

## Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) – инструменты и практика внедрения в Центральной Азии.

### Абстракт

Благодаря усилиям ГВП, поддержанным мировым водным сообществом и международными донорскими институтами, понимание ИУВР и его внедрение все шире распространяется в мире, захватывая значительное большинство вододефицитных регионов. Бесспорно, значение и вклад в это серии руководств и документов, подготовленных ГВП, среди которых особо следует отметить "Инструментарий для ИУВР – совместное использование знаний для справедливого, действенного и устойчивого развития управления водными ресурсами", изданное в своей второй версии на русском и английском языках и последующие публикации Технического комитета ГВП (Торкил Йонг – Клаусен).

Практика внедрения ИУВР в Центральной Азии и особенно первого крупного проекта SDC – SIC ICWC – IWWI "ИУВР в Ферганской долине" показывает на необходимость усиления некоторых инструментов ИУВР, особо инженерных и управленческих.

\*

Ключевые слова – ИУВР; бассейн – система – водопользователь; моделирование; инструменты управления

### Вступление

В понимании авторов и идеологов ИУВР это процесс скоординированного управления и развития водных ресурсов, характеризующий принципиальными свойствами перехода:

- от административных границ к гидрографическим (бассейновым и системным);
- от секторного управления к взаимоувязанному межсекторному;
- от "сверху вниз" к двухстороннему "снизу вверх" – требования и участие и "сверху вниз" – ограничения и поддержка;
- от командно-административного метода к кооперативному управлению с участием водопользователей во всех уровнях иерархии;
- от управления ресурсами – к управлению спросом;
- от закрытых профессиональных систем водных менеджеров к открытому информативно-доверительному вовлечению водопользователей и заинтересованных лиц.

В принципе, соглашаясь с ними, мы предлагаем рассматривать ИУВР не как процесс, а как систему управления, основанную на учете и взаимодействии возможных водных (поверхностных, подземных, возвратных) и связанных с ними земельных и других природных ресурсов в пределах гидрографических границ, увязывающую интересы различных отраслей и уровней иерархии водопользования и природопользования, вовлекая все заинтересованные стороны в принятие решений, планирование, финансирование, поддержку и развитие в интересах устойчивого обеспечения потребностей общества и природы.

Почему система управления, а не процесс? Система управления предусматривает стабильные рамки взаимной организованности действующих и участвующих субъектов, нацеленных на выполнение определенных задач, которые включают и механизм формирования, и механизм развития с учетом динамики всех переходных процессов и особо процесса самоусовершенствования и развития. При этом с самого начала определяет незыблемость цели и принципов, но адаптируется и даже самоорганизуется процесс самосовершенствования внутри самой системы.

Более того, ИУВР включает как одну из основ – выработку гибкой стратегии с определенными механизмами, такими как прогнозы и модели развития, учитывающие различные варианты и возможные сценарии динамики дестабилизирующих факторов и отсюда выбора и внедрения тех комплексов мер, которые должны противостоять этим трендам и поддержать принципы и цели горизонтов тысячелетия. Если же рассматривать ИУВР как процесс, то он навсегда будет сохранять нестабильность, характеризующую все динамически меняющиеся структуры и действия. Меняться будут условия, но ИУВР должна использовать такой набор инструментов, чтобы при этом стабильное водопользование и природопользование сохранялось, адаптируя изменения использования к изменению обстановки и сохраняя незыблемость критериев и целей.

Это еще более подчеркивается высказываниями Э. Габриели – исполнительного директора ГВП во вступлении к II изданию "Toolbox", что внедрение ИУВР требует интеграции, в первую очередь, всех заинтересованных субъектов в их взаимных действиях по построению ИУВР, преодоления совместного стремления к изоляции, сохранению "status quo" и тогда иногда противодействие с позиции защиты своих меркантильных интересов. Выработываемые принципы должны обеспечить выгодное для всех "бенефициариев" положение в окружающей водной среде, чтобы они с полным сознанием своего частного эгоизма и устремились к общим взаимовыгодным подходам и результатам. Очень важно понимание, что ИУВР – не долговременный процесс, но его внедрение и достижение стройности системы управления является долговременным процессом, ибо требует не только внедрения системы управления, но и формирования определенной политической среды для этого – так называемый "governance", которое хотя и переводится русским словом "руководство", но вряд ли отражает во всей полноте тот комплекс политического отношения к воде, который является основой этого внедрения, конечная цель которого достижима лишь, если "руководство" проникается необходимостью устойчивости ИУВР.

### ***Нацеленность ИУВР, его рамки и инструменты***

*Условие успеха и результативности ИУВР.* Система управления (ИУВР) должна обеспечить достижение (или приближение) к потенциальной продуктивности воды у всех водопользователей, будь то оросительных или промышленных или муниципальных, имея в виду, что на производство единицы продукции будет затрачено то количество воды, которое близко (или стремится) к биологическому или технологически необходимому потреблению при минимальных потерях по всему циклу водозабора, транспортировки, водоподачи и использования воды. Это требует очень четкой увязки всех технологических процессов водопользования с процессами распределения и водоподачи, так же как и соблюдения данных (неводных) технологических требований.

В орошаемом земледелии, например, это означает необходимость четкого следования правилам мелиорации, агротехники, земледелия, возделывания и поддержания плодородия почв, выбору сортов и т.д.; в водоснабжении – системы очистки, использования стоков, технологии процессов и т.д.; в промышленности – применение передовых технологий изготовления, возвратного водопользования, утилизация отходов и т.д. Таким образом, рамки ИУВР зачастую перерастают чисто границы водопользования и охраны вод и включают все сферы деятельности заглавной роли воды как основного лимитирующего фактора. Именно этот опыт должен быть почерпнут из Интегрированного (комплексного) развития и управления территориального комплекса пустынных земель, которые были развиты в свое время в Голодной, Каршинской степях и которые именно тогда дали возможность получить самую высокую эффективность и воды и земли, по производству продукции на единицу воды. На это ориентируют и примеры в управлении территориальными комплексами в рамках бассейнов, имеющие место в США, Голландии, Швейцарии и т.д. Поэтому рамки ИУВР должны расширяться от управления водой в определенных воддефицитных зонах до управления социумом и природным комплексом в их гармоничном развитии.

Еще одно положение: нельзя искать для ИУВР единичных шаблонных правил управления, которые могут быть выработаны для всех – и это совершенно четко и правильно подчеркнута в "Инструментарии" – могут быть найдены более не менее общие правила организационные, в меньшей степени законодательные, еще в меньшей финансово-экономические – ибо все они зависят от специфики политического и экономического состояния и возможностей государства и

водопользователей, роли природных факторов и необходимости их усиления и поддержки, культур и образования общества, его традиций и правил, социальной структуры землепользования и т.д.

