

---

---

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ,  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ**

---

---

УДК 556.18 (626.82;519.216)

## **ОБ ОЦЕНКЕ УЩЕРБОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ<sup>1</sup>**

© 2012 г. А. Г. Кудинов

*Институт водных проблем Российской академии наук  
119333 Москва, ул. Губкина, 3*

Поступила в редакцию 21.05.2010 г.

Рассмотрены ущербы различных компонентов водноресурсных систем при комплексном использовании водных ресурсов. Рекомендуется метод их оценки в общем виде и с использованием теории Марковских процессов.

*Ключевые слова:* поверхностные водные ресурсы, ущербы, комплексное использование, производственные характеристики.

Ущерб при комплексном использовании поверхностных водных ресурсов входит составной частью в производственные характеристики участников водно-ресурсных систем (ВРС). Их оценка, по возможности достаточно полно учитывающая как обстоятельства их возникновения, так и последствия водопользования, представляется заслуживающей внимание задачей. Известно, что комплексное использование поверхностных вод сопровождается неудобствами, связанными с нерегулярными колебаниями речного стока во внутригодовом и многолетнем разрезе. Возникают как трудно прогнозируемые, а иногда и неожиданные дефициты водных ресурсов, так и превышения, иногда катастрофические, над необходимым или нормальным количеством воды. Оба случая сопровождаются ущербами, вызванными недоочаечей водных ресурсов участникам ВРС, невыпуском ими продукции, невыполнением соответствующих услуг и т.д., а так же затоплением и подтоплением территорий. Здесь необходимо отметить, что рассматриваемые ниже ущербы (в частности и особенно ущербы в энергетическом компоненте ВРС) отличаются от ущербов, вызванных аварийными обстоятельствами. Даже при неожиданности дефицитов водных ресурсов есть время для предупреждения потребителей о грозящим им дефиците с тем, чтобы потребители приняли соответствующие меры для снижения величины ущерба. К таковым могут относиться назначение ремонтных работ на время перерывов в работе, вызванных дефицитом, использование рабочей силы на подсобных работах, назначение отпусков персонала и т.д.

При оценке ущербов в первом случае (т.е. при недостатке водных ресурсов) рассматриваются такие компоненты ВРС как гидроэнергетика, водный транспорт, сельское и рыбное хозяйство. Под сельским хозяйством здесь понимается орошаемое земледелие и водоснабжение сельскохозяйственного производства. Такой подход вполне оправдан, так как речь идет об отмеченных выше производственных характеристиках, и поэтому из рассмотрения исключается непроизводственное водоснабжение городского и сельского населения, которое осуществляется при всех обстоятельствах без ограничений. Кроме того, из рассмотрения исключаются предприятия и организации, обеспечивающие охрану здоровья и нормальную жизнедеятельность населения.

Второй случай, при котором возникают ущербы, характеризуется существенной особенностью, заключающейся в неизбежности нанесения вреда в непроизводственной сфере. При затоплении и подтоплении территорий в результате катастрофических половодий и паводков страдает, прежде всего, население городов и поселков. Оценить этот ущерб, в состав которого наряду со стоимостью спасательных операций входит порча, а иногда и гибель жилых и хозяйственных строений, личного имущества граждан, моральный ущерб, разрушение на длительный срок всей хозяйственной инфраструктуры и т.д., — чрезвычайно трудно, а с морально-этической точки зрения не корректно. Население при всех обстоятельствах не должно страдать. Поэтому принимается, что территория жилой застройки независимо от ее категории (город, поселок городского или сельского типа) должна быть гарантированно защищена от последствий половодных и паводковых затоплений. Для производственных же объектов в оценку ущербов должны, по-видимому,

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 01-05-64744).

входить как стоимости восстановительных работ, так и последствия недовыпуска продукции. Если же оказывается, что выделить в массиве жилой застройки производственные здания не представляется возможным, то защита общей территории осуществляется за счет производственных объектов.

Как в первом, так и во втором случае под ущербом понимаются экономические последствия недовыпуска продукции, невыполнения производственных функций и услуг участниками ВРС, потребителями их продукции, следующими потребителями и т.д. Возникает своеобразная “цепная реакция”, длина которой различна для различных компонентов ВРС. Так, для энергетического использования стока “цепная реакция” очень длинная и разветвленная. Учесть все последствия недополучения электроэнергии различными потребителями и недовыпуска ими продукции, а также недовыпуска продукции следующими потребителями и т.д. чрезвычайно сложно или практически невозможно. То же, по-видимому, относится и к речному транспорту. В сельском и рыбном хозяйстве “цепная реакция” может оказаться несколько короче. Однако и ее последствия учесть будет так же трудно. Сказанное относится и к локальным задачам, когда ущерб необходимо определить для ограниченных территорий, например — определить ущерб для речного бассейна или его участка, что объясняется хозяйственными и экономическими связями территорий.

В этих условиях для приблизительной оценки ущерба можно использовать такой макроэкономический показатель как национальный доход или валовый внутренний продукт, считая, что любое ограничение в водных ресурсах любой из рассматриваемых отраслей снижает этот показатель. Подобный подход был предложен в эпоху плановой экономики. Сегодня при наличии системы свободного рынка и возможности переориентации потребителей на других поставщиков явление “цепной реакции” и снижение ВВП, как представляется, в определенной степени сохранится. Само изменение поставщиков, нарушение договорных отношений, изменение издержек и т.д. могут составить ее звенья. Следует, однако, отметить, что такая оценка ущерба весьма приблизительна. Она не учитывает особенности формирования ВВП в каждой отрасли, “весомость” отрасли в народном хозяйстве страны, ее промышленное и социальное значение. Менее приблизительная оценка ущерба при комплексном использовании водных ресурсов требует более подробного подхода к обстоятельствам его возникновения и формирования в различных отраслях, или у различных компонентов водно-ресурсных систем.

Учитывая изложенное, целесообразно рассмотреть условия водопотребления, влияющие на возникновение и оценку ущербов. Расчетная обеспеченность водопотребления и водопользования ком-

понентов ВРС — величина вполне обосновываемая. Ее назначение ни в коей мере нельзя считать случайным, в то время как обеспеченность конкретного гидрологического года и, следовательно, выполнение производственных функций, предоставление услуг, зависящих от стока, — величины случайные. Случайны также и недовыработки продукции, непредоставление услуг и прочее. Иными словами, возникновение причин, приводящих к появлению ущербов, можно рассматривать как случайный процесс. Не менее случайны и ограничения потребителей продукции компонентов ВРС, последующих потребителей и т.д. Однако здесь следует отметить, что, например, в энергетике существует правило при дефиците электроэнергии отключать в первую очередь наиболее, затем менее электроемких потребителей и т.д. Но на последующих потребителях продукции отключаемых предприятий какие-либо правила в недополучении ими этой продукции отсутствуют; т.е. снова возникает случайный характер появления ущербов.

Аналогичная картина наблюдается и при непрогнозируемом увеличении количества водных ресурсов, приводящем к нарушению деятельности затронутых хозяйственных субъектов.

Все будет зависеть от тех стохастических условий, которые сложатся в бассейне, от того периода времени, в который определяется дефицит, и от обстоятельств, складывающихся при оценке народнохозяйственного ущерба, т.е. ущерба, связанного с “цепной реакцией”.

