

- включить в эти документы для практического применения в системах водоучета для открытых водотоков и каналов водослив с симметричным треугольным порогом с откосами в верхнем и нижнем бьефах, равными 1:2;
- для рекомендуемого водослива использовать в уравнении расхода коэффициент расхода, равный 1,255 при расположении измерительного створа на расстоянии равном $4P$ от верхней кромки гребня порога, а относительную погрешность принимать равной 0,5...1,0%;
- измерительный створ можно располагать на расстоянии $2h_{max}$ при условии примерного равенства $h_{max} \approx P$, принимая при этом относительную погрешность определения коэффициента расхода, равную 2%;
- при расположении измерительного створа на расстояниях, отличных от указанных выше, коэффициент расхода принимать из рисунка 3.

Литература

1. МИ 2122-90. ГСИ. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. Госстандарт СССР, ВНИИР, Казань, 1990 г. (Взамен РДП 99-77) – 73 с.
2. РДП 99-77. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков. Госстандарт СССР. М.:1977 – 51 с.
3. ISO 4360 Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – Triangular profile weirs, First edition, Geneva, ISO, 1979.
4. ISO 4360 Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes – Triangular profile weirs, Second edition, Geneva, ISO, 1984.
5. Crump E.S. A new method of gauging stream with little afflux by means of submerged weir of triangular profile//Proc. Inst. Civil Engrs (PISE) № 1, March, 1952. – P 223-242.
6. Report № ex 477. The triangular profile Crump weir. A re-examination of discharge characteristics Hydraulics Research station. – Wallingford. England, 1970.
7. White WR, Burgess I.S. The triangular profile weir with 1:2 upstream and downstream slopes÷Report № in T64/ Hydraulics Research station. – Wallingford. England, 1967.
8. Harton R.E. Weir experiments, coefficients and formulas, Water-Supply and Irrigation, Paper №200, U.S. Geological Survey, Washington, 1907.
9. Бракени А. Пропускная способность треугольного водослива практического профиля. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н.; М.: 1996.

УДК 628.113

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.О. Щербаков, Е.Э. Головинов

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

В сфере исследования и эксплуатации водохранилищ и водохозяйственных систем в последнее десятилетие особенно актуальными и, можно сказать решающими, стали проблемы их управления. С развитием вычислительной тех-

ники и программных продуктов особую актуальность приобрел вопрос о внесении дополнений в существующие методы оперативного управления. Использование единого методического подхода к решению данной проблемы в задачах перспективного планирования и эксплуатации ГЭС, в свою очередь, позволит существенно повысить их технико-экономическую эффективность.

При помощи теории автоматического управления, на базе которой разрабатывается большинство средств автоматизации, изучаются процессы управления объектами разной физической природы, с использованием математических средств выявляются свойства систем автоматического управления и разрабатываются рекомендации по их проектированию.

В общей теории управления самым современным направлением может служить теория нечетких множеств и нечеткая логика «Fuzzy Logic» /1/.

Математическая теория нечетких множеств (fuzzy sets) и нечеткая логика (fuzzy logic) являются обобщениями классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены ученым математиком Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 г./2/. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании нелинейных многофакторных процессов, систем, объектов.

По своей идее нечеткая логика в системах управления используется для того, чтобы включить в программу исполнения правил управления, которыми пользуется эксперт и которые трудно формализуются другими способами.

В общем случае процесс нечеткого моделирования может быть представлен в форме взаимосвязанных этапов, на каждом из которых выполняются определённые действия, направленные на построение и последующее использование информационно-логических моделей систем (рис 1.).

