

13. **Vinogradsky, S. N.** (1952) *Microbiology of Soil: Problems and Methods. Fifty Years of Research*. Moscow, Publishing House of Academy of Sciences USSR. 792 p. (in Russian).

14. **Pleshakov, V. D.** (1956) *Removal of Hydrogen Sulfide from Artesian Water*. Moscow, Publishing House MKKh RSFSR. 44 p. (in Russian).

15. **Kalabina, M. M., & Lebedeva, N. P.** (1960) *Biological Purification of Ground Water*. Moscow, Publishing House VNII VODGEO. 56 p. (in Russian).

16. **Kliachko, V. A., Ass, G. Yu., & Leventon, O. L.** (1973) Hydrogen Sulfide Removal from Natural and Sewage Water. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], 10, 4–6 (in Russian).

Поступила 19.06.2014

УДК 504.062.2:556.18 (075.8)

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ И РЕЖИМОВ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОКА РЕК ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНОВ ВЬЕТНАМА

Асн. ФАМ НГОК КИЕН

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kienpecc1@gmail.com

Эффективное использование водохозяйственного комплекса является необходимостью многих стран мира, особенно развивающихся, как Вьетнам. Во Вьетнаме одной из отраслей с высокой потребностью в воде и большим изменением ее расхода в течение года является орошение сельскохозяйственных культур, в основном риса. Потребность в воде на нужды орошения зависит не только от культур, климата, но и от выпадающих осадков. Но такими осадками невозможно управлять. Однако выпадающие осадки, в свою очередь, формируют речной сток, а стоком рек управлять можно с помощью его регулирования (создания водохранилищ). Поэтому важно знать, каким образом величина речного стока связана с потребностями в воде на орошение.

Рассмотрены связи между режимом орошения и режимом речного стока, что особенно актуально для бассейнов рек предгорных районов Вьетнама, где в течение года собирают два-три урожая, а сток рек в различные вегетационные периоды может существенно (до 10 и более раз) отличаться. Эта связь формируется на основе отношений между потребностями в воде орошения и количеством осадков, между количеством осадков и речным стоком в бассейне. Отношение между потребностью в воде орошения (полив нормы) и речным стоком (слой стока) в бассейне является одним из результатов расчетов, необходимых для оптимизации параметров и режимов работы водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама.

Ключевые слова: водохозяйственный комплекс, режим подачи воды, орошение, предгорный район Вьетнама.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

SUBSTANTIATION OF WATER DELIVERY VOLUME AND MODE FOR IRRIGATION DEPENDING ON RIVER FLOWS IN SUBMONTANE REGIONS OF VIETNAM

PHAM NGOC KIEN

Belarusian National Technical University

The efficient usage of water utilization system is a necessary element for many countries in the world, especially for such developing countries as Vietnam. One of the sectors in the Vietnamese economy that requires high water consumption and great changes in its flow rates is irrigation of agricultural crops, especially rice. Water irrigation demands depends not only on crops, climate but also on precipitation. But it is impossible to control precipitation. However, precipitation forms a river flow and the river flow can be controlled with the help of its regulation (creation of water reservoirs). Therefore it is important to know how the river flow rate is interconnected with water demand for irrigation.

The paper considers relations between water demands for irrigation and the river flow, which is especially important for river basins in submontane regions of Vietnam, where crops are harvested 2–3 times per year, and a river flow in various growing periods can be significantly (up to 10 times or more) different. This relationship is formed on the basis of relations between water demand for irrigation and precipitation amount, and between precipitation amount and a river flow in the basin. The relationship between water demands for irrigation (water duty) and river flow (runoff depth) in the river basin is used for optimization of parameters and operational modes of water utilization system in small river basins in the submontane areas of Vietnam.

Keywords: water utilization system, water delivery mode, irrigation, submontane region of Vietnam.

Fig. 2. Tab. 3. Ref.: 10 titles.

Теория определения связей между потребностью в воде орошения и осадками, осадками и речным стоком. Связь между потребностью в воде орошения и осадками. Уравнение водного баланса орошаемой площади применительно к условиям Вьетнама можно представить в пригодном для практического использования виде [1]

$$X_{IRR} = (ET_C + P + LP) - X_{eff}, \quad (1)$$

где X_{IRR} – количество воды, требуемое для полива с учетом выпадающих осадков; ET_C – количество воды, потребляемой растениями (эвапотранспирация); P – количество воды, расходуемой на фильтрацию; LP – количество воды на влагозарядковые поливы в начале вегетации (подготовка почвы к посадке растений); X_{eff} – активные осадки, поступающие непосредственно в активный слой почвы (разность между выпадающими и используемыми растениями осадками).