В терминах [8] имеет место комплекс случайных реализаций  $\omega \in \Omega$  природных условий с известными их вероятностями  $p(\omega)$ . Тогда дефицит энергетического компонента ВРС можно записать в виде функции

$$D_3(p, t, \omega)$$

и ущерб в энергетике в виде

$$U_3(D_3, \Delta Wm, w, \omega),$$

где  $\Delta W$  — недовыработка электроэнергии (мощности) на гидроэлектростанциях;  $m$  — тариф на электроэнергию (мощность) ГЭС, продаваемую на оптовом рынке;  $w$  — часть дефицита, компенсируемая другими источниками электроэнергии. При этом другие источники электроэнергии несут дополнительные затраты, но и получают дополнительный доход от дополнительной выработки электроэнергии (мощности). Величина дополнительных затрат  $Z_3$  определяется с учетом отмеченного обстоятельства (дополнительного дохода), а также с учетом тарифов на электроэнергию (мощность), продаваемую тепловыми электростанциями. Теперь можно записать

$$U_3(D_3, \Delta Wm, Z_3). \quad (1)$$

Следует иметь в виду, что в (1)  $D_3$  — некомпенсированная часть дефицита.

Автор попытался выразить ущерб на стороне собственно энергетического компонента без учета ущерба на стороне потребителей электрической энергии. Однако, если не компенсируется весь дефицит электроэнергии, т.е.  $D_3 \neq 0$ , то приходится ограничивать потребителей. Как выше отмечалось, известно правило отключения в первую очередь электроемких потребителей. Например, для нижней Волги таковым является Астраханский газоконденсатный комбинат. В этом случае можно предположить, что именно это предприятие будет ограничено в электропотреблении и появится его ущерб, а также ущерб на стороне потребителей его продукции. Ущерб газоконденсатного комбината выразится в уменьшении его дохода, связанного с недовыпуском продукции, и, возможно, со штрафами за нарушение договора о поставке продукции потребителям. В свою очередь ущерб на стороне потребителей продукции комбината, по-видимому, будет состоять из снижения доходов и штрафов и т.д. Задача усложняется, если среди потребителей электроэнергии – не один, а несколько электроемких производств и у каждого – свои потребители продукции. Упомянутое выше правило отключения потребителей электроэнергии может быть использовано для установления некоторой очередности. Так, в рассматриваемом регионе расположены нефтеперегонные заводы “Сызранский НПЗ”, ООО “Лукойл Волгограднефтепереработка”, Костромской завод “Строммашина” и другие. Располагая их по убыванию электроемкости, можно построить очередь отключения от энергоснабжения. Каждое предприятие будет нести ущерб от уменьшения дохода и штрафов за нарушение договорных отношений. При этом в уменьшении доходности, кроме недодачи продукции, следует учесть потерю части амортизационных отчислений, непроизводительные затраты материалов и недоиспользование рабочей силы.

Учитывая вышесказанное, ущерб  $i$ -го предприятия можно записать в виде

$$U_i(D_3 s_i h_i),$$

где  $s_i$  и  $h_i$  – соответственно снижение дохода и штрафы  $i$ -го предприятия. При наличии очередности суммарный ущерб определится как

$$\sum U_i(D_3 s_i h_i). \quad (2)$$

Задача усложняется при приблизительном равенстве энергоемкости предприятий и невозможности в связи с этим построить какую-либо очередность их отключений. Представляется, что в этом случае возникает второй вероятностный процесс (наряду с вероятностным процессом речного стока). Иными словами, снова имеет место комплекс случайных реализаций  $\omega_i \in \Omega_i$ , однако теперь – уже с вероятностями  $p(\omega_i)$ . Тогда ущерб предприятия

$$U_i(\omega_i D_3 s_i h_i) \quad (3)$$

и суммарный ущерб определится как

$$\sum U_i(\omega_i D_3 s_i h_i).$$

В итоге ущерб ВРС от ограничения в водных ресурсах энергетического компонента, учитывающий только потребителей “первого звена” упомянутой “цепной реакции”, можно выразить как

$$U_3(t \omega D_3 m Z_3) + \sum U_i(\omega_i D_{3i} s_i h_i).$$

Вообще говоря, если попытаться учесть как можно более полно “цепную реакцию”, то ущерб энергетического компонента в самом общем виде можно было бы записать как

$$U_3(t \omega D_3 Z_3) + \sum U_i(\omega_i D_{3i} s_i h_i) + \sum U_j(\omega_j D_{3j} s_j h_j) + \sum U_k(\omega_k D_{3k} s_k h_k) + \dots \quad (4)$$

При этом каждое  $i, j, k$  звено имеет свой вероятностный процесс со своим комплексом случайных реализаций  $\omega_n \in \Omega_n$  и, скорей всего, равными вероятностями  $p(\omega_n)$ .

Выше автор попытался выразить в общем виде ущерб, возникающий при ограничении энергетического компонента ВРС в водных ресурсах. Однако при определенных условиях ограничения могут подвергнуться и другие компоненты ВРС, такие как водный транспорт, сельское и рыбное хозяйство, экологическое и рекреационное использование стока, промышленные водопотребители. По поводу последнего компонента следует заметить следующее: компоненты локальной ВРС, привязанной, например, к крупному гидроузлу, состоящему из гидроэлектростанции большой мощности, режим работы которой регулируется крупным водохранилищем; плотины, оборудованной судопропускными сооружениями, возможно, рыбоходами или рыбоподъемниками; водохранилища крупного назначения, что сток реки может регулироваться в интересах не только энергетического компонента, но и сельского хозяйства и экологии, – могут рассматриваться в целом, как единый водопотребитель или водопользователь. Промышленный же водопотребитель может состоять из многих предприятий, порядок ограничения которых в водных ресурсах сам по себе может составить отдельную задачу, усложнив тем самым и без того сложную проблему оценки ущербов. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать пока такие компоненты ВРС как энергетику, водный транспорт, сельское и рыбное хозяйство, использование стока в экологических и рекреационных целях.

Ущерб на стороне водного транспорта можно выразить функцией

$$U_T(D_T),$$

где  $D_T(p_p, t, \omega)$  – дефицит водных ресурсов, приходящийся на долю водного транспорта при его расчетной обеспеченности  $p_p$ , продолжительности дефицита  $t$  и случайной реализации гидрологических

условий  $\omega$  при ее вероятности  $p(\omega)$ . При этом экономически ущерб будет связан с недогрузом судов и недополучением грузов потребителями, а также с дополнительными затратами заменяющих водный транспорт транспортных средств и уменьшением дохода водных перевозчиков. Следует, по-видимому, кроме того, учесть штрафы, выплачиваемые водным транспортом. Отсюда ущерб собственно водного транспорта можно записать в виде

$$U_T(\omega_T, D_T, \Delta d_T, Z_T, h_T), \quad (5)$$

где  $\Delta d_T$ ,  $h_T$  – соответственно снижение дохода и штрафные санкции водного транспорта,  $Z_T$  – дополнительные затраты транспортных средств, заменяющих водный транспорт. “Цепная реакция”, вызываемая недоставкой грузов, по своей протяженности может оказаться соизмеримой с последствиями недоотпуска электроэнергии. Поэтому, принимая равновероятной недоставку грузов получателям первого, второго и т.д. звена цепи, можно записать ущерб от недодачи водных ресурсов водному транспорту как

$$U(\omega_T, D_T, \Delta d_T, Z_T, h_T) + \Sigma(\omega_{1T}, s_{1T}, h_{1T}) + \Sigma(\omega_{2T}, s_{2T}, h_{2T}) + \dots \quad (6)$$

Сельскохозяйственный компонент ВРС состоит из двух составляющих, выделение которых связано с технологией производства и характером использования водных ресурсов. Первая составляющая – орошаемое земледелие, кстати, одно из самых крупных водопотребителей ВРС. Вторая составляющая – сельскохозяйственное водоснабжение, куда входит водоснабжение как производственных объектов сельского хозяйства, так и сельского населения. С учетом сказанного необходимо рассмотреть обе составляющие отдельно.