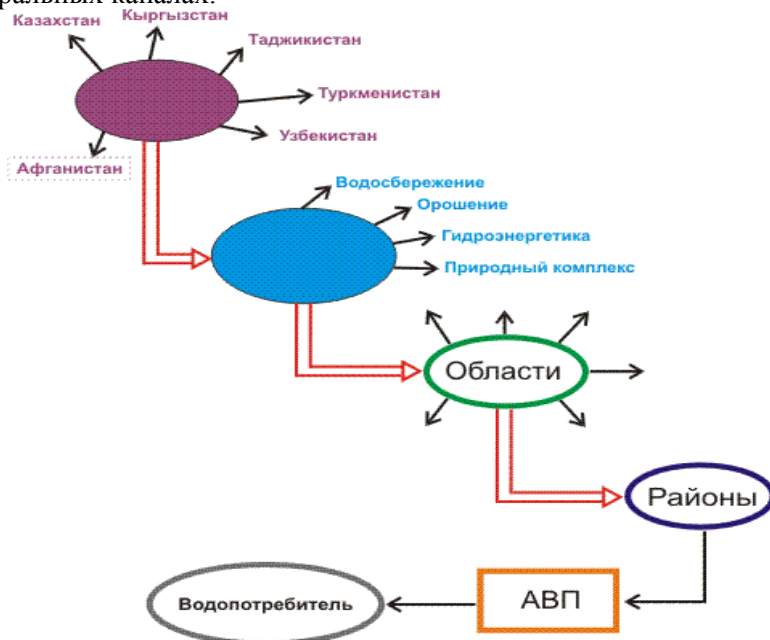
Но еще более это относится к правилам управленческим, которые являются наиболее слабым местом в современной системе управления и на которое необходимо нацелить самое большое внимание всех профессионалов и специалистов водного хозяйства, ибо каждый бассейн, каждый суббассейн, каждая водохозяйственная и оросительная система имеют, так же как и каждый человек, свои особенности. Это определяется не только спецификой ландшафта, конфигурацией и строением водосбора, но и условием и устойчивостью водозабора и водоподачи (поверхностная, зарегулированная или нет; из подземных вод; смешанная), геометрией водораспределительной системы; наличием мелиоративной сети; сочетанием различных уровней, составом и условиями водораспределение на ступенях иерархии водоподачи и водосбора и т.д.

Именно поэтому, механизм управления и распределения воды представляет из себя не только профессиональные правила, но и определенное искусство подбора и спецификации этих правил в различных условиях. Выработка их требует активного взаимодействия специалистов – ученых и практиков высокого класса с местными профессионалами и водопользователями, работающими непосредственно в сфере, внедряющей ИУВР.

### ***Нынешнее состояние водораспределения***

Оросительная система функционирует в сложных условиях как со стороны водоснабжения (динамичность водных режимов и колебаний водоподачи; распределения; доставки), так и неопределенности и колебаний требованиями на воду, определенных целым рядом объективных и субъективных причин.

Во-первых, необходимо иметь в виду ступени иерархии, которые приходится пройти воде сверху, чтобы дойти до потребителя внизу – бассейн, суббассейн, система, распределитель II порядка, АВП (Ассоциации водопользователей), группы водопользователей, фермер, поле. Во-вторых, очень важно количество возбудителей нестабильности водоподачи, которое характерно для каждого уровня водораспределения (рис. 1). Можно предположить как сложно штату в 20 человек, например, мирабов в АВП "Джапалак" распределить воду устойчиво по системе 11 каналов между 5000 водопользователей фермеров! Прибавьте к этому колебания в источнике и магистральных каналах.



**Рис. 1**

На рисунках 2, 3, 4 показаны колебания в водообеспеченности и равномерности водоподачи пользователям соответственно на уровне магистрального канала, АВП и непосредственно фермерского хозяйства, наблюдаемых в 2003 г. на одной из систем, где внедряют ИУВР – Южно-

Ферганский канал в узбекской части Ферганской долины. Еще более динамичны картины по двум другим системам, как может быть видно из табл. 1.

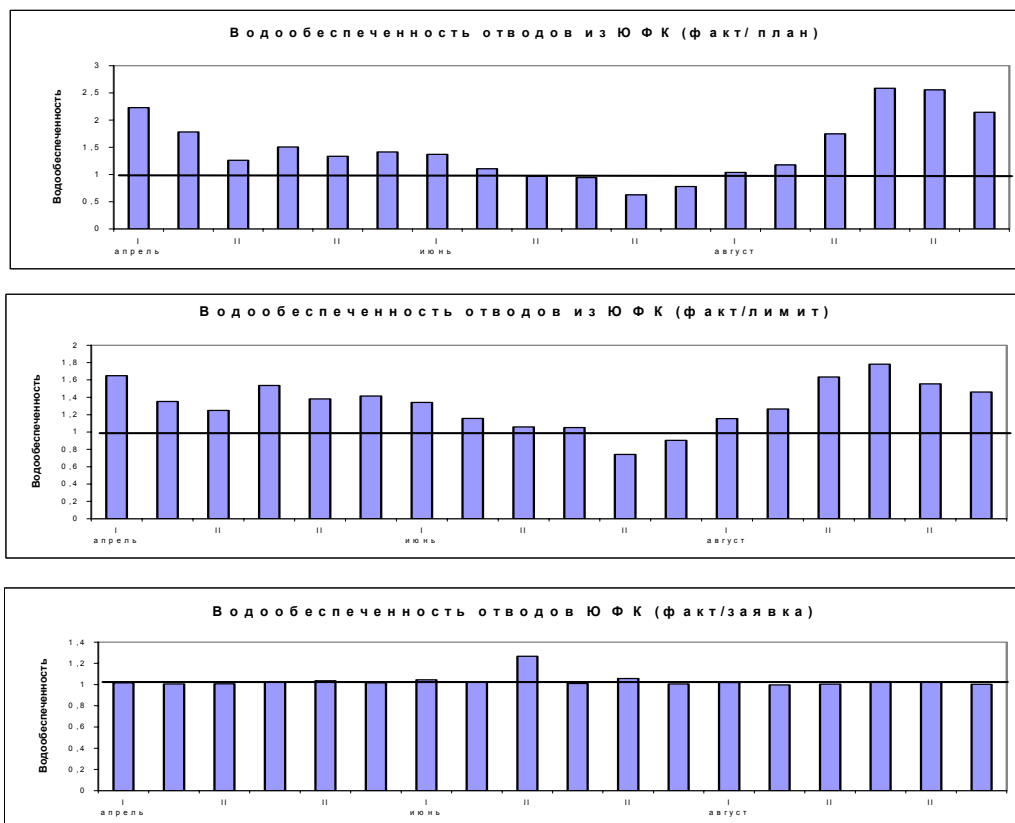
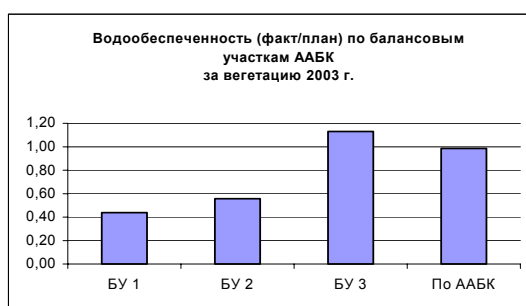