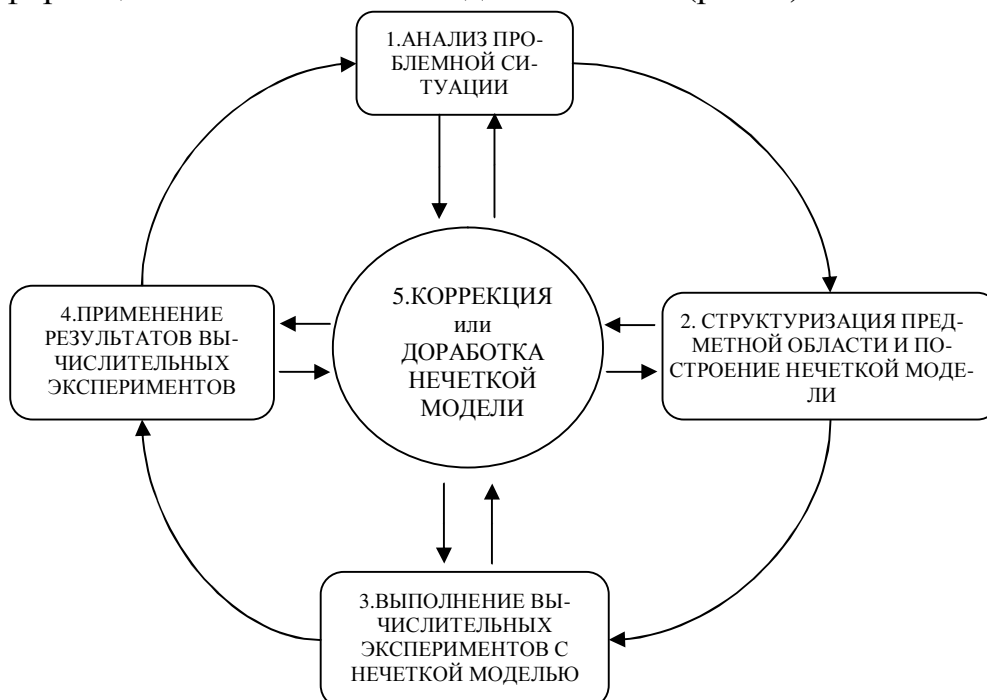


Рисунок 1 - Общая концептуальная схема процесса нечеткого моделирования

Ключевое преимущество нечеткой логики по сравнению с другими подобными интеллектуальными системами заключается в том, что: во-первых, при тех же объемах входной и выходной информации центральный блок принятия решений становится компактнее и проще для восприятия пользователем; во-вторых, решение сложной и громоздкой задачи вычисления точных воздействий подменяется значительно более простой и гибкой стратегией адаптивного приближения при сохранении требуемой точности результата. Очевидной областью внедрения являются управление режимами работы гидроузла.

В лаборатории гидроэкологии отдела гидротехники и гидравлики ГНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова разработана модель оперативного управления ГУ на основе «*Fuzzy Logic*» для водохранилищ, эксплуатирующихся в транзитном режиме. Разработка модели осуществлена с использованием программного продукта Simulink, входящего в состав MatLAB (рис 2).

Рассмотрим функционирование модели на примере зарегулированного участка реки Рейн, протяженностью – 14 км. Величина изменения расхода на входе составляет: от $270 \text{ м}^3/\text{с}$ до $4500 \text{ м}^3/\text{с}$. Уклон реки – $6.7 \cdot 10^{-4}$. Средний расход – $1040 \text{ м}^3/\text{с}$. Режим регулирования – транзитный.

Основными блоками созданной компьютерной модели регулирования стока являются «Контроллер на нечеткой логике» и «STReAM Гидродинамический модуль». Блок «STReAM» – это численный гидродинамический метод, разработанный в Техническом Университете г. Карлсруэ, позволяющий имитировать гидравлические условия потока в водохранилищах. Применяемый здесь метод опирается на модель водохранилища, численно определяющую гидравлические условия потока на исследуемых участках реки. Модель реализуется с помощью одномерного нестационарного численного метода для расчёта гидравлических характеристик, таких как уровни и расходы воды в заданных створах водохранилища.

Создание блока «Контроллер на нечеткой логике» состоит из следующих этапов.

На первом этапе определяется количество входных и выходных переменных. Для водохранилища мы определили две входные переменные и одну выходную. А именно, на входе, «Приток» – объём воды за единицу времени, проходящий через поперечный профиль в начале водохранилища (рис 3), и «Уровень» – изменение уровня верхнего бьефа непосредственно у гидроузла (рис 4). Также можно использовать изменение уровня в нескольких точках. На выходе одна переменная, «РасходГУ» – расход, который следует пропустить через гидроузел для поддержания проектного уровня (рис. 5).

