t-(t-1)} + 0,276 \Delta K_{t-(t-1)} + 0,111 \Delta T\Phi_{(t-1)-(t-2)} - 5$$

$$\Delta H = 4 \text{ см}; \sigma' = 5 \text{ см}; n' = 0,837$$

— спад паводка

$$C_{t+1} = 1,02 C_t + 0,170 \Delta T_U_{t-(t-1)} + 0,561 \Delta T_E_{t-(t-1)} + 0,104 \Delta K_{t-(t-1)} - 18$$

$$\Delta H = 2 \text{ см}; \sigma' = 3 \text{ см}; n' = 0,928$$

б) прогноз на 2 дня

— подъем паводка

$$C_{t+2} = 1,04 C_t + 0,181 \Delta T_U_{t-(t-2)} + 0,374 \Delta K_{t-(t-2)} + 0,313 \Delta T\Phi_{t-(t-2)} + 0,023 \Delta T_K_{(t-1)-(t-3)} - 27$$

$$\Delta H = 8 \text{ см}; \sigma' = 9 \text{ см}; n' = 0,824$$

- спад паводка

$$C_{t+2} = 1,07 C_t + 0,200 \Delta T_{t-(t-2)} + 0,805 \Delta K_{t-(t-2)} + \\ + 0,122 \Delta T_{\Phi(t-2)} - 60$$

$$\bar{H} = 4 \text{ см}; \sigma' = 5 \text{ см}; n' = 0,933$$

в) прогноз на 3 дня

- подъем паводка

$$C_{t+3} = 1,03 C_t + 0,159 \Delta T_{t-(t-3)} + 0,642 \Delta K_{t-(t-3)} + \\ + 0,019 \Delta K_{(t-1)-(t-4)} + 0,024 T_{\Phi(t-1)-(t-4)} - 25$$

$$\bar{H} = 9 \text{ см}; \sigma' = 11 \text{ см}; n' = 0,840$$

REZUM спад паводка

$$C_{t+3} = 1,21 C_t + 0,173 \Delta T_{t-(t-3)} + 0,666 K_{t-(t-3)} - 185$$

$$\bar{H} = 7 \text{ см}; \sigma' = 8 \text{ см}; n' = 0,941$$

АНАЛИЗ ПРОГНОЗОВ

Прогноз пика паводочной волны осуществляется с помощью линейной и нелинейной регрессии. Оба метода дают похожие результаты. Вычисление нелинейной регрессии лишь незначительно повышает точность прогноза. В некоторой мере это объясняется тем, что распределение переменных величин хорошо описывается нормальным распределением. С другой стороны, в случае выдачи прогнозов в момент времени пика паводков на станциях Вашарашамень и Токай заблаговременность прогноза настолько велика (8-14 дней), что уменьшение ошибки на несколько сантиметров можно достигнуть лишь введением более сложных зависимостей, учитывая влияние многих других факторов. Применяя метод типизации паводочных волн, удалось значительно улучшить точность прогноза. Определение прогностических уравнений для прогноза ежедневных уровней воды осуществлялось вычислением регрессионных зависимостей. Полученные прогностические уравнения дают надежные результаты. С наименьшими ошибками метод оправдывается для станций Кышкере и Сольник, менее эффективен в случае Тисафире. Площадь поперечного сечения у станции Тисафире больше, чем у других рассматриваемых станций. Среднее квадратичное отклонение переменной за период заблаговременности прогноза меньше, чем на других станциях. Это приводит к уменьшению эффективности

методики. Прогнозирование на станциях Чонград и Тисауг наиболее сложно. Оно затруднено интерференцией паводочных волн трех рек: Тисы, Кереша и Марсша.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены прогностические уравнения, вычисленные с использованием регрессионных зависимостей. Полученные прогностические зависимости позволяют давать прогнозы с достаточной точностью. Возможна усовершенствование прогностических зависимостей путем использования вычислительной техники.

Учитывая приемлемость методов регрессии только при определенных условиях, необходимо следить за постоянно происходящими искусственными изменениями на водосборе реки. При прогнозировании влияние этих изменений лучше всего можно учесть, используя детерминистические методы. Однако возникающие при использование детерминистических методов методические проблемы, высокие требования к данным затрудняют их применение, создают необходимость развивать и использовать статистические методы.

ЛИТЕРАТУРА

АЛЕКСЕЕВ, Г.А.: Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Гидрометеоиздат, Ленинград, 1971.

KORN, G.A., KORN, T.M.: Matematikai kézikönyv műszakiaknak, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975

ОЦЕНКА ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

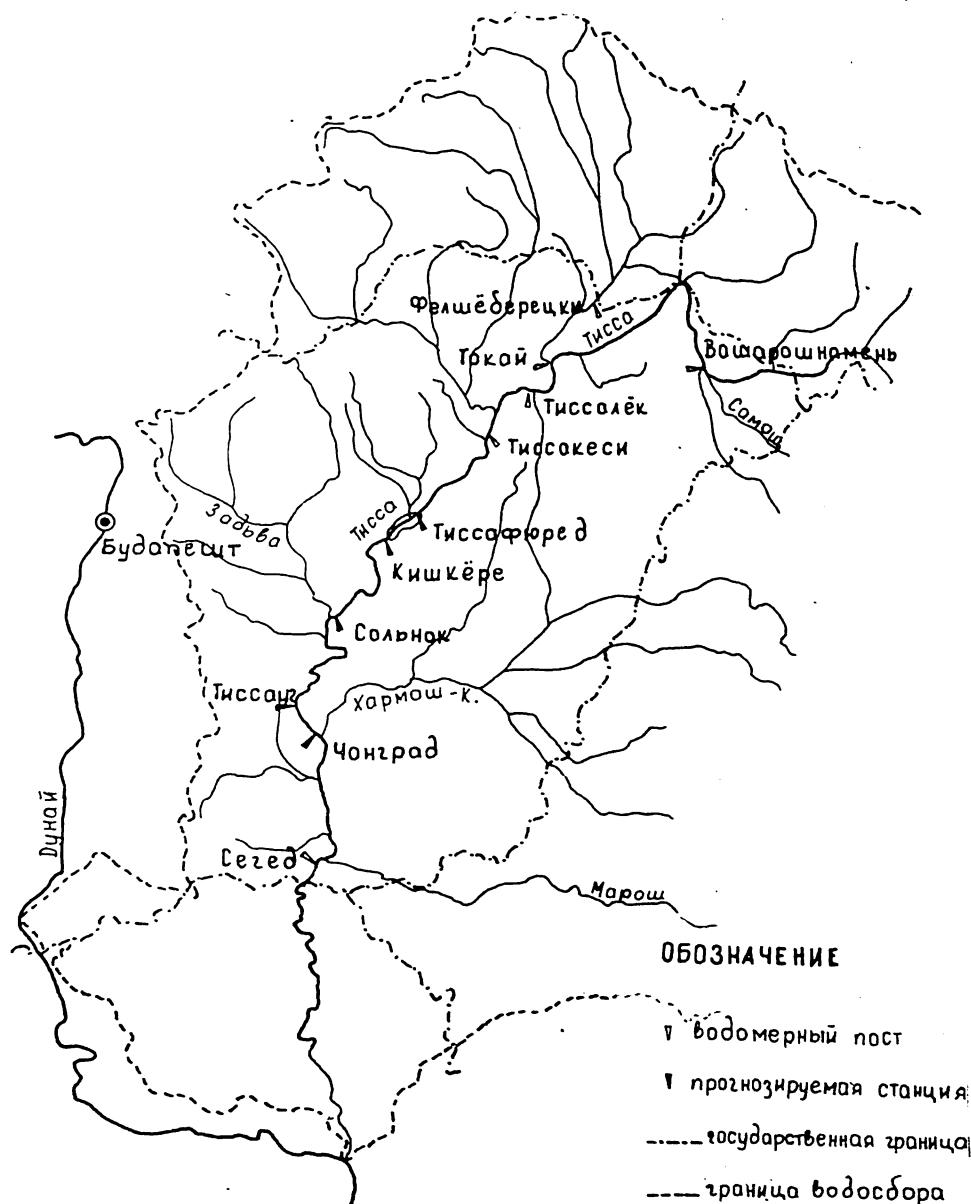
таблица 1.

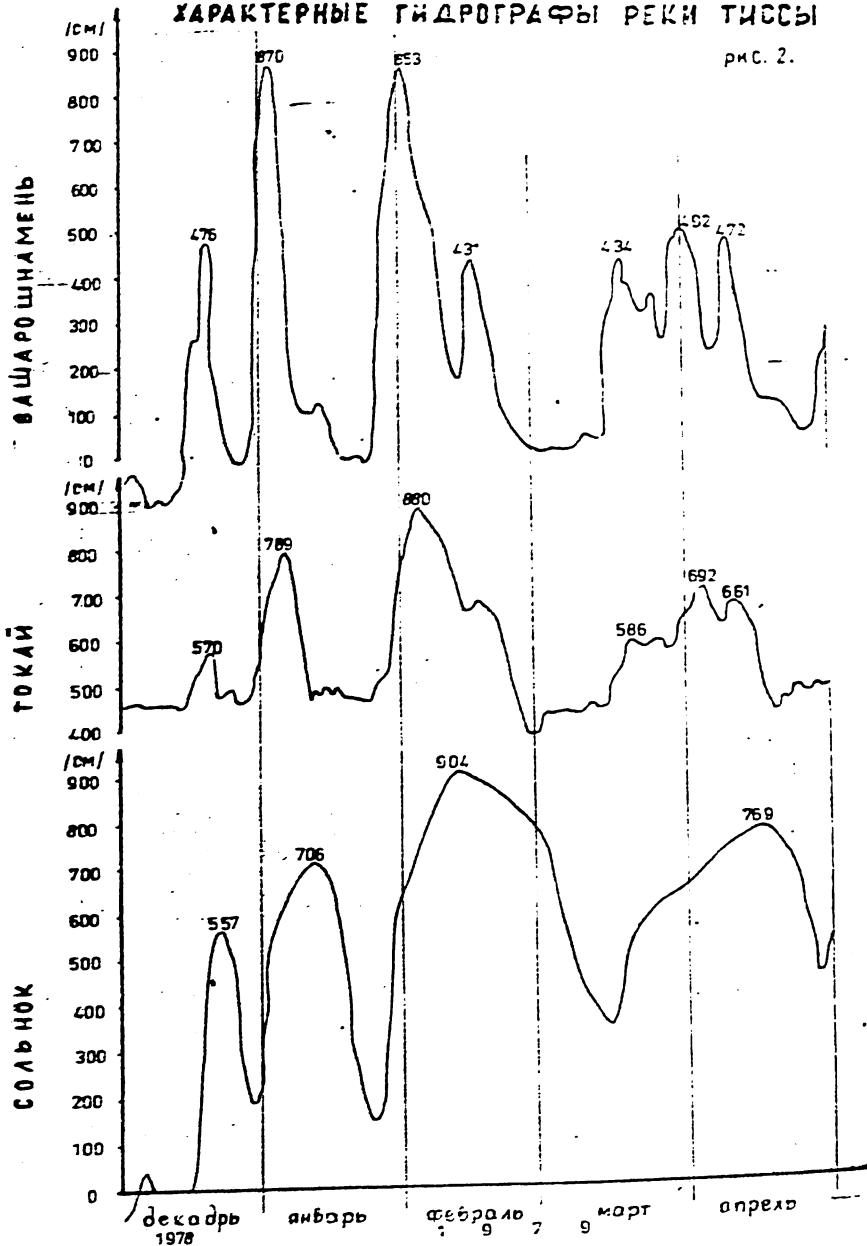
РАСЧЁТЫ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ						
харак.	по ст. Вашарошнамень		по ст. Токай		по ст. Тисса-Фюред	
	без типизацией	с типизацией	без типизацией	с типизацией	простая	сложная
R	0.940	0.962	0.986	0.954	0.979	0.984
ΔH	30	24	12	25	18	10
σ	37	28	16	29	21	15
η	0.94	0.96	0.98	0.95	0.97	0.98
η'	0.89	0.94	0.88	0.84	0.90	0.82

таблица 2.

РАСЧЁТЫ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ					
харак.	по ст. Вашарошнамень		по ст. Токай		по ст. Тисса-Фюред
	простая	сложная	простая	сложная	
R	0.975	0.990	0.982	0.985	0.994
ΔH	20	11	15	11	6
σ	25	14	18	15	8
η	0.96	0.98	0.98	0.98	0.99
η'	0.95	0.91	0.91	0.83	0.82

РИС. 1. ВОДНАЯ СИСТЕМА РЕКИ ТИССЫ





ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАУЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НИЗОВЬЕ БОДРОГА
В ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ ПРОГНОЗА СЛОВАЦКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

ERFAHRUNGEN AUS DER ANWENDUNG DES HYDRAULISCHEN MODELLS
AUS DOLNÝ BODROG IM HYDROLOGISCHEN VORHERSADEDIENST DES
SLOWAKISCHEN HYDROMETEOROLOGISCHEN INSTITUTS

Ing. Karol Martinka
Slowakisches Hydrometeorologisches Institut, Bratislava
Ing. Jirí Zegulák, CSc.
Hochschule für Landwirtschaft, Prag

Das hydraulische Modell basiert auf dem dynamischen Vorgehen und sein Zweck ist die Simulation der nichtstationären Wasserströmung in natürlichen Flussbetten bei Erwägung der Wirkungen der Rückstauung aus unteren Talsassen.

Die Lösung ist im zeitlich-räumlichen Bereich durchgeführt. Sie nutzt Methoden der numerischen Lösung partieller Differentialgleichungen der Bewegung und der Kontinuität durch ein implizites Differentialschema. Die Koeffizienten des impliziten Schemas sind zu 4-diagonalen Matrizen zusammengestellt und das System nutzt die Lösung des "double sweep" - Algorithmus /Preissman/. Die zeitliche Abhängigkeit ist in der dynamischen Bedingung erworben.

In der Schlussfolgerung wurde ein komplexes mathematisches Modell des Flusssystems bei Dolný Bodrog ausgearbeitet, das für die Simulation und die Vorhersage des hydraulischen Regimes im erwogenen Gebiet nach dem Profil Streda nad Bodrogom dient. In der allgemeinen Form kann dieses System die Hauptkomponenten des Oberflächenabflusses für den Bedarf einer breiten Nutzerschicht aus verschiedenen Fachrichtungen der Hydrologie, der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft und des Umweltschutzes simulieren. Das Modell wurde vom Modelliersystem MUF SYS abgeleitet und auf dem Rechenautomat EC 1040 implementiert.

EXPERIENCES FROM THE APPLICATION OF THE HYDRAULIC MODEL OF
THE LOW BODROG BY THE HYDROLOGICAL FORECASTING SERVICE OF
THE SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

Ing. Karol Martinka
Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava
Ing. Jiri Zezulak, CSc.
Agricultural College, Prague

The hydraulic model is based on the dynamical approach and its aim is to simulate a non-stationary flow in natural channels when considering backwater effects from low reaches.

The solution is carried out in time-spatial relations. It uses the numerical solution of the complete partial differential system of the laws of mass and momentum conservation by implicit differential scheme. The coefficients of the implicit scheme are organized in the 4-diagonal matrix and the system is solved by means of the double sweep algorithm /Preissman/. Time dependence is considered in the dynamical condition.

At last the complex mathematical model of the river system on the low Bodrog has been worked out, which serves for simulating and forecasting the hydraulic regime in the mentioned area to the profile Streda nad Bodrogom. In its general form the system can simulate the main components of the surface runoff for needs of wide circles of users from the different fields of hydrology, water service, agriculture and environmental protection. The model has been derived from the modelling system MUFSYS and implemented in the computer EC 1040.

инж. Карол Мартинка
Словацкий гидрометеорологический институт, Братислава
инж. Иржи Зезулак, канд. наук
Сельскохозяйственный институт, Прага

Сложный водохозяйственный режим Восточнословецкой низменности является одним из важнейших факторов, обуславливающих хозяйственное использование и дальнейшее развитие данной области. В настоящее время элементами защиты от наводнения на Восточнословецкой низменности является:

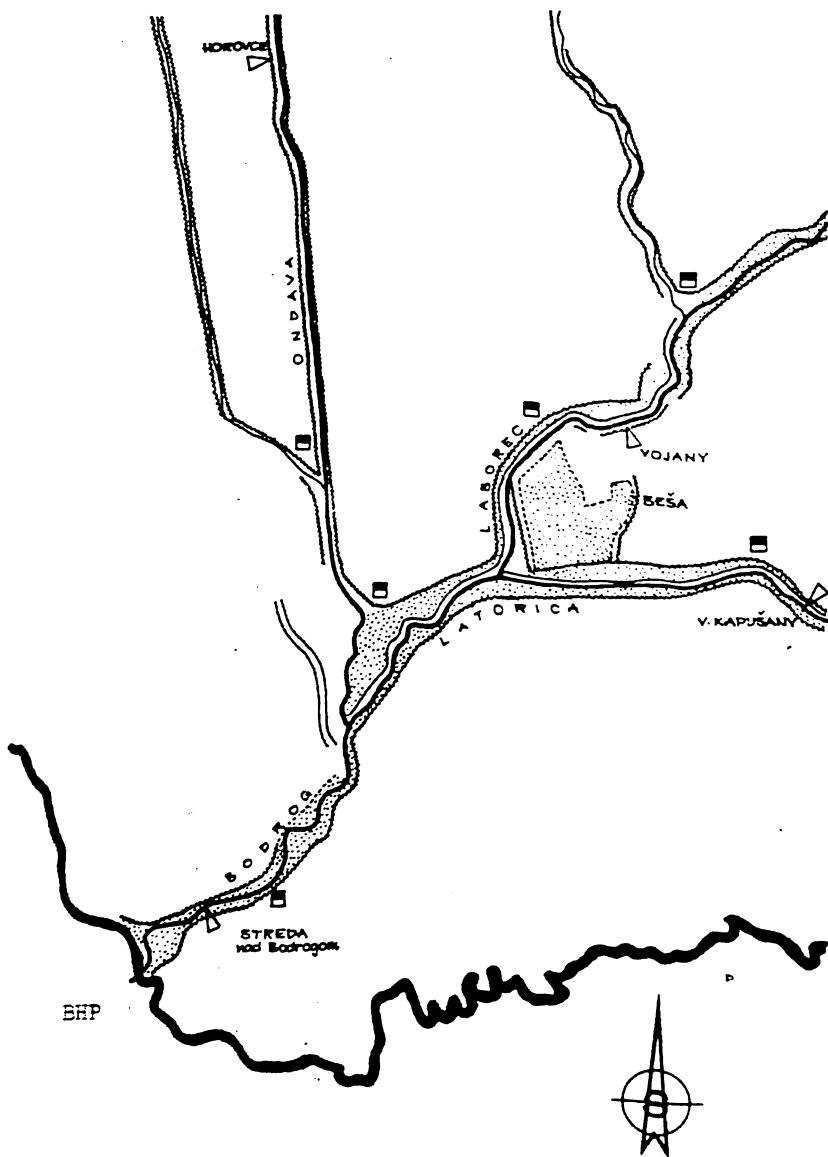
- система защитных дамб на водотоках,
- водоемы на главных водотоках.

Их эффективность различна, зависит от их пространства водоема в данном моменте и от развития паводковой ситуации в конкретном случае. Чтобы их возможности были оптимально использованы, необходимо прогнозировать расходы на главных водотоках Восточнословецкой низменности. Для обеспечения данной деятельности было необходимо разработать имитационную и прогнозную модель речной системы Бодрог, Леборец, Ондева и Латорица, в своей первой фазе ограниченная створами Стреда над Бодрогом, Ижковце, Горовце и Вельке Кепушены (рис. I). Склон водотоков отличается сильно низменным характером с неблагоприятным результатом обратного подпора в пределах целой сети. Нижний замыкающий створ находится под влиянием гидroteхнического сооружения Тисалёк, кроме того, паводков на р. Тиса.

В системе работает польдер Беша, целью которого является понижение паводочных максимальных уровней воды в случае опасности переливания воды через защитные валы. Мощность упомянутой боковой ретенции регулируются подвижным затвором.

Вышеупомянутая действительность практически исключила использование гидрологических моделей и должны были быть использованы гидродинамические модели, использующие закономерности гидродинамики течения.

Примененная динамическая речная модель простой реки



УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ:

- [■] тлоjма
- [—] сплoшные вaлы
- [■] насосные станции

МАСШТАБ: 1 : 200 000

Рис.1. Схема рассматриваемой области

или динамического слияния отдельных компонентов предложена для расчета 1-размерного неустановившегося движения воды в открытых руслах. Модель основана на числовом решении системы дифференциальных уравнений с частными производными движениями и непрерывности в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - B \frac{\partial H}{\partial t} = q_{LAT} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2dQ}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{A^2} \cdot \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{Q^2}{A} \frac{\partial \alpha}{\partial x} + g \cdot A \frac{\partial H}{\partial x} + q \frac{Q|Q|}{c^2 AR} - v_{LAT} \cos \varphi q_{LAT} = 0 \quad (2)$$

где:

Q	$[m^3/\text{сек.}]$	.....	расход зависимая переменная
B	$[m]$	.....	ширина объема
q_{LAT}	$[m^2/\text{сек.}]$	.....	боковой приток
x	$[m]$	.....	расстояние (продольное)
t	$[\text{сек.}]$	.....	время
H	$[m]$	.....	уровень воды (над нулевым горизонтом) зависимая переменная
R	$[m]$	.....	гидравлический радиус
v_{LAT}	$[m/\text{сек.}]$	.....	скорость течения бокового притока
φ		.....	угол между главной рекой и притоком
c	$[m^{1/2}/\text{сек}]$	.....	коэффициент Шези
g	$[m/\text{сек}^2]$	.....	ускорение свободного падения
α		.....	число Корiolisса
A	$[m^2]$	.....	площадь поперечного сечения

Коэффициенты неявной схемы организованы в 4-дименсиональной матрице и система решения с помощью "double sweep" алгоритме (Preissmann a Cunge). Решение проходит в пространственно разделенных узловых точках (J-POINTS) и алгоритм циклически повторяется для отдельных временных уровней.

Имитационная и прогнозная система нижнего течения Бодрого была выведена из водохозяйственной моделирующей системы MUFSYS 3. Система подходит для расчетов моделирования действительных и расчетных ситуаций стока, а также для

краткосрочных гидрологических прогнозов. Система решает две основных задачи:

- создает (генерирует) модель гидросистемы на основе соединения модели ее отдельных составляющих;
- следит за применением возникшей модели для решения временного хода основных гидрологических величин в выбранных точках гидросистемы.

Расчленяющий принцип системы позволяет решить отдельные достаточно гомогенные подсистемы как относительно самостоятельные системы - компоненты.

Характерной чертой данной системы моделирования является ее способность создавать модель гидрологической или водохозяйственной системы любой по сложности топографической структуре. Кроме того, система позволяет изменять как топографию, так и примененную технику моделирования, таким образом мы можем переходить от простого набоска модели к все более совершенным и точным формулировкам.

Конкретная модель использует 3 фазы программного обеспечения:

- идентификационная фаза IDENT - часть моделируемой системы, проводящая разработку и составление. Организует составление последовательности "дерева" и выведение величин независимых во времени параметров. Является генератором модели гидросистемы.
- б) моделирующая (прогнозная фаза) SIMFOR - исполнительная часть системы моделирования. Предоставляет значения решения гидрологических величин (расходов, уровней воды и т.д.) во временной зависимости в выбранных точках гидросистемы. Данная фаза зависит от предшествующего действия программы IDENT.
- в) фаза предоставления результатов DISPLAY.

Речная система на ограниченной площади была решена в рамках одной составляющей динамической модели речной сети в простой форме дерева. Система разделена 41 условными точками (J-POINTS) (рис. 2), включает главный водоток, представленный Водрогом и Латорицой, и два притока - Лаборец и Ондаву. Лаборец, Водрог и Латорица относятся к водотокам чисто нижнего характера с возможностью отрицательного

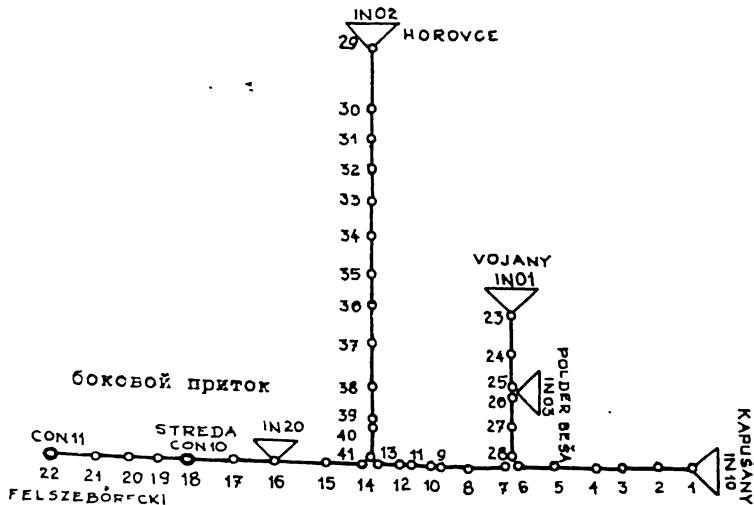


Рис. 2

склона уровня, т.е. и отрицательных расходов. Величины коэффициентов скорости были уточнены на основе реверсивной схемы, исходящей из пяти отметок продольных уровней и их соответствующих расходов.

Коррекцию решения в случае проведения прогноза можно проводить на основе измерения уровней в створе Стреда над Бодрогом. Остальные внешние составляющие системы могут быть заданы в виде расходов или, лучше, уровней воды (хотя бы в створе Илковце и Вельке Капушани, где грозит влияние обратного подпора).