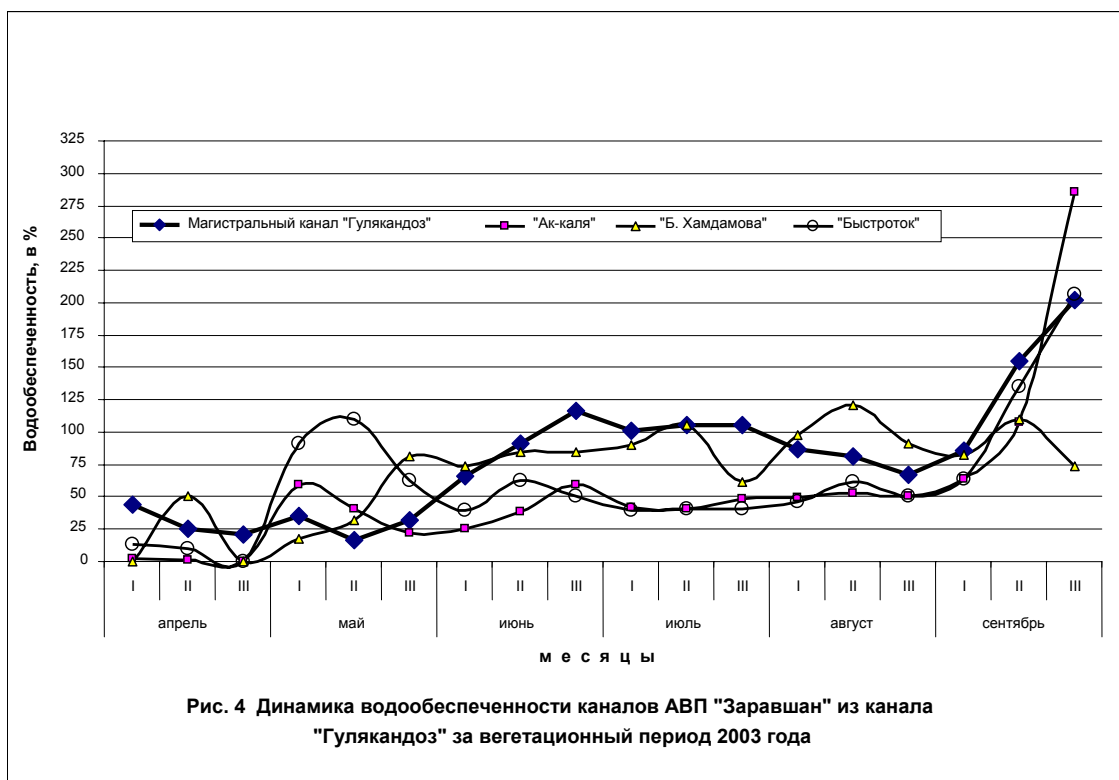
Рис. 2

**Водообеспеченность (факт/план)  
по БУ Араван-Ак-Буринского канала за вегетацию 2003 г.**

Наименование	апрель			май			июнь			июль			август			сентябрь			За вегетацию
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
БУ 1	0,00	0,43	0,46	0,23	0,08	0,00	0,48	0,93	0,59	1,07	0,74	0,92	0,08	0,00	0,49	0,41	0,00	0,00	0,44
БУ 2	0,28	0,20	0,33	0,49	0,67	0,41	0,78	0,65	0,73	0,61	0,73	0,62	0,68	0,72	0,45	0,73	0,69	0,29	0,56
БУ 3	0,25	0,13	0,32	0,18	1,16	0,63	1,18	1,41	1,34	1,01	1,10	1,08	1,18	2,15	1,71	2,35	3,04	1,22	1,13
По ААБК	0,24	0,15	0,33	0,23	0,99	0,54	1,06	1,25	1,19	0,95	1,01	0,99	1,00	1,72	1,39	1,92	2,42	1,03	0,99



**Рис. 3**



**Рис. 4** Динамика водообеспеченности каналов АВП "Заравшан" из канала "Гулякандоз" за вегетационный период 2003 года

Табл. 1

**Результаты анализа по пилотным каналам  
за вегетационный период 2003 г.**

№	Показатели	Ед. измер.	ЮФК	ААБК	ХБК
1	Головной водозабор (с учетом транзита и подпитки)	млн. м3	1049,78	116,26	129,42
2	Удельный водозабор	тыс. м3/га	12,50	12,57	16,00
3	Коэффициент водообеспеченности (в голове отводов из канала) в течение вегетации				
	min		0,63	0,15	0,17
	средний		1,01	0,99	0,82
	max		2,58	2,42	1,77
4	Эксплуатационный КПД канала в течение вегетации				
	min		0,82	0,66 *	0,44
	средний		0,88	0,74 *	0,80
	max		1,07	0,77 *	0,87
5	Отношение общего водозабора к суммарной эвапотранспирации		1,72	1,65	2,00
6	Суммарная эвапотранспирация	тыс. м3/га	7,26	7,58	7,73

\* - плановые данные

Если учесть, что продуктивность воды и земли в орошаемом земледелии зависит от своевременности точности подачи фермеру нужного количества воды именно туда, как это требуется растениям, и что отключение от сроков подачи воды создает потерю урожая при задержке полива или перерасход воды при излишней и своевременной подаче, то ясно, что недобор урожая провоцируется водным фактором повсеместно.

Это хорошо иллюстрируется показателем отклонения суммарной водоподдачи в голове к суммарной эвапотранспирации всех посевов на подкомандных площадях, который колеблется от 1,65 ... 1,72 на землях подкомандных ЮФК и Араван Аккурганскому каналу до более 2 на системе канала Гулякандоз в Таджикистане. Отсюда видно, что суммарные непроизводительные потери по всем системам каналов равны от 50 % до более 100 % от полезных затрат воды на выращивание всех сельхозкультур в зоне каналов. Но еще более велики резервы продуктивности воды, если проанализировать результаты демонстрационных полей, организованных в проекте в зоне всех этих каналов. На основе обследования и изучения полей, их паспортизации по специально предусмотренной форме, в 2002 г. были выработаны рекомендации для фермеров, которые позволили снизить забор воды и поднять урожайность, в результате чего продуктивность воды на этих полях увеличилась почти в 2 раза (таблица 2).