Расчетная обеспеченность орошаемых площадей в условиях Российской Федерации, как правило, составляет 75%. С учетом случайных реализаций стоковых характеристик с вероятностью  $p(\omega)$  дефицит водных ресурсов, приходящийся на долю орошаемого земледелия, определится как

$$D_o(P_o, \omega),$$

где,  $P_o$  – орошаемая площадь. Тогда ущерб на стороне орошаемого земледелия можно записать как

$$U_o(D_o, \Delta P_o b, h_o),$$

где,  $\Delta P_o$ ,  $b$ , и  $h_o$  – соответственно снижение урожайности орошаемых площадей, удельная стоимость продукции, получаемой на этих площадях, и штрафные санкции. “Цепная реакция” при ограничении орошаемого земледелия в водных ресурсах, возможно, будет короче, чем при ограничении энергетического или транспортного компонентов ВРС, но, как представляется, она все-таки будет. Причем ограничение потребителей продукции орошаемого земледелия на каждом звене “цепной ре-

акции” будет носить, по-видимому, вероятностный характер. Поэтому для орошаемого земледелия ущерб определится как

$$U_o(D_o, \Delta P_o b, h_o) + \Sigma(\omega_{o1}, s_{o1}, h_{o1}) + \Sigma(\omega_{o2}, s_{o2}, h_{o2}) + \dots \quad (7)$$

Как было сказано выше, из второй составляющей сельскохозяйственного компонента ВРС исключается рассмотрение водоснабжения сельского населения, включая его хозяйственные нужды. В связи с этим ущерб, наносимый сельхозводоснабжению (включая животноводство), определится как функция дефицита водных ресурсов, приходящегося на его долю  $D_{cx}$ , уменьшения сельскохозяйственной продукции  $\Delta P_{cx}$  и ее средней удельной стоимости  $b_{cx}$

$$U_{cx}(D_{cx}, \Delta P_{cx}, b_{cx}).$$

А с учетом возможной “цепной реакции” от недодачи продукции сельского хозяйства

$$U_{cx}(D_{cx}, \Delta P_{cx}, b_{cx}) + \Sigma(\omega_{cx1}, s_{cx1}, h_{cx1}) + \Sigma(\omega_{cx2}, s_{cx2}, h_{cx2}) + \dots \quad (8)$$

суммарный ущерб сельскохозяйственного компонента ВРС определяется как (7) + (8).

Рыбохозяйственный компонент ВРС в первом приближении распадается на две составляющие. Первая составляющая связана с использованием водных ресурсов для проходных и полупроходных пород рыб. Вторая составляющая – для нормального размножения и использования стада озерных и прудовых пород в водохранилищах ВРС.

Здесь рассматривается первая составляющая рыбохозяйственного компонента, функционирование которой требует специальных рыбохозяйственных попусков, необходимых для прохода рыбы, идущей на нерест, по специальным рыбоходным сооружениям или рыбоподъемникам, а также для нереста и размножения на нерестилищах нижнего бьефа. Нормальная работа рыбоходов и рыбоподъемников при полном их обеспечении соответствующими попусками воды зависит от того, насколько искусственные рыбохозяйственные сооружения соответствовали тем естественным условиям, которые существовали до постройки сооружений ВРС. В большинстве случаев на ВРС Российской Федерации достичь этих условий не удавалось. Так, рыбоподъемник Волгоградского гидроузла в первые годы эксплуатации относительно нормально использовался для прохода на нерест осетровых. Однако с течением времени эффективность использования рыбоподъемника значительно снизилась, если не сказать, что упала совсем. В связи с этим возникла необходимость осуществления специальных рыбохозяйственных попусков в нижний бьеф гидроузла для нереста осетровых в естественных нерестилищах Волго-Ахтубинской поймы. Попуск осуществ-

ляется ежегодно весной в период весеннего половодья и частично осенью по специальному гидрографу, способствующему нормальному нересту, нагулу и скатыванию в Каспийское море мальков.

Так или иначе, здесь речь пойдет о специальных рыбохозяйственных попусках. В связи с этим ущерб рыбохозяйственного компонента будет связан с уменьшением этого попуска. Последний зависит от случайной реализации стока половодья с вероятностью  $p(\omega)$

$$U_p(\Delta W_p, \omega, h_p), \tag{9}$$

где  $\Delta W_p$  – снижение рыбохозяйственного попуска против его нормальной величины (например, для Волгоградского гидроузла нормальной величиной считается попуск 120 км<sup>3</sup>). Учитывая, что в условиях маловодья речь, как правило, идет не об уменьшении попуска, а о его сниженной величине, в (9) запишем сниженный попуск:  $w_p = W_p - \Delta W_p$ . Тогда, если  $W_p$  – нормальная величина рыбохозяйственного попуска,

$$U_p(w_p, \omega, h_p).$$

“Цепная реакция” при ограничении рыбохозяйственного компонента ВРС, по-видимому, будет такой же или более короткой, как и при ограничении сельскохозяйственного компонента ВРС. И для полного ущерба рыбохозяйственного комплекса ВРС можно записать

$$U_p(w_p, \omega, h_p) + \sum(s_{p1}, \omega_1, h_{p1}) + \sum(s_{p2}, \omega_2, h_{p2}) + \dots \tag{10}$$

В итоге имеем несколько вероятностных процессов сложной конфигурации с различными вероятностными характеристиками, оказывающими влияние друг на друга. Их изучение связано с формированием необходимой статистической базы, что представляется одной из основных трудностей оценки ущербов при комплексном использовании водных ресурсов. Ее наличие позволит оценить вероятностные характеристики и применить соответствующий математический аппарат для оценки ущербов.

В статистическую базу наряду с гидрологическими материалами, по-видимому, должны войти сведения об удельном расходе водных ресурсов на выработку единицы той или иной продукции или услуг; стоимостные показатели продукции, получаемой на основе использования водных ресурсов; примерный набор продукции, выпускаемой предприятиями региона, где используются рассматриваемые водные ресурсы; существующие правила ограничения потребителей и т.д.