Ввиду специфического гидравлического режима было необходимо провести модификации с точки зрения гидравлики:

- существование радиального течения и из этого вытекающее отделение стока в главном водотоке от ретенции в моделируемых областях;
- с этим связана необходимость выражения поперечного укло-

СЛОВАЦКИЙ ГИГРОМЕТЕРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ, ВРАТИСЛАВА — ОИРН

О ПИТАЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

ПРОГНОЗ РЕЖИМА РАСХОДОВ СИСТЕМЫ ВОДРОГ

ДНЯ 22/ 7/1980

ДАТА ЗАПУСКА	22/ 7/1980	22/ 7/1980	0.00 ЧАС.
НЧИСК ПРОГНОЗА :	22/ 7/1980	16.00	0.00 ЧАС.
КОНФЦ ПРОГНОЗА :	24/ 7/1980	0.00 ЧАС.	

	ДЕНЬ:	22/ 7/1980	22/ 7/1980	23/ 7/1980							
	ВРЕМЯ:	0.00	4.00	8.00							
РАСХОД											
*КАРСАНУ *12KVCE *HORVCE *STRADA *FIKT.PRI.	(J= 1) (J=2,3) (J=2,5) (J=1,8) (J=2,2)	49.**12 44.**49 22.**04 1.**5.68 146.**00	48.**50 76.**82 61.**27 143.**14 143.**70	47.**64 109.**99 51.**39 141.**17 137.**48	20.**69 141.**17 59.**31 172.**69 161.**00	1.**23 1.**26 1.**25 1.**23 1.**24	1.**6.68 1.**20 1.**26 1.**7.72 1.**7.79	23.**46 274.**79 66.**51 220.**45 217.**22	53.**24 329.**67 64.**71 242.**57 244.**67	61.**04 310.**63 8.**51 262.**09 263.**10	59.**48 437.**76 114.**35 273.**61 271.**15
УРОВЕНЬ (ВАЛТ)											
*КАРСАНУ *12KVCE *HORVCE *STRADA *FIKT.PRI.	(J= 1) (J=2,3) (J=2,5) (J=1,8) (J=2,2)	97.**05 97.**45 102.**58 95.**77 95.**38	51.**36 91.**91 102.**82 95.**76 95.**44	97.**05 91.**26 102.**73 96.**66 93.**11	50.**07 50.**82 50.**82 50.**31 50.**02	1 1 1 1 1	50.**39 79.**42 103.**05 96.**57 76.**04	90.**57 79.**42 103.**02 97.**02 75.**05	56.**85 100.**13 102.**99 97.**05 94.**99	59.**07 100.**54 103.**28 97.**10 94.**94	99.**19 100.**96 103.**61 97.**16 94.**99
УРОВЕНЬ (УРОВЕНЕМЕР)											
*КАРСАНУ *12KVCE *HORVCE *STRADA *FIKT.PRI.	53.**97 94.**32 101.**44 91.**44 92.**13	3.**05 2.**94 0.**72 4.**33 3.**25	3.**08 3.**13 1.**14 4.**32 3.**25	3.**87 3.**59 1.**38 4.**30 3.**31	3.**07 4.**01 1.**47 4.**62 3.**43	1 1 1 1 1	4.**31 4.**50 1.**55 5.**07 3.**69	4.**60 5.**40 1.**61 5.**13 3.**91	4.**68 5.**81 1.**55 5.**51 5.**66	5.**10 6.**22 2.**17 1.**84 2.**66	5.**22 6.**64 2.**17 5.**72 2.**66

РИС.4

ПРОФИЛЬ ПРОЧИМ УРОВНЯ

ПРОФИЛЬ	ПЛЕКЕТЫ	ДНО	ДАМБЫ	22/ 1/80		0,00	4,00	8,00	23/ 1/80		12,00	12,30	МАССИМУМ
				16,30	20,00				23/ 1/80	23/ 1/80			
1 (KAPUSANY)	0,00	93,46	100,00	91,00	90,28	'98,57	90,05	90,07	90,19	90,21			
2	2'985,00	93,39	101,00	91,00	94,28	98,55	90,00	99,01	99,14	99,16			
3	5582,00	94,88	102,00	98,00	90,54	90,54	90,00	98,93	99,05	99,11			
4	7390,00	94,16	103,00	98,20	90,53	90,73	90,73	90,91	92,00	92,00			
5	9690,00	93,89	104,00	90,31	98,28	98,53	90,72	98,90	97,04	99,04			
6	12100,00	92,81	105,00	90,31	90,20	91,53	98,12	98,90	99,08	99,10			
7	12176,00	91,41	106,00	91,11	91,20	98,53	98,72	98,90	97,03	99,10			
8	17179,00	91,79	107,00	91,12	98,34	98,48	98,61	98,74	98,76	98,76			
9	17179,00	91,02	106,00	91,13	97,76	98,17	98,20	98,35	98,40	98,51			
10	17150,00	85,02	109,00	91,13	97,76	98,17	98,20	98,35	98,40	98,51			
11	19511,00	92,34	110,00	91,65	91,69	98,07	90,18	90,27	90,37	90,38			
12	19512,00	92,35	111,00	91,65	91,89	98,07	90,18	90,27	90,37	90,38			
13	21585,00	90,05	112,00	91,55	97,79	97,95	90,05	98,13	98,21	98,23			
14	21510,00	90,95	112,00	91,55	97,79	97,95	90,05	98,13	98,21	98,23			
15	23668,00	92,40	114,00	91,45	91,65	91,83	91,73	91,99	92,07	92,07			
16	26493,00	92,10	115,00	91,27	91,47	91,59	91,64	91,74	91,81	91,81			
17	28998,00	92,48	116,00	91,01	91,19	97,22	91,32	91,34	91,44	91,45			
18 (SIREDA 8)	91,94	117,00	91,70	91,31	97,61	97,67	91,05	91,70	91,76	91,76			
19	33355,00	89,73	118,00	96,17	96,42	96,67	96,82	96,86	96,92	96,93			
20	34094,00	91,27	115,00	96,30	96,32	96,50	96,42	96,45	96,51	96,52			
21	36744,00	88,78	120,00	95,70	96,59	96,13	95,86	95,92	95,93	95,93			
22 (FIKI-PF.)	39324,00	98,06	121,00	95,02	96,04	95,85	94,99	95,96	95,96	95,96			
23 (IZKUVE)	0,00	64,42	122,00	71,02	71,27	99,72	100,13	100,54	101,96	101,96			
24	2696,00	92,76	123,00	70,15	98,53	99,22	99,62	99,77	101,53	101,56			
25	5211,00	93,16	124,00	70,32	98,55	98,55	99,21	99,48	99,77	99,81			
26	5282,00	93,16	125,00	70,32	90,65	98,95	99,21	99,48	99,77	99,81			
27	7729,00	93,13	124,00	90,15	90,46	90,72	90,72	91,73	99,16	99,39			
28	10329,00	92,32	127,00	70,31	90,26	98,53	98,72	98,90	99,08	99,10			
29 (HOROWE)	0,00	101,1C	128,00	103,03	103,05	103,02	101,99	103,26	103,61	103,65			
30	9320,00	58,58	125,00	91,61	101,47	101,66	101,63	101,73	102,19	102,24			
31	7113,00	98,71	116,00	111,39	101,16	101,16	101,13	101,29	101,64	101,69			
32	9278,00	90,36	131,00	100,62	100,40	100,71	100,63	100,81	101,14	101,19			
33	11610,00	97,57	132,00	110,12	100,21	100,23	100,23	100,30	101,30	101,46			
34	14150,00	91,57	133,00	78,70	99,00	99,03	99,02	99,38	99,98	101,16			
35	17722,00	91,22	134,00	99,22	99,33	99,38	99,38	99,43	99,67	99,71			
36	181940,00	98,72	136,00	98,66	98,63	98,62	98,76	99,01	99,23	99,27			
37	21653,00	95,46	136,00	98,12	90,35	98,47	98,57	98,63	99,00	99,83			
38	24076,00	94,48	137,00	77,21	90,15	91,31	90,40	90,46	91,59	91,61			
39	26686,00	93,71	138,00	77,80	90,04	90,20	90,30	90,37	91,47	91,49			
40	26889,00	93,71	149,00	97,00	90,04	90,20	90,30	90,37	91,47	91,49			
41	24559,00	92,64	140,00	71,72	91,96	91,12	90,22	90,30	91,38	91,40			

РИС. 5

ISOLINES CONSTRUCTION BY LINEAR INTERPOLATION: RECTANGULAR NET OF WATER DISCHARGES - MAIN RIVER

NUMBER OF CONFLUENCES = 0, LIMINT = 1, JMAX=221
 TIME STEP = 0.50 BASE TIME LEVELS = 96 MAX. TIME LEVELS = 96

LINE OF PLOT = 750 IN TRES
 ISOLINES ARE PRINTED AFTER EACH 10.0 UNITS

START-TIME = 22/7/1980 *** 0.00 HRS
 ACTUAL-TIME = 22/7/1980 *** 16.00 HRS

	ΔEHB_t	22/7/1980	0.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24/7/1980	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	
	N#	1	N#	0	N#	16	N#	24	N#	40	N#	56	N#	64
J= 1	4.9, 92	4.8, 6.0	4.2, 6.8	20.6, 9	6.2, 3	-3.6, 60	23.4, 8	5.1, 24	6.1, 0, 8	59.4, 8	64.5, 8			
J= 2	4.8, 91	4.8, 6.3	4.1, 5.1	28.1, 17	3.35, 2	-7.25	17.6, 62	4.3, 0, 3	5.5, 31	50.2, 6	53.4, 7			
J= 3	4.6, 97	4.8, 5.6	4.1, 6.6	26.4, 7	-0.12	-10.9, 2	12.1, 14	34.7, 79	4.7, 0, 0	36.5, 6	30.6, 0			
J= 4	5.0, 02	4.7, 5.7	4.0, 2.9	40.2, 29	-2.06	-12.77	10.5, 3	33.3, 28	5.3, 34	32.4, 0	21.0, 4			
J= 5	5.0, 03	4.6, 36	38.8, 13	22.51	-6.32	-16.69	2.0, 24	20.24	26.5, 0	5.4, 3	21.0, 4			
J= 6	6.1, 29	45.4, 7	17.5, 68	19.56	-0.51	-17.65	-10.51	-7.22	20.24	5.4, 3	7.6, 3			
J= 7	11.3, 92	10.9, 03	12.5, 09	142.93	1.56, 12	1.71, 65	1.98, 66	1.98, 66	1.72, 57	-10.57	-32.32	-5.6, 5		
J= 8	11.4, 22	10.7, 73	125.29	139.05	1.50, 59	1.67, 77	1.93, 61	1.93, 61	1.72, 59	21.9, 49	20.4, 45	20.4, 0		
J= 9	11.4, 05	10.6, 37	122.40	135.54	1.47, 55	1.63, 65	1.86, 63	1.86, 63	1.65, 57	24.4, 96	24.2, 0, 5	26.1, 0, 8		
J= 10	11.4, 05	10.6, 37	122.40	135.50	1.47, 55	1.63, 65	1.86, 63	1.86, 63	1.65, 57	20.6, 65	21.7, 9, 9	21.7, 9, 9		
J= 11	11.2, 69	10.5, 43	* 119.91	133.57	14.4, 39	1.59, 51	1.77, 55	1.77, 55	1.67, 49	19.7, 04	20.4, 90	21.3, 3, 1		
J= 12	11.2, 69	10.5, 43	115.61	133.57	14.4, 39	1.59, 53	1.77, 58	1.77, 58	1.67, 49	19.7, 04	20.4, 90	21.3, 3, 1		
J= 13	107.93	106.42	116.99	130.75	1.47, 21	1.55, 28	1.71, 40	1.71, 40	1.69, 61	19.3, 83	19.3, 83	19.3, 83		
J= 14	165.45	150.57	163.56	198.99	22.2, 51	2.63, 21	2.62, 19	2.62, 19	2.61, 20	21.8, 29	21.8, 29	21.8, 29		
J= 15	157.95	168.57	158.47	192.54	219.54	2.79, 0, 1	2.60, 2, 1	2.60, 2, 1	2.60, 2, 1	219.39	216.4, 3	216.4, 3		
J= 16	144.55	146.21	149.45	183.20	207.72	2.31, 4, 2	2.56, 2, 0	2.56, 2, 0	2.56, 2, 0	215.6, 0	212.0, 0	212.0, 0		
J= 17	141.67	145.38	145.45	176.31	200.10	2.26, 4, 0	2.64, 2, 1	2.64, 2, 1	2.64, 2, 1	209.2, 1	209.2, 1	209.2, 1		
J= 18	145.48	143.36	141.92	172.69	195.72	2.23, 4, 5	2.42, 2, 7	2.42, 2, 7	2.42, 2, 7	275.9, 3	283.6, 1	283.6, 1		
J= 19	110.22	111.06	113.20	130.23	156.23	1.75, 15	218.65	218.65	218.65	273.8, 1	200.7, 1	200.7, 1		
J= 20	115.57	116.65	114.95	130.01	157.79	1.75, 15	218.65	218.65	218.65	261.0, 0	271.0, 0	271.0, 0		
J= 21	132.21	129.56	126.99	155.63	176.04	1.75, 15	216.07	216.07	216.07	217.0, 5	217.0, 0	217.0, 0		
J= 22	146.01	143.70	137.48	169.88	192.79	217.5, 7	264.6, 67	263.10	263.10	271.15	271.15	271.15		

FIG.6

ISCHLINES CONSTRUCTION BY LINEAR INTERPOLATION: FECTANGULAR MESH OF WATER STAGES - MAIN RIVER

NUMBER OF CONFLUENCE = 0 JMIN= 1 JMAX=221
TIME-STEP= 0.50
HAST. TIME LEVELS= 06 MAX.TIME LEVELS= 96

LINE OF PEARL = 750 MTRS

ISOLINES ARE PRINTED AFTER EACH 0.1 UNITS

START-TIME : 22/7/1980 *** 0.00 HRS

ACTUAL-TIME : 22/7/1980 *** 16.00 HRS

JELN#	22/7/1980		22/7/1980		22/7/1980		22/7/1980		22/7/1980		22/7/1980	
	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00
N= 1	H= 0	H= 0	H= 16	H= 24	H= 32	H= 40	H= 48	H= 56	H= 64	H= 72	H= 80	H= 88
J= 1	9T+00	9T+08	9T+08	9T+08								
J= 2	9T+12	9T+12										
J= 3	9T+16	9T+16										
J= 4	9T+20	9T+20										
J= 5	9T+24	9T+24										
J= 6	9T+28	9T+28										
J= 7	9T+32	9T+32										
J= 8	9T+36	9T+36										
J= 9	9T+40	9T+40										
J= 10	9T+44	9T+44										
J= 11	9T+48	9T+48										
J= 12	9T+52	9T+52										
J= 13	9T+56	9T+56										
J= 14	9T+60	9T+60										
J= 15	9T+64	9T+64										
J= 16	9T+68	9T+68										
J= 17	9T+72	9T+72										
J= 18	9T+76	9T+76										
J= 19	9T+80	9T+80										
J= 20	9T+84	9T+84										
J= 21	9T+88	9T+88										
J= 22	9T+92	9T+92										

LENGTH TIME PLOT CONSTRUCTION BY LINEAR INTERPOLATION : LENGTHTIME PLOT OF WATER STAGES -MAIN RIVER

NUMBER OF CONFLUENCE = 0 (MAIN = 1) JMAX=221
TIME STEP = 0.50 BASE TIME LEVELS = 96 MAX. TIME LEVELS = 96

1 LINE OF PLOT = 150 METRES

START-TIME : 22/7/1980 *** 0.00 HRS
AL. START-TIME : 22/7/1980 *** 16.00 HRS

ДИБЬЯ: ЧАС :	22/7/1980			12.00			22/7/1980			22/7/1980			23/7/1980		
	MIN	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			
J= 1	93.46	93.96	94.05	94.86	95.74	96.32	97.13	98.24	99.57	99.85	99.87	99.19	99.36		
J= 2	93.39	93.73	93.74	94.92	95.54	96.15	97.13	98.20	99.55	99.80	99.81	99.14	99.31		
J= 3	93.38	93.74	93.75	94.92	95.54	96.16	97.15	98.20	99.54	99.74	99.76	99.09	99.27		
J= 4	93.16	93.72	93.76	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.73	99.76	99.09	99.26		
J= 5	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 6	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 7	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 8	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 9	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 10	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 11	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 12	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 13	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 14	93.15	93.71	93.75	94.95	95.56	96.17	97.12	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 15	92.40	93.64	93.65	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 16	92.10	93.62	93.63	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 17	92.43	93.65	93.66	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 18	91.20	93.77	93.78	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 19	89.73	93.77	93.78	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 20	89.27	93.71	93.72	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 21	89.51	93.55	93.56	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		
J= 22	88.08	93.39	93.40	94.95	95.56	96.17	97.13	98.19	99.53	99.72	99.75	99.09	99.27		

FIG.10

DATE	TIME	LOCATION	WEATHER	TEMPERATURE	HUMIDITY	WIND DIRECTION	WIND SPEED	ATMOSPHERE	SOIL	PLANT	ANALYSIS	NOTES
08/01/2023	08:00	Field A	Sunny	25°C	50%	N	10 km/h	Clear	Moist	Green	Normal growth	Initial survey
08/02/2023	08:00	Field B	Sunny	26°C	55%	E	12 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/03/2023	08:00	Field C	Sunny	27°C	60%	S	14 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/04/2023	08:00	Field D	Sunny	28°C	65%	W	16 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/05/2023	08:00	Field E	Sunny	29°C	70%	N	18 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/06/2023	08:00	Field F	Sunny	30°C	75%	E	20 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/07/2023	08:00	Field G	Sunny	31°C	80%	S	22 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/08/2023	08:00	Field H	Sunny	32°C	85%	W	24 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/09/2023	08:00	Field I	Sunny	33°C	90%	N	26 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/10/2023	08:00	Field J	Sunny	34°C	95%	E	28 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/11/2023	08:00	Field K	Sunny	35°C	100%	S	30 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/12/2023	08:00	Field L	Sunny	36°C	105%	W	32 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/13/2023	08:00	Field M	Sunny	37°C	110%	N	34 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/14/2023	08:00	Field N	Sunny	38°C	115%	E	36 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/15/2023	08:00	Field O	Sunny	39°C	120%	S	38 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/16/2023	08:00	Field P	Sunny	40°C	125%	W	40 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/17/2023	08:00	Field Q	Sunny	41°C	130%	N	42 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/18/2023	08:00	Field R	Sunny	42°C	135%	E	44 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/19/2023	08:00	Field S	Sunny	43°C	140%	S	46 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/20/2023	08:00	Field T	Sunny	44°C	145%	W	48 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/21/2023	08:00	Field U	Sunny	45°C	150%	N	50 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/22/2023	08:00	Field V	Sunny	46°C	155%	E	52 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/23/2023	08:00	Field W	Sunny	47°C	160%	S	54 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/24/2023	08:00	Field X	Sunny	48°C	165%	W	56 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/25/2023	08:00	Field Y	Sunny	49°C	170%	N	58 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/26/2023	08:00	Field Z	Sunny	50°C	175%	E	60 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/27/2023	08:00	Field AA	Sunny	51°C	180%	S	62 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/28/2023	08:00	Field BB	Sunny	52°C	185%	W	64 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/29/2023	08:00	Field CC	Sunny	53°C	190%	N	66 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
08/30/2023	08:00	Field DD	Sunny	54°C	195%	E	68 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
08/31/2023	08:00	Field EE	Sunny	55°C	200%	S	70 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/01/2023	08:00	Field FF	Sunny	56°C	205%	W	72 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/02/2023	08:00	Field GG	Sunny	57°C	210%	N	74 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/03/2023	08:00	Field HH	Sunny	58°C	215%	E	76 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/04/2023	08:00	Field II	Sunny	59°C	220%	S	78 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/05/2023	08:00	Field JJ	Sunny	60°C	225%	W	80 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/06/2023	08:00	Field KK	Sunny	61°C	230%	N	82 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/07/2023	08:00	Field LL	Sunny	62°C	235%	E	84 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/08/2023	08:00	Field MM	Sunny	63°C	240%	S	86 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/09/2023	08:00	Field NN	Sunny	64°C	245%	W	88 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/10/2023	08:00	Field OO	Sunny	65°C	250%	N	90 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/11/2023	08:00	Field PP	Sunny	66°C	255%	E	92 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/12/2023	08:00	Field QQ	Sunny	67°C	260%	S	94 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/13/2023	08:00	Field RR	Sunny	68°C	265%	W	96 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/14/2023	08:00	Field SS	Sunny	69°C	270%	N	98 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/15/2023	08:00	Field TT	Sunny	70°C	275%	E	100 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/16/2023	08:00	Field UU	Sunny	71°C	280%	S	102 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/17/2023	08:00	Field VV	Sunny	72°C	285%	W	104 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/18/2023	08:00	Field WW	Sunny	73°C	290%	N	106 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/19/2023	08:00	Field XX	Sunny	74°C	295%	E	108 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/20/2023	08:00	Field YY	Sunny	75°C	300%	S	110 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/21/2023	08:00	Field ZZ	Sunny	76°C	305%	W	112 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/22/2023	08:00	Field AA	Sunny	77°C	310%	N	114 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/23/2023	08:00	Field BB	Sunny	78°C	315%	E	116 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/24/2023	08:00	Field CC	Sunny	79°C	320%	S	118 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/25/2023	08:00	Field DD	Sunny	80°C	325%	W	120 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/26/2023	08:00	Field EE	Sunny	81°C	330%	N	122 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/27/2023	08:00	Field FF	Sunny	82°C	335%	E	124 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/28/2023	08:00	Field GG	Sunny	83°C	340%	S	126 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
09/29/2023	08:00	Field HH	Sunny	84°C	345%	W	128 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
09/30/2023	08:00	Field II	Sunny	85°C	350%	N	130 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/01/2023	08:00	Field JJ	Sunny	86°C	355%	E	132 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/02/2023	08:00	Field KK	Sunny	87°C	360%	S	134 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/03/2023	08:00	Field LL	Sunny	88°C	365%	W	136 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/04/2023	08:00	Field MM	Sunny	89°C	370%	N	138 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/05/2023	08:00	Field NN	Sunny	90°C	375%	E	140 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/06/2023	08:00	Field PP	Sunny	91°C	380%	S	142 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/07/2023	08:00	Field QQ	Sunny	92°C	385%	W	144 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/08/2023	08:00	Field RR	Sunny	93°C	390%	N	146 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/09/2023	08:00	Field SS	Sunny	94°C	395%	E	148 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/10/2023	08:00	Field TT	Sunny	95°C	400%	S	150 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/11/2023	08:00	Field UU	Sunny	96°C	405%	W	152 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/12/2023	08:00	Field VV	Sunny	97°C	410%	N	154 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/13/2023	08:00	Field WW	Sunny	98°C	415%	E	156 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/14/2023	08:00	Field XX	Sunny	99°C	420%	S	158 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/15/2023	08:00	Field YY	Sunny	100°C	425%	W	160 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/16/2023	08:00	Field ZZ	Sunny	101°C	430%	N	162 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/17/2023	08:00	Field AA	Sunny	102°C	435%	E	164 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/18/2023	08:00	Field BB	Sunny	103°C	440%	S	166 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/19/2023	08:00	Field CC	Sunny	104°C	445%	W	168 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/20/2023	08:00	Field DD	Sunny	105°C	450%	N	170 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/21/2023	08:00	Field EE	Sunny	106°C	455%	E	172 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/22/2023	08:00	Field FF	Sunny	107°C	460%	S	174 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/23/2023	08:00	Field GG	Sunny	108°C	465%	W	176 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/24/2023	08:00	Field HH	Sunny	109°C	470%	N	178 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/25/2023	08:00	Field II	Sunny	110°C	475%	E	180 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/26/2023	08:00	Field JJ	Sunny	111°C	480%	S	182 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/27/2023	08:00	Field KK	Sunny	112°C	485%	W	184 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/28/2023	08:00	Field LL	Sunny	113°C	490%	N	186 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/29/2023	08:00	Field MM	Sunny	114°C	495%	E	188 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
10/30/2023	08:00	Field NN	Sunny	115°C	500%	S	190 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
10/31/2023	08:00	Field OO	Sunny	116°C	505%	W	192 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/01/2023	08:00	Field PP	Sunny	117°C	510%	N	194 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/02/2023	08:00	Field QQ	Sunny	118°C	515%	E	196 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/03/2023	08:00	Field RR	Sunny	119°C	520%	S	198 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/04/2023	08:00	Field SS	Sunny	120°C	525%	W	200 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/05/2023	08:00	Field TT	Sunny	121°C	530%	N	202 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/06/2023	08:00	Field UU	Sunny	122°C	535%	E	204 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/07/2023	08:00	Field VV	Sunny	123°C	540%	S	206 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/08/2023	08:00	Field WW	Sunny	124°C	545%	W	208 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/09/2023	08:00	Field XX	Sunny	125°C	550%	N	210 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/10/2023	08:00	Field YY	Sunny	126°C	555%	E	212 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/11/2023	08:00	Field ZZ	Sunny	127°C	560%	S	214 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/12/2023	08:00	Field AA	Sunny	128°C	565%	W	216 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/13/2023	08:00	Field BB	Sunny	129°C	570%	N	218 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/14/2023	08:00	Field CC	Sunny	130°C	575%	E	220 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/15/2023	08:00	Field DD	Sunny	131°C	580%	S	222 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/16/2023	08:00	Field EE	Sunny	132°C	585%	W	224 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/17/2023	08:00	Field FF	Sunny	133°C	590%	N	226 km/h	Cloudy	Moist	Green	Normal growth	Good conditions
11/18/2023	08:00	Field GG	Sunny	134°C	595%	E	228 km/h	Partly cloudy	Dry	Brown	Stressed plants	Watering required
11/19/2023	08:00	Field HH	Sunny	135°C	600%	S</td						

- не уровня при восходящей и нисходящей ветви гидрографа певодка;
- выражение длины водотока в зависимости от глубины уровня;
- одинаковый характер водотока и гистерезис криевой расходов в зависимости от уклона уровня.