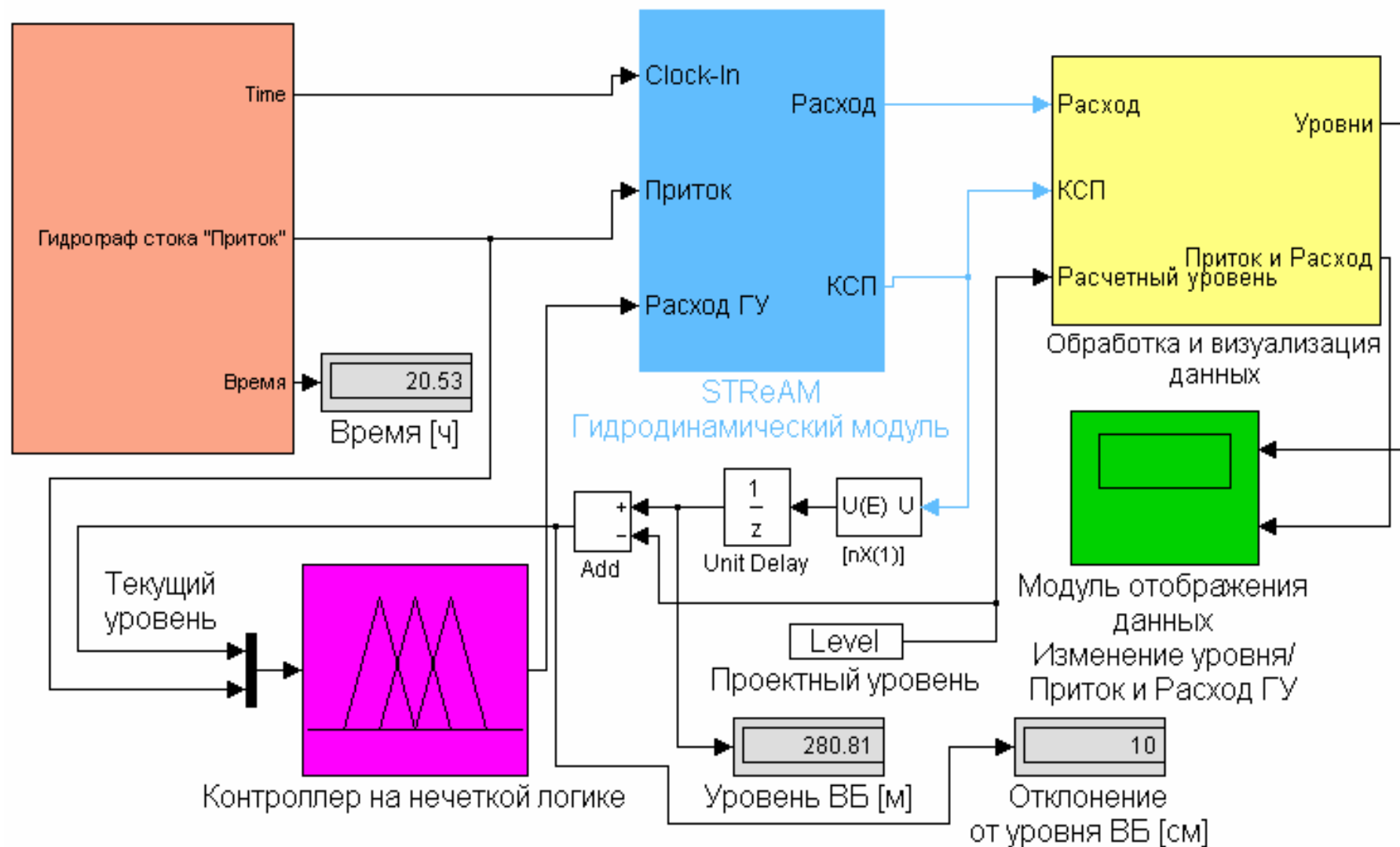


Рисунок 2 - Компьютерная модель регулирования

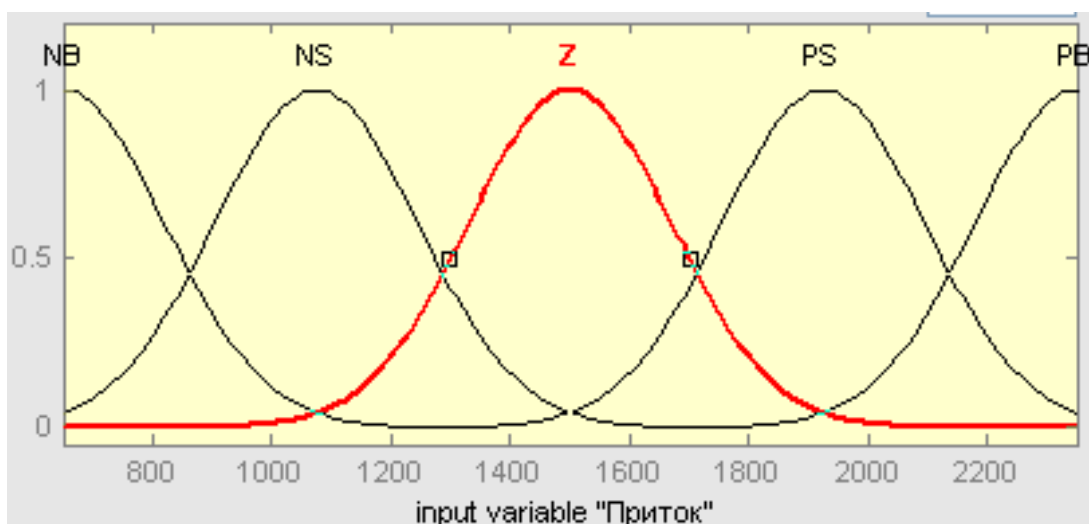


Рисунок 3 - Графическое представление функций принадлежности входной переменной «Приток». Приток