Количество воды, расходуемой на эвапотранспирацию:

$$ET_C = ET_0 K_C, \quad (2)$$

где K_C – коэффициент, зависящий от вида растения и вегетационных периодов, определяется из экспериментов для разных культур (значения этих коэффициентов для разных районов Вьетнама приведены в стандарте TCVN 8641:2011 [2]); ET_0 – испаряемость свободной водной поверхности (эталонная эвапотранспирация, в мм·сут.⁻¹), определяемая по уравнению Пенмана – Монтейта, которое было выведено из первоначального уравнения Пенмана – Монтейта, а также уравнений аэродинамики и сопротивления кроны.

На величину ET_0 влияют следующие факторы:

- чистая радиация на поверхности растений (МДж·м⁻²·сут.⁻¹);
- плотность теплового потока почвы (МДж·м⁻²·сут.⁻¹);
- среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м (°C);
- скорость ветра на высоте 2 м (м·с⁻¹);
- давление пара насыщения (кПа);
- фактическое давление (кПа);
- дефицит давления пара насыщения (кПа);
- градиент кривой давления пара (кПа·°C⁻¹);
- психрометрическая постоянная (кПа·°C⁻¹).

Количество воды на фильтрацию определяется по формуле

$$P = Kt, \quad (3)$$

где K – коэффициент стабильной проницаемости почвы (мм/сут.); t – время расчета (сут.).

Активные осадки

$$X_{eff} = CX, \quad (4)$$

где X – количество расчетных осадков (мм); C – коэффициент эффективных осадков для орошения ($C < 100$ %), который может приниматься по FAO [1, 3].

Количество воды на влагозарядковые поливы в начале вегетации LP (м³/га) зависит от типа почв, сезона года и местных условий. Для рассматриваемых районов Вьетнама величина LP определяется в соответствии с [1, 2].

Для нагорных культур $X_{IRR} = ET_C - X_{eff}$, так как величины P и LP сравнительно небольшие и находятся в пределах точности расчета.

Связь между осадками и речным стоком. Взаимосвязь осадков, испарения, речного и подземного стоков может быть представлена уравнением водного баланса, учитывающим приход и расход воды за определенный интервал времени на рассматриваемой территории. Для замкнутого речного бассейна уравнение водного баланса более сложно, особенно применительно к небольшим интервалам времени (месяц, сезон). При составлении баланса за год в целом используется уравнение [3, 4]

$$X = R + E \pm \Delta U, \quad (5)$$

где X – выпавшие на водосбор реки осадки; R – речной сток (слой стока), включающий поверхностную (R_1) и подземную (R_2) составляющие, т. е. $R = R_1 + R_2$; E – суммарное испарение с водосборной площади речного бассейна; ΔU – изменение запасов воды в подземных бассейнах и поверхностных водоемах.

Соотношение между речным стоком и осадками характеризуется коэффициентом речного стока α , который отражает уровень потерь воды в речном бассейне [4]:

$$\alpha = \frac{R}{X}. \quad (6)$$

Коэффициент речного стока зависит от топографических и геологических условий, климата, распределения осадков, растительного покрова, почвы и находится в пределах $1 \geq \alpha \geq 0$. В среднем на целом континенте Земли 100 единицам осадков соответствуют 38 единиц поверхностного стока, поступающего в море, одна единица потока подземных вод в море и 61 единица испарения с континента [4]. Таким образом, средний коэффициент речного стока α по континенту в целом может быть принят равным 0,38. Однако в разных речных бассейнах значение этого коэффициента может существенно отличаться и для года в целом находиться в пределах $1 > \alpha > 0$. Для месячных интервалов времени коэффициент речного стока может превышать единицу (например, в межсезонный период, когда река переходит преимущественно на питание подземными водами).

Связь между потребностью в воде на нужды орошения и речным стоком. Предположительные условия. Установление связи между потребностью в воде на нужды орошения и речным стоком основывается на следующих предположениях.