Предложенную модель можно применять в моделируемом или прогнозном режиме расчета систем рек Восточнославянской низменности в определенных пределах. В разработанном варианте модель введена в вычислительную машину ЕС 1040 (не языке ФОРTRAN).

Результатом решения является 24 часовой прогноз уровня воды и расхода в створе Стреде над Бодрогом, выраженный в виде таблицы на рис. 4, ход продольных уровней в целой системе - рис. 5, изолинии расходов главной реки - рис. 6, 7, изолинии уровней главной реки - рис. 8, 9, изменение уровня по длине в отдельных временных уровнях - рис. 10, 11.

Успешность применения модели зависит от своевременного предоставления надежных входных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zezulák, J., Martinka, K., Kovář, P., Gáhriš, P.: Multipurpose Unsteady Flows Simulation System for Surface Runoff Problems "MUFSSYS". Symposium and Workshops on the Application of Mathematical Models in Hydrology and Water Resources Systems, Bratislava, 1975.
2. Zezulák, J., Gabriš, P. a kol.: Vodohospodársky modelovací systém MUFSSYS 3, Vysoká škola zemědělská, Praha, 1980.

ПРОГНОЗ ПАВОДКОВ НИЖНЕГО УЧАСТКА РЕКИ ТИСЫ

Имре Палфай, Ласло Т. Бога, Водохозяйственное управление
Нижне-тисайской территории, Сегед, Венгрия

FLOOD FORECASTING FOR THE LOWER PART OF RIVER TISZA

The paper overviews the difficulties associated with forecasts in the lower Tisza region and discusses the previous practice followed in flood forecasting. The flood forecasting model presented in a multivariate linear regression model that computes peak stages and time to peak values using data from the upper and middle part of River Tisza. Forecasting equations are given together with the evaluation of forecasting reliability and efficiency. Experiences of applications are also discussed.

HOCHWASSERVORHERSAGE AUF DER UNTEREN STRECKE DER THEISS

Der Artikel beschreibt die Schwierigkeiten der Vorhersagen auf der unteren Theiss-Strecke, und die Methoden die in der Praxis der Vorhersage in der Vergangenheit benutzt worden waren. Der vorgestellte Algorithmus ist ein multivariabiles lineares Regressionsmodell, das die Höhe- und Zeitvorhersage der Hochwasserscheitels aufgrund Messungen an Pegeln auf der oberen und mittleren Strecke der Theiss berechnet. Die Vorhersagegleichungen werden zusammen mit der Auswertung der Zuverlässigkeit und Effizienz der Vorhersagen angegeben. Erfahrungen und Anwendungen werden auch bekanntgegeben.

Из притоков Дуная наибольшим водосбором обладает река Тиса (157200 км²). В пределах водосбора, расположенного на территории пяти стран, доля земель, которые подвергаются опасности затопления паводками, значительная и для Венгрии она составляет 40%. Паводки на венгерском участке почти по всей длине проходят между дамбами противопаводкового обвалования.

На нижнем участке Тисы, т.е. между устьем Хармаш-Кереш и венгеро-хорватской государственной границей (рис. 1), отметки наивысших паводковых уровней господствуют над окружающей местностью на 4-5 м. Обвалованная пойма занимает приблизительно 200000 га. Возле Нижней Тисы расположено несколько городов, в том числе крупный город Сегед с населением около 200 тыс. человек. В защищенную пойму входит нефте-газовое месторождение Сегед-Алде, что в настоящее время обеспечивает две трети добычи в целом по стране. Из сказанного ясно, что успех борьбы с наводнениями имеет первостепенное значение. Это влечет за собой и большую важность составления достоверных прогнозов паводкового стока Тисы.

Составление прогнозов паводков по Тисе, особенно для ее нижнего участка, сопряжено со значительными трудностями, поскольку притоки (Хармаш-Кереш, Марош) значительно влияют на гидрологическую ситуацию, кроме этого нельзя пренебречь и влиянием подпора от Дуная. Вследствие низких значений уклонов Тисы часто происходит явление, когда паводковые волны, проходящие с небольшими сдвигами во времени, накладываются друг на друга и значительно деформируют гидрографы.

Проблема предсказания паводков Тисы давно занимает специалистов, особенно после печальной катастрофы 1879 года. Разработано немало цифровых и графических методов прогноза, однако опыт их применения – особенно в отношении нижнего участка – приводил к противоречивым результатам. Начало века отмечено работами Корбелль Й. [2], в которых статистическими методами составлены уравнения линейной корреляции с несколькими переменными. В качестве переменных Корбелль брал пиковые уровни вышерасположенных створов и синхронные им уровни на притоках, впадающих ниже. По этим данным расчитывались пиковые уровни для нижнего участка Тисы. Проблемы предсказания он пытался устранить категоризацией паводков, однако это привело к сокращению количества расположаемых данных, кроме того создало неуверенность в отношении применения метода [10].

В 50-е годы в ВИТУКИ произведена попытка усовершенствовать предикторные соотношения. В рамках этой работы составлены графические руководства. После наводнения 1970 года указанные nomogramмы пришлось переработать [8], но даже после этого не удалось добиться желаемых результатов.

В практике составления прогнозов, правда экспериментально, применялись также и методы оценки уровней по оценочным значениям расходов воды. Здесь приходилось учитывать распластывание паводков, харак-

шерное для рек с малыми уклонами, и совпадение с паводками по притокам. За неимением конкретных гидрометрических данных этот метод позволял только грубые оценки и был недостоверным.

В конце 70-ых годов, используя возможности применения ЭВМ, открылась возможность исследования большого количества паводочных волн. Сначала был разработан метод цифровой регрессии для реки Марош [5], затем ~~Найдена~~ аналогичная модель для Нижней Тисы [6, 7]. В ходе применения на основании накапливающегося опыта - модель постепенно отрабатывалась.

Нашей целью было разработать такую модель, при помощи которой - учитывая прохождение пика паводка по подобранным створам верхнего участка - можно составить цифровой прогноз пикового уровня и даты его прохождения. В качестве исходных были взяты створы: Вашарошнамень, Токай, Полгар, Тисафюред. Целевыми станциями служили Миндсент и Сегед.

Формирование пиков паводков на Нижней Тисе подвержено влиянию следующих факторов:

- значение пикового уровня воды по исходному створу,
- наполнение русла,
- крутизна ветви подъема,
- ход уровней по притокам,
- влияние подпора от Дуная.

Значение пикового уровня паводка по исходному створу однозначно известно. Согласно нашим исследованиям, для описания наполнения русла лучше всего использовать уровень воды в створе целевой станции б. Крутизна ветви подъема паводка в исходном створе в первой нашей модели для реки Мароша [5] оказалась высоко значимой переменной. В случае Тисы большое значение имеет интенсивность нарастания уровня в створе целевой станции [6, 7].

Влияние притоков сначала пытались учитывать значениями уровней воды, синхронными пику по исходному створу (в качестве вспомогательных створов подобраны: Дема на реке Хармаш-Кереш, Мако на реке Марош). Эти уровни, однако, ввиду больших уклонов зависят также и от уровня воды в самой Тисе и, таким образом, только частично характеризуют поведение притока. С другой стороны, ввиду изменчивости режима этих рек в период времени добегания от исходного до целевого створов по основной реке уровни во вспомогательных створах могут значительно изменяться. Поэтому позже влияние притоков учитывалось иным способом, а именно: расчитывались значения приращения расходов воды за период времени добегания по основной реке. Конечно, в случае применения модели эти приращения должны быть определены заранее. Для этого применяются имеющие-

ся [5, 9] модели предсказания уровней воды на нижних участках притоков. Расходы получаются путем пересчета при помощи кривых расходов [11].

Влияние подпора от Дуная на нижнем участке Тисы - явление известное, однако только при паводке 1981 года осознали, насколько оно может быть решакшим в некоторых случаях [7]. Последнюю модификацию модели поэтому дополнили учетом уровней воды в створе Дуная Зимонь. Этот створ хорошо отражает влияние гидроузла "Железные ворота" и чувствителен также и водному режиму реки Савы. Поскольку в период времени добегания по Тисе уровни в створе Дуная Зимонь могут также значительно изменяться, в расчет вовлекались уровни по этому створу, синхронные проходящим пикам по целевому створу. Составление прогнозов уровней по створу Зимонь с заданной заблаговременностью 10 дней находится на начальной стадии. Надеемся, что скоро будем располагать достоверной методикой.

В интересах этого видимо, было бы полезным объединить усилия венгерских и австрийских специалистов, занимающихся проблематикой прогнозирования уровня режима Дуная.

В интересах повышения достоверности методики прогнозирования мы попытались привлечь максимальное количество данных. Учитывая требования однородности, в обработке привлекались данные только начиная с 1950-х девятнадцатого века. Рассматривались только те паводки, при которых в исходном створе пиковые уровни были выше бровок русла, т.е. происходил подъем. Не рассматривались зимние паводки, возникшие в результате затворов или зажоров льда, и соответственно те волны паводков, которые перед целевым створом суперпонировались с другой набегающей волной. Таким образом, в расчет включены данные по 40-45 волнам павод-

ков. Перечисленных независимых переменных составлялись комбинации для каждой комбинации выполнялись расчеты регрессии. Отдельные комбинации выживались по значениям множественного коэффициента корреляции и остаточной дисперсии. Роль отдельных факторов оценивалась сравнение частных коэффициентов корреляции. За значимые приняты только те варианты, для которых абсолютное значение частных коэффициентов корреляции по всем переменным превосходило 0,15.

В качестве примера покажем как рассчитывается по значению пикового уровня по створу Токай прогноз пикового уровня для створа Сегед. Уравнение регрессии, полученное по данным 42 прежних паводков, имеет вид:

$$S_2 = 0,3067T + 0,4670S_{z_T} + 0,6328 S_{z_T} - S_{z_2} + 0,2464Z_{S_2} + 0,0508dQ + 49,2$$

где:

Sz - значение пикового уровня по створу Сегед, см

T - значение пикового уровня по створу Токай, см

Sz_T - уровень воды в створе Сегед в момент прохождения пика паводка по створу Токай

Sz_3 - уровень воды в створе Сегед за три дня до прохождения пика по створу Токай

Z_{Sz} - ожидаемое значение уровня воды по створу Дунай-Зимонь в момент прохождения пика по створу Сегед

dQ - ожидаемое приращение расхода воды на устьевых участках рек Марош и Хармаш-Кереш за время добегания паводка по Тисе.

В значение коэффициента множественной корреляции 0,9547. Значения частных коэффициентов корреляции в порядке расположения переменных в уравнении соответственно 0,5940, 0,8088, 0,5443, 0,6598, 0,5296. Значит, наибольший вес имеет показатель наполнения русла Sz_T . В ходе работы установлено, что алгебраический знак частных коэффициентов корреляции не всегда совпадает со знаком соответствующего составляющего регрессионного уравнения. Это объясняется сравнительно небольшим числом обработанных паводочных волн [3].

При помощи приведенного уравнения регрессии рассчитали пиковые уровни в створе Сегед для всех 42 случаев. Расхождения между прогнозированными и действительно наблюденными значениями колебались в пределах -67 и +49 см. Среднее значение отклонения 0 см, дисперсия ±23 см. Значит, если бы мы точно знали значения переменных Z_{Sz} и dQ , то две трети прогнозированных значений попадали бы в этот интервал. Поскольку сами предикторы получаются как результаты прогноза, действительная дисперсия ошибок оценивается в 25-30 см.

К прогнозу предикторов Z_{Sz} и dQ мы должны знать время добегания. Регрессионные исследования показали значимое значение коэффициента корреляции только для переменного Sz_T (-0,5228). Время добегания между створами Токай и Сегед t рассчитывается по формуле

$$t = 0,0371 Sz_T + 36,0$$

Дисперсия отклонений составляет ±3-4 дней. Среднее время добегания 10 дней. Время добегания представляет собой заблаговременность прогноза по створу Сегед.

Эффективность прогноза можем характеризовать показателем, предложенным ВИТУКИ [3, 4]:

$$\eta = \sqrt{I - \frac{c^2}{S}} ,$$

где: c - упомянутая дисперсия, S - дисперсия естественных приращений уровня воды в целевом створе за период заблаговременности.

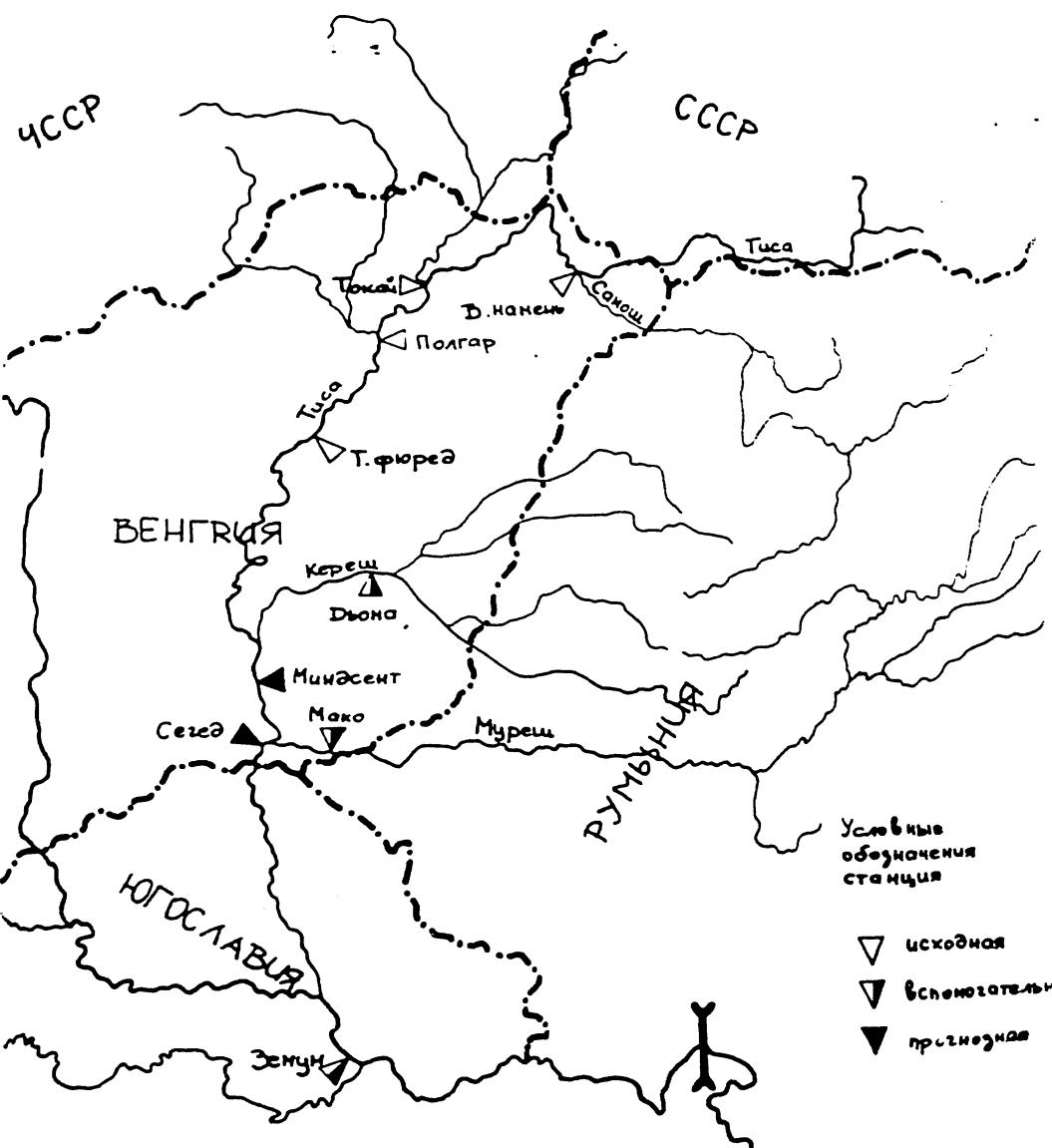
При прогнозировании со створа Токай до створа Сегед $S = 48$ см. Если значение c считать равным 25 см, то показатель эффективности будет 0,85. Это приемлемое значение.

Модель прогноза может быть усовершенствована дальнейшим исследованием времени добегания и более достоверным прогнозом уровней Дуная и приращений расходов воды по притокам.

ЛИТЕРАТУРА

1. BARTHAI, P. SZÖLLÖSI-NAGY, A.: A vizrajzi előrejelzés fejlesztési programja első esztendejének eredményei és tapasztalatai VITUKI Közlemények. 2. Budapest, 1980.
2. KORBÉLY, J.: A Tisza szabályozása, Debrecen, 1937.
3. KOVÁCS, Gy.: A felszini lefolyás vizsgálata és az árvizek előrejelzése. II. rész. Vizügyi Közlemények. 1974. 2.
4. MOLNAR, T.: Mérőszámok kidolgozása a hidrológiai előrejelzések hatékonyiságának a mérésére. Kézirat. VITUKI. Budapest, 1979.
5. PÁLFAI, I.: Numerikus módszer a Maros árvizeinek előrejelzésére. Hidrológiai Közlöny. 1980. 12.
6. PÁLFAI, I. - BOGA, T.L. - RULLY, J.: Numerikus árvizi és folyamatos előrejelző modell kidolgozása a Tisza alsó szakaszára és a Marosra. Első és második rész. Kézirat. Alsótiszavidéki Vizügyi Igazgatóság. Szeged, 1979-1980.
7. PÁLFAI, I. - BOGA, T.L.: Árvizi előrejelző modell és alkalmazásának tapasztalatai a Tisza alsó szakaszán. Magyar Hidrológiai Társaság II. Országos Vándorgyűlés, III. kötet. Pécs, 1981.
8. SZESZTAY, K.: A Tisza vízjárásának előrejelzése. VITUKI. Budapest, 1972.
9. SZLÁVIK, L.: Numerikus regressziós előrejelzési módszer a Körösök árvizeinek előrejelzésére. Kézirat. Gyula, 1979.
10. VÁGÁS, I.: Adatok az 1876-1975 időszak tiszavölgyi árvizeiről. VI. Hidrológiai Közlöny. 1980. 6.
11. VÁGÁS, I.: A vízszín természetes duzzasztásának és süllyeszítésének meghatározó szerepe a Tisza és alföldi mellékfolyóinak vízjárásában. Hidrológiai Közlöny. 1981. 9.

Рис. 1. СХЕМА БАССЕЙНА ТИСЫ



over 5000

a thousand

hundreds

over 5000

over 5000

over 5000

ПРОГНОЗ ПАВОДКОВ РЕКИ РАБЫ

Арпад Богнар, Эндре Силади, Управление водного хозяйства
Западно-закарпатской территории, Сомбатхей,
Венгрия

FLOOD FORECASTING ON RIVER RÁBA

River Rába is the most significant water course in western Hungary. The river originates from Austria and drains into the Danube at Györ with a catchment area of 10.000 sqkm. The paper presents a flood forecasting procedure based upon graphical co-axial correlation and the successive approximation of the multivariate nonlinear regression. Austrian precipitation data are transformed by the graphical technique to the Szentgotthárd section. The selection criteria for the variables is discussed together with the accuracy achieved in operational work.

HOCHWASSERVORHERSAGE AUF DER RAAB

Die Raab, der wichtigste Fluß Westungarns entspringt in Österreich. Sie mündet bei der Stadt Raab in die Donau ein. Ihr Einzugsgebiet ist 10.000 km². Im Artikel wird ein multivariables graphisches Koaxialkorrelationsverfahren und eine successive Approximation der nonlinearen multivariablen Regression vorgeführt. Die Vorhersage für Pegel Szentgott-hárd wird aus den österreichischen Niederschlagsdaten mit graphischen Methoden ermittelt. Vorhersagen für den unteren Pegeln werden mit Multiregressionsverfahren berechnet. Es werden die Gesichtspunkte für den Auswahl der rechten Variablen und die erreichbare Genauigkeit angegeben.

ВВЕДЕНИЕ

Река Раба является главным водотоком западной части Венгрии; Площадь ее водосбора находится на территории Австрии и Венгрии. Схема гидрографической сети изображена на рис. 1. Первый водомерный пост на территории Венгрии находится у села Сентготхард. Площадь водосбора до

этого поста составляет 3000 км^2 . У города Дьер река Раба впадает в Дунай.

Австрийская часть водосбора, располагающаяся выше Сентготхарда, - горный район. Венгерская плоскость водосбора до города Шарвара - холмистая территория; ниже - равнина. Основная часть водной массы больших паводков сходит по всей долине, шириной в несколько км, на участке Сентготхард-Шарвар. Ниже поста Шарвар река с двух сторон ограничена замбами.

Ежедневные наблюдения за уровнем воды реки на многих постах проводятся более 100 лет. Наблюдения за пиками паводков, проходящих между сроками наблюдений, проводятся только в течение 25-30 лет. Наблюдается частое воздействие человека как на водосборе, так и на самих водотоках.

Нашей задачей являлась разработка методики для определения ожидаемых пиков паводочных волн. На основании вышесказанного для этого мы могли использовать короткий ряд наблюдений за паводками.

Анализы проводили методом графической корреляции. В результате были получены графические зависимости, которые могут быть непосредственно применены к прогнозам. Определили аналитические выражения графических зависимостей для применения ЭВМ.

ПРОГНОЗ РАСХОДОВ ВОДЫ У П. СЕНТГОТХАРД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ОЕ ОСАЛКАХ

Основной характеристикой паводочной волны является паводковый дождевочный пиковый расход Q_{\max}^* . Сумма Q_{\max} и основного расхода Q_a дает полный пиковый расход, рис. 2. Если можно определить ожидаемый пиковый расход от одного дождя, то с помощью зависимости $Q = f(N)$ данного поста можно спрогнозировать пиковый уровень H_{\max} в данном створе. Между Q_{\max} и влияющими на нее факторами ($\Delta Q_{\max} = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$) существует неизвестная стохастическая связь. Этую связь в первом приближении заменим следующей зависимостью:

$$Q_{\max} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

где: x_1, x_2, \dots, x_n не обязательно формирующие факторы, а иные измеримые характеристики, которые косвенным образом определяют формирующие факторы.

Применили метод графической корреляции в виде коаксальных кривых и в результате получили nomogrammu (рис. 3).

Это зависимость с четырьмя переменными:

$$\Delta Q_{\max} = f(C, Q_m, D)$$

где: С - осадки, вызывающие паводок; Q_m - предшествующий расход воды; D - продолжительность выпадения осадков.

Относительной разностью (Е) между прогнозируемым и действительным расходами характеризуем точность номограммы. Ниже приводим значения Е в разных диапазонах:

ΔQ_{\max} ($m^3/\text{сек}$)	E (%)
51-200	+30
200	+20

^{БЕЗУМЕ} ~~БЕЗ-ЗА~~ Формы графика $Q=f(H)$ фактическая ошибка будет меньшей.

При средних паводках она не превышает 50-60 см, а при высоких - 20-30 см.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СООТВЕТСТВУЮЩИХ УРОВНЕЙ НА УЧАСТКЕ РЕКИ РАВЫ НИЖЕ П. СЕНТХОТХАРДА

Общий вид зависимости относительно пикового уровня паводка от любого створа водотока:

$$H_{\max} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

где: x_1, x_2, \dots, x_n - разные переменные, чаще всего уровни всм, могут быть иные переменные, определяющие пиковый уровень.

Эта связь не обязательно линейная, предполагается, что имеем дело с неразделимыми переменными. Эту сложную неизвестную связь в первом приближении заменили зависимостью нелинейного типа и с разделимыми переменными, вид которой

$$H_{\max} = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n)$$

данной зависимости каждый член является частной регрессионной зависимостью.

Частные регрессионные зависимости можно определить последовательной графической аппроксимацией. Этот метод был описан Эзекиел и Фокс, который не требует никаких начальных ограничений относительно форм кривых 4

На основании полученного опыта пришли к выводу, что регрессионные кривые целесообразно проводить не на всю амплитуду, а для каждого диапазона изменения уровней отдельно.

Для примера приводим номограмму для створа Шарвар (рис. 4), где переменные:

x_0 - приближенные значения пика у Шарвара

x_1 - пик у города Керменд

x_2 - уровень воды в створе Шарвар во время прохождения пика в створе Керменд

x_3 - уровень воды в створе Руме во время прохождения пика в створе Керменд

x_4 - продолжительность пикового уровня воды в створе Керменд

$\Delta x_2 \dots \Delta x_4$ - поправки, вводимые в результате влияния вышеперечисленных переменных.

Ожидаемое значение пика у Шарвара:

$$H_{\max} = x_0 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4$$

Внимания заслуживает переменная x_4 , по которой учитываем пойменную аккумуляцию. Влияние данного фактора на формирование пика паводка в створе Шарвар иллюстрируем на примере двух паводков:

	май 1972 г.	июль 1972 г.
x_1	460 см	454 см
x_2	205 см	234 см
x_3	246 см	259 см
H_{\max}	304 см	394 см

Таким образом переменные x_1, \dots, x_3 сами по себе недостаточны для прогноза пика паводка в створе Шарвар. Расхождение между продолжительностью стояния пиковых уровней x_4 уже значительное:

26 час

78 час

Чем более продолжительный паводок, который выше выбранного граничного значения, тем больше воды растекается по пойме и после заполнения понижений продлевает стояние пикового уровня паводка.

Зависимости, основанные на соответствующих уровнях воды, были определены и в арифметической форме. В качестве примера снова приводим зависимость, полученную для створа Шарвар:

$$\bar{H}_{\max} = ax_1^3 - bx_1^2 + cx_1 + dx_2^3 + ex_3^3 + fx_4^3 + gx_4^2 + hx_4 + i$$

где: $a \dots h$ - различные коэффициенты, i - постоянная слагаемая.