Все это свидетельствует о необходимости в процессе внедрения ИУВР выработать определенный механизм, ориентирующий водопользователей и водохозяйственные организации на общую заинтересованность в повышении конечной продуктивности воды, так же как и в помощи достичь им такое повышение продуктивности. Эти механизмы должны соответствовать причинам, вызывающим непроизводительные потери воды, неравномерность, нестабильность и низкую водообеспеченность водопотребления.

**ХОЗЯЙСТВО**  
Оценка продуктивности воды и показателей повышения продуктивности

Фермерское хозяйство	Площадь		Удельная водоподача		Урожайность		Затраты воды		Продуктивность	
	га		брутто, м3/га		кг/га		м3/кг		кг/м3	
годы	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
			W2	W3	Y2	Y3	(P1)	(P2)	(P1)	(P2)
Бахористон	12,6	12,6	12968	7643	2450	2722	5,29	2,81	0,19	0,36
Сайед	4,1	4,1	7342	5940	2750	2925	2,67	2,03	0,37	0,49
Саматова	6	7	8264	5012	3220	3253	2,57	1,54	0,39	0,65
Хожалхонхожи	5,6	5,6	18804	12525	2640	2691	7,12	4,65	0,14	0,21
Нозима	8	8	6718	3468	2420	2000	2,78	1,73	0,36	0,58
Турдиали	2	1	4020	3429	3520	3920	1,14	0,87	0,88	1,14
Толибжон	5	5	9399	5925	3790	3620	2,48	1,64	0,40	0,61
Толойкон	4	2	5803	4569	3000	4430	1,93	1,03	0,52	0,97
Нурсултан-Алы	0,9	1	5120	2130	2440	4300	2,10	0,50	0,48	2,02
Сандык	5	5	6030	5540	2860	3060	2,11	1,8	0,47	0,55

Ниже они систематизированы в табл. 3.

*Источники потери продуктивности воды на оросительных системах и меры по их устранению*

Уровень иерархии	Причина нарушения	Меры по предотвращению	
		тип	описание
бассейн	Неустойчивость головного водозабора и водоотведения вследствие:		
	• политических трений;	юридический	соглашения
	• нарушение плановых графиков водоподачи;	организационный	создание органа или выработка порядка регулирования;
	• перебор воды на вышерасположенных водозаборах;	юридический  технические	• соглашения и штрафы;  • повышение точности распределения системой SCADA
	• недоучет потерь вверху;	технический	организация учета воды и потерь
	• нестабильность источника водоподачи	технический	регулирование водоподачи подпитка из дренажных вод
	• бесконтрольность за распределением	технический	организация систем водоподачи и вододеления
Система каналов	• отсутствие системы планирования распределения и диспетчеризация	технический	• подготовка и внедрение правил управления; • моделирование плана и его корректировка
	• отсутствие дисциплины водораспределения и планирования	организационный  технические	• правила водоучета и контроля; • внедрение ГИС и плана водопользования
	• перебор воды сверх графика	организационные, экономические	• штрафные санкции
	• отсутствие учета воды	технические	• внедрение гидрометрии; • внедрение SCADA;

			<ul style="list-style-type: none"> <li>создание информационной системы;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>отсутствие порядка распределения</li> </ul>	технические	<ul style="list-style-type: none"> <li>внедрение водооборота;</li> <li>привлечение всех видов вод</li> </ul>
АВП	<ul style="list-style-type: none"> <li>стохастичность требований</li> </ul>	технические меры	<ul style="list-style-type: none"> <li>метод распределения между группами;</li> <li>методы водооборота; (варианты, и т.д.)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>отсутствие баланса водоподачи и учета воды</li> </ul>	технические меры	<ul style="list-style-type: none"> <li>внедрение средств учета;</li> <li>информационная система;</li> <li>диспетчеризация</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>заинтересованность в водосбережении</li> </ul>	финансовые меры	<ul style="list-style-type: none"> <li>премии работникам АВП;</li> <li>штрафы и льготы;</li> <li>система оплаты ВХО</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>отсутствие контроля внедрения АВП и прогноза условий</li> </ul>	технические	<ul style="list-style-type: none"> <li>планирование и корректировка водоподачи;</li> <li>прогноз системы требований на воду</li> </ul>
Хозяйство	<ul style="list-style-type: none"> <li>отсутствие плана водопользования</li> </ul>	технический	<ul style="list-style-type: none"> <li>обучение и планирование водопользования</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>непригодность схемы полива</li> </ul>	технический	<ul style="list-style-type: none"> <li>рекомендации по технике и способам полива</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>неучет погодных колебаний</li> </ul>	технический	<ul style="list-style-type: none"> <li>консультативные службы</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>неравномерность увлажнения</li> </ul>	технический	<ul style="list-style-type: none"> <li>ГИС, рекомендации по выравниванию урожая</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>потеря урожая из-за мелиоративного состояния земель</li> </ul>	технический	<ul style="list-style-type: none"> <li>улучшение работы дренажа</li> </ul>

Таким образом, большая часть методов увеличения продуктивности воды связана с техническими мерами и инструментами ИУВР в сочетании с организационными, финансовыми и юридическими мероприятиями.

### **СПП\* для ИУВР (инженерные и модельные инструменты)**

Инженерный аспект и управление водными ресурсами строятся на организационной и экономической увязке уровней иерархии (рис. 5) и поддерживает их техническими, инженерными и модельными решениями. Основные из них следующие:

1. Оснащение и автоматизация балансовых постов на уровне бассейнов гидрометслужб для постоянной регистрации, передачи в управляющие диспетчерские пункты и в информационную систему общего пользования по методу "online" непосредственной информации о расходах, качестве воды, объемах воды в водохранилищах и озерах по всем трансграничным и национальным водотокам региона. Это оснащение должно сопровождаться подписанием Соглашения между НГМС и водохозяйственными организациями как конечными пользователями с целью свободного и доверительного обмена и накопления информации. При этом очень важно, чтобы информация по количеству сопровождалась информацией по качеству, а учет воды на контрольных гидрологических створах совмещался с информацией от БВО по водозабору с целью возможности силами БВО организовать русловой баланс и уточнение потерь стока как русловых, так и водохранилищных с тем, чтобы избежать той ситуации, которая сегодня, особо в многоводные годы имеет место на реках, создавая принципиальное ущемление низовьев и природных комплексов. Развитие и внедрение системы SCADA здесь предпочтительно.
2. Оборудование для учета воды на уровне бассейна, системы каналов и АВП, в том числе автоматизированного на всех узловых сооружениях к станциям трансграничных рек и то же на всех сооружениях с расходом более 10 м<sup>3</sup>/сек.