в водохранилище, ($\text{м}^3/\text{с}$)

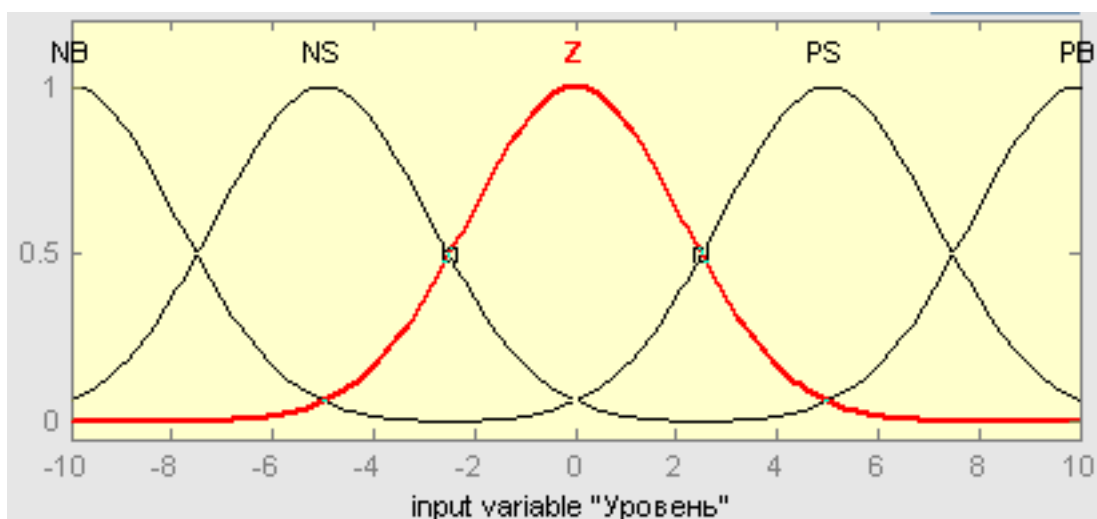


Рисунок 4 - Графическое представление функций принадлежности входной переменной «Уровень». Отклонение уровня от проектного, (см)