На основании опыта можно сказать, что с помощью указаний ожидаемых высоких паводков можно предсказать с точностью до 10-30 см.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] SZESZTAY, Károly: A grafikus korrelációvizsgálat néhány módszere. Hidrológiai Közlöny 1954. 3-4.
- [2] ZSUFFA, István: Hidrológiai észlelési adatok közötti kapcsolatok vizsgálata grafikus uteon. Vízügyi Közlemények 1963.3.
- [3] LINSLEY-KOHLER-PAULUS: Applied Hydrology Mc.Graw Hill. New York 1949.
- [4] EZEKIEL, M., GOX, K.: Korreláció és regresszió analizis. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bp. 1970.
- [5] BOGNÁR, Á. - SZILÁGYI, E.: Árvizi előrejelzés hegy- és dombvidéki vízgyűjtőkre rövididejű adatsorok alapján. Vízügyi Közlemények. 1978. 4.

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАВОДКОВ РЕК КЕРЕШ И ПРЕДСТОЯЩИЕ ЗАДАЧИ

Лайош Славик, Водохозяйственное управление рек Кереш, Дьала
Венгрия

REZUME

EXPERIENCES AND PROBLEMS OF FLOOD FORECASTING IN THE KÖRÖS BASIN

Hydrological characteristics of floods in the Körös basin. The role of forecasting in the flood management. Possibilities of forecasting in the Hungarian part of the Körös basin. Statistical forecasting models based on multivariate linear regression analysis. The structure of the forecasting equations. Data base of the model. Experiences gained between 1976 and 1981. Development possibilities.

ERFAHRUNGEN UND AUFGABEN DER HOCHWASSERVORHERSAGE AN DEN KÖRÖS-FLÜßen

Die hydrologischen Eigenschaften der Körös-Flüsse. Die Rolle der Vorhersage in der Hochwassersteuerung des Körös-Systems. Vorhersagemöglichkeiten auf den ungarischen Körös-Strecken. Ein Multivariabiles lineares stochastisches Vorhersagemodell. Die Struktur der Vorhersagegleichungen, die Datenbasis des Modells. Verwendungserfahrungen mit dem Modell in den Jahren 1976-1981. Möglichkeiten und Aufgaben in der Weiterentwicklung des Vorhersagesystems an den Körös-Flüssen.

РАСПОЛОЖЕНИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДОСБОРА РЕК КЕРЕШ

Водосборный бассейн рек Кереш расположен в юго-восточной части Венгрии. Площадь водосбора в устье реки составляет 27500 км^2 , из которых 14500 км^2 - вся горная и холмистая область водосбора и часть равнины - находится на территории Социалистической Республики Румыния, а 13000 км^2 - равнинная область водосбора - на территории ВНР.

Водная система рек Кереш состоит из четырех главных водотоков: рек Фехер-Кереш, Фекете-Кереш, Шебеш-Кереш и Береттъо. Слиянием двух первых образуется река Кеттеш-Кереш; река Береттъо впадает в реку Шебеш-Кереш и слиянием рек Кеттеш-Кереш и Шебеш-Кереш образуется река Хармаш-Кереш. Схема водосбора рек Кереш показана на рис.1.

Паводки на реках Кереш могут встречаться практически в любое время года, причем максимальные уровни и расходы воды могут образовываться как из дождей, так и в результате таяния снега, а также могут быть паводки и смешанного происхождения. Максимальные расходы воды на притоках, вблизи государственной границы составляют 400-600 м³/с, на реке Кеттеш-Кереш - 950 м³/с, на реке Хармаш-Кереш у створа Дема - 1700 м³/с. Паводки рек Кереш характеризуются интенсивным подъемом и спадом, они могут следовать один за другим. На нижнем участке наблюдается подпор от паводков реки Тисы.

Реки Кереш и притоки с гидрологической точки зрения хорошо изучены, здесь имеются водомерные посты с продолжительностью наблюдений 80-100 лет.

Важной особенностью гидрологического режима рек Кереш является весьма короткое время добегания. С момента выпадения осадков, формирующих ~~паводок~~, до возникновения паводочной волны на самых верхних водомерных постах притоков проходит всего лишь 12 часов, от этих постов до венгерской границы время добегания паводка - 35-64 часов.

За последние 15 лет на реках Кереш наблюдалось пять случаев прохождения очень интенсивных, высоких паводков: в 1966, 1970, 1974, 1980 и 1981 годах.

ЗНАЧЕНИЕ ПРОГНОЗА ПАВОДКОВ ДЛЯ РЕК КЕРЕШ

На вопрос прогнозирования максимальных уровней паводков рек Кереш мы обратили особое внимание по трем причинам:

- время добегания паводков небольшое, поэтому увеличение заблаговременности ограничено, каждый час в улучшении заблаговременности имеет большое значение с точки зрения подготовки к защитным работам;
- на водосборе рек Кереш имеются ценные сельскохозяйственные угодья, территория густонаселенная, ценная с хозяйственной точки зрения;

- в последние годы на венгерской части водосбора построены три водохранилища для временного задержания паводочной воды общим объемом 200 миллионов м³. Этот новый для рек Кереш метод защиты от паводков

ребует точного и заблаговременного прогнозирования прохождения паводков, что подтвердилось во время паводков в 1980 и 1981 годах.

ПРОГНОЗЫ ПАВОДКОВ НА ВЕНГЕРСКОМ УЧАСТКЕ РЕК КЕРЕШ

Метод для прогнозирования паводков рек Кереш впервые был разработан в 1907 году инженером Йожефом Корбей. Первую методику для составления прогнозов, применяемую на практике, разработали в 1957-58 годах в Витуки под руководством Каройя Сестан. Это был графический метод соответственных уровней. Этот метод возобновили после паводка 1970 года.

На основе этих методов, принимая во внимание их преимущества и недостатки, а также трудности их оперативного применения, в 1975 году мы приступили к разработке новой, более обширной методики прогноза максимальных уровней паводков рек Кереш.

Возможность усовершенствования методов прогноза для рек Кереш определяется в основном двумя факторами:

а) Исходными данными о прошлых паводках, а также возможностями оперативного сбора информации, ее составом в период прохождения паводков с учетом международного характера водосбора.

б) Небольшой заблаговременностью прогнозов в связи с физико-географическими особенностями водосбора.

С учетом этих двух факторов и на основе детального анализа возможностей в настоящее время единственным реальным путем развития методики прогнозов для рек Кереш является, по нашему мнению, применение стохастической модели, основанной на системе уравнений множественной линейной регрессии. Данные о проходящих на реках Кереш паводках необходимо оценивать и обрабатывать таким образом, чтобы их информационное содержание исследовали и использовали полностью. Целесообразно разработать такую методику, при которой по единственному значению уровня на верхнем участке реки, добавив к этому информацию об уровнях на нашем участке, возможно предвычислить ожидаемое гидрологическое состояние рек Кереш. С учетом этого мы разработали новую методику прогноза максимальных уровней рек Кереш с применением электронно-вычислительной машины.

СТРУКТУРА ПРОГНОТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Разработанная методика основана на применении уравнений множественной линейной регрессии. В речной системе Кереш выбрали 29 водомерных постов (рис. 2), по данным которых - путем корреляционного анали-

за - определяли прогностические зависимости. Эти зависимости записывались в следующем общем виде:

$$y = a + B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_n x_n \quad (1)$$

где: y - зависимая переменная (прогнозируемый уровень воды реки на целевой станции); x_1, \dots, x_n - независимые переменные (x_1 - максимальный уровень паводка на каком-то водпосту на исходной станции; x_2, \dots, x_n - уровни воды, наблюдавшиеся на нижележащих водпостах, на промежуточных станциях в момент наступления максимума x_1); a - свободный член уравнения регрессии; B_1, \dots, B_n - частные коэффициенты регрессии.

Для прогноза времени добегания максимального уровня паводка использовалось трехпараметровое линейное уравнение регрессии следующего вида:

$$t = f(H_{\max}, \Delta H) \quad (2)$$

где: t - прогнозируемое время добегания в часах; H_{\max} - прогнозируемый максимальный уровень на целевой станции в см-ах; ΔH - прогнозируемый подъем воды на целевой станции за время добегания паводка от исходной целевой станции в см-ах.

Отметим, что в каждом случае изучались и зависимости вида

$$t = t(H_{\max}) \quad \text{и} \quad t = f(\Delta H)$$

но для рек Кереш они дали неприемлемые результаты.

Разработка методики состояла из двух основных частей:

- выбора и определения прогностических зависимостей
- разработки программы для оперативного выпуска прогнозов.

ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

В этой части работы были рассчитаны частные коэффициенты регрессии уравнения для определения времени добегания паводка, статистические параметры.

Нами было выбрано 18 целевых станций, для которых определялись прогностические зависимости. Для каждой целевой станции были записаны уравнения регрессии в различных комбинациях исходных данных в зависимости от их физического содержания. Мы изучили 252 уравнения регрессии, из которых в конечном итоге 119 уравнений приняли подходящим и включили в нашу модель. Максимальное число переменных в этих уравнениях было равным 10.

В каждом уравнении использовали данные по крайней мере 200 прошлых паводков. С увеличением числа переменных количество использованных прошлых паводков обычно в некоторой мере уменьшалось. Тщательно изучили однородность временных рядов максимальных уровней и приняли в расчета период с 1958 по 1975 годы, а позднее добавили ряд данных до 1980 года. Изучили и подтвердили линейность зависимостей между уровнями воды, на основе которой применяли множественную линейную регрессию.

Для каждой целевой станции прогностические зависимости выбирались с учетом постепенного увеличения числа переменных для тех случаев, при которых подключение новой переменной предположительно улучшает статистические параметры уравнения регрессии.

Можно было бы применять и метод мультирегрессии, т.е. тот случай, когда из всех возможных переменных наиболее оптимальные, тесные связи выбираются по вычислительной программе автоматически, на основе анализа частных коэффициентов корреляции. Однако этот прием не применялся по двум причинам:

- Для отдельных целевых станций мы могли собрать исходный гидрологический материал различного состава, различных периодов. С применением мультирегрессии пришлось бы ограничиться самым коротким рядом данных и, таким образом, исключили бы использование дальнейших ценных информации.

- Нашей целью являлось не только определение наиболее оптимальных, тесных связей, но и исследование всего информационного содержания исходных данных.

Все это, конечно, в значительной мере затрудняло нашу работу, но в последствии оказалось наиболее выгодным решением.

С применением рассчитанных уравнений регрессий можно достичь заблаговременности 10-60 часов, в зависимости от месторасположения водостоков (исходного и целевого). Средняя квадратичная погрешность уравнения: 8-50 см. Коэффициент корреляции: 0,789-0,999, но в основном больше 0,900. Расчеты выполнялись на ЭВМ ТПА-и.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ВЫПУСКА ПРОГНОЗОВ

На основе результатов расчета уравнений регрессии разработали вторую часть задачи, функции которой:

- интерпретация заданных исходных данных, выбор прогностических зависимостей, детерминированных исходными данными, и решение этих уравнений;

выбор прошлых случаев (паводков), аналогичных тому паводку, который образовался на исходной станции, сравнение и тем самым обоснование и контроль реальности результатов расчета;

При разработке программы для оперативного выпуска прогнозов мы следовали следующим основным принципам:

уровень воды для каждого водостока пришлось бы задавать только один раз, но это можно было бы использовать для расчета всех вариантов уравнений регрессии;

последовательность задания исходных данных была бы любой; программа работала с высокой надежностью.

Программа для оперативного выпуска прогнозов работает на ЭВМ ЭМГ-6666 Водохозяйственного управления рек Кереш в г. Дюле с 1976 года.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ И ПРЕДСТОЯЩИЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ РЕК КЕРЕШ

REZUME

Изложенная выше модель для прогноза максимальных уровней паводков рек Кереш на практике оказалась применительной и осуществимой. В периоде 1976-1981 годы модель применялась 105 раз и было издано 316 прогнозов. Результаты этих прогнозов сведены в следующую таблицу:

Река	Номер водо- стоков (на рис. 1 и 2)	Название водостока, для которо- го издан прогноз	Количество изданных прогнозов (шт.)	Число случаев, когда раз- ница между прогнозируемой и фактической наблюдаемой величинами находилась в интервале		
				<σ	между 1-2	>σ
Фехер-Кереш	5	Дюла	49	36	10	3
Фекете -Кереш	10	Ант	47	29	12	6
	11	Ремете	47	30	11	6
Кеттеш-Кереш	12	Бекеш	41	27	9	5
	13	Керештарча	13	8	2	3
Шебеш-Кереш	17	Керешсакал	17	9	6	2
	18	Фокихид	7	5	2	-
Береттьо	23	Почай	3	2	1	-
	24	Береттьоуйфалу	5	3	1	1
	25	Сегхалом	27	20	4	3
Шебей-Кереш	26	Керешладани	26	17	5	4
Хармаш-Кереш	27	Лема	21	12	6	3
	28	Сарваш	13	8	2	3
	29	Кунсентартон	1	-	1	-
И т о г о :			316	206	72	38

Кроме этого 101 раз выдавались предупреждения в таких случаях, когда на верхних водомерных постах паводки еще не достигали максимума и находились в стадии подъема. Шестилетний опыт применения модели для прогнозов паводков рек Кереш дал в общем удовлетворительные результаты. Оказалось, что точность изданных прогнозов в большой мере зависит от исходных данных: от их количества и от того, что уровни на верхних водопостах были ли максимальными. Результаты по времени добегания были уже из-за того, что в большинстве случаев неизвестно точное время наступления максимального уровня паводка на исходной станции.

В настоящее время ведутся работы по переработке и дополнению стохастической модели прогнозов для рек Кереш. Принимаются во внимание и данные о паводках последних лет, тщательно изучаются качество исходных данных, чувствительность отдельных прогнозных зависимостей по отношению к точности исходных данных, возможность увеличения точности расчетных значений времени добегания.

FIG. 1. СХЕМА ВОДОСБОРА Р. КЕРШУ

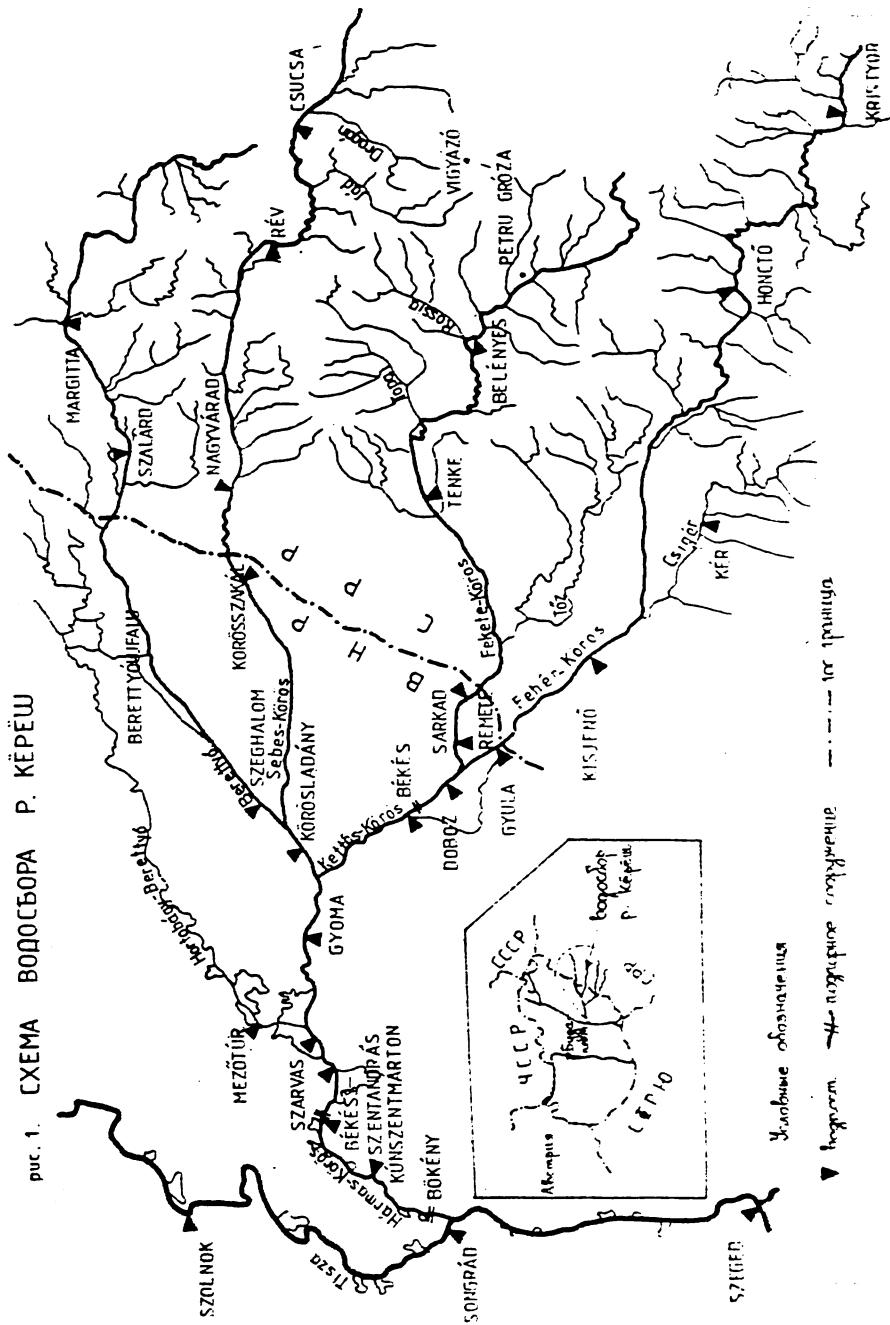
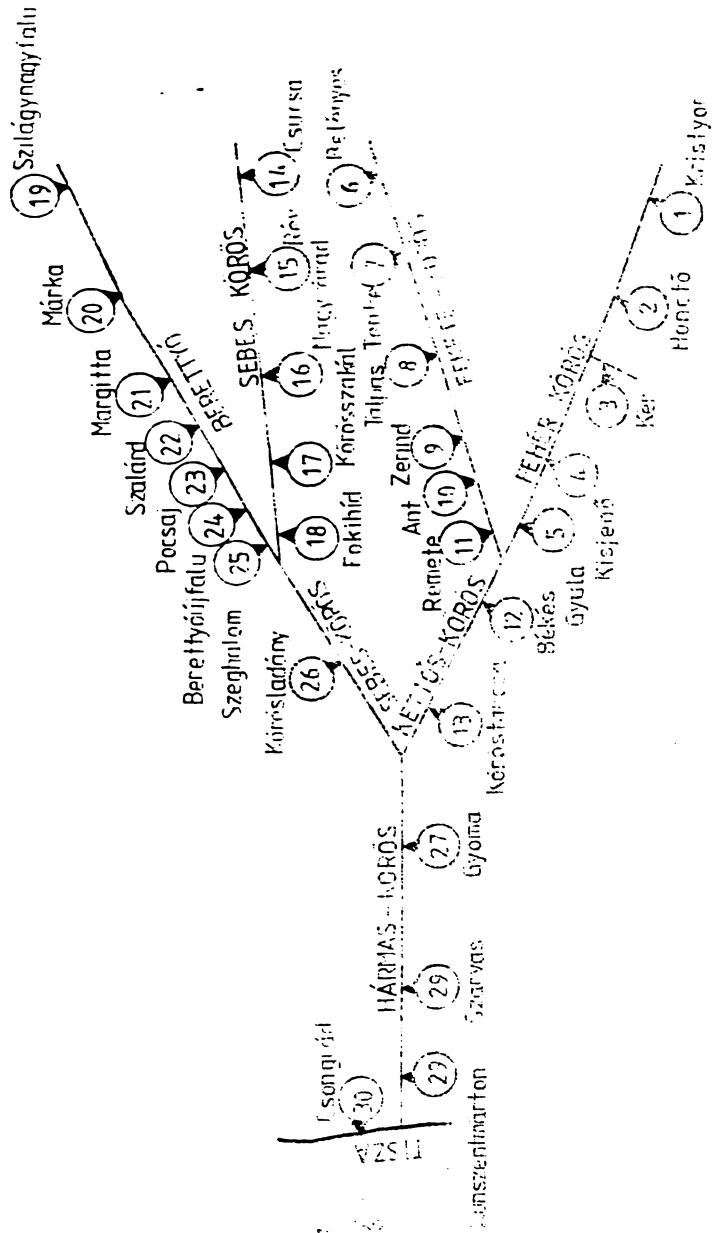
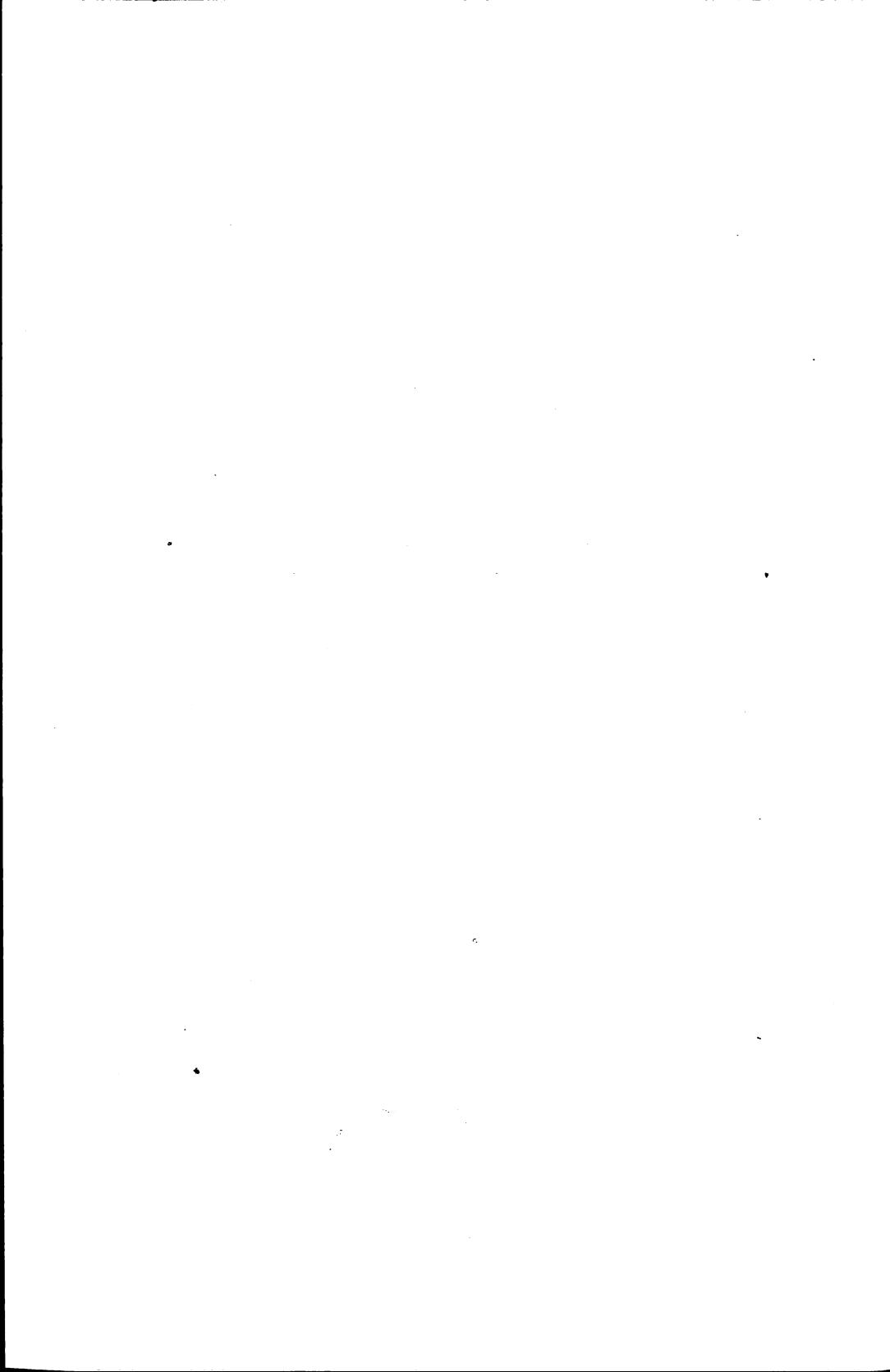


Рис. 2. СХЕМА

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОГНОЗИОННОЙ РАБОТЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОГНОЗИОННОЙ РАБОТЕ





ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА РЕЖИМА ШЛОЗИРОВАННЫХ РЕК

Эдем Вайк, Водохозяйственное управление Средне-тисайской территории, Сольнок, Венгрия

PROBLEMS OF FORECASTING RIVER FLOWS INFLUENCED BY BARRAGES

The forecasting procedures based upon regression analysis cannot be applied, or with very severe restrictions, for the head-water regime of rivers cascaded by barrages. The paper deals with the limitations of the usual forecasting procedures, and with the causes of forecasting errors. It overviews the possibilities and limits of the deterministic forecasting procedures. On the basis of experimental measurements carried out on the River Tisza a method is presented to forecast stages and discharges.

VORHERSAGEPROBLEME AUF VON STAUWERKEN BEEINFLUSSTEN FLÜSTRECKEN

Auf solchen Flüssen die mit Stauwerken abgestuft sind, können die übliche, meistens auf Regressionsverfahren basierte Vorhersagemethode im Rückstaubereich der Staustufen gar nicht, oder nur mit starken Beschränkungen angewandt werden. Es werden die Anwendungs-Begrenzungen traditioneller Verfahren, die Ursachen der Vorhersagefehler, die deterministische Modellierung des Wasserlaufes und deterministische Vorhersagemodele vorgeführt. Der Artikel hilft bei der Vorhersage des Wasserregimes von Füßen des Wasserstandes, des Durchflusses und bei der Herstellung des Unit Hydrographs. Die Resultaten beruhen auf Messungen an der Theiss.

ВВЕДЕНИЕ

За минувшие 30 лет на водный режим среднего течения реки Тисы, характеризующего незначительным уклоном и приходящего на территорию Венгрии, большое влияние оказывали искусственные изменения водной

системы. К этим изменениям относятся:

- строительство гидроузлов на Тисе Тислье, Краснодоне, ... Волчей; ;
- строительство гидроузлов на Кереше;
- гидроузел на Дунае (Железные ворота);
- превентивные строительства, проводимые в первую очередь после наводнения 1826 года на Тисе;
- строительства, обеспечивающие надежный урожай сельскохозяйственных культур.