Как пример формирования такой статистической базы рассмотрим, в первом приближении, оценку возможных ущербов при снижении водности нижней Волги. Оно отразится на работе основных, отмеченных выше в общем виде, компонентах ВРС – энергетике, рыбном и сельском хозяйстве, водном транспорте. При этом каждый из перечис-

**Таблица 1.** Дефицит мощности, МВт, Жигулёвской, Саратовской и Волгоградской ГЭС

Фиксируемая $p, \%$	Принимаемая $p_p, \%$							
	89	91	92	93	95	96	97	99
89		1	37	89	193	266	272	306
91			36	88	192	265	271	305
92				52	156	229	235	269
93					104	177	183	217
95						73	79	113
96							6	40
97								34

ленных компонентов будем рассматривать отдельно, не связывая их определенными временными рамками.

Будем рассматривать недовыработку электроэнергии тремя нижеволжскими ГЭС – Жигулёвской, Саратовской и Волжской в условиях дефицита водных ресурсов в зимнюю межень года.

Суммарная среднемесячная зимняя мощность трех выше упомянутых ГЭС при НПУ Жигулёвской ГЭС 53 м зависит от расчетной обеспеченности следующим образом: при расчетной обеспеченности 89% она составляет 1768 МВт, при 91% – 1767, 92% – 1731, 93% – 1679, 95% – 1575, 96% – 1502, 97% – 1496 и при 99% – 1462 МВт.

Приведенную выше среднемесячную зимнюю мощность принимаем равной располагаемой мощности декабря и рассчитываем дефицит, фиксируя расчетную обеспеченность начиная с величины 89% и рассматривая остальные обеспеченности как текущие при фиксированной (табл. 1).

Продаваемая на оптовом рынке электрическая мощность трех нижеволжских ГЭС снизится на приведенные выше дефициты. В соответствии с Приказом Федеральной службы по тарифам (ФСТ России) № 272-э/8 от 25 ноября 2008 г. тариф на мощность для Жигулёвской ГЭС составляет 221845.12; Саратовской 288513.89 и Волжской 220979.68 руб/МВт в месяц (без НДС). Так как определенный выше дефицит не распределяется по трем нижеволжским ГЭС, принимаем среднюю для них тарифную ставку – 243780 руб/МВт в месяц. Тогда потеря доходов трех перечисленных ГЭС за четыре зимних месяца (декабрь–март) при незначительном округлении без учета недовыработки электроэнергии составит значения, приведенные в табл. 2.

Примем, что суммарная средняя зимняя мощность трех нижеволжских ГЭС приблизительно равна гарантированной мощности. Тогда коэффициент использования мощности можно принять равным единице. В соответствии с упомянутым выше Приказом ФСТ России тариф на электрическую

**Таблица 2.** Потеря доходов, млн. руб., трех нижевожских ГЭС от снижения мощности

Фиксируемая $p$ , %	Принимаемая $p_p$ , %							
	89	91	92	93	95	96	97	99
89		1	36	85	185	254	261	294
91			35	84	184	254	260	293
92				50	150	220	226	258
93					100	170	176	208
95						70	76	108
96							6	38
97								33

**Таблица 3.** Ущерб, млн. руб., трех нижевожских ГЭС от снижения выработки

Фиксируемая $p$ , %	Принимаемая $p_p$ , %						
	91	92	93	95	96	97	99
89	0.229	8.46	20.35	44.13	60.82	62.19	69.970
91		8.23	20.12	43.90	60.59	61.96	69.742
92			11.89	35.67	52.36	53.73	61.510
93				23.78	40.47	41.84	49.619
95					16.69	18.06	25.839
96						1.372	9.146
97							7.774

**Таблица 4.** Дополнительные затраты, млн. руб., Костромской электростанции

Фиксируемая $p$ , %	Принимаемая $p_p$ , %						
	91	92	93	95	96	97	99
89	0.22	7.1	15.6	34.4	46.4	48.7	55.3
91		11.4	15.4	34.2	49.2	48.6	55.0
92			9.4	28.3	41.5	42.6	48.1
93				18.9	31.9	33.2	38.6
95					13.1	14.4	19.8
96						1.3	6.7
97							0.5

энергию, продаваемую на оптовом рынке, составляет для Жигулёвской ГЭС 77.6; Саратовской – 82.58 и Волжской – 76.03 руб/МВт ч (без НДС). По изложенным выше соображениям, для нижевожских ГЭС принимаем среднюю величину тарифа 78.74 руб/МВт ч. Ущерб от недовыработки электроэнергии с округлением составит значения, приведенные в табл. 3.

Как отмечалось выше, в энергосистеме дефицит мощности и энергии может быть частично или пол-

ностью скомпенсирован дополнительной выработкой других генерирующих источников. В связи с этим на их стороне возникнут дополнительные затраты. В частности, для тепловых электростанций это будут дополнительные затраты топлива. Вместе с тем, они получают доход от продажи дополнительной мощности и энергии.

В качестве генерирующего источника, полностью компенсирующего дефицит мощности и энергии, из шести крупных ГРЭС, действующих на территории, близкой к рассматриваемой (Рязанская, Костромская, Конаковская, Череповецкая, Новочеркасская и Ставропольская области), принимаем Костромскую ГРЭС. Здесь она выбрана как наиболее территориально близкая к нижевожским ГЭС. В реальной жизни компенсирующий источник электроэнергии, по-видимому, определится в результате конкуренции нескольких генерирующих компаний (ОАО “Вторая” – ОАО “Пятая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии”), к которым относятся перечисленные и многие другие станции, здесь не упомянутые. Не имея возможности учесть здесь отмеченное обстоятельство, остановимся на выбранном варианте.

Костромская ГРЭС, работающая на газе, при выработке электроэнергии на блоке 1200 МВт тратит 0.3 кг условного топлива на 1 КВт ч. В денежном выражении при цене на газ 1800–2000 руб/тыс. м<sup>3</sup> (данные 2008 г.) эта величина соответствует ~0.5 руб/кВт ч. На выработку 1 МВт мощности при прочих равных условиях ГРЭС тратит 2100 т условного топлива, что в денежном выражении составляет ~3600 руб. Таким образом, Костромская ГРЭС, компенсируя недовыработку электроэнергии, при действующих тарифах ~751 руб/МВт ч с каждого дополнительно выработанного и проданного МВт ч будет иметь дополнительный доход ~251 руб., а продажа дополнительной мощности при тарифной ставке 73472 руб/МВт в месяц принесет дополнительный доход ~70 тыс. руб. в месяц за каждый проданный МВт.

В результате, при полной компенсации недовыработки электроэнергии и мощности и удовлетворении потребителей энергосистема (в данном случае Костромская ГРЭС) понесет дополнительные затраты, величина которых приводится в табл. 4. Их возникновение в данном случае связано только с дополнительным расходом топлива, затраченным на компенсацию дефицита. Вполне вероятно, что с учетом амортизации оборудования Костромской ГРЭС, используемого для дополнительной выработки электроэнергии (мощности), затраты несколько возрастут. Вместе с тем отметим, что полная компенсация и удовлетворение потребителей электроэнергией позволит не рассматривать последствия “цепной реакции” и ограничиться использованием выражения (1), что собственно сделано при расчете данных табл. 4. Представляется,

что это положение — результат действия на территории России (в частности, на рассматриваемой здесь территории) конкурирующих между собой генерирующих компаний оптового рынка электроэнергии. Процесс конкуренции в данной работе не рассматривается по причине отсутствия какой-либо информации. Однако в реальной жизни, как это выше отмечалось, конкуренция будет иметь место.