\* СПП – система поддержки решений (DSS)



Это наиболее дешевая часть технического совершенствования создает основу для доверительной и точной регистрации показателей воды и подготовки базы для информационной системы, моделирования (в первую очередь баланса вод) и решения вопроса о методах организации контроля за водохранилищами, водозаборами и т.д.

При этом оснащение и тарифовка должны идти по линии головных водозаборов, балансовых гидрометрических постов на концевых створах участков магистральных каналов; обязательной водомерности всех узлов – водовыпусков в каналы II порядка вплоть до голов АВП. Внутри АВП оснащению подлежат, по крайней мере, водозаборы на группы водопользователей, которые создаются внутри каждой АВП по каждому каналу для организации системы водооборота. Все это, в конечном счете, позволит создать базу данных для непосредственного уточнения оценки показателей водораспределения и использования водных ресурсов внутри суббассейна, систем и между АВП.

Понятно, что установление самописцев или систем автоматизированного контроля за расходами и качеством воды возможно в настоящее время лишь на крупных гидроузлах, на водозаборах с расходами более 5 – 10 м<sup>3</sup>/сек. Но в целом систематическая регистрация расходов в мелких сооружениях по кривой  $Q = f(H)$ , на насосных агрегатах – по протарифированной зависимости "объем водозабора – затраты электроэнергии" является обязательным условием надежного и устойчивого поддержания необходимых расходов воды в системе.

3. Учет возможных ресурсов всех вод с целью их вовлечения в равноправное использование и водообеспеченность.

Один из больших недостатков современного водопользования состоит в том, что деление воды распространяется, в основном, на поверхностные воды без учета наличных ресурсов подземных и, особо, возвратных вод. Между тем именно наличие этих вод создает возможность более справедливого вододеления и, с другой стороны, покрытия потребности в условиях дефицита. Поэтому необходимо в качестве инструментов:

- создание слоев ГИС с привязкой ресурсов этих вод к местным условиям и их учет в составлении планов водопользования;
- планирование водопользования и оперативного управления, ориентированного на предполагаемые их ресурсы;
- выработка мероприятий по вовлечению (а иногда и очистке) возвратных вод или использованию их в различных технологических стадиях водопользования;
- учет подпитки грунтовыми водами зоны аэрации для уменьшения питания поверхностными водами, вплоть до провоцирования субиригации.

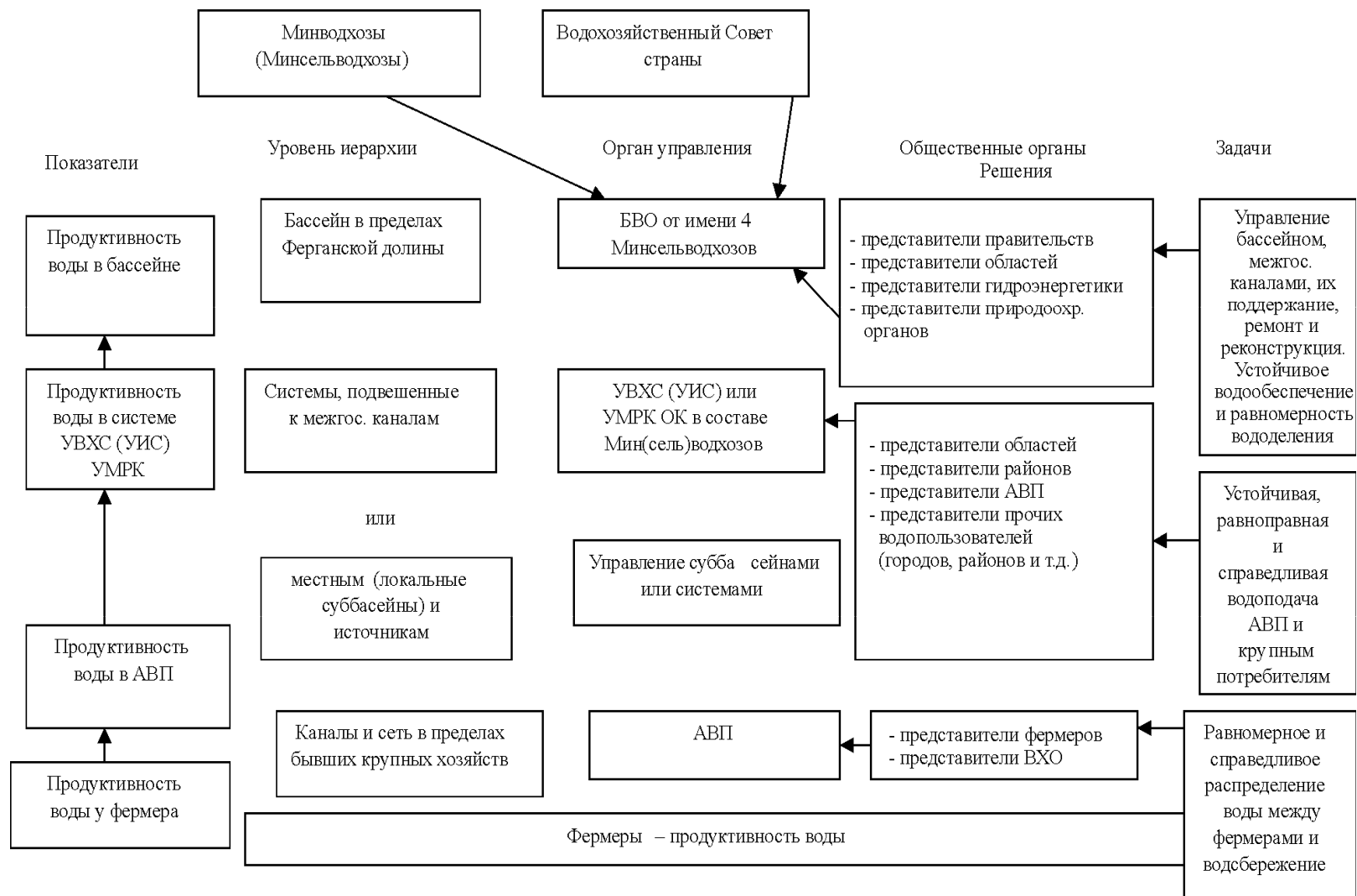


Рис. 5

СВЯЗЬ УРОВНЕЙ ИЕРАРХИИ В ИУВР И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