Эти изменения водной системы различным образом влияют на режим реки. Регулирование водосбора, строительство сооружений для защиты от наводнений ускорило процесс добегания, возросли скорости добегания паводочных волн и их максимальные уровни. Водные массы, находящиеся за гидроузлом, изменяют форму паводочной волны, вызывая еще более неблагоприятное насыщение русла, таким образом влияя на режим реки. В то же время обдуманная и согласованная эксплуатация гидроузла создает благоприятные условия поверхностного наклона при формировании волн.

Работа электростанций в пиковом режиме в случае гидроузлов вызывает не наблюдавшие ранее прерывные волны, приводящие к значительным изменениям уровней воды в нижнем бьефе. Из-за явлений, перечисленных выше, применение графических методов, основанных на линейной регрессии и используемых раньше с большой надежностью, затруднено при уровнях волн, зависящих от подпорных сооружений. Вычислительная техника, все шире используемая за последние годы, дает возможность разрабатывать методы с большой точностью, но в то же время предъявляющих большие требования к данным.

Из-за ограниченных размеров данной работы в ней представлена лишь схема одного из таких методов. Более подробно рассмотрены вопросы, связанные с измерениями.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРОГНОЗУ

Заблаговременность прогноза

Желательно, чтобы заблаговременность прогноза приближалась ко времени добегания, характерного для водосбора. В первую очередь это необходимо при прогнозе пика паводочной волны.

Заблаговременность прогноза при эксплуатации водохранилища составляет 3 дня, при прогнозе навигационных уровней - мин. 2 дня.

| Точность прогноза

| Допустимая точность прогноза зависит от его водохозяйственных це-
| лей. При прогнозировании уровней наводнения в прогнозе максимального
паводка необходимо свести на минимум положительную ошибку. При про-
гнозировании планового водопользования в прогнозе минимальных расходов
~~воды~~^{уровня} необходимо свести на минимум отрицательную ошибку. Последнее от-
носится также к прогнозу навигационных уровней. Надежность прогноза
возрастает с уменьшением времени заблаговременности.

Прогнозирование с учетом ожидаемых в ближайшем будущем изменений
окружающей среды

При прогнозировании следует принимать во внимание:

- изменения в порядке эксплуатации подпорных сооружений;
- ~~и~~ временные изменения шероховатости русла реки, например, умень-
шение густоты растительности поймы, которая зависит от времени года;
- временные изменения поперечного профиля русла, например, изме-
нение высот летних дамб.

Самокорректировка

Желательно, чтобы в процессе прогнозирования происходило исправ-
ление прогнозируемых величин на основании ошибки между ранее вычислен-
ными и фактическими значениями.

Условия оптимальной эксплуатации

При эксплуатации прогноза желательно, чтобы время счета на ~~зан~~
было небольшим, минимальным в оперативной службе и в вычислениях ис-
пользовались традиционные данные.

Возможности комплексного использования модели

Данная модель применима для исследования влияний, оказываемых на
течение реки подпорными сооружениями летними дамбами. В дальнейшем
возможно использование ее для организации согласованной работы гидро-
узлов, относящихся к среднему течению реки Тисы, их оптимальной эксп-
луатации.

МЕТОДИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА

Подготовительные работы

Гидравлические процессы, характерные для водосбора, в модели прогноза лактся в упрощенном виде. Речная сеть разбивается на участки, границами которых являются гидроузлы, устья рек и замыкающие створы целых водосборов.

Для выбранных таким образом участков устанавливаются следующие характеристики:

- Кривые водного сечения, которые зависят от высоты уровня воды на границах участков и строятся на основании геодезических характеристик;

- Для участков определяются объемы русла на основании подробных измерений реки. Уровни воды на границе участков являются независимыми переменными в уравнении для объема русла. Для тех участков, где на поиме располагаются летние защитные дамбы обвалований, отдельно определяются объемы русла, защищаемые этими дамбами. Во время использования метода определение объемов таких участков происходит с учетом актуальной высоты летних летних дамб обвалования;

— Для профилей, характеризующих наличием упорядочных измерений расходов воды, определяются свойственные этим профилям зависимости расходов воды от уклона поверхности. соответственно методическому указанию [2], участки реки утверждаются с учетом расходов воды. Уровни воды на границах участков являются независимыми переменными в уравнениях, описываемых расходы воды;

- Разрабатываются зависимости для вычисления расхода воды гидроузла при различных режимах эксплуатации.

Задачи, возникающие в процессе использования модели

Прогнозирование происходит следующим образом:

- За начальный момент времени принимается момент времени измерения уровня воды на водомерном посту. За начальные условия берутся данные уровней воды на границах участков, используются актуальные данные об эксплуатации гидроузла.

- Вычислением быстро сходящихся итераций определяются кривые поверхности и для отдельных участков вычисляются параметры шероховатости русла.

Предполагая, что процесс квазистационарный, заранее выбранными сдвигами по времени вычисляются кривые поверхности на момент времени следующего измерения уровней воды.

- Оценивается разница между вычисленными и измеренными значениями кривых поверхности, определяются актуальные значения параметров коррекции.

В начале и конце метода оценивается изменение граничных условий.

Проводя вычисления сдвигами по времени, определяются кривые поверхности на прогнозируемый момент времени.

Aut. Если необходимо выдать прогноз на новый момент времени, то полученные результаты прогноза и измеренные значения сравниваются между собой, производится самоисправление, исправляются параметры коррекции.

Блок-схема модели представлена на рис. 1.

Прогнозы, осуществляемые с помощью метода

Модель позволяет давать следующие прогнозы:

Прогнозирование по времени ряда уровней воды для определенного профиля, прогнозирование пика паводочной волны и ее формы.

- Прогноз по времени расходов воды.

Прогноз ряда кривых поверхности.

Исследование влияний, оказываемых на водный режим изменениями воде эксплуатации гидроузла.

РЕШЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В процессе создания модели были решены различные теоретические и экспериментальные проблемы. Особое внимание уделялось следующему:

Влияние работы ГЭС в пиковом режиме на нижний бьеф

Были проведены подробные исследования влияния работы гидроузла Кышкере в пиковом режиме на нижний бьеф, которое в свою очередь влияет на прогноз уровней воды. Результаты измерений, приведенных на рис. 2, показывают момент "угасания" паводочной волны.

Определение расходов воды на участках, характеризуемых незначительными уклонами водной поверхности

для профилей водомерных постов, располагающих данными об измерении расходов воды, преследуется установление с большой точностью рядов

измеренных расходов воды. Определяются зависимости расходов воды от уклона поверхности. Определение расходов, таким образом, возможно лишь в том случае, если на участке реки между профилем, в котором проводятся измерения расходов воды, и ближайшим водомерным постом нет существенных, близких по величине к измеренному расходу притоков.

Тарирование участков происходит следующим образом:

- Рассматривается весь ряд наблюдений за расходами воды за время существования створа и выбираются данные, относящиеся к неизменившимся створам.

- Строятся графики величины живого сечения и смоченного периметра от уровней воды.

- Определяются значения шероховатости от уровней воды с учетом уклона водной поверхности на участке створа.

- На основании значений шероховатости, величины живого сечения и смоченного периметра строится график, по которому можно определять расходы воды в зависимости от уровней и уклона водной поверхности.

На рисунке 3 в качестве примера приведены изменения параметра шероховатости в зависимости от уровней воды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hazai vizfolyásaink vízállás-vizhozam értékeinek előre-jelzése (Szerzői munkaközössége) Kézirat. Budapest 1977.
- [2] VAJK, ÖDÖN: Módszertani utmutató kisesésü folyók vizhozamának meghatározásához. Kézirat. Szolnok 1981.
- [3] MUSZKALAY, LÁSZLÓ: Kiskörei Duzzasztómű vizszállításának meghatározása. Kézirat. Budapest VITUKI 1980.

Структура прогностической модели

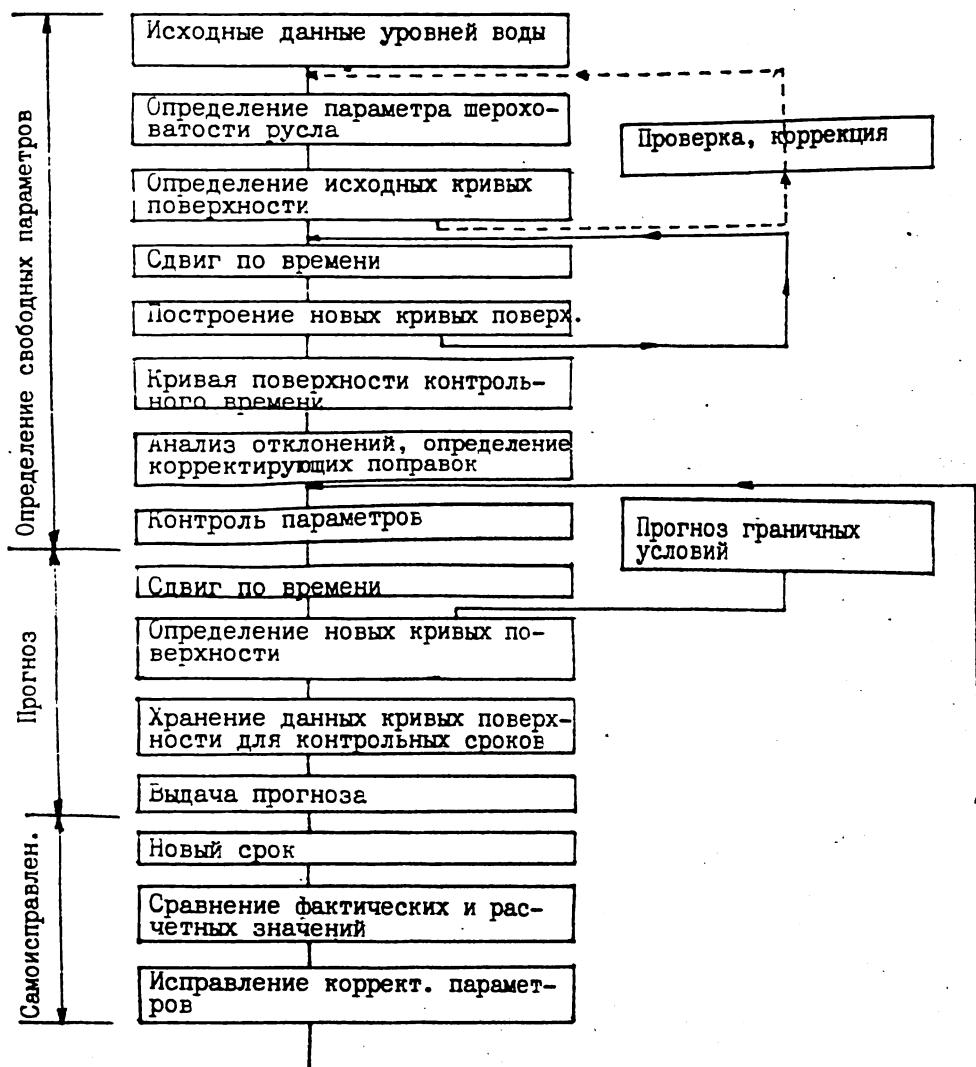
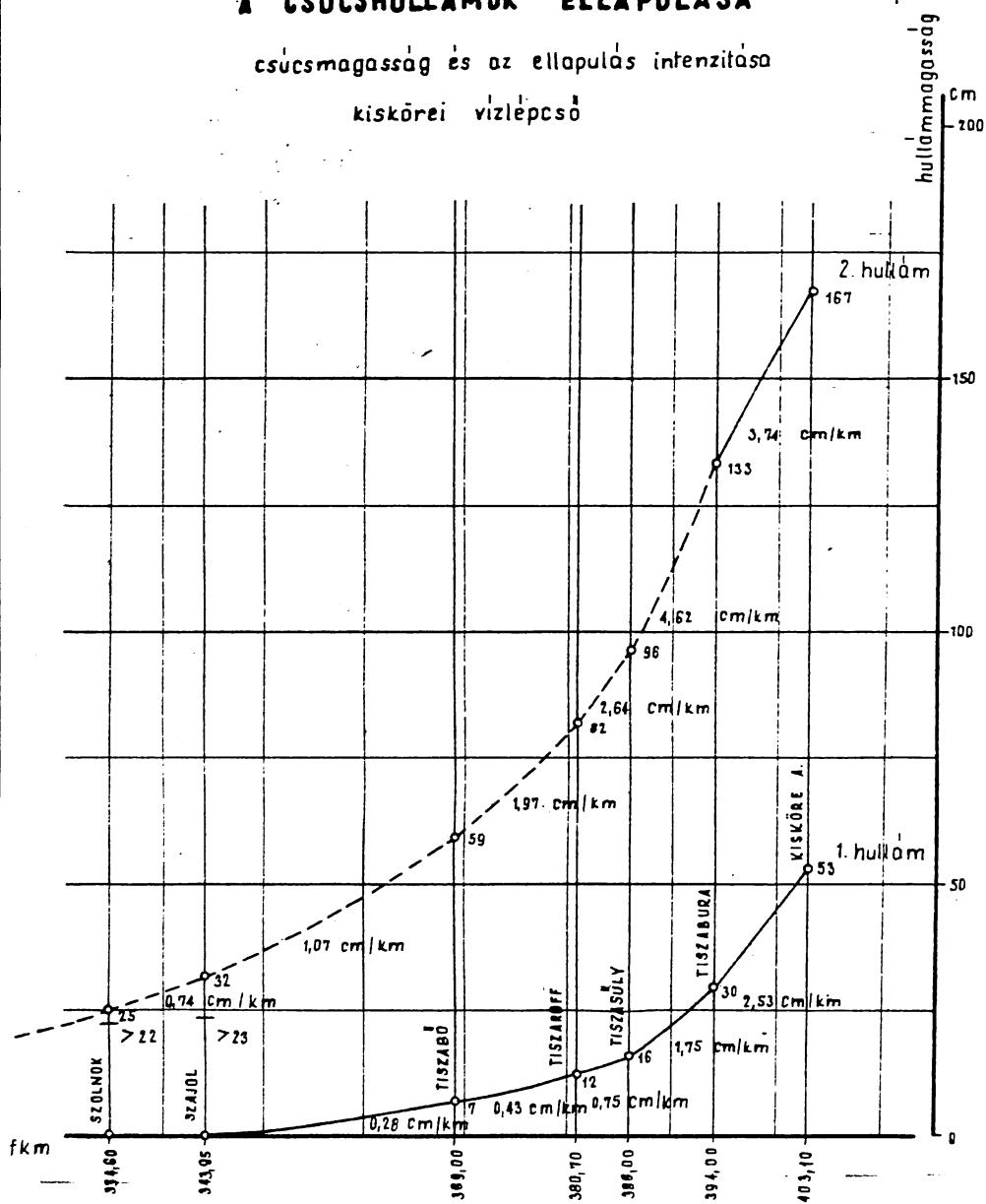


Рис. 1

Puc. 2.

A CSÚCSHULLÁMOK ELLAPULÁSA

csúcsmagasság és az ellapulás intenzitása
kiskörei vizlepcő



ВІДПОВІДЬ ДО МІжнародного конгресу з гідро-

АРХАНЕЛІС ДЖИНАІС, СОВЕТСКИЙ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ,
БАКУГРАД, СФР АФГАНІСТАН
ДЖИНОВІЧ ДРАГАН, ГІДРОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ СР СЕРБІЯ,
БЕЛГРАД, СФР ІБРОСЛАВІЈА

ON THE APPLICATION OF THE TWO MODELS FOR SHORT-TERM HYDROLOGICAL FORECASTING IN THE VELIKA MORAVA DRAINAGE BASIN

RÉSUMÉ ABSTRACT

The paper deals with some of the results obtained by use of the two models - CLS and MANS - for real-time river flow forecasting in the Velika Morava drainage basin at the gauging station Ljubičevski most. The two analysed models differ significantly by their structure. The CLS is based on the systems approach to the modelling of the rainfall - runoff process; in this model the drainage basin is considered as a quasi-nonlinear stationary system with multiple input and single output. The MANS belongs to the group of nonlinear conceptual models and has been developed taking the wellknown Kalinin-Miljukov linear model as a starting point. The results of their application to the Morava river basin show that the two models can be successfully used for the operational real-time hydrological forecasting. The forecasting error statistics, obtained by use of the CLS and MANS models do not differ significantly.

ÜBER ANWENDUNG ZWEI MODELLE FÜR KURZFRISTIGE HYDROLOGISCHE VORHERSAGE IM FLUSSGEBIET VELIKA MORAVA

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit sind einige Resultate der Anwendung der Modelle CLS und MANS für die kurzfristige Forhersage des Durchflusses und Pegel Ljubičevski Most im Flussgebiet der Velika Morava. Die zwei analysierte Modelle sind bedeutsam verschieden in der Struktur. CLS ist basiert auf dem Systemzugang in der Modellierung des Prozesses Niederschlag-Abfluss und in diesem Modell ist das Gebiet als quasiunlinear, stationäres System mit mehrfachen Eingang und einfachen Ausgang betrachtet. MANS gehört der Gruppe der unlinearen, konzeptuellen Modelle und als Startgrundlage in der Entwicklung dieses Modelles ist der bekannte lineares Modell Kalinin-Miljukov genommen. Die Resultate der Anwendung in Flussgebiet Velika Morava zeigen dass diese zwei Modelle für operative kurzfristige Forhersage des Durchflusses erfolgreich anwenden können. Fehlern der Forhersage, die bei der Anwendung der Modelle CLS und MANS entstehen, unterscheiden sich statistisch unbedeutend.

ВВЕДЕНИЕ

Существующий опыт в применении различных прогностических моделей бочного стока, а в особенности результаты проекта ВМО [9] показывают, что качество краткосрочных прогнозов зависит прежде всего от следующих обстоятельств: от физико-географических условий, расположенной гидрометеорологической информации и применяемой прогностической модели.

Имея в виду условия формирования стока в бассейне реки Б. Моравы и существующие возможности сбора и передачи гидрометеорологической информации в реальном времени из рассматриваемого бассейна, исследованы возможности применения моделей МАНС [1,2,4,5] и ЦЛС [3,7,8] для краткосрочного прогнозирования расходов воды в створе Любичевский Мост. При этом имелись в виду одинаковые и относительно скромные требования этих моделей в гидрометеорологической информации с водосбора. Также учитывался тот факт, что модели МАНС и ЦЛС, по внутренней структуре, между собой значительно отличаются и сопоставление результатов их применения, само по себе, представляет определенный интерес.

Здесь, в сокращенной форме, рассматриваются структура упомянутых двух моделей, поступки определения их параметров, результаты проверки качества моделей т.е. оценка возможностей их применения для краткосрочного прогнозирования расходов воды реки Б. Моравы, в створе Любичевский мост.

СТРУКТУРА МОДЕЛЕЙ МАНС И ЦЛС

Модель МАНС / Адаптивная Модель Нелинейной Системы / базируется на концепте модели линейного резервуара Калинина-Милюкова / Непа /, обобщенного на случай произвольного участка и учитываюии бокового поверхности притока в русло с той части водосбора, которая принадлежит рассматриваемому участку. Модель замышлена так, чтобы реагировала на различные ситуации в речной сети и водосборе изменением своей структуры и своих параметров. В общем случае - приточный участок со значительным поверхностным боковым притоком - математическая модель дается в следующем виде:

$$Q_{i+1} = \alpha(Q_i)Q_i + \beta(Q)Q_i + \sum_{k=1}^n C_k P_k, \quad i-k+1 \quad /I/$$

где Q - расход в замыкающем створе участка; Q' - расход на входном створе участка /в случае одного или нескольких притоков, G - пред-

ставляет собой сумму расходов главной реки и ее притоков/; $\alpha / Q /$ и $\beta / Q /$ - нелинейные функции расходов в замыкающем створе участка; R_e - слой стока с плошади, ограниченной входным и замыкающим стэбрами, и, наконец, a_i - ординаты импульсной функции.

При отсутствии поверхностного стока, из уравнения /1/ получается выражение, представляющее собой обобщенную модель Калинина-Милькова, т.е. нелинейную модель распластывания паводочной волны на произвольном участке реки. Для фиксированного значения G , эта модель принимает форму известной модели линейного резервуара.

$$Q_{i+1} = (1-K)Q_i + KQ_i. \quad /2/$$

где $K = \exp(-\frac{\Delta t}{T})$ и T - время добегания на участке для фиксированного G .

Для случая двух последующих, бесприточных участков реки, ограниченных водомерными постами, находящимися приблизительно на изохронах ~~изохрон~~ t , для замыкающих створов обоих участков, пользуясь соответствующими моделями типа /1/, можно получить прогнозы для $i+1$ -го интервала. Так как замыкающий створ второго участка является входным для первого, то для него располагаем прогнозами для обеих его створов. Это дает возможность получить прогноз расхода для замыкающего створа первого участка, в $i+2$ -ом интервале времени. Этот поступок легче можно обобщить на случай произвольного числа участков главной реки и ее притоков.

Для определения слоя стока $R_e /$, можно пользоваться любым из известных способов. В настоящей работе, входной величиной является не сток $R_e /$, а просто осадки $P /$.

Значения зависимостей $\alpha / G /$ и $\beta / G /$, вычисляются для нескольких фиксированных значений G , на базе данных наблюдений, расположенных в калибрационном периоде. По точкам G , $\alpha / G /$ и $\beta / G /$, проводятся графики этих зависимостей, которые потом залдаются в форме таблиц /2,3/.

За весь период наблюдений, используемый для калибрации параметров модели, вычисляются прогнозы расходов для замыкающего створа участка, на основании расходов воды на входном замыкающем створе.

Для каждого временного интервала в калибрационном периоде, вычисляются отклонения прогнозов $/ Q^o /$ от наблюденных значений $/ Q /$ расходов в замыкающем створе рассматриваемого участка:

$$\Delta Q_i = Q^o_i - Q_i.$$

Положительные отклонения считаются последствием поверхностного стока и их составят в линейную зависимость от осадков в i -ом и n -ем предшествующих интервалах, т.е.

$$\Delta Q_{i+1} = a_1 P_i + a_2 P_{i-1} + \dots + a_n P_{i-n+1} \quad /4/$$

Коэффициенты a_k - определяются методом наименьших квадратов [5]. Осадки, выпавшие на часть водосбора, принадлежащую участку реки определяются как среднее арифметическое для нескольких пунктов наблюдения за осадками. Расчеты производятся на ЭВМ по программе МАС, которая еще не полностью укомплектована.

В модели ЦГС /линейная модель с ограничениями/, предложенной в работах [1, 7, 8], водосбор рассматривается как линейная система, на входе которой является вектор с N компонентов. Связь между выходом и векторным входом определяется с помощью обобщенного интеграла свертки /convolution/, т.е.

$$Q(t) = \int_0^t U_i(\tau_i) I_i(t-\tau_i) d\tau_i + \dots + \int_0^t U_N(\tau_N) I_N(t-\tau_N) d\tau_N \quad /5/$$

где $Q(t)$ - выходная функция-гидрограф в замкнутом створе; $I_i(t)$, $-i=1, 2, \dots, N$ //, входные функции, которые могут быть: расходы на различных участках речной сети и/или осадки на различных пунктах; $U_i(\tau_i)$ - импульсные функции ответа системы на единичный вход различных компонентов входного вектора. Для дискретных значений выходных функций интеграл свертки /5/ можно представить в матричной форме:

$$Q = HU + \varepsilon \quad /6/$$

где $H = h_1, h_2, \dots, h_N$ - партитивна прямоугольная матрица порядка $m \times N$ элементами которой являются значения членов компонентов вектора: входных величин /расходы и/или осадки/, заданных в дискретных временных интервалах / Δt /; $U = U_1; U_2; \dots; U_N$ - партитивный вектор импульсной функции; Q - вектор значений выходного расхода, также в дискретных временных интервалах; ε - вектор ошибок. Задача идентификации вектора U решается уловительно-следственным способом отысканием минимума квадратичной формы с добавочным условием, ограничивающим область отыскания минимума.

Программа для ЭВМ разработана в Научном центре IBM, Пиза, Италия, авторами [6]. Программа дает возможность идентификации вектора U , для 10-и компонентов входного вектора /8 компонентов с расхода-

ки воды в верхних створах и два компонента с осадками, выпавшими на рассматриваемом водосборе/. Кроме того, существует возможность введения "порогов" для осадков /не более двух/, определяемых по значениям "индекса предшествующего увлажнения" /ИПУ/. В таком случае, ЦЛС можно считать нелинейной стационарной моделью.

ЦЛС принадлежит группе моделей, анализированных в проекте БМС [9]. Сопоставление результатов применения этой и других, более сложных моделей, показало, что качество модели ЦЛС того же порядка и нередко и выше.

КАЛИБРАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ МАНС И ЦЛС ДЛЯ РЕКИ В. МОРАВЫ

Для калибровки параметров рассматриваемых моделей использованы данные о суточных расходах и осадках для тех водомерных постов, которые включены в информационную сеть, рис. I. Принят калибровочный период ~~около~~ в 6 лет, с 1.1.1967 по 31.12.1974 год. Выполнена калибрация 4-х вариантов моделей МАНС и ЦЛС, для прогнозов суточных расходов в створе Любичевски Мост с заблаговременностью $T = 1,2,3,4$ сут. При этом для $T = 1$ сут., принимались во внимание расходы в створах /01/ Люб. мост и /02/ Багрдан; для $T = 2$ сут., кроме предыдущих двух, и в створы /03/ Ясики и /04/ Мойсине; для $T = 3$ сут., кроме упомянутых, еще /05/ Араклево, Лакат /06/, /07/ Кор. Град и /08/ Чим для $T = 4$ сут. Все упомянутые и еще пробыли /09/, /10/, /11/, /12/ и /13/. Скважина относится как к модели МАНС, так и к модели ЦЛС.