В примере, рассмотренном выше, речь идет о дефицитах на стороне энергетического компонента ВРС, возникающих в зимнее время. Конечно, зимнее время — наиболее напряженный период работы гидроэлектростанций на нижней Волге, как, впрочем, на ГЭС всего бассейна. (Это характерно практически для всех речных бассейнов России, где сток используется, помимо прочего, и для производства электроэнергии.) Но дефицитные условия могут сложиться и в другое время года или в другие года. Так, известны случаи, когда на нижней Волге складывались дефицитные по стоку условия в период весеннего половодья (апрель—июнь). В современных условиях дефициты стока в половодье ниже створа Волгоградской ГЭС скажутся на удовлетворении таких компонентов ВРС как рыбное и сельское хозяйство.

В смысле оценки последствий снижения весеннего половодного попуска в нижний бьеф Волжской ГЭС для рыбного хозяйства нижней Волги существует ряд мнений, иногда противоречивых. Известно, что половодный весенний попуск носит нерестовый характер и используется для пополнения стада проходных и полупроходных рыб. К проходным рыбам относятся, главным образом, осетровые, нерестящиеся в дельте Волги, но обитающие в море. К полупроходным — рыбы, нерестящиеся и обитающие в пресных водах дельты (щука, судак, сазан, сом, вобла и др.) Здесь, оценивая ущерб, наносимые рыбному хозяйству, будем рассматривать только осетровых. Это определенное упрощение задачи, но автор идет на него, принимая во внимание всю сложность полного учета всех последствий нарушения величины и режима попуска. Как известно [7], требуемый режим попуска осуществляется сбросом  $\sim 2.2 \text{ км}^3$  воды в сутки в течение примерно двух с половиной недель. Далее сброс уменьшается до  $1.7 \text{ км}^3$  в сутки, но продолжается четыре недели. Этим достигается продолжительность имитации половодья  $\sim 40\text{--}60$  сут при суммарной величине попуска  $\sim 100 \text{ км}^3$ . В годы с достаточной водностью такая продолжительность половодья считается экологически приемлемой. Однако величина попуска — на  $\sim 20\text{--}30 \text{ км}^3$  ниже предъявляемых требований. Как следует из работ специалистов КаспНИРХ [2], при попуске, превышающем  $120 \text{ км}^3$ , благоприятных уровнях стояния воды и благоприятном температурном режиме на нерестилищах осетровых промвозврат последних  $>1700 \text{ т}$ , а при попуске  $>130 \text{ км}^3$  и прочих равных условиях —  $1800 \text{ т}$ . Вместе с тем,

практика эксплуатации водохранилищ Волжско-Камского каскада и требования к режиму весенних попусков в нижний бьеф Волжской ГЭС, как правило, не совпадающих для различных отраслей хозяйства, приводят к выводам о необоснованности ихтиологических требований. Так, в [9] необоснованность величины нерестового попуска связывается при его осуществлении с недовыработкой в среднем  $1.5 \text{ млрд кВт ч}$  электроэнергии в год, а в условиях маловодья — до  $3 \text{ млрд кВт ч}$ . Существуют и иные обстоятельства, отрицательно влияющие на ведение рыбного хозяйства в Волго-Ахтубинской пойме и дельте (предполоводная сработка водохранилища, суточное регулирование мощности ГЭС, отсутствие нормальной эксплуатации вододелителя). Тем не менее, рассмотрим только величину рыбохозяйственного попуска и его ограничения. Пользуясь данными [2], можно было бы оценить зависимость промвозврата осетровых от величины попуска или величины его снижения  $w_p$  (10) и построить зависимость  $\Delta P_v = F(w_p)$ , где  $\Delta P_v$ , т — снижение промвозврата. Однако, как представляется, построение подобной зависимости по упомянутым материалам вряд ли возможно в силу нерегулярности и предположительности приводимых данных, не одинаковых возможностей нереста различных видов осетровых в различных створах, характера промвозврата как производной от количества мальков. В связи с изложенным представляется целесообразным оценивать ущерб, наносимый рыбному хозяйству нижней Волги, по дополнительной выработке электроэнергии тепловыми электростанциями генерирующих компаний, действующих на юге европейской территории России и расходующих на это дополнительное топливо. Поясним это предложение несложными рассуждениями. Предположим, наступает маловодье, к примеру — 90%-ной обеспеченности. Половодный нерестовый попуск в нижний бьеф Волжской ГЭС, по соображениям выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях, должен быть снижен, допустим, до  $100 \text{ км}^3$ . Но снижения попуска не происходит, что приводит к недовыработке электроэнергии, допустим, —  $2 \text{ млрд. кВт ч}$ . Образовавшийся дефицит покрывается дополнительной выработкой тепловых электростанций, на что тратится дополнительное топливо. При расходе  $0.40 \text{ кг}$  условного топлива на  $1 \text{ кВт ч}$  и стоимости условного топлива  $1700 \text{ руб/тыс. т}$  стоимость дополнительно затраченного топлива составит  $1.36 \text{ млн. руб.}$  Именно эту величину предлагается рассматривать как ущерб, связанный с удовлетворением потребностей рыбного хозяйства на нижней Волге. При этом может оказаться, что воды не хватит в зимнее время для работы гидроэлектростанций. Для того чтобы этого не произошло, необходимо, чтобы отметка наполнения Самарской ГЭС на конец половодья была не ниже  $51 \text{ м}$ . Такой подход связан с получением дополнительной информации об ограничениях весенних половодных попусков и

главное — о недовыработках электроэнергии гидростанциями Волжско-Камского каскада, вызванных удовлетворением требований рыбного хозяйства. Ясно, что здесь принимается оценка ущерба, основанная на принципе, изложенном в [9]. В данном случае принцип представляется наиболее приемлемым. Вернемся к выражению (10). Представляется, что оно имеет смысл только в том случае, когда существует ограничение использования энергетического компонента ВРС при ненаполнении водохранилищ ГЭС. При этом вновь возникает вопрос экономической оценки недодачи продукции рыбохозяйственной отрасли в сопоставимых единицах, до сих пор не решенный.

Роль энергетического компонента ВРС на нижней Волге может быть использована и при оптимизации режимов сельскохозяйственных попусков и их увязки с нерестовыми попусками. В [9] рассмотрены три варианта улучшения водного режима Волго-Ахтубинской поймы для “предупреждения дальнейшей деградации и обеспечения почвенно-мелиоративных и экологических условий”. Первый вариант — экологический, заключающийся в восстановлении естественного режима затопления земель; второй — мероприятия по регулированию водного режима предусматривающего незатопление почв, не затапливаемых в современных условиях попусков; третий — мероприятия по обвалованию и интенсивному использованию “обвалованных земель за счет орошения”. Все три варианта предусматривают в том или ином виде различные режимы попусков в нижний бьеф Волжской ГЭС. Представляется, что их осуществление и увязка с рыбохозяйственными попусками могут быть основаны на условиях, изложенных выше; т.е. недовыработка гидроэлектростанций в результате удовлетворения требований рыбного и сельского хозяйства при определенных условиях будет компенсирована тепловыми электростанциями. Последнее приведет к перерасходу топлива, который может быть рассмотрен как ущерб. В то же время может быть использовано выражение (8) при невыполнении условий работы ГЭС в зимних условиях.