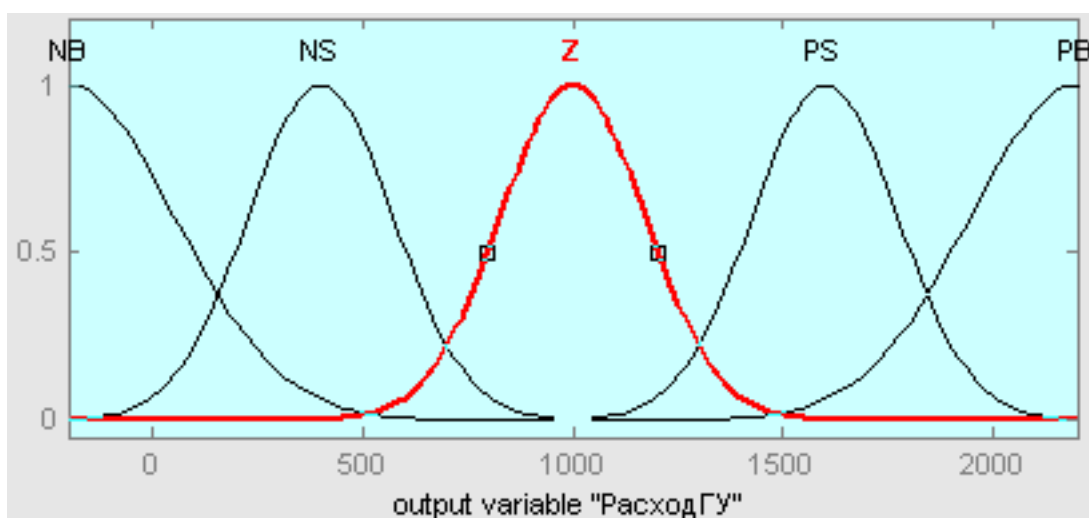


Рисунок 5 - Графическое представление функций принадлежности выходной переменной «Расход ГУ». Рекомендуемый расход ГУ, ($\text{м}^3/\text{с}$)

Для функций принадлежности используются общепринятые сокращения терминов, представленные в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Сокращения основных термов лингвистических переменных

Символическое обозначение	Англоязычная нотация	Русскоязычная нотация
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative Small	Отрицательное маленькое
ZN	Zero Negative	Отрицательное близкое к нулю
Z	Zero	Нуль, близкое к нулю
ZP	Zero Positive	Положительное близкое к нулю
PS	Positive Small	Положительное малое
PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

Далее задаются правила регулирования в количестве не менее одного. Метод нечеткой логики, как было отмечено ранее, позволяет оперировать «размытыми» понятиями. На рисунке 6 представлена база правил, по которым происходит управление пропускными сооружениями ГЭС.

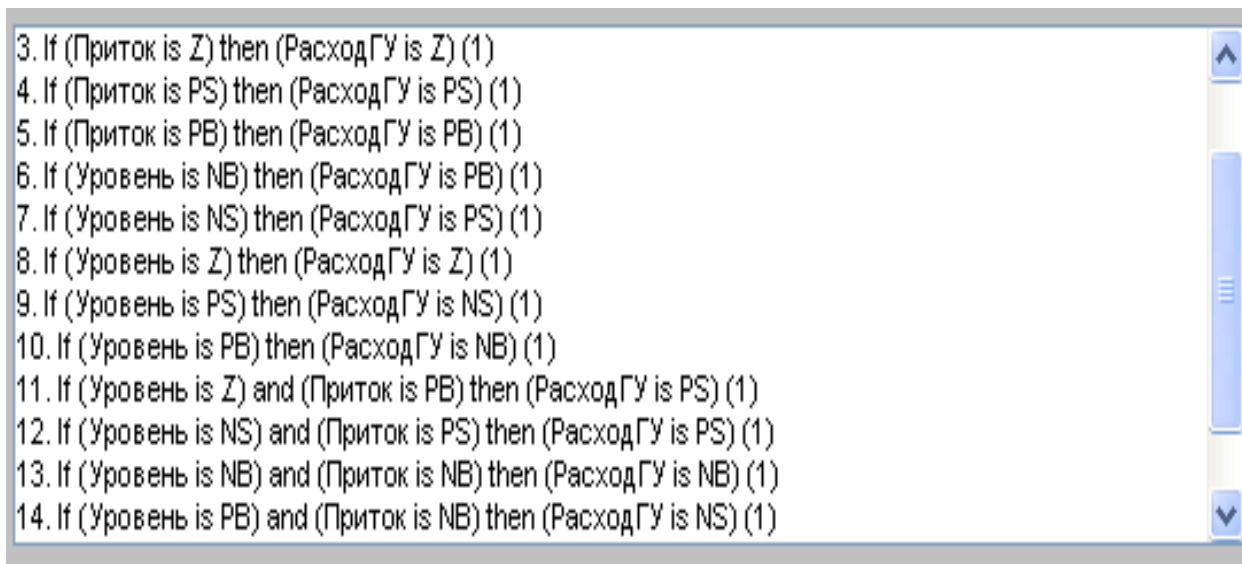


Рисунок 6 - База правил нечеткого управления

В качестве примера рассмотрим правила №4 и №11.