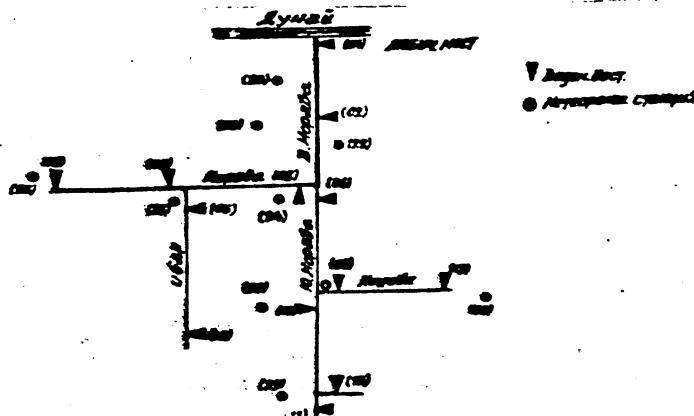


Рис. I. Схема расположения водомерных и гидрометеорологических постов

На рисунке 2. представлены зависимости $\Delta / G_i /$ и $\beta / G_i /$ для водомерных постов Л. Мост и Багран. Такого типа зависимости определены еще для постов Ясика, Мойсине, Кралево, Лакат, Кор.Град и Нир.

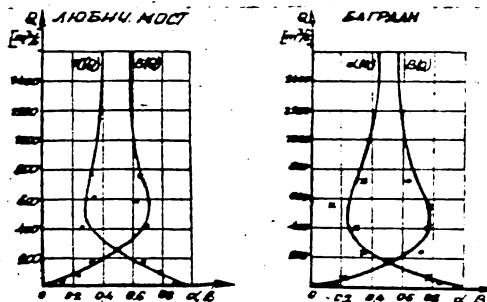


Рис.2. Зависимости $\Delta / G_i /$ и $\beta / G_i /$ для в.п. Л.Мост /а/ и в.п. Багран /б/.

По отношению к данным об осадках, анализированы различные варианты моделей МАНС и ЦЛС, с целью выбора наилучшего. Критерием качества вариантов служили статистики отклонений прогнозированных от наблюдаемых значений, таких как среднее отклонение, дисперсия и экстремальные отклонения.

На базе этих анализов, в интерактивной работе на ЭВМ, отобраны наилучшие варианты прогностических моделей для $T = 1, 2, 3$ и 4 суток для в.п. Любичевски Мост.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ

Проверка прогностических моделей МАНС и ЦЛС, параметры которых определены на основании данных наблюдений за период 1957 - 1974 год, выполнена на базе данных о расходах и осадках за период с 1975 - 1977 год. За каждые сутки этого периода вычислены прогнозы расходов в профиле в.п. Любичевски Мост, для прогностических периодов $T = 1, 2, 3$ и 4 суток и также, вычислены отклонения прогнозов от наблюдаемых значений $\Delta G_i /$.

В таблице I. дается обзор основных статистик отклонений: среднее $\Delta Q_i /$, стандартные отклонения $S_{\Delta Q_i} /$ и экстремальные отклонения $\max \Delta Q_i$ и $\min \Delta Q_i /$ и то, как для калибровочного, так и для проверочного периодов, для всех отобранных вариантов моделей МАНС и ЦЛС.

Из таблицы I. видно, что статистики отклонений для калибровочного и верификационного периодов незначительно отличаются, что показывает, что использованные модели правдоподобно описывают процес-

стока воды с водосбора р. Б.Моравы. Т.е., что стандартные отклонения для проверочного периода меньше, чем для калибровочного, отражает на особенность рассматриваемых моделей, а всего лишь особенности расположения временных рядов. Результаты из табл. I. показывают еще, что рассматриваемые модели стабильные и, тем самым, годны для применения в целях оперативного прогнозирования суточных расходов воды р. Б.Моравы в профиле Б.п. Любичевски Мост.

табл. I. Статистики отклонений для калибровочного и проверочного периодов и для прогнозического периода $T = 1,2, 3$ и 4 суток.

прогнозический период τ [сут]	модель	статистики отклонений									
		период калибрации				период проверки					
ΔQ_{st} $[m^3/sec]$	S_{st} $[m^3/sec]$	$\max Q^*$ $[m^3/sec]$	$\min Q^*$ $[m^3/sec]$	ΔQ_{st} $[m^3/sec]$	S_{st} $[m^3/sec]$	$\max Q^*$ $[m^3/sec]$	$\min Q^*$ $[m^3/sec]$	ΔQ_{st} $[m^3/sec]$	S_{st} $[m^3/sec]$	$\max Q^*$ $[m^3/sec]$	$\min Q^*$ $[m^3/sec]$
1. сут.	(1) CLS	0,0	38,46	362	-415	7,54	36,46	336	-345		
	МАНС	-0,1	38,69	416	-385	8,8	32,73	292	-172		
2. сут.	CLS	-1,06	60,03	324	-386	-2,97	58,06	424	-452		
	МАНС	0,80	58,40	325	-328	0,19	57,30	431	-321		
3. сут.	CLS	3,10	86,07	539	-630	14,00	83,45	691	-400		
	МАНС	2,60	85,12	530	-520	5,78	82,83	584	-429		
4. сут.	CLS	-9,13	108,9	506	-845	18,97	107,4	873	-428		
	МАНС	-7,65	106,7	520	-722	11,20	107,3	725	-581		

остается рассмотреть еще вопрос объективной оценки качества примененных моделей. В настоящей работе для оценки качества моделей использованы критерии "индекса детерминации" / η /

$$\eta = \sqrt{1 - (S_{\Delta Q}/S_{\Delta Q^*})^2}$$

/7/

и допущенной ошибки $\Delta Q_{оп} = 0,647 S_{\Delta Q^*}$. Здесь

$$S_{\Delta Q^*} = \sqrt{\sum (\Delta Q(t) - \bar{\Delta Q}(t))^2 / n}$$

/8/

где $\Delta Q(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ - ряд величин природных отклонений прогнозируемой величины за период T , $\bar{\Delta Q}(t)$ - арифметическое среднее этого ряда. В табл. 2. даны эти величины для обеих моделей и интервалов $T = 1, 2, 3$ и 4 суток.

Из данных в табл. 2. видно, что модели МАНС и ЦЛС дают хорошие или удовлетворительные прогнозы, согласно [9].

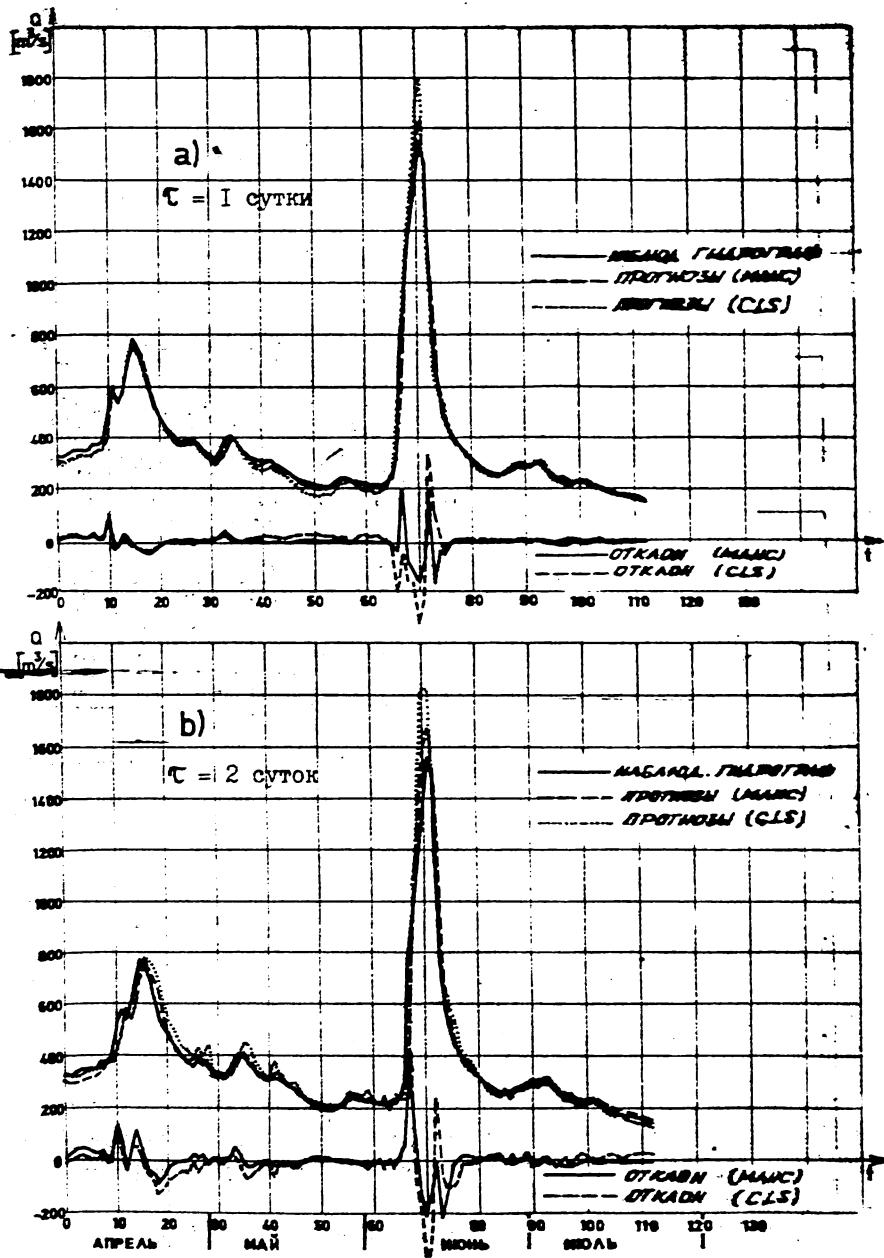


Рис. 3

Табл. 2. Значения критериев для оценки качества моделей МАНС и ЦЛС для проверочного периода реки В.Д. Люб. мост на реке Беликой Мораве

прогност. период τ [сут]	модель	$S_{\Delta Q}(\tau)$	$\frac{\partial=0.624}{S_{\Delta Q}(\tau)}$	S_c [m ³ /sec]	$\frac{S_c}{S_{\Delta Q}}$	η
		[m ³ /sec]	[m ³ /sec]			
1.сут.	CLS	53.26	± 35.9	36.98	0.69	0.72
	МАНС			32.73	0.61	0.79
2.сут.	CLS	95.25	± 64.2	58.06	0.61	0.79
	МАНС			57.30	0.60	0.80
3.сут.	CLS	123.59	± 83.3	83.45	0.67	0.74
	МАНС			83.63	0.67	0.74
4.сут.	CLS	144.65	± 97.5	107.4	0.74	0.67
	МАНС			107.3	0.74	0.67

Спектр применения моделей МАНС и ЦЛС на реке В. Мораве и других водотоках в СФР показывает их явную склонность к единичным, или чем надо отметить, что процесс калибровки параметров модели МАНС требует более объемных и более сложных анализов, чем модель ЦЛС. С другой стороны, модель МАНС дает несколько лучшие прогнозы, что особенно относится к интервалу $T = 1$ сут. Тоже следует отметить, что модель МАНС более чувствительна на точность данных о расходах, что вполне согласно с ее внутренней структурой. На рис. 3. даются сопоставленные гидрограммы наблюденных и прогнозированных расходов для $T = 1$ и 2 сут. для периода апреля - июль 1976-го года, в котором зарегистрированы самые интенсивные изменения расходов во всем проверочном периоде. Показаны также и отклонения прогнозов от наблюденных расходов.

Наконец, пользуясь возможностью выразить благодарность Научному центру ГИС из Пизы, Италия, за предоставленные возможности воспользоваться их программой для ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andjelic,M.(1975):On the short-term river flow forecasting for a Danube reach with a tributary. Proceedings of the VIIth Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting. Regensburg.
2. Andjelic,M., Szollosi-Nagy, A.(1980): On the use of stochastic-structural models for real time forecasting of river flow on the river Danube. Proceedings of the Oxford Symposium, April 1980, IAHS Publication No. 129.
3. Befani,N.F., Kalinin,G.P.(1965): Uprznenia i metodiceskie razrabotki po gidrologiceskim proanozam. Gidrometeoizdat,Leningrad.

4. Janković, D.(1973): Proračun transformacije poplavnog talasa jednačinom veze korespondentnih proticaja sa promenljivim koeficijentima. Vodoprivreda 17-18, Beograd.
5. Janković, D.(1981): Adaptivni model rečnog oticanja. Vodoprivreda, broj 75, Beograd.
6. Marteli, S., Todini, E., Wallis, J.R. 1977): CLS: Constrained Linear Systems. John Wiley and Sons, London.
7. Natale, L., Todini, E.A.(1977): Constrained Parameter Estimation Technique for Linear Models in Hydrology. John Wiley and Sons, London.
8. Todini, E., Wallis, J.R.(1977): Using CLS for Daily or Longer Period Rainfall-Ranoff Modelling. John Wiley and Sons, London.
- 9 WMO, (1975): Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecasting. WMO - No. 429, Geneva.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ТАЛОГО СТОКА ГОРНЫХ РЕК НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ С ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Е.Л.Музылев, Л.К.Боллявская
Институт водных проблем АН СССР, Москва, СССР

ON MODELLING THE SNOWMELT RUNOFF OF MOUNTAIN RIVERS BASED ON REMOTE SENSING DATA

Using a model for the formation of snow cover and water inflow onto the surface of a catchment area, daily distributions of snow-cover water reserves over altitudinal zones, position of the snow line, and daily water inflow onto the surface of a catchment area have been estimated. Using a transformation model, water inflow values were recalculated into an outlet runoff hydrograph that was compared with an actual one. The percentage of the catchment area covered by snow and the altitude of the snow line have been determined from TV images obtained by meteorological satellites for succeeding dates. The comparison of the snow-line altitudes, determined from the model, and satellite data has made it possible to identify the model parameters (to select coefficients of snowmelt, type of altitudinal distributions of precipitation and temperature, and coefficients of these distributions). The model has been tested using the observation data from the catchment area of the Gavasai River, Western Tien Shan.

ÜBER DIE MODELLIERUNG DES TAUWASSERABFLUSSES VON GEBIRGSFLÜSSEN AUF DER GRUNDLAGE DER INFORMATION VON DEN KÜNSTLICHEN ERDSATELLITEN

Mit Hilfe eines Modells der Formierung der Schneedecke und des Wasserzuganges auf die Oberfläche des Einzugsgebietes wurden alltägliche Verteilungen der Wasservorräte in der Schneedecke, die Lage der Schneegrenze sowie alltägliche Wasserzugänge auf die Oberfläche des Beckens nach den Höhenzonen berechnet. Die Werte der Wasserzugänge wurden mit Hilfe eines Transformationsmodells auf die Abflussganglinie in der Abschlußsperrstelle umgerechnet, die mit dem tatsächlichen verglichen wurde. Nach den Fernsehaufnahmen von den meteorologischen Erdsatelliten wurden der Anteil der mit Schnee bedeckten Fläche des Einzugsgebietes und die Lage der Schneelinie für aufeinanderfolgende Termine bestimmt. Eine Gegenüberstellung der Höhenwerte der Schneedeckengrenze, die nach dem Modell und anhand von Daten der Erdsatelliten bestimmt wurden, gestattete, die Parameter des Modells zu identifizieren.

(die Werte der Abtaukoeffizienten zu bestimmen, die Art der Höhenverteilungen von Niederschlägen und der Temperatur zu wählen und die Koeffizienten dieser Verteilungen vorzugeben). Die Approbation des Modells wurde nach den Angaben der Beobachtungen auf den Einzugsgebiet des Flusses Grawassaj (West-Tienschan) durchgefert.

Прогноз гидрографа стока горных рек за весенне-летний период является очень важным, особенно для районов развитого поливного земледелия, таких, как Ферганская долина. Основными источниками орошения здесь являются, помимо крупных Сырдарьи, Нарына и Карадарьи, небольшие реки, стекающие со склонов гор к центральной части долины, весь или почти весь объем стока которых разбирается в оросительные каналы. Чтобы лучше использовать сток горных рек, правильно распределять и перераспределять воду в соответствии со спросом на нее, необходимо заранее каждый год как можно более точно знать водность этих рек за весь период весенне-летнего половодья. Половодье формируется в данном районе в основном за счет таяния сезонного снега, количество которого можно заблаговременно оценить. Для прогноза гидрографа стока надо знать, как меняется во времени распределение по высоте бассейна запасов воды в снежном покрове. Однако вследствие недостатка данных о процессах формирования снежного покрова и снеготаяния в горных районах или их нерепрезентативности единственная возможность получения вертикальных профилей метеорологических характеристик состоит в проведении экстраполяции данных метеонаблюдений в предгорьях вплоть до максимальных высот бассейнов. В результате многочисленных исследований указанной экстраполяции стало возможно выделить наиболее характерные типы высотных распределений метеоэлементов и пределы колебаний входящих в них коэффициентов. Накопление и анализ такой информации позволили приступить к созданию моделей снеготаяния в горах и поступления воды на поверхность горного бассейна. Первая в СССР математическая модель подобного рода была разработана Ю.М.Денисовым с сотрудниками /3; 4; 8/ на примере ряда горных водосборов рек Средней Азии. Эта модель была развита и дополнена в ГМЦ СССР /II; I2; I3/ на основе данных наблюдений за снежным покровом в бассейне р.Варзоб (Памир) /6; 9/. Однако оценка точности такой модели и идентификация ее параметров невозможны без присоединения к ней модели трансформации поступления воды на водосбор в гидрограф стока и использования для этих целей наблюдений за стоком. Точность определения параметров обеих моделей при этом оказывается недостаточной. Появление ежедневных снимков с ИСЗ позволяет использовать спутниковые данные о заснеженности

бассейна для определения параметров модели формирования снежного покрова и поступления воды на водосбор. Попытка такого использования осуществлена в данной работе.

Такой же подход разрабатывается в работах /10; 14; 17; 19; 20/. Данные о покрытости водосбора снегом и ходе снеготаяния совместно с результатами наземных измерений метеорологических характеристик использованы для расчета стока с горных бассейнов в Швейцарских Альпах, Скалистых горах (США) /19; 20/ и Сьерра-Неваде (США) /17/.

В нашей работе на основании сопоставления значений высот снегового покрова границы, рассчитанных по модели и полученных в результате обработки спутниковых снимков, произведен подбор значений коэффициентов стаивания, выбран вид высотных распределений осадков и температур, заданы коэффициенты этих распределений. Все расчеты проводились для бассейна р. Гавасай (южный склон Чаткальского хребта, площадь водосбора 65^2 км^2).

Гавасай выше замыкающего створа (п. Гава) – типичная среднеазиатская горная река. Питание ее снеговое, часть стока дают также дожди. Ледников в бассейне реки нет. Объем стока за половодье ($\sim 85\%$ годового) определяется зимними запасами снега и выпадающими в период половодья осадками. Половодье начинается в первой половине апреля, заканчивается в конце августа. максимальные расходы в мае-июне, в июле наступает резкий спад. Среднегодовой расход воды в створе п. Гава $\sim 6 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный расход при паводке достигает $40 \text{ м}^3/\text{с}$ /1; 5/.

Исходным материалом в нашей работе послужили телевизионные снимки с метеорологических спутников Земли системы "Метеор" за 1975, 1976, 1976–1980 гг. Выбранные снимки отвечали требованиям наименьших перспективных искажений и отсутствия облачности. Они были трансформированы на картографическую прямую равногольную коническую проекцию с последующим увеличением до масштаба 1:2500000 (1975, 1976 гг.) и 1:1000000 (1978–1980 гг.). Использование характерных особенностей изображения подстилающей поверхности данной территории – русел рек, направления хребтов, теней от гор и т.д. позволило нанести на снимки границы исследуемого водосбора. Точная привязка производилась по снимкам большего разрешения (Салют-4, ERTS). На снимках масштаба 1:2500000 были определены площади черного и белого тонов. На снимках масштаба 1:1000000 оказалось возможным определить площадь черного, серого и белого тонов. Покрытость высотной зоны снегом (в %) определялась по соотношению площадей белого, серого и черного тонов как весовое среднее, причем принималось, что белый тон соответствует 100%.

ной покрытости снегом, серый - 50%-ной покрытости и черный - нулевой покрытости. Покрытость бассейна снегом была детализирована для пяти высотных зон: ниже 1200 м; 1200-1800 м; 1800-2400 м; 2400-3000 м и выше 3000 м. Высота снежевой границы определялась по гипсографической кривой бассейна при учете доли покрытости водосбора снегом по методике, предложенной в /16/. Область пятнистого залегания снега считалась зоной 50%-ной заснеженности. При дешифрировании и анализе спутниковых снимков доля заснеженности принималась одинаковой как для освещенных, так и для затененных участков бассейна для всех высотных зон. Точность определения заснеженности при использовании описанных методик составляет по нашим оценкам 6-10% в зависимости от разрешающей способности аппаратуры различных ИСЗ, а точность проведения снежевой линии - 150-300 м по высоте /16/.

При построении модели формирования снежного покрова и поступления воды на поверхность водосбора р.Гавасай были сделаны следующие допущения:

1. Изменение температуры воздуха с высотой считалось линейным

$$T(H, t) = T(H_0, t) - \gamma (H - H_0)$$

(I),

где H_0 - высота гидрометеостанции в бассейне р.Гавасай, $T(H_0, t)$ - средняя температура на высоте станции, γ - вертикальный температурный градиент, град/м.

2. Осадки, выпавшие выше высоты нулевой изотермы, считались только твердыми.

3. Осадки, выпавшие ниже высоты изотермы 2°C, считались только жидкими.

4. Полагалось, что таяние снега происходит ниже высоты нулевой изотермы везде, где есть снег. Интенсивность таяния h_t , рассматривалась без учета и с учетом радиационного эффекта. В первом случае принималось, что

$$h_t = K_1 T$$

(2),

а во втором

$$h_t = K'_1 T + m S (1 - A)$$

(3),

где T и S - средние значения температуры воздуха между сроками наблюдений и суммарной радиации, поступающей в те же временные интервалы на 1 см² поверхности, K_1 и K'_1 - коэффициенты стаивания, A -

альбедо снега, m - эмпирический коэффициент. Поступление суммарной радиации при различной облачности (S) рассчитывалось по формуле Кузьмина /2/

$$S = S_0 (1 - 0,20N - 0,47N_H) \quad (4),$$

где N и N_H - общая и нижняя облачность. Суммарная радиация при безоблачном небе (S_0) вычислялась по формуле /8/:

$$S_0 = T_0 \exp [-b \exp (-Z/H)] \cos \varphi \cos \delta \Psi(x) \quad (5),$$

где φ - широта, δ - солнечное склонение, Z - высота над уровнем моря, м, H - высота однородной атмосферы ($H = 8000$ м), T_0 - солнечная постоянная,

$$\Psi(x) = \frac{1}{\pi} [\sqrt{1+x^2} + x \operatorname{arccos}(-x)], \quad x = t g \varphi t g \delta$$

Как и в работе /8/, коэффициент b для данной широты принимался постоянным ($b = 0,390$). Величина δ (в угловых градусах) рассчитывалась по формуле

$$\delta = 23,5 \sin \frac{2\pi}{\pi} (t - 81) \quad (6),$$

где t - время в сутках, отсчитываемое от 1 января. Внутригодовой ход альбедо задавался по результатам измерений в данном районе /3/. Высотная зона между изотермами 0°C рассматривалась как промежуточная - выпавшие в ней осадки считались твердыми и одновременно в ней происходило таяние снега с интенсивностью n_τ .

В нашей модели учитывались водоудерживающая способность снежного покрова и замерзание талой воды в снеге при наступлении морозов во время снеготаяния. Водоотдача снежного покрова рассчитывалась по формуле

$$q_\tau = h_\tau / (1 - \varepsilon_n) \quad (7)$$

Водоудерживающая способность снега ε_n принималась равной 0,13. Количество воды, замерзшей за сутки, X_3 , рассчитывалось по аналогии оценкой для небольших равнинных рек по формуле /13/:

$$X_3 = 1,55 \sqrt{|T_{\min}|}$$

где T_{\min} - минимальная температура воздуха в течение суток.

связь T_{min} со среднесуточной температурой T использовалась зависимость, предложенная в /13/ для бассейна р.Барзоб (Памир).

$$T_{min} = 0,91 T - 3 \quad (9)$$

Использованные в модели данные о температуре воздуха, осадках и облачности были получены по наблюдениям ГМС, находящейся в бассейне р.Гавасай, за 1971, 1972, 1975, 1976, 1978–1980 гг. Данные об осадках и температуре, полученные на высоте ГМС, были экстраполированы как до максимальных (3800 м), так и до минимальных (1000 м) высот бассейна. Для экстраполяции осадков использовалась формула /4/:

$$X(H, t) = X(H_0, t) [1 + K_2(H - H_0) + K_3(H - H_0)^2] \quad (10),$$

где H_0 – высота названной гидрометеостанции; K_2 и K_3 – параметры, определяемые для данного бассейна из наблюдений за осадками. В работах /4, 8, 13, 15/ значения K_2 и K_3 находились по формуле (10) методом наименьших квадратов по среднегодовым суммам осадков, измеренных станциями, находящимися в исследуемых бассейнах. Отрывочность во времени данных осадкомеров, расположенных в бассейне р.Гавасай, и неравномерность их расположения по высотам не дали возможности применить формулу (10) для расчета K_2 и K_3 . Для задания K_2 и K_3 , а также коэффициента γ в формуле (1) использовались значения, рассчитанные для соседнего бассейна р.Ахангаран, находящегося в сходных физико-географических, гидрологических и метеорологических условиях. Значения K_2 имеют внутригодовой ход, с максимумом в августе ($K_2 = 0,736$) и минимумом в марте ($K_2 = 0,213$), K_3 также претерпевает внутригодовые изменения, достигая наибольшего значения в сентябре ($K_3 = 0,053$), а наименьшего в марте ($K_3 = -0,144$). Коэффициент γ также имеет внутригодовой ход, изменяясь от значений 4,3 град/км в декабре до 7,3 град/км в июне. Расчеты проводились для линейной ($K_2 \neq 0, K_3 = 0$ в формуле (10)) и квадратичной ($K_2 \neq 0, K_3 \neq 0$) экстраполяции осадков при различных значениях коэффициента ставания ($K_1 = 2 + 7$ мм/(град·сут) в формуле (2) и $K_1 = 1,4 + 2,2$ мм/(град·сут) в формуле (3)) и разных значениях параметра m в формуле (3) ($m = 0,005 + 0,11$). Входящие в модель уравнения интегрировались численно с шагом по времени один сутки и шесть часов и шагом по высоте 50 м. Вычисленные запасы воды в снеге сравнивались для 1971, 1972, 1975, 1976 гг. с измеренными при снегомерных съемках в конце января, февраля и марта, в 1978 г. – с данными гамма-съемки в те же сроки, а в 1979–1980 гг. – с данными на-

блуждений за высотой снежного покрова по дистанционным рейкам (значения плотности снега брались по наблюдениям метеостанции, находящейся в исследуемом бассейне).