1. Для вегетационного периода средние относительные (на единицу площади) величины объемов воды на орошение и объемов речного стока на всех оросительных площадях рассматриваемых речных бассейнов примерно одинаковы, поскольку природные условия и климат в районе их водосборов похожи.

2. Рассматривается устойчивая посевная площадь с определенной типовой культурой (рис. 1, 2).

3. Соотношение между осадками i -го месяца (декады) и средними за вегетационный период

осадками пропорциональны соотношению объемов речного стока за эти же интервалы времени, что подтверждено данными наблюдений за осадками и речным стоком в рассматриваемых бассейнах рек с относительно небольшой площадью водосбора (расположенными в горных и предгорных районах Вьетнама) и отражено в гидрологических характеристиках водных объектов Вьетнама [5]. Конкретные данные по двум бассейнам – Камчанг [6] и Наммык [7] – приведены в табл. 1, 2.

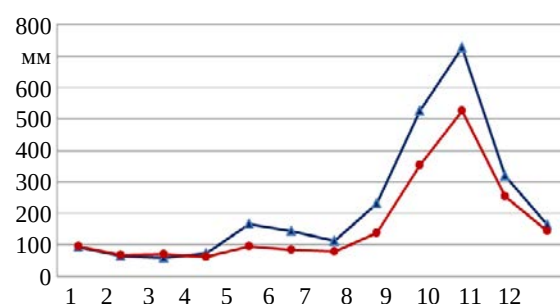


Рис. 1. График режимов осадков и речного стока бассейна Камчанг: —▲— — среднее месячное количество осадков типичного поста (мм); —●— — слой стока бассейна (мм)

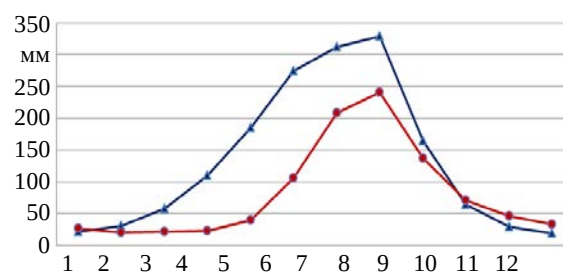


Рис. 2. График режимов осадков и речного стока бассейна Наммык: —▲— — среднее месячное количество осадков типичного поста (мм); —●— — слой стока бассейна (мм)

Таблица 1

Соотношение между осадками и речным стоком в бассейне Камчанг

Показатель	Единица измерения	Месяц												Итого
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднемесячное количество осадков	мм	93,20	64,20	60,10	73,70	167,30	143,70	112,60	232,20	525,00	727,60	318,30	164,30	2682,00
Слой речного стока	мм	94,70	68,40	69,20	61,30	96,40	85,10	78,80	138,70	353,00	525,70	255,00	144,30	1971,00
Коэффициент речного стока α		1,02	1,07	1,15	0,83	0,58	0,59	0,70	0,60	0,67	0,72	0,80	0,88	0,73

Таблица 2

Соотношение между осадками и речным стоком в бассейне Наммык

Показатель	Единица измерения	Месяц												Итого
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднемесячное количество осадков	мм	22,00	31,00	58,00	110,00	185,00	274,00	312,00	329,00	165,00	65,00	30,00	19,00	1600,00
Слой стока бассейна	мм	27,70	21,10	21,70	23,90	39,60	106,10	209,00	240,40	137,80	71,10	46,40	34,20	979,00
Коэффициент речного стока α		1,26	0,68	0,37	0,22	0,21	0,39	0,67	0,73	0,84	1,09	1,55	1,80	0,61

Для расчетного периода года (i -го месяца или i -й декады) на единицу площади (га) формула (1) приобретает вид

$$X_{IRR}^i = (ET_C + LP + P)^i - X_{eff}^i \geq 0. \quad (7)$$

Обозначив $A = LP + ET_C + P$, с учетом (1) и (3) получим:

$$X_{IRR}^i = A^i - X_{eff}^i \geq 0; \quad X_{IRR}^i = A^i - C^i X^i \geq 0, \quad (8)$$

где A – количество воды, необходимой растениям; величина A зависит от почвы, сельскохозяйственной культуры и климата (температуры, влажности воздуха, скорости ветра, времени и интенсивности солнечной радиации), таким образом, A не зависит от осадков, т. е. не связана с речным стоком в бассейне; X_{eff} – количество активных осадков; C – коэффициент эффективных осадков для орошения (в % или в долях от единицы); X – количество осадков.