Использование водного транспорта в бассейне Волги ограничивается в основном в створе Нижегородской ГЭС (Городецкий гидроузел). Здесь ежегодно ограничивается объем сброса воды через плотину ГЭС. Так, в 2005 г. Минприроды вводило ограничения на сброс, что привело к снижению осадки для речных судов на 30 см. В 2006 г. во второй половине августа и в начале сентября намечалось довести сброс до 1 тыс. м<sup>3</sup>/с, что привело бы к снижению предельно допустимой осадки судов в среднем до 2.8 м вместо действующих 3 м. В результате, части пассажирских судов нельзя было бы пройти Нижний Новгород и достичь Санкт-Петербурга. Грузовой флот оказался бы недогруженным на ~45%.

Вообще говоря, Городецкий гидроузел в настоящее время, как представляется, делит глубоководный водный путь от Балтийского моря до Черного на две части, препятствуя сквозному использованию пути для пассажирских и грузовых судов. Подпрограммой “Водный транспорт” Федеральной целевой программы “Модернизация транспортной системы России (2010–2015 гг.)” предусмотрено строительство Нижегородского низконапорного гидроузла, который должен решить проблему Городца. А пока грузовые суда грузоподъемностью 4.5 тыс. т типа “Волго-Дон” или “Волгонефть” вынуждены простаивать до 72 ч, ожидая пропуска через Городецкий гидроузел. По данным [10] потери от простоев флота в 2006 г. приблизились к 36 млн. тоннаже-суток, что эквивалентно финансовым потерям только по флоту — 35 млн. долл. ежегодно. Из этого следует, что простой на 1 тоннаже-сутки составляет потери 1.03 долл., или 33.0 руб. по курсу на май 2009 г. Таким образом, водный транспорт от простоев одного судна в Городце терпит ущерб до 450 тыс. руб. Приведенная выше удельная величина ущерба водного транспорта определит в формуле (5) значение  $U_1$ . Для определения ущерба водного транспорта по формуле (6) требуется знание получателей грузов или недополучателей в первой, второй и т.д. звеньях транспортной цепи, что в настоящее время не известно.

Выше рассмотрены ущербы четырех компонентов ВРС от ограничения их в водных ресурсах. Однако ущербы могут возникать и при чрезмерном (катастрофическом) увеличении количества вод. При расчете сооружений гидроузлов, входящих в состав ВРС, используются методики, основанные на известных фундаментальных трудах [5, 6], что позволяет сооружениям выдерживать условия, возникновение которых имеет весьма малую вероятность (до 0.01 или 0.001%). Поэтому речь ниже пойдет не о гидротехнических сооружениях и не о проблеме пропуска максимального стока, а о территориях, которые при высоких и чрезвычайно высоких водах подвергаются подтоплениям и затоплениям, что влечет за собой порчу, а иногда и гибель жилых и производственных объектов. Иногда дело доходит до человеческих жертв. При рассмотрении таких ситуаций исключаются жилые районы, которые, как уже высказывалось, должны быть гарантировано защищены от последствий половодий и паводков сколь угодно малой вероятности. Защита жилых районов может быть организована различными способами. Это могут быть обвалования территорий или возведение дамб соответствующей конструкции; создание регулирующих водохранилищ, способных аккумулировать сток редчайшей повторяемости; создание парков специальной техники, способной в кратчайшие сроки возвести временную защиту территорий, подвергающихся затоплениям; сооружение дренажных сетей, отводящих подземные воды и т.д.

При этом не обсуждается экономическая эффективность перечисленных мероприятий. Они должны быть осуществлены независимо от необходимых затрат. В связи со сказанным ущерб от повышенной водности оценивается только для производственной сферы. Если производственные здания или сооружения находятся в жилой зоне, то они оказываются защищенными по причине своего расположения.

Можно предположить, что ущерб от подтоплений и затоплений производственных зданий, сооружений, транспортных средств и путей сообщений, вспомогательных и складских сооружений будет зависеть от величины суммарных затрат (капиталовложений и эксплуатационных издержек) и размера максимального стока, определяемого вероятностью  $p(\omega)$

$$U_{\max}(\Sigma Z, \omega). \quad (11)$$

Запись (11), по-видимому, значительно упростится при определении суммарных затрат  $\Sigma Z$  в каждом конкретном случае.

Здесь в качестве примера рассмотрим два весьма отличных друг от друга района, где в начале XXI в. произошли наводнения, вызванные также весьма различными причинами.