#### 4. Использование ГИС в целях:

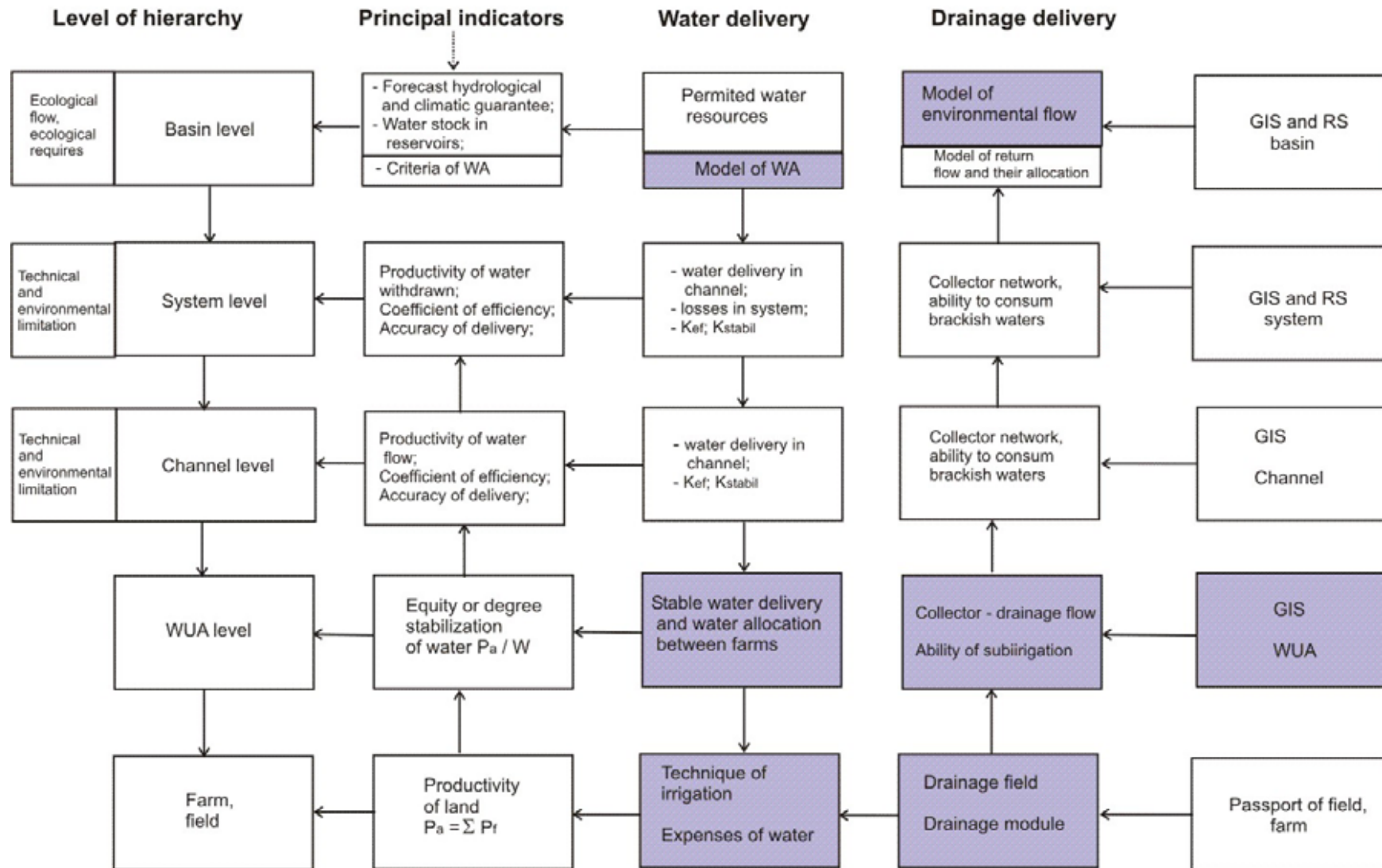
- уточнения площадей и особенностей водных потребностей отдельных водопользователей с целью их дифференциации (почвы, гидрогеологические условия, гидромодульное районирование и т.д.);
- определение степени неравномерности посевов с применением дистанционных методов (NDVI) для выравнивания почвенного плодородия, микро- и мезорельефа, ликвидации засоленных пятен с целью повышения продуктивности воды;
- мониторинга динамики засоления и заболачивания.

5. Разработка и внедрение системы планирования и корректировки водопользования (этому вопросу будет посвящен отдельный раздел, учитывая его принципиальную важность в деле перехода к интегрированному управлению как основа управленческих подходов к распределению и доставке воды) в их взаимной увязке на различных уровнях водной иерархии.

6. Создание информационной системы в виде взаимоувязанной на различных уровнях иерархии сочетания базы данных (БД), базы знаний (БЗ), ГИС и набора инструментов по их использованию. Современное компьютерное оснащение позволяет развить, оснастить и внедрить широко такую систему как основу планирования, мониторинга и постоянной корректировки. Диспетчеризация является при этом одним из основных технических элементов, увязывающих распределенные объекты управления и информации в их природно-хозяйственном разнообразии с системами и источниками водоподачи и использующих в качестве инструмента комплекс моделей и модулей, превращенных в общедоступный механизм.

Именно этот инструмент позволяет отслеживать имеющиеся колебания в основных показателях водопользования: водообеспеченности, равномерности и стабильности с целью их доведения до необходимых критериев.

7. Модели планирования управления бесспорно не могут полностью проимитировать всю сложную гамму процессов, которые происходят в цепочке планирования и развития формирования, водозабора, доставки, охраны и потребления водных ресурсов. Тем не менее, сочетание правильно составленных моделей и определенной системы управления на каждом уровне иерархии могут обеспечить максимальное приближение моделей к управленческим ситуациям и одновременно способствовать созданию инструментов, повышающих устойчивость, стабильность, равномерность и надежность водообеспеченности и одновременно повышение продуктивности орошаемого земледелия как основного потребителя воды в аридной и полуаридной зоне. С этой точки зрения нами разработана система моделей и индикаторов в увязке с информационной системой, которая позволяет обеспечить модельный инструмент управления и развития. Схема этого комплекса приведена на рис. 6 с соответствующим подразделением по взаимоувязанным уровням управления: бассейн – система – канал – АВП, хозяйство – поле. Главной задачей этого комплекса моделей – имитировать продуктивность поля и хозяйства, приближающуюся к потенциальной и обеспечить ее достижение за счет создания соответствующих мелиоративных условий (через модель дренирования, водоотведения, регулирования водно-солевого баланса почв) и необходимого графика и объемов водоподачи, соответствующим потребностям растений в комплексе сельскохозяйственных культур. Комплекс моделей увязывает требования водопотребителей «снизу – вверх» и возможные ограничения по подаче воды, вызванные как лимитированием водоподачи «сверху-вниз», так и технологическими параметрами существующей сети канала. Модели также обеспечивают очень важную особенность интегрированного управления – увязку уровней иерархии по водоподаче «сверху – вниз» и по отведению «снизу –



вверх». Они дают возможность осуществить выбор дополнительных источников воды в случае дефицита или невозможности покрытия потребности по технологическим параметрам. Особое место в комплексе моделей занимает анализ тенденций и необходимых объемов по поддержанию сети, который зависит в определенной степени от объема производимых ремонтно-эксплуатационных работ и позволяет осуществить корректировку определенных действий в случае, если эти тенденции становятся отрицательными.