Правило №4. «If (Приток is PS) then (Расход ГУ is PS)» – отсюда следует, что если приток «примерно» находится на границе от 1400 м³/с до 2400 м³/с, то рекомендуемый расход должен быть «примерно» от 1000 м³/с до 2000 м³/с.

Правило №11. «If (Уровень is Z) and (Приток is PB) then (Расход ГУ is PS)»
– Если отклонение уровня от расчетного находится на промежутке от -4 см до 4 см и приток от 2000 м³/с и более, то рекомендуемый расход должен быть «примерно» от 1000 м³/с до 2000 м³/с.

Из рисунка 6 хорошо видно, что для создания базы правил не обязательно использовать все входные и выходные переменные, а можно, как, например, «Правило №4», использовать и одну переменную.

После создания правил автоматически генерируется поверхность нечеткого вывода (рис. 7). Полученная поверхность позволяет проанализировать поведение модуля управления при изменении параметров системы. Пользователь может прогнозировать поведение управляющего модуля при наступлении тех или иных событий. Обеспечивается плавность регулирования без резкого изменения расходов через водопропускные сооружения, что в свою очередь позволит более рационально использовать оборудование ГЭС. Расширение модели путём увеличения количества входных переменных позволит учитывать боковую приточность и полезные попуски на нужды участников ВХС, например, оросительные системы или коммунально-бытовое водоснабжение.

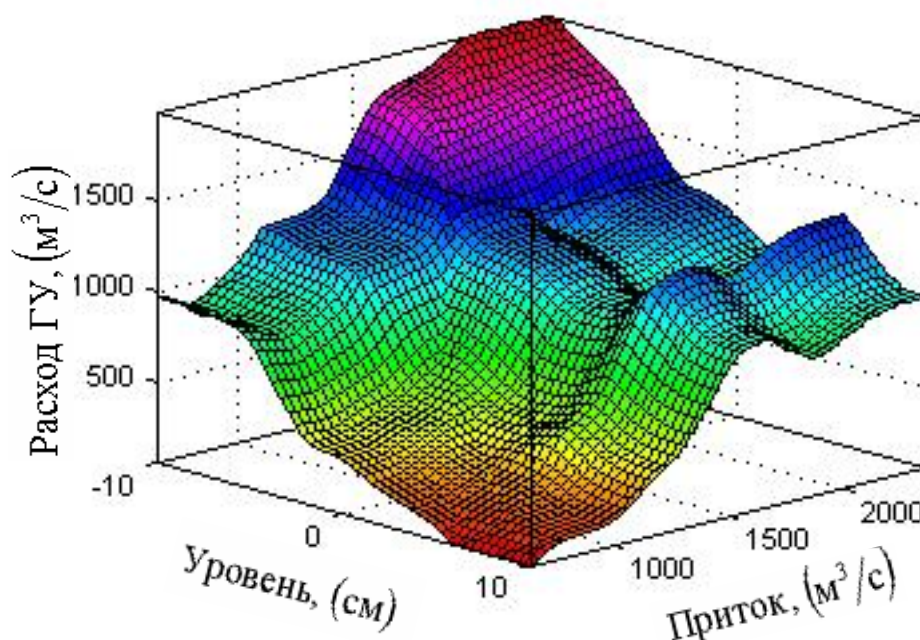


Рисунок 7 - Поверхность нечеткого вывода
Зависимость расхода через гидроузел от притока и изменения уровня

Литература

1. Леоненков А. «Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH» . СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил. ISBN 5-94157-087-2
2. Усков А.А., Кузьмин А.В. «Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика» М.: Горячая линия - Телеком. 2004. 144с.
3. Поспелов Д.А. «Логико-лингвистические модели в системах управления».- М.: Энергоиздат, 1981.- 232 с.