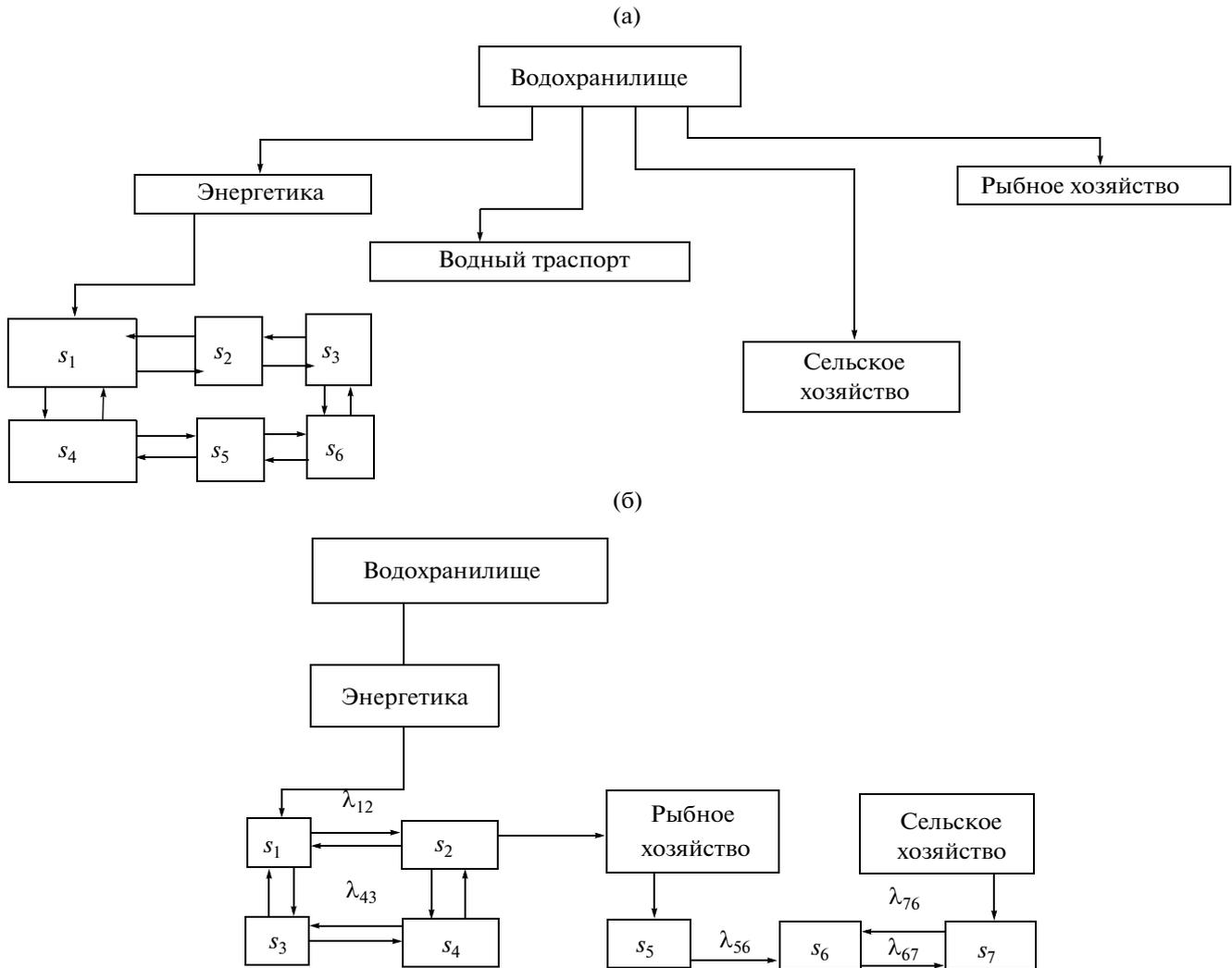
Первый район — среднее течение р. Лены, г. Ленск (водопост расположен в 2508 км от устья). Город находится на левом низком берегу реки (отметка нуля поста — 152.47 м по Балтийской системе высот). По данным [11] в этом месте 17, 18 мая 2001 г. в связи с небывалыми по высоте ледовыми заторами произошло наводнение, при котором 18 мая в 14:30 уровень воды поднялся до отметки 2001 см при критической отметке 1380 см. Наводнению подверглось 30.8 тыс. человек. Погибли 6 человек. Разрушено 3300 домов. Суммарный ущерб составил ~6 млрд. руб. Меры, принятые органами Министерства чрезвычайных ситуаций, к сожалению, не ослабили высоты наводнения. С точки зрения принятого здесь подхода, этот случай не характерный. Наводнению подверглись в основном жилые постройки. Выделить в их массиве производственные объекты оказалось невозможным. Поэтому все дальнейшие шаги следует рассматривать как мероприятия, направленные на гарантированную защиту населения от наводнений подобного характера. Кстати, следует отметить, что максимальный уровень воды заторного и подпорного характера, зафиксированный в гидрологической литературе [3] за 1937–1992 гг., составил 1619 см 19 мая 1966 г. Так что оценка вероятности превышения уровня воды 18 мая 2001 г. ждет своих исследователей. В правительстве РФ Государственным комитетом РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу принято Постановление № 03 от 17.01.2002 об утверждении проекта “Инженерная защита от паводковых вод г. Ленска Республики Саха (Якутия). Ликвидация последствия наводнения”, разработанного институтом “ЯкутНИИпромалмаз”.

Проектом предусматривается строительство защитной дамбы протяженностью 19.17 км. Сметная стоимость строительства (в ценах на 01.10.2001 г.) — 883592.98 тыс. руб. Конструктивные особенности, а главное — отметка гребня дамбы не указаны. Последнее представляется одной из наиболее важных характеристик параметров дамбы. Высота дамбы, ее заложение, которое должно гарантировать защиту территории города от подтопления, протяженность, связанная с этими параметрами, обоснуют приведенную стоимость строительства дамбы.

Второй район — низовья р. Кубани (ниже г. Краснодара и Краснодарского водохранилища). Ниже г. Краснодара у пос. Тиховский р. Кубань раздваивается на два рукава: южный — р. Кубань и северный — Протока. События, описанные в [4], касаются именно этого района. Как следует из упомянутого источника, из-за понижения с 5 по 21 декабря 2001 г. температуры воздуха ниже 0°C на рук. Кубань с 19 декабря начался ледоход с образованием ледовых заторов в нескольких местах по длине рукава. В результате в первой половине рукава, у хутора Ханьков 24 декабря река прорвала валы и затопила сельхозугодья. Одновременно с похолоданием в бассейне Кубани начались обильные снегопады. С 21 декабря меньше чем за месяц, но уже на фоне интенсивной оттепели, выпала двухгодовая (!) норма осадков. Это привело к опасному наполнению Краснодарского, Варнавинского и Шапсугского водохранилищ. Из этих водохранилищ начался сброс воды в основном в южный рукав — Кубань. Таким образом, если в южном рукаве уровень воды поднимался под действием сброса из водохранилищ, то в северном — из-за заторных явлений. Из [4] следует, что низовья Кубани лучше защищены от стоковых наводнений и хуже — от заторных. Мероприятия по предотвращению заторных наводнений, по мнению авторов, должны привести к уменьшению ущерба, с ними связанных.

Как отмечалось выше, характеристика ущерба — составная часть производственных характеристик участников ВРС. Для ее построения или оценки ущерба при том или ином дефиците водных ресурсов предполагается использовать определенные зависимости из теории Марковских процессов [1] для случаев дискретных состояний и непрерывного времени. При этом ВРС и все, связанное с ней, рассматривается как система, находящаяся в определенном состоянии в момент времени  $t = 0$  с переходом в другие состояния. Принимается также, что Марковский процесс, описывающий состояние ВРС, — однородный и режим работы системы стационарный.

Для случая, описанного выше (ВРС и четыре компонента комплекса — энергетика, водный транспорт, сельское и рыбное хозяйство), расчетный граф состояний может быть представлен в виде, приведенном на рисунке. Здесь первое состоя-



Расчетный (а) и размеченный граф (б) состояния ВРС Нижней Волги.

ние, “водохранилище”, – и по теории Марковских процессов, и по существу – источник четырех упомянутых компонентов. В связи с этим система, выйдя из этого состояния, попасть в него обратно уже не может. Это означает, что выделенные для каждого компонента ВРС водные ресурсы используются им определенным образом. При этом они могут передаваться другим компонентам комплекса для последующего использования. Дополнительные же водные ресурсы из водохранилища не поступают. Исходя из этого каждая система, относящаяся к определенному компоненту, обладает свойством эргодичности, а ее элементы – свойством транзитивности. Состояния системы  $s_1, s_2, \dots$  соответствуют различным вариантам использования водных ресурсов энергетическим компонентом комплекса. Блуждание системы по упомянутым состояниям может в силу их транзитивности перейти к другому компоненту комплекса, располагающему

таким же набором состояний, не изображенных на рисунке во избежание перегруженности рисунка. При этом предполагается, что переход к другому компоненту осуществляется после оптимального использования водных ресурсов предыдущим компонентом. Переданные водные ресурсы, определяющие начальное состояние системы другого компонента, проходят по его соответствующим состояниям, добываясь оптимального использования выделенных компоненту водных ресурсов и т.д. В процессе решения задачи возможны возвраты к предыдущим компонентам. На каждом шаге фиксируются ущербы на стороне компонентов, определяемые с использованием (1)–(10).

Поясним предложенный метод оценки ущерба на примере.