Наконец, особое место уделяется вопросам перспективного планирования с учетом наличия дестабилизирующих факторов в развитии и управлении и необходимости их покрытия.

8. Организация консультативной службы по повышению продуктивности земель предусматривает в качестве своей основы паспортизацию всех полей и фермерских хозяйств по определенной методике с использованием компьютерных моделей. Паспорт поля содержит базисную агрономическую и мелиоративную документацию, соответствующие данные и рекомендации, которые необходимы для использования научно-обоснованного комплекса мероприятий по снижению удельных расходов воды и по достижению потенциальной продуктивности. Она включает в себя базовые агрохимические, агрономические свойства почв, ежегодные климатические данные, содержание гумуса, питательных веществ и потребность в них, засоление земель, почвенные характеристики, степень выравненности рельефа и рекомендуемые сроки посевов, густоты, вегетационных фаз, а также экономические показатели эффективности выращиваемых сельхозкультур. Паспортизация полей включает оценку максимально возможного урожая культур, потенциального урожая культур в данной местности, основанного на бонитете почв без учета колебаний в климате, технологии, засолении, увлажнении; действительно возможный урожай, характеризующий реальные условия почв, ограниченный контролируруемыми факторами, и действительный урожай, который определяется уровнем соответствующих организационных потерь. Оценка этих уровней продуктивности и разности между ними позволяет выявить краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные меры по приближению действительной продуктивности к потенциальной.

9. Очень важным элементом интегрированного управления является интеграция земли и воды, орошения и дренажа. Эти процессы, взаимно увязанные в своем единстве управления почвенным плодородием и водно-солевым балансом орошаемых земель представляют из себя важнейший элемент обеспечения плодородия. Подсчитано, что в настоящее время орошаемые земли Центральной Азии теряют около 30 % продуктивности по причине только мелиоративного неблагополучия, негативного состояния мелиоративной сети и ее поддержания. Инструменты мелиоративного поддержания являются неотъемлемой частью инженерно-технических аспектов интегрированного управления водными ресурсами.

#### 10. Основные этапы в управлении водораспределением

В управлении процессом распределения водных ресурсов, как и в любом технологическом процессе, можно выделить отдельные периоды, этапы, задачи, различающиеся временными интервалами и характером информации, используемой для принятия решений. В данной работе не рассматриваются вопросы реконструкции и перспективного планирования ирригационных систем, поэтому за наибольший период управления принимается интервал времени равный одному году (водохозяйственному году), который, состоит из двух периодов, - вегетации и межвегетации. В свою очередь, каждый период разбивается на временные интервалы равные одной декаде и обозначаемые через "t". Для обозначения времени внутри декады используется обозначение "τ", τ ∈ t. Рассматриваемый интервал времени будем обозначать через "t", а предшествующий и последующий через "t - 1", "t + 1", соответственно. Технические характеристики элементов системы сохраняют свои значения на всем периоде управления. Последнее допущение показывает, что на данном этапе анализа, аварийные ситуации в ирригационных системах не рассматриваются, косвенно они могут учитываться снижением параметров для характеристик "объемы потерь водных ресурсов в системе" и "управляемость системы". Согласно существующей терминологии, годовой период управления водораспределением состоит из следующих этапов:

- годового планирования
- оперативного планирования
- оперативного управления

### 10.1. Годовое планирование

Годовое планирование выполняется для вегетационного и меж вегетационного периодов.

**Задача 1:** - определение объемов водных ресурсов, требуемых участниками,

**Состав исходной информации:**

- состав сельскохозяйственных культур,
- площади, занятые сельскохозяйственными культурами,
- распределение площадей по гидромодульным районам,
- нормы водопотребления сельскохозяйственных культур,
- нормы промывки площадей орошения,
- среднееголетние гидрологические характеристики района.

**Методы решения:**

- прямой счет, оптимизационные постановки практически не используются.

**Результаты решения:**

- требуемые объемы воды для каждого участника за весь период и в декадном разрезе.

**Показатели оценки качества решения:**

- удельная продуктивность воды средневзвешенная по территории ( $\$/\text{м}^3 \times \text{га}$ )
- продуктивность воды в разрезе сельскохозяйственных культур ( $\text{м}^3/\text{га}$ ),

**Задача 2:** - корректировка объемов водных ресурсов согласно выделенным лимитам.

**Состав исходной информации:**

- прогноз водности текущего года,
- технические возможности ирригационной системы.

**Методы решения:**

- распределение ресурсов в сети с ограниченной пропускной способностью, оптимизационная.

**Результаты решения:**

- выделенные объемы воды для каждого участника на весь период в декадном разрезе.

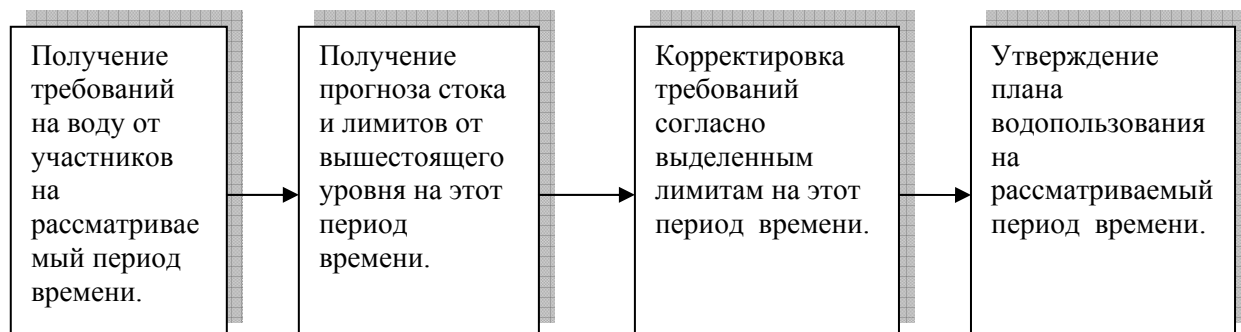
**Показатели оценки качества решения:**

- удельная потери воды в системе (к.п.д.),
- равномерность урезки участников по годовому объему водных ресурсов,
- равномерность урезки участников по декадному объему водных ресурсов,

**Результат решения обеих задач годового планирования:**

- скорректированный план водопользования.