Для коэффициента стаивания в формуле (2) разные исследователи приводят различные значения (в работах /4; 8/ - 3 мм/(град.сут), в /7; 9/ - от 4,5 до 6мм/(град.сут), в /13; 15/ - 5 мм/(град.сут), в /20/ -- от 3,5 до 6,5 мм/(град.сут); полученные нами в конце периода снеготаяния при полевых измерениях в исследуемом бассейне величины K_1 заключены в диапазоне 5,5 - 8 мм/(град.сут)). В нашей работе выбор значений K_1 производится по результатам сравнения высотного положения снеговой границы, определенного с помощью расчетов по модели и при анализе спутниковых изображений. На рис. I представлены ежедневные данные о высоте границ снежного покрова, полученные обоими способами для периода снеготаяния в 1978 г. (Аналогичные кривые получены для каждого из рассматриваемых лет).

Наилучшие совпадения результатов получаются для коэффициента таяния из формулы (2), равного 5 мм/(град.сут) (рис. I, кривая П). Однако в ряде случаев имеются расхождения до 300 м (конец февраля 1978 г., начало марта 1976 г.). Основной причиной такого несовпадения является, очевидно, неучет в модели внутрисуточного хода температур. При положительной дневной температуре, но отрицательной среднесуточной по модели таяния в этот день не происходит, в то время как в действительности днем значительные площади освобождаются от снега. При расчетах по модели, проводившихся для 1978 г. по шестичасовым интервалам, расхождение в результатах модельного и спутникового способов оценки уменьшилось до 200 м (рис. I, кривая І'). Такая величина лежит в пределах ошибки определения высоты снеговой границы по спутниковым данным. Учет в модели приходящей солнечной радиации на основании формул (3) - (5) также привел к уменьшению разницы в результатах оценки положения снеговой границы (рис. I, кривая У).

Сравнение результатов расчетов границы снежного покрова при линейной и квадратичной экстраполяции осадков по высоте показало, что для рассматриваемого бассейна может использоваться линейное приближение. В целом же ход кривой высоты границы снежного покрова до начала интенсивного снеготаяния (конец марта - начало апреля) повторяет ход температур.

Анализ кривых поступления воды на водосбор для всех расчетных лет показал, что ход значений поступления до начала интенсивного снеготаяния повторяет ход температур, а после этого момента следует за

ходом осадков. Чтобы выделить талую составляющую стока, мы провели расчеты для нескольких значений коэффициента дождевого стока от 0,05 до 0,3. Такое выделение жидких осадков (особенно на спаде гидрографа) представляется уместным, поскольку значительная часть дождевых осадков в это время идет на поверхностное увлажнение, испарение или пропаиваеться в глубинные горизонты, выклиниваясь в нижнем течении реки перед замыкающим створом. Это подтверждается данными полевых измерений электропроводности воды в разных створах, проводившихся нами в 1980-81 гг., и оценками генетических составляющих стока (доля дождевого поверхностного стока не превышает 15%).

Далее для каждого из рассматриваемых лет по поступлениям воды на поверхность всего водосбора р.Гавасай с помощью модели трансформации стока, основанной на интегrale Диамеля, с двухпараметрической функцией влияния, учитывающей различие времени добегания для разных высотных зон /16/, были вычислены гидрографы стока в замыкающем створе. Для определения параметров этой функции применялась оптимизационная процедура. Вычисленные расходы воды сравнивались с измеренными в створе п.Гава. Согласование значений гидрографов удовлетворительное.

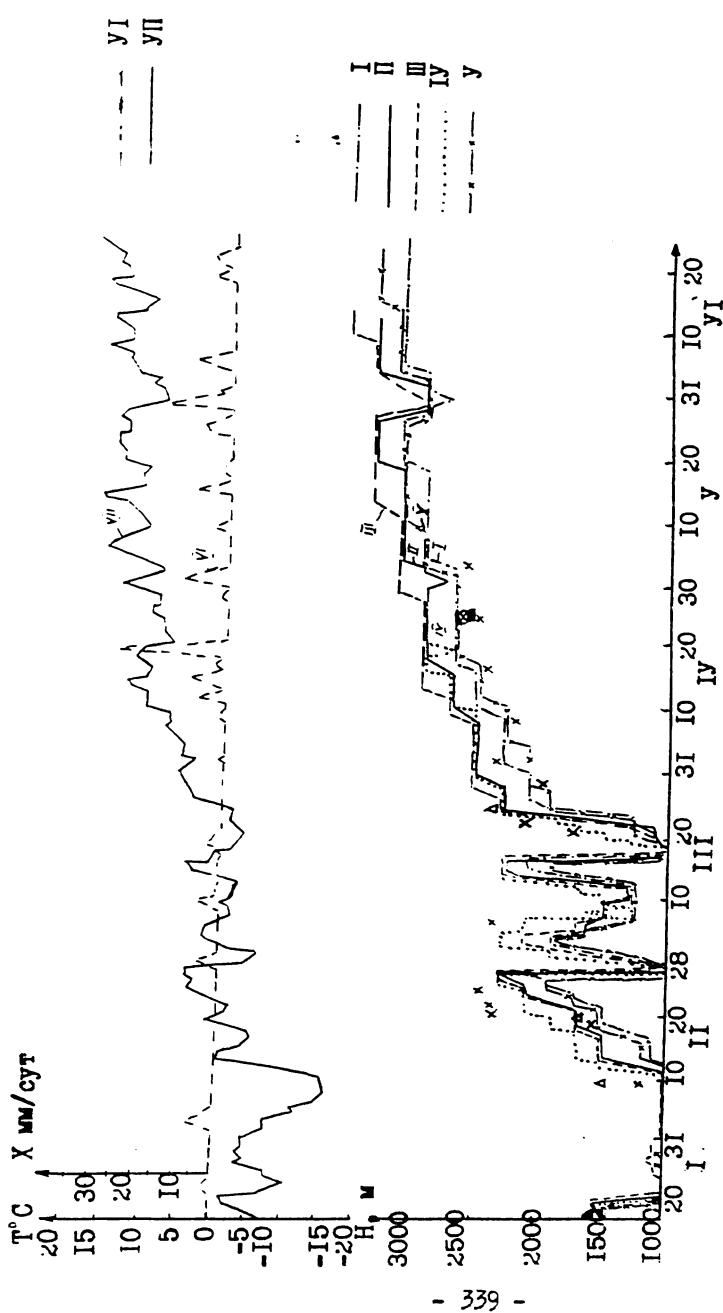
Некоторое несовпадение спутниковых данных с результатами расчета по модели может проявляться еще из-за неучета неравномерности залегания снежного покрова; из-за игнорирования того, что на склонах разных экспозиций и на дне долин снеговая граница проходит на разных высотах; из-за неточности привязки спутниковых изображений к данному водосбору и погрешностей трансформации снимков; из-за недостатка разрешающей способности сканирующей аппаратуры и по ряду других причин. Все эти погрешности, однако, не могут заслонить главное значение данной работы - о возможности применения спутниковых данных для определения формирования снежного покрова и поступления воды на поверхность горного бассейна с целью прогноза стока горных рек, водосборы которых мало освещены или совсем не освещены гидрометеорологической информацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А.Ильин. Водные ресурсы Ферганской долины. Л., Гидрометеоиздат, 1959.
2. Л.П.Кузьмин. Процесс таяния снегового покрова. Л., Гидрометеоиздат, 1961, 343 стр.

3. Е.М.Денисов. Схема расчета гидрографа стока горных рек. Л., Гидрометеоиздат, 1965, 104 стр.
4. Л.Н.Боровикова, Е.М.Денисов. Модель поступления воды на поверхность горного бассейна и некоторые результаты ее проверки на бассейнах Западного Тянь-Шаня. "Тр. САНИГМИ", вып. 52(67), 1970, стр. 3-20.
5. Е.И.Гирник. Использование материалов снегомерных съемок в службе гидрологических прогнозов Узбекистана. "Тр. САНИГМИ", вып. 51(66), 1970.
6. Т.С.Абальян. Распределение стока в горном водосборе.(На примере опытного бассейна р.Барзоб). Тр. ГМЦ СССР, вып. 72, 1971, стр. 75-91.
7. Т.С.Абальян, Л.И.Мазурова, С.Н.Никонорова. Об использовании аэрофотосъемки для изучения снежного покрова в горном бассейне р.Барзоб. Тр. ГМЦ СССР, вып. 72, 1971, стр. 92-105.
8. Л.Н.Боровикова, Е.М.Денисов, Е.Б.Трофимова, И.Д.Шенцис. Математическое моделирование процесса стока горных рек. "Тр. САНИГМИ", вып. 51(76), 1972, 150 стр.
9. Т.С.Абальян, А.В.Калачев, В.П.Канущин. О расходах талого стока горной реки с использованием коэффициента ставания (по данным наблюдений в опытном высокогорном бассейне р.Барзоб). Тр. ГМЦ СССР, вып. 136, 1974, стр. 68-76.
10. J.Martinec. Snowmelt-runoff Model for Stream Flow Forecasts. "Nordic Hydrology", v. 6, 1975, p.p. 145-154.
11. В.Д.Комаров, В.М.Мухин, Т.С.Абальян, А.Я.Полунин. Расчет поступления осадков на поверхность горного бассейна на основе модели этого процесса. Тр. ГМЦ СССР, вып. 163, 1976, стр. 19-28.
12. В.Д.Комаров, В.М.Мухин, Л.Е.Агранович. Трансформация слоя поступления воды на поверхность горного бассейна в расходы воды в замыкающем створе. Тр. ГМЦ СССР, вып. 163, 1976, стр. 58-73.
13. В.Д.Комаров, В.М.Мухин, А.Я.Полунин. Модель формирования снежного покрова и поступления воды на поверхность горного бассейна. Тр. ГМЦ СССР, вып. 163, 1976, стр. 36-57.
14. A.Rango, K.J.Iffen. Satellite Potentials in Snowcover Monitoring and Runoff Prediction. "Nordic Hydrology", v.7, 1976, p.p.209-230.
15. В.М.Мухин, А.Я.Полунин. Метод краткосрочного прогноза расходов р.Караадары. Тр. ГМЦ СССР, вып. 191, 1977, стр. 43-61.

- I6. Временные методические рекомендации по использованию спутниковой информации для картирования снежного покрова на территории республик Средней Азии и Казахстана. Ташкент, изд. САРИГИМ. 1979, 109 стр.
- I7. A.I.Brown, J.F.Hannaford, R.J.Hall. Application of Snowcovered Area to Runoff Forecasting in selected Basins of the Sierra-Nevada, California. NASA Conference Publ., 2116, 1980, p.p. 185-199.
- I8. И.С.Кучмент. Модели процессов формирования речного стока. Л., Гидрометеоиздат, 1980, 144 стр.
- I9. J.Martinec. Limitations in Hydrological Interpretations of the Snow Coverage. "Nordic Hydrology", v.11, 1980, p.p. 209-220.
- 20.J.Martinec, A.Rango. Discharge Forecasts in Mountain Basins based on Satellite Snowcover Mapping. NASA Conference Publ., 2116, 1980, p.p. 223-238.



- 339 -

Рис. I. Рассчитанный по модели ход значений высот снеговой линии (в м) за 1978 г. для различных коэффициентов ставания: $K_1 = 2 \text{ мм/град\cdotсут}$; $K_2 = 5 \text{ мм/град\cdotсут}$; $K_3 = 7 \text{ мм/град\cdotсут}$; $K_4 = 1.8 \text{ мм/град\cdotсут}$; $\tau = 0.01 \text{ (день)}$. Кривые значения осадков (I, II) и температуры (III, IV) на гипрометеостанции в бассейне р. Гавасай. Значения высот снеговой линии, полученные разными методами: x — по данным ИСЗ, \triangle — по данным гамма-съемки, \otimes — по дистанционным репкам, \blacksquare — по наземным наблюдениям.

四庫全書

2

ПРОГРАММА ЭВМ "МАСТЕР" ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПРОГНОЗЕ ПАВОДКОВ

Виорел Ал. Стэнеску, Д-р инж.
Институт метеорологии и гидрологии
Бухарест - Румыния

REZUME THE "MASTER COMPUTER PROGRAM PACKAGE FOR HYDROMETEOROLOGICAL DATA PROCESSING USED FOR FLOOD FORECASTING

Abstract. A flow chart of procedure for flood integration along the river as well as the models used for assessment of the effective rainfall, subbasin hydrographs and flood routing are described.

Input and output data of the program package, the required memory and its facilities are also outlined.

KOMPUTERPROGRAMM "MASTER" FÜR DIE VERARBEITUNG HYDROMETEOROLOGISCHER DATEN BEI DER HÜCHWASSERVORHERSAGE

Zusammenfassung. Im fachartikel wird das logische Schema einer Prozedur der Zusammensetzung der Hochwasser in einem hydrologischen Becken dargestellt.

Es folgen die Algorithmen zur Berechnung des mittleren und effektiven Regens, der Hydrographen der Nebenflüsse und des Muskingum Verfahrens.

Die "input und "output" Daten sowie die Speicherkapazität des Programms werden beschrieben.

В работе /1/ было указано на тенденцию трансформации информационной системы прогнозов и предупреждений паводков в автоматическую информативную систему. Это значит - автоматизация настоящей системы по всем её звеньям: сбору, передаче, концентрации и обработке информации.

В то же время, на переходном этапе считается необходимым сохранить неавтоматизированную часть сети сбора и передачи, так как подоб-

ная система-гибрид имеет много преимуществ по сравнению с предыдущей, из которых наиболее важным является полностью автоматизированная обработка полученной информации. Это обеспечивает:

- использование математических моделей образования паводков на основе данных о количестве выпавших в бассейне осадков, что даёт более точные результаты по сравнению с результатами, полученными обычными методами расчёта, основанными на очень упрощённых схемах процессов образования стока;
- возможность расчёта паводковых волн в любом количестве сечений (профилей) на основной реке или её притоках, что позволяет путём интерполяции с достаточной точностью определить паводок для любого экономического объекта или гидравлической установки на основной реке или на любом притоке;
- возможность расчёта паводковых волн в любом пункте бассейна, с учётом влияния гидротехнических сооружений;
- большая скорость расчёта, позволяющая быстро передавать прогнозы заказчикам в очень короткий срок.

В целях автоматизации информации была разработана программа МАСТЕР для ЭВМ, которая на основе данных о количестве выпавших осадков по бассейну, определяет паводковые волны.

1. ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАСЧЁТА ПАВОДКОВЫХ ВОЛН В УЗЛАХ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ

Определение паводковых волн проводится в ряде пунктов основной реки и на притоках, называемых узлами, как это видно на схеме рис.1. Основное течение и его важные притоки подразделены $NSECT$ участков расчёта J , ограниченных узлами, которые в общем совпадают со слияниями с малыми речками. Каждый из узлов объединяет $K(J)$ число притоков или сборов склонов (отмеченных пунктирной линией на рис.1), а также паводковую волну \hat{U}_J , прошедшую по участку вверх по течению от узла. Паводковые волны притоков \hat{A}_{JL} [$L=1, K(J)$] совмещаются в узле с волной, прошедшей с верхнего течения. Сумма $\hat{U}_{J+1} = \hat{U}_J + \sum_{L=1}^{K(J)} \hat{A}_{JL}$ является входной волной на следующий нижний участок, которая продвигается по нему при помощи способа Маскингама и встречается в следующем узле с волнами притоков $\hat{A}_{J+1'L}$. Операция повторяется до появления основного притока, разделённого в свою очередь на расчётные участки.

В этом пункте слияния, отмеченном значением переменной величины $ICONF(j)=1$, хранится полученная волна и возобновляется процедура с

верхнего течения основного притока, до достижения пункта слияния с основной рекой. Этот пункт отмечен переменной $JCONF(J) = J$. Волна с основной реки складывается с волной с притока и процедура продолжается вниз по течению от узла к узлу. Логическая схема процедуры дана на дис.2.

Программа облегчает осуществление в узле слияния скачка не только на основном притоке, но и на притоке II степени (порядка).

Если приток II порядка довольно значительный и необходимо подразделение на участки и составление волны от узла к узлу, тогда осуществляется первый скачок на притоке II порядка, проводится сложение до слияния с притоком I порядка, затем производится второй скачок на последнем и сложение до слияния с основной рекой.

Прохождение паводковой волны по участку проводится по программе МУСК, используясь моделью Маскингама.

$$Q_{J+1}^{(t+1)} = C_0 Q_J^{(t+1)} + C_1 Q_J^{(t)} + C_2 Q_{J+1}^{(t)}$$

в которой: $Q_{J+1}^{(t+1)}$, $Q_J^{(t+1)}$, расходы при выходе с участка $J+1$ и в моменты $t+1$ соответственно t ; $Q_J^{(t+1)}$, $Q_J^{(t)}$ – расходы при выходе с участка J и в моменты $t+1$ и соответственно t .

Коэффициенты C_0 , C_1 и C_2 , зависящие от параметров K и x , считаются переменными, как параболическая функция значения расхода J при входе на участок /2/.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГРАФОВ ПАВОДКОВЫХ ВОЛН ПО ПОДБАССЕЙНАМ

Из вышеуказанного вытекает, что для последовательной проработки программы от узла к узлу, необходимо располагать паводковыми волнами \hat{A}_{JL} притоков и/или склоновых сборов. Метод определения паводковой волны в каждом из этих подбассейнов, относящихся к узлу осуществляется рядом подпрограмм, последовательно осуществляющих следующие операции:

- операция 1, определение средних за час осадков по бассейну с момента их начала до момента разработки прогноза M_1 , к которому добавляются ожидаемые осадки $RSUP$ продолжительностью $DSUP$;
- операция 2, определение реальных ежечасных осадков, средних по подбассейну $RNET$;
- операция 3, определение гидрографа паводковой волны, выраженного в

в средних часовых осадках на основе реальных осадков PNET;
 - операция 4, трансформация гидрографа ежечасных расходов в гидрограф дискретизированный по шагу времени Δt , применяемый в процедуре прохождения по участку J между двумя узлами.

Далее описываются расчётные модели, используемые в этих операциях:

2.1. Определение ежечасных средних осадков по бассейну

Во всему рассматриваемому бассейну наносится сетка. В данном подбассейне находится NPSB(kw) узлов сетки, каждые из этих kw имеют порядковый номер NTBZ(kw) (рис.3).

Для определения дождя по подбассейну используется NSP дождемерных станций, располагающих ежечасными значениями P1(LOC, IT1), в которых LOC является показателем расположения станции, а IT1 - показателем времени. В каждой точке сетки kw расчитываются ежечасные осадки (рис.3), применяя следующее уравнение:

$$P_{kw} = \frac{\sum_{i=1}^{NPSB} \frac{1}{d_i^2} h_i^2}{\sum_{i=1}^{NPSB} \frac{1}{d_i^2}} \quad (2)$$

Затем, ежечасное среднее значение по бассейну рассчитывается по уравнению:

$$PMED(IT1) = \sum_{kw=1}^{NPSB} P_{kw} \quad (3)$$

в котором NPSB определяет общее число пунктов сетки в заданном подбассейне. Процедура повторяется каждый час IT1 с начала до окончания дождя.

2.2. Определение средних ежечасных реальных осадков по бассейну

Вектор PMED уменьшается в результате потерь путём инфильтрации для того, чтобы найти вектор ежечасных средних фактических осадков по бассейну.

Составление прогноза начинается сразу по достижении осадков критического значения и перед окончанием дождя, для увеличения времени периода заблаговременности.

В зависимости от момента составления прогноза, программа имеет одну переменную величину, равную 0 или 1, в зависимости от того идёт ли дождь или закончился. Операция снижения среднего по бассейну дождя со значением инфильтрации выполняется при использовании модели ССАРР /4/, в случае составления прогноза до окончания дождя ($STOPPL = 0$) или модели ИМ 1/5/, при составлении прогноза после окончания осадков ($STOPPL = 1$).

Как видно на рис.4, значение дождя дано в уравнении:

Если: $STOPPL = 0$ тогда $PNET(1T1) = ALFA(1T1) * PMED(1T1)$

(4)

где $ALFA(1T1)$ представляет коэффициент стока за каждый час в зависимости от ежечасной интенсивности дождя $PMED(1T1)$ и от показателя влажности почвы SMI в каждый момент $1T1$.

Расчёты ведутся следующим образом:

$$SMI(1T1) = SMI(1T1-1) + [1 - ALFA(1T1-1)] * PMED(1T1-1) \quad (5)$$

Если: $STOPPL = 1$:

$$PNET(1T1) = ALPHA * PMED(1T1) \quad (6)$$

в котором $ALPHA$ общий коэффициент стока по уравнению (рис.4):

$$ALPHA = \frac{\sum \alpha_i f_i}{\sum f_i} \quad (7)$$

где α_i коэффициент стока, определённый в показательном бассейне $i/5/$, прилегающем к однородной зоне f_i изучаемого бассейна. Коэффициент α_i определяется по уравнению (рис.4)

$$\alpha_i = \frac{(w_{cr} + w_d)/F}{h_i} \quad (8)$$

в котором h_i осадки, выпавшие в показательном бассейне i площадью F , w_{cr} и w_d , соответственно объём в показательном бассейне до повышения (определенный на основе данных об уровнях) и за период понижения (определенный экстраполяцией при использовании двух экспоненциальных кривых с параметрами $ID01$, $ID2$, $KC1$, $KC2$ - в соответствии с рис.4). Подбассейн может быть подразделён не более, чем на три однородные зоны.

Операция выполняется по подпрограмме ПНЕТ, которая в зависимости от значения переменной $STOPPL$ обращается к расчётам подпрограммы коэффициента стока ССАРР или ИМГ 1.

2.3. Определение гидрографа ежечасового стока

Трансформация дождя в гидрограф средних ежечасовых расходов выполняется с применением уравнением:

$$Q(t) = \int_{0}^{t} u(t-\tau) i(\tau) d\tau \quad (9)$$

в котором: $u(t)$ единичный гидрограф дождя продолжительностью в 1 час по уравнению:

$$u(t) = \frac{1}{K, \Gamma(n)} e^{-\frac{t}{K}} \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} \quad (10)$$

где n - параметры, определённые синтетично /6/; $i(\tau)$ - фактический осадок или РНЭТ(И1), $d\tau = 1$ час.

Эта операция выполняется по подпрограмме ГИДРО.

2.4. Определение гидрографа средних расходов за Δt часов

Так как процедура прохождения (Маккингам в случае программы ИАСТЕР) паводковой волны по некоторому участку реки, ограничивает выбор шага времени Δt /7/, необходимо изменить гидрограф ежечасового расхода в гидрограф средних расходов за интервал Δt . Операция сложения последовательных ежечасовых значений и затем, осреднение за интервалы осуществляется по подпрограмме КЮМЕД.

3. ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Программа использует три типа входных данных:

- данные по геометрии бассейна: координаты дождемерных станций и узлов сетки, каждого участка J , расстояния между гидрометрическими станциями, число точек сетки, прилегающих к каждому подбассейну, а также их порядковый номер;
- данные о параметрах применяемых математических моделей: кривые модели ССАРР, переменный параметр K и x модели Маккингама, параметры единичного гидрографа каждого подбассейна, параметры моделей ИМГ, а также соответствующий изменению параметров параболлы, являющейся

кривой расходов на гидрометрической станции;

данные о количестве выпавших за час осадков $P1(LOC; IT1)$; на станции LOC в текущий момент, а также уровни $H1(LBA, IT1)$, зарегистрированные на гидрометрических станциях LBA в текущий момент IT1.

4. МЕТОД ПРИМЕНЕНИЯ

Использованию программы MASTEP предшествуют три следующие программы:

- + программа КОНВЕР, осуществляющая нанесение на магнитный диск постоянных параметров, касающихся геометрии бассейна и параметров, используемых математических моделей;
- программа ПРЕЧИП, осуществляющая нанесение на тот же диск переменных параметров: осадки, ежечасные (или за определённый интервал Δt), зарегистрированные на дождемерных станциях, а также уровни воды на гидрометрических станциях;
- + программа ПЛМЕД, по которой расчитывается в заданный интервал времени среднее количество осадков для каждого из подбассейнов, составляющих рассматриваемый гидрографический бассейн. Затем, программа ПЛМЕД, регистрирует эти значения на тот же магнитный диск.

Программа КОНВЕР используется только один раз для нанесения постоянных параметров на магнитный диск.

Программы ПРЕЧИП и ПЛМЕД используются одновременно с программой MASTEP, в порядке ПРЕЧИП-ПЛМЕД-МАСТЕР.

Схема применения представлена на рис.5.

5. ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Выходные данные включают: гидрографы паводковых волн при входении в каждый узел, отделяющий участок J от участка $J+1$; гидрографы паводковых волн при выходе из каждого узла; гидрографы каждого притока (или подбассейна) в заданном узле.

Так как можно передавать гидрографы подбассейнов, прилегающих к данному участку, можно использовать эту программу и в ситуациях, когда на реках водохранилища, которые могут изменить паводковую волну. В этом случае возможно применение одной из процедур или программы

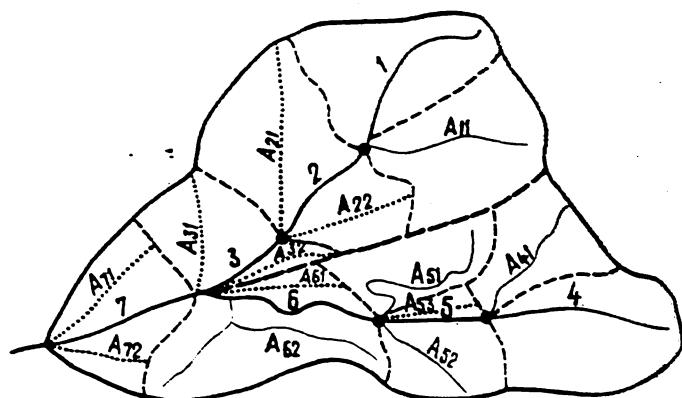
срезки паводка, полагаясь начальным состоянием состоянием водохранилища и условиями разгрузки половодий; или максимальный график, который в зависимости от типа и размеров паводка, состояния начального наполнения водохранилища, числа сооруженных преград и их высоты, может дать распластывание максимального расхода. Первый способ более точный, но требует большого времени расчёта, второй - более приблизительный, но более оперативный.

Программа была испытана и утверждена для ЭВМ типа 120/40. Для бассейна 17 000 км² необходимо 95 кбайт, а полное осуществление программы требует примерно 20 минут.

Для ЭВМ ФЕЛИКС-С256 для того же бассейна программа сегментирована и полная проработка требует примерно 10 минут.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. STĂNESCU, V. Al.
Cu privire la concepția sistemelor informative de prognoză și avertizarea viiturilor. In: Hidrotehnica, nr.8, București, 1979
2. SERBAN, P.
A contribution to the flood propagation computation using the Muskingum method. In: Meteorology and Hydrology Nr. 2, București, 1976
3. * * *
Procedures for hydrological forecasting. In: NOAA, NWS, Technical Memorandum No.14, 1972
4. SSARR
Streamflow synthesis and Reservoir Regulation U.S. Army, Corps of engineers Division North Pacific, Portland Oregon, 1972
5. DIACONU, C., STĂNESCU, V. Al.
A mathematical model for floodwave forecasting by means of warning basins. Hydrological Sciences Bulletin XXI, No.1, 1976
6. SERBAN, P.
O metodă de determinare a hidrografului unitar sintetic. In: Hidrotehnica, nr.2, București, 1976
7. VEN TE CHOW
Handbook for Applied Hydrology, Mc. Graw Hill, New York, 1958



$$\begin{aligned}
 & J \text{ CONF}(3) = 1 \quad \hat{U}_3 = \hat{U}'_2 + \hat{A}_{21} + \hat{A}_{22} \\
 & \hat{U}_3 \quad \hat{U}'_2 \quad J=2 \quad \hat{U}_2 \quad J=1 \\
 & \hat{U}_7 \quad \hat{U}'_1 \quad J=7 \quad \hat{U}_7 \quad \hat{U}'_1 \quad J=3 \quad \hat{U}_3 \quad \hat{U}'_2 \quad J=2 \quad \hat{U}_2 \quad \hat{U}'_1 \quad J=1 \\
 & \hat{A}_{71} \quad \hat{A}_{72} \quad \hat{A}_{31} \quad \hat{A}_{32} \quad \hat{A}_{21} \quad \hat{A}_{22} \quad \hat{A}_{11} \\
 & \hat{A}_{51} \quad \hat{A}_{52} \quad \hat{A}_{51} \quad \hat{A}_{52} \quad \hat{A}_{51} \quad \hat{A}_{52} \quad \hat{A}_{41} \\
 & \hat{U}_7 = [\hat{U}'_3 + \hat{A}_{31}] + [\hat{U}'_5 + \hat{A}_{51} + \hat{A}_{52}]
 \end{aligned}$$

Fig. 1

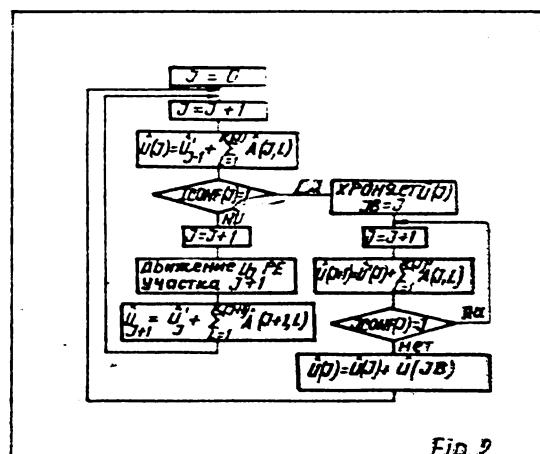
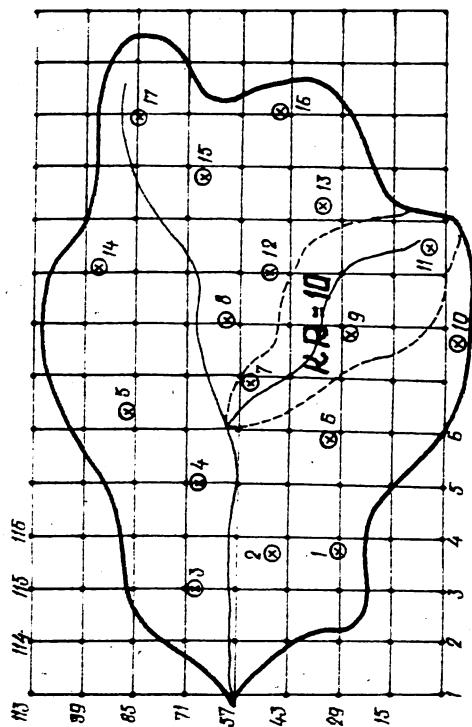
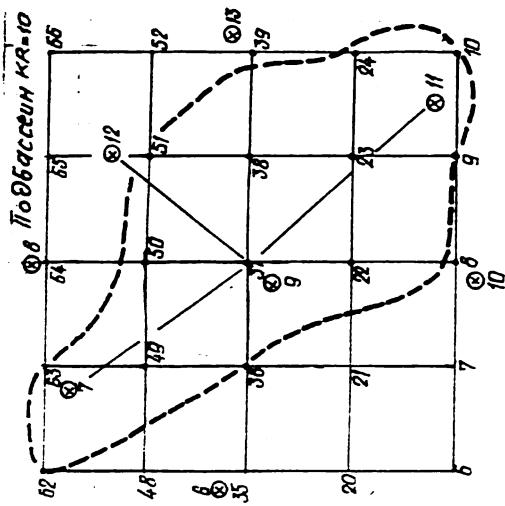


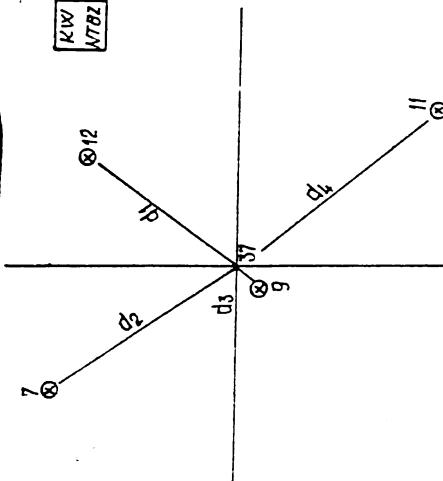
Fig. 2

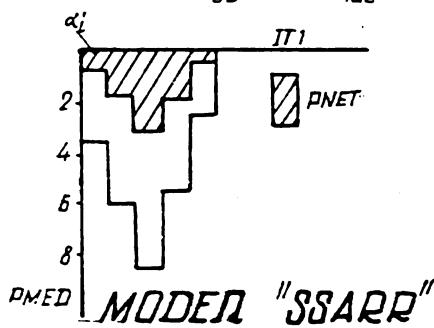
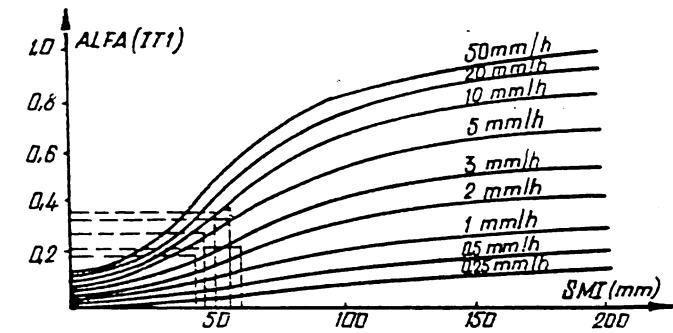


KW	JR	S1(JR)	S2(JR)	S3(JR)	S4(SR)	X(JR)	Y(JR)
1782	8 9 10 22 23 24 37 38 39 49 50 51 62 63	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	12	7	9	11	8 2

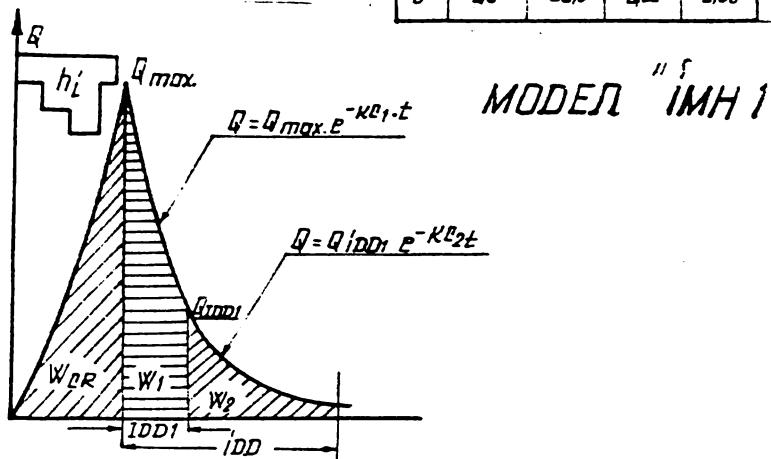
JR	S1(JR)	S2(JR)	S3(JR)	S4(SR)	X(JR)	Y(JR)
37	12	7	9	11	8	2

Fig. 3





IT1	PMED	SMI	ALFA	PNET
1	3,5	45	0,2	0,7
2	5,0	47,8	0,28	1,68
3	8,5	51,5	0,37	3,18
4	5,5	56,9	0,34	1,87
5	2,5	50,5	0,22	0,55



$$Q_{IDD1} = Q_{max} \cdot e^{-K\alpha_1 \cdot IDD1}$$

$$W_D = W_1 + W_2$$

$$W_1 = \frac{Q_{max}}{K\alpha_1} (1 - \exp(-K\alpha_1 \cdot IDD1))$$

$$W_T = W_D + W_{LR}$$

$$W_2 = \frac{Q_{max}}{K\alpha_2} (1 - \exp(-K\alpha_2 \cdot (IDD - IDD1)))$$

$$h_s = \frac{W_T}{W_P}$$

Fig. 4

$$\alpha = \frac{h_s}{P}$$

Параметрические данные



Магнитический диск

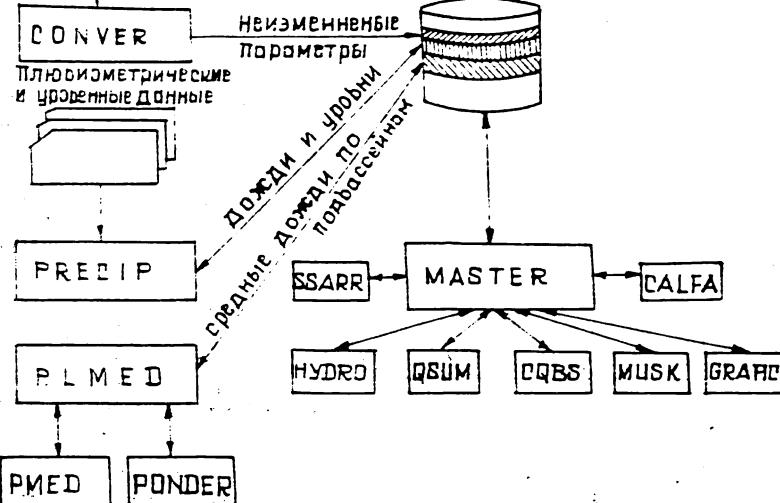


Fig. 5

ПРОГРАММЫ ВИДРА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПАВОДКОВЫХ
ВОЛН И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ВОДОХРАНИЛИЩ

Петру Шербан
Институт метеорологии и гидрологии
Бухарест - Румыния

VIDRA-PROGRAMS PACKAGE FOR FLOOD FORECASTING AND
ESTABLISH THE RESERVOIRS OPERATING POLICY

Abstract. VIDRA-programs package, based on rainfall-runoff model, which integrates the runoff from small basind and routing the flood waves through the river reaches and reservoirs. It has composed from four main programs: PARAMB, HYDRO and COMPUNEA.

The programs allows us to perform a "man-computer"dialogue for forecast updating and correction of reservoir operating policy using the latest meteorological and hydrological data.

PROGRAMMPAKET "VIDRA" FUR DIE VORHERSAGE DER
HOCHWASSERWELLEN UND FUR DIE BEWIRTSCHAFTUNG
DER STAUSEEN

Zusammenfassung. Dem VIDRA Programm liegt ein Modell Re-gen - Abfluss zu Grunde. Es ermöglicht eine Integrierung des Abflusses in kleinen Einzugsgebieten, zusammen mit der Fortpflanzung der Hochwasser durch Flussbetten und Seen. Seine 4 Teile sind: PARAMB, PARAMA, HIDRO und COMPUNEA.

Die Programme gewährleisten einen Dialog "Maschine-Mensch" für die Reaktualisierung der Hochwasservorhersage und die Korrektur der Seenbewirtschaftung.

Гидрологический прогноз в общем и, особенно, прогноз паводковых волн является одной из наиболее комплексных проблем гидрологии.

Кроме трудностей правильного изучения физических процессов обра-

зования максимального стока встречаются трудности в применении практических методов прогноза осадков. Эти трудности вызваны, как неоднородностью во времени и пространстве этих процессов, так и наличием в гидрографическом бассейне гидротехнических систем, оказывавших влияние на природный режим стока.

В этих условиях вопрос моделирования максимального стока в целях составления прогнозов паводковых волн требует двойного моделирования: гидрографического бассейна и процесса дождь-сток.

Физико-географическое моделирование бассейна предполагает в первую очередь, его подразделение на малые подбассейны ($F < 1000 \text{ км}^2$) однородные с точки зрения осадков и образования стока. Во вторых, моделирование бассейна требует подразделения реки на участки с учётом:

- морфометрических характеристик русла,
- гидротехнических сооружений, значительно изменяющих максимальный сток,
- охраны социально-экономических объектов от наводнений,
- условий стабильности и сходимости математической модели, используемой в прогнозе.

Соответствующее математическое моделирование процесса дождь-сток состоит из следующих этапов;

- определение среднего дождя по каждому подбассейну и за каждый интервал времени ΔT по методу квадратов /6/;
- расчёт стокообразующего дождя по каждому подбассейну за интервал времени ΔT при помощи модели ССАРР /5/;
- интегрирование стока по подбассейнам, по методу единичного обобщённого гидрографа /2/;
- добегание паводков по руслу на основе метода Маскингама с переменными параметрами /3/;
- затухание паводковых волн в водохранилищах по методу Пулс /4/.

На основе вышеуказанного алгоритма для ЭВМ ФЕЛИКС С-256 составлены программы VIDRA, позволяющие прогнозировать гидрографы паводковых волн, в различных створах гидрографического бассейна и передачи решений по оптимальной эксплуатации водохранилищ.

Программы VIDRA (приложение 1) состоят из основных 4-х программ: PARAMS, HIDRA, PARAMA и COMPNEA, находящихся в библиотеке PROGNOZA.

Программа PARAMA создаёт картотеки РА на диске и на бумаге с входными данными на перфокарте CARA.

Программа PARAMA создает картотеки РА на диске и на бумаге с входными данными на перфокарте CARA.

Картотеки РВ и РА представляют собой отражение на диске картотек CARB и CARA, которые содержат постоянные данные, необходимые для модели и представленные характеристиками гидрографического бассейна, характеристиками русла и характеристиками водохранилища, а также параметрами модели.

Эти картотеки, характерные для каждого гидрографического бассейна, внесены в библиотеку PROGNOZA. Они остаются неизменными, когда гидрометеорологическая сеть и условия образования стока не изменяются в результате строительства гидротехнических сооружений в бассейне. Программа VIDRA расчитывает гидрографы паводковых волн в малых бассейнах (притоки или подбассейны) на основе модели ССАРР и единичного гидрографа. Она вызывает картотеки РВ и РР и создает на диске картотеку UNDA и на листинге - АС. Картотека UNDE содержит гидрографы паводковых волн, прогнозированных для каждого подбассейна при помощи программы HIDRA.

Программа СОМПУНКА выдает указания по эксплуатации водохранилища. Эти указания зависят от величины объема паводка, задерживаемого в водохранилище при условии непривышения максимального уровня эксплуатации водохранилища.

Этот критерий удовлетворяет два других исключительно важных требования:

— производство энергии т.к. вода, задерживаемая в водохранилище, проходит затем через турбины;

— минимизация унербов вниз по течению из-за наводнений благоприятствующих задержки вод водохранилищем.

Программы PARAMB, PARAMA, HIDRA и СОМПУНКА занимают зону памяти 62 К, 26 к, 63 К и соответственно 56 К. Прогноз паводковой волны при использовании пакета программ в гидрографическом бассейне площадью 1500 км² занимает примерно 5 минут на ЭВМ.

Выходная информация пакета программ VIDRA содержится в картотеках А5 и НВУ. Картотека А5 создана программой VIDRA на бумаге и содержит анализ данных стока по бассейну.

Для каждого притока на картотеке А5 даётся среднёное значение дождя, слоя и коэффициента стока.

Картотека НВУ создана программой СОМПУНКА на бумаге и состоит из:

- таблицы с балансом объема паводка,
- графиков гидрографов расходов, прогнозируемых для каждого тока и для каждого сечения основной реки.
- графиков гидрографов расходов, измеренных до момента составления прогноза на гидрометрических станиках.

Для каждого паводка прогнозист составляет картотеки на перфокартах FF и FQ, по которым вызывает программы HIDRA и COMPUNEA.

Эти программы позволяют осуществлять диалог "человек-машина" для актуализации гидрологических прогнозов. Диалог ведется по разным интервалам (шагам) в зависимости от метеорологической и гидрологической информации об эволюции рассматриваемого явления.

После выполнения программы HIDRA и COMPUNEA прогнозист должен проанализировать в первую очередь, коэффициенты стока из картотеки АС. Если есть существенные различия в этих коэффициентах и коэффициентах стока, полученных по методу предупреждающих бассейнов/1/, с пульта управления вычислительной машины, после чего возобновляется программа COMPUNEA. Затем, прогнозист анализирует картотеку НВГ, особенно, прогнозированные и зарегистрированные гидрографы. Если констатируется, что они похожи по форме, но расходятся во времени(рис.2), тут же применяется с пульта управления ЭВМ поправка во времени и после этого возобновляется программа COMPUNEA.

После этого, если замечаются значительные различия в форме прогнозируемых и измеренных гидрографов (рис.3), снова анализируется интенсивность дождя и, в случае необходимости выбирается с пульта управления ЭВМ другой единичный гидрограф, после чего программы HIDRA и COMPUNEA повторяются.

Серия программ VIDRA применялась с хорошими результатами в гидрометрических бассейнах Бистрица и Тимиш и находится в стадии внедрения в гидрографическом бассейне Арджеш.

R E P A T Y F A

1. Diaconu C., Săulescu V. - A hydrological model for flood wave forecasting by means of warning basins. Hydrological Sciences Bulletin, III, No 3/1976.
2. Sorban P., - O metodă de determinare a hidrografiei univoc sintetic. Hidrotehnica Nr.2/1976.
3. Goroan P., - A contribution to the flood propagation computation using the Muskingum method. Meteorology and Hydrology No 2/1976.
4. Vladimirescu I. Hidrologia. Editura didactică și pedagogică, București 1979

5. Schmid - Streamflow synthesis and reservoir regulation U.S. Army Engineer Division, North Pacific, Portland, Oregon.
6. NCEM Technical Memorandum NWS Hydro 14, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1972.

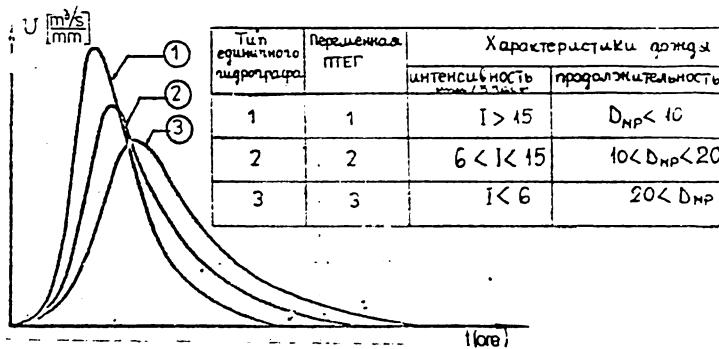


Рис.1 Типовые единичные расходы

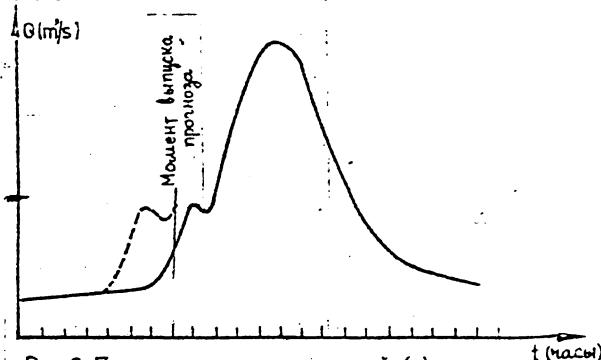


Рис.2 Гидрографы прогнозируемый (-) и реальный (---)

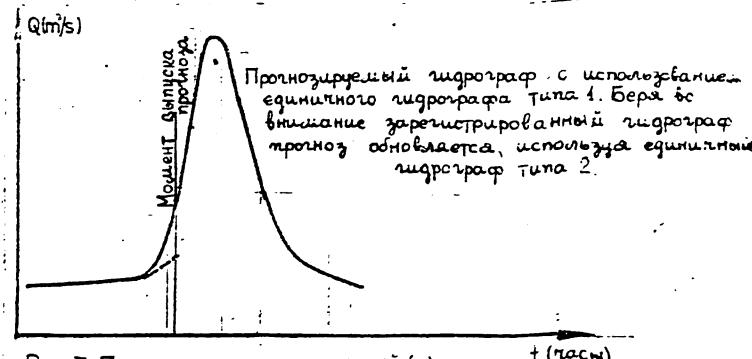
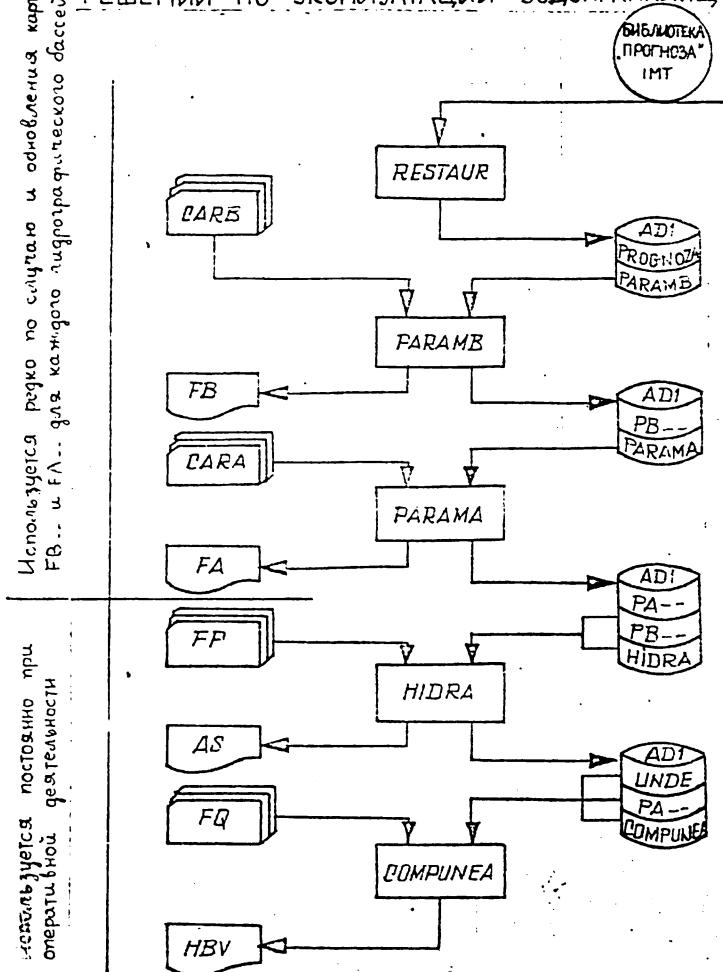


Рис.3 Гидрографы прогнозируемый (-) и реальный (---)

СХЕМА ЦЕПИ ПРОГРАММЫ "VIDRA" ИСПОЛЬЗУЕМУЙ
ДЛЯ ПРОГНОЗА ПАВОДКОВ И ПРИНЯТИЙ
РЕШЕНИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ

Используется редко по склонам и одновременно карточек FB... и FL... для каждого изображенного бассейна



используется постоянно при
оперативной деятельности