Рассматривается ВРС нижней Волги, в состав которой входят три нижеволжских ГЭС, сельское и рыбное хозяйство в нижнем бьефе Волжской

ГЭС. Второй и третий компоненты требуют определенной величины попусков в половодье по соответствующим гидрографам. В состав ВРС входит также водный транспорт. Однако его требования полностью удовлетворяются энергетическими попусками в нижний бьеф Волжской ГЭС. Граф системы представлен на рисунке. Расчетная обеспеченность гидроэлектростанций принимается равной 89%, гидрологическая обстановка на нижней Волге – 95%-ной обеспеченности. В этих условиях годовой сток составляет 178, объем половодья – 104 км<sup>3</sup>. Как следует из таблиц 1–4, в принятых условиях имеет место недовыработка гидроэлектростанций в зимний период года. Недовыработка покрывается тепловыми электростанциями, дополнительная выработка которых приводит к перерасходу топлива и дополнительным затратам в размере 34.4 млн. руб. На рисунке размеченный граф энергосистемы (состояния  $s_1$ – $s_4$ ) соответствует процессу конкуренции тепловых электростанций, способных покрыть недовыработку ГЭС. По причине отсутствия какой-либо информации об этом процессе соответствующие интенсивности потока событий ( $\lambda_{12}$ – $\lambda_{43}$ ) не известны.

Переходя к системе “рыбное хозяйство”, заметим, что состояние системы  $s_5$  соответствует попуску 104 км<sup>3</sup>. Величина попуска не может удовлетворить рассматриваемую систему. Поэтому в размеченном графе появляется состояние  $s_6$ , соответствующее большему попуску. Переход системы в состояние  $s_6$  происходит при помощи простейшего потока перехода  $\lambda_{56}$ . Здесь не рассматриваются промежуточные состояния системы в силу ранее упоминавшейся неопределенности исходной информации. В соответствии с графом и известным мнемоническим правилом [1] дифференциальное уравнение для вероятности состояния  $s_6$  запишется  $p_2(t) = \lambda_{56}p_1(t)$ . Так как  $p_1(t) = 1$ , то  $p_2(t) = \lambda_{56}$ . Величина  $\lambda_{56}$  может быть принята в диапазоне  $\sim 0$ – $1$ . На основании выше принятого принципа оценки ущерба в рыбном хозяйстве состояние  $s_6$  соответствует половодному попуску 120 км<sup>3</sup>. Исходя из этого, принимаем  $\lambda_{56} = 1$ , причем попуск составляет в первые две с половиной недели 3.8, в последующие четыре – 2 км<sup>3</sup> в сутки. Таким образом, при попуске 120 км<sup>3</sup> достигается имитация половодья продолжительностью  $\sim 45$  сут.

Из трех вариантов режима [9] для сельского хозяйства принимаем экологический, заключающийся в восстановлении режима естественного половодья. Для сельскохозяйственного компонента ВРС он заключается в некотором продлении (до трех недель) периода с величиной попуска 3.8 км<sup>3</sup>, что соответствует состоянию системы  $s_7$ . Переход в это состояние происходит с участием потока перехода  $\lambda_{67}$ . Однако это вызовет изменение состояния  $s_6$ , что потребует возвращения в упомянутое состояние при помощи потока  $\lambda_{76}$ . Наблюдается эргодический процесс блуждания системы по состояниям  $s_6$  и  $s_7$ . В

связи с этим возникают новые вероятности приведенных состояний [1]. Для состояния  $s_6$  это будет  $p_3(t_1) = \lambda_{76}/(\lambda_{76} + \lambda_{67})$  и для  $s_7$  –  $p_4(t_2) = \lambda_{67}/(\lambda_{67} + \lambda_{76})$ . Из этих рассуждений следует, что переход из состояния  $s_7$  в состояние  $s_6$  происходит при попуске 3.8 км<sup>3</sup> в течение 21 сут; т.е.  $t_1 = 1/21 = 1/\lambda_{76} = \sim 0.05$  и  $p_3(t_1) = 21/38 = \sim 0.6$ . Для обратного перехода из  $s_6$  в  $s_7$  имеем  $t_2 = t_1(1 - p_3)/p_3 = 1/\lambda_{67} = \sim 0.06$  и  $p_4(t_2) = 17/38 = \sim 0.4$ . Сопоставление полученных вероятностей перехода расценивается как предпочтение состояния  $s_6$ . Однако это приведет к нарушению, с точки зрения сельского хозяйства, экологического режима. Может возникнуть дополнительный ущерб на стороне данного компонента ВРС. Его учет повлияет на величины вероятностей перехода, и результат может оказаться другим. Отсутствие информации о дополнительном ущербе на стороне сельскохозяйственного компонента ВРС препятствует дальнейшему решению задачи. Поэтому суммарный ущерб для данного варианта (энергетика плюс рыбное хозяйство) принимается равным 35.76 млн. руб.

Предложенный метод оценки ущерба с использованием Марковских процессов может быть применен и для случаев затоплений и подтоплений, вызванных катастрофическим превышением стока над принятыми максимальными величинами. Отсутствие какой-либо регулярной информации, связывающей величины постепенно увеличивающегося стока с экономическими ущербами, не способствует приведению здесь соответствующего расчетного примера.

## ВЫВОДЫ

Ущерб, понимаемые как экономические последствия недовыпуска продукции, невыполнения производственных функций и услуг участникам ВРС, потребителям их продукции и т.д., возникают в случаях как дефицитов водных ресурсов, так и их превышения над необходимым или нормальным количеством воды.

Рассматриваемые ущербы отличаются от ущербов, вызванных аварийными обстоятельствами. При неожиданности дефицитов или превышения количества водных ресурсов есть время для предупреждения потребителей о грозящей им опасности.

В качестве экономических последствий ущербов могут рассматриваться затраты, связанные с компенсацией недовыпуска продукции другими источниками аналогичной продукции или услуг.

Для построения характеристики ущербов или для их оценки при том или ином дефиците водных ресурсов предлагается использовать зависимости из теории Марковских процессов.

Марковские процессы могут использоваться и при оценке ущербов от превышения количества

водных ресурсов над необходимым или нормальным количеством воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991. 383 с.
2. *Вещев З.П., Власенко А.Д., Кушнаренко А.И. и др.* Оценка пополнения осетровых от естественного нереста в 2004 г. // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Астрахань, 2005. С. 25–37.
3. Государственный водный кадастр. Якутск, 1995. Раздел I. Сер. 2. Ч. 1, 2. Т. I. Вып. 16. 483 с.
4. *Иванов А.А., Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В.* Причины, хроника событий и последствия наводнения в низовье реки Кубани зимой 2001–2002 гг. // Безопасность энергетических сооружений. М.: НИИЭС, 2000. С. 275–283.
5. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы речной гидротехники. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 391 с.
6. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Водохозяйственные расчеты. М.: Гидрометеиздат, 1952. 392 с.
7. *Люшвин В.Н., Зырянов В.Н., Егоров С.Н. и др.* Влияние пиковых попусков с Волгоградской ГЭС на экологию Северо-Западного Каспия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. М.: Азбука, 2006. С. 121–129.
8. *Пряжгинская В.Г., Ярошевский Л.К., Левит-Гуревич Л.К.* Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. М.: Физматлит, 2002. 493 с.
9. *Раткович Д.Я.* Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003. 352 с.
10. Реки России нуждаются в помощи // Транспорт России. 2006. № 29. С. 3.
11. <http://katastroffi.narod.ru/navodneniya/n-lensk01.html>