**Годовое планирование** выполняется в два этапа, сначала в меж вегетационный период, для распределения водных ресурсов в вегетационный период, а затем, в вегетационный для распределения водных ресурсов для меж вегетационного периода следующего водохозяйственного года, последовательность задач для этих этапов приводится на рис 7.



**Рис 7. Годовое планирование.**

### 10.2 Оперативное планирование

Оперативное планирование выполняется ежедекадно, “t” – номер декады.

**Задача 1:** - анализ распределения водных ресурсов за истекший период  $\{0 \dots t - 1\}$ .

**Состав исходной информации:**

- план водопользования,
- заявки участников, за период времени  $\{0 \dots t - 1\}$ ,
- фактическая подача воды участникам за период времени  $\{0 \dots t - 1\}$ ,
- фактический гидрограф поступившего стока за период времени  $\{0 \dots t - 1\}$ ,

*Методы решения:*

- статистические методы анализа по группе показателей.

*Результаты решения:*

- составы показателей по выделенным критериям за период времени  $\{0 \dots t - 1\}$ ,

*Показатели оценки качества решения, относительные:*

- обеспеченности водой участников за прошедшие периоды управления,
- равномерность водораспределения между участниками,
- объем потерь водных ресурсов в системе.

*Задача 2:* - корректировка объемов водных ресурсов, подаваемых участникам на момент времени “ $t + 1$ ”,

*Состав исходной информации:*

- составы показателей по выделенным критериям за период времени  $\{0 \dots t - 1\}$ ,
- откорректированный план водораспределения для интервала времени “ $t$ ”,
- заявки участников, на момент времени “ $t + 1$ ”, формируются по фактическим датам сева и поливов сельскохозяйственных культур, а также текущим погодным условиям,
- прогноз гидрографа стока на момент времени “ $t + 1$ ”,

*Методы решения:*

- распределение ресурсов в сети с ограниченной пропускной способностью, оптимизационная.

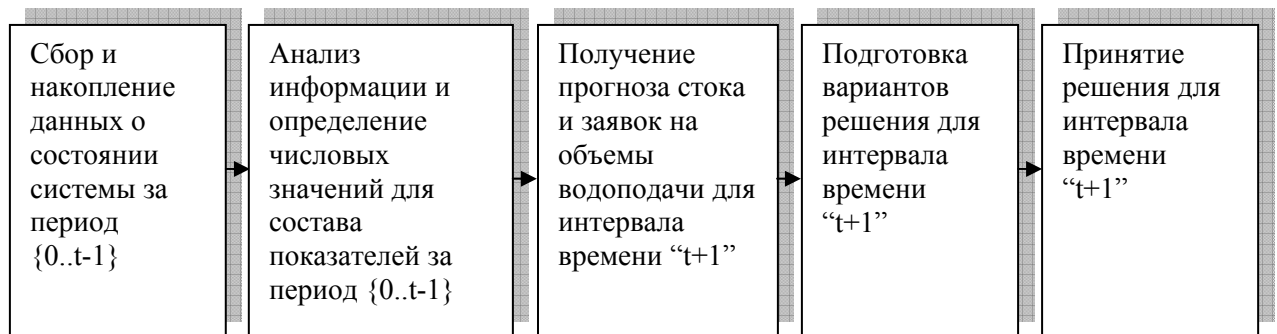
*Результаты решения:*

- объемы водных ресурсов, подаваемые участникам на момент времени “ $t + 1$ ”,

*Показатели оценки качества решения:*

- близость подаваемого объема к заявленному,
- снижение объем потерь водных ресурсов в системе,
- увеличение равномерности водораспределения между участниками,

Последовательность решения задач на этапе **Оперативное планирование**, для интервала времени “ $t$ ”, от получения информации до реализации решения представлена на рис 8.



**Рис 8. Оперативное планирование.**

### 10.3 Оперативное управление

Оперативное управление выполняется ежедневно (ежечасно).

*Задача 1:* - подача объемов водных ресурсов участникам согласно значениям, установленным на этапе оперативного планирования, для момента времени “ $t$ ”,

*Состав исходной информации:*

- декадные объемы водных ресурсов по каждому участнику,
- фактический гидрограф поступающего стока в момент времени  $\tau \in t$ ,
- фактическое состояние гидротехнических сооружений.

*Методы решения:*

- методы регулирования.

*Результаты решения:*

- суточные (часовые) объемы водных ресурсов, подаваемые участникам,

*Показатели оценки качества решения:*

- статистический разброс часовых и суточных расходов, относительно заданного.

*Задача 2:* - учет подаваемых объемов водных ресурсов.

*Состав исходной информации:*

- фактические замеры поступающего стока в момент времени " $\tau \in t$ ",
- фактическое состояние водомерных устройств в момент времени " $\tau \in t$ ".

*Методы решения:*

- методы интерполяции.

*Результаты решения:*

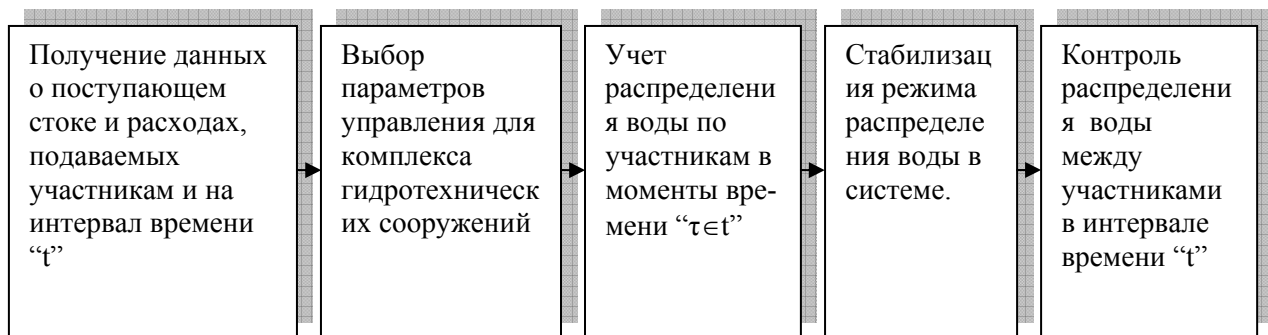
- фактические замеры расходов воды по каждому участнику,
- фактические замеры уровней воды вдоль каналов,

*Показатели оценки качества решения:*

- диапазон колебаний отдельных замеров и погрешности водомерных устройств.

Здесь  $\tau$  – момент времени внутри декады.

Этап **Оперативное управление**, обеспечивает реализацию решений, выработанных на этапах Годового и Оперативного планирования. Последовательность решения задач этапа **Оперативное управление** приводится на рис. 9.



**Рис. 9. Оперативное управление**

Решение задачи 2, **Оперативное управление**, формирует петлю обратной связи, необходимую для решения задач на этапе **Оперативное планирование**.