Тогда с учетом формулы (6) получим

$$X_{IRR}^i = A^i - \frac{C^i}{\alpha^i} R^i \geq 0. \quad (9)$$

Обозначим

$$\frac{C^i}{\alpha^i} = k^i, \quad (10)$$

где k – виртуальный коэффициент, который показывает соотношение между количеством воды, потребляемой культурами за счет эффективных осадков на рассматриваемой площади орошения и речным стоком, который мог бы сформироваться от всех осадков, выпадающих на этой площади.

По FAO, за месяц в условиях Вьетнама: $C = 0,7-0,9$ и $\alpha = 2,0-0,2$, тогда $k \sim 0,4-4$. Максимальная величина этого коэффициента обратно пропорциональна коэффициенту речного стока при близком к единице коэффициенте эффективности осадков и для большинства речных бассейнов Вьетнама не превышает 4,0 (табл. 3). При значениях k , превышающих единицу, поливы культур могут вообще не потребоваться.

Таблица 3

Коэффициент k в конкретных бассейнах

Бассейн	Показатель	Месяц												ТВ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Камчанг	C	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	α	1,02	1,07	1,15	0,83	0,58	0,59	0,70	0,60	0,67	0,72	0,80	0,88	0,73
	k	0,84	0,80	0,74	1,02	1,48	1,44	1,21	1,42	1,26	1,18	1,06	0,97	1,16
Наммык	C	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	α	1,26	0,68	0,37	0,22	0,21	0,39	0,67	0,73	0,84	1,09	1,55	1,80	0,61
	k	0,68	1,25	2,27	3,91	3,97	2,20	1,27	1,16	1,02	0,78	0,55	0,47	1,39

На основании (9) и (10) автором предлагается следующая формула для определения объема воды на нужды орошения на единицу площади (норма орошения):

$$X_{IRR}^i = A^i - k^i R^i \geq 0, \quad (11)$$

где A – количество воды, требуемой растениям; R – слой стока; k – виртуальный коэффициент, зависящий от величин C и α расчетного интервала времени (i -го месяца или i -й декады).

Формула (11) идентична (8), но она отражает связи между объемами и режимами подачи воды на орошение и речным стоком в створе забора воды на нужды орошения. Практически только часть этой формулы, т. е. выражение $k^i R^i$, показывает соотношение между речным стоком и орошением, а влияние других факторов учитывает величина A , которая, как уже отмечалось выше, для разных регионов Вьетнама может быть различной. В результате расчетов по этой формуле можно определить объемы стокорегулирующих водохранилищ ирригационного назначения. Целесообразность использования предлагаемой формулы подкрепляется тем, что в ней берутся не абсолютные (находящиеся в больших диапазонах) данные о речном стоке, а его относительные, более устойчивые значения.

Адаптация формулы для конкретного бассейна и оценка влияния параметров формулы на результат расчетов. Предлагаемая формула (11) в основном предназначена для определения оптимальных режимов регулирования речного стока (наполнения и сброса водохранилищ) в бассейнах рек, в которых орошение является лимитирующим водопользователем [8–10]. Для расчетов по (11) требуются достоверные данные о коэффициенте k и величине A , которые в каждом бассейне могут быть разными.

Коэффициент k зависит от отношения C/α каждого расчетного интервала. По сути, два коэффициента C и α восполняют друг друга. Коэффициент активных осадков C представляет собой уровень удержания дождевой воды на поле, которая в значительной степени превращается в эвапотранспирацию (кроме части глубокого проникновения и поверхностный сток). Наоборот, коэффициент речного стока α характеризует степень превращения осадков в по-

верхностный и подземный стоки, т. е. кроме части удержания на поверхности бассейна, которая превращается в эвапотранспирацию. Тем не менее из-за особенностей почвы, наклона поверхности, состава растений и других специфических факторов в бассейнах горных и равнинных рек коэффициенты C и α могут не восполнять друг друга.

По указанию FAO и анализу условий Вьетнама, коэффициент C может принимать постоянное значение (85 %), причем меньшее соответствует сезону дождей, а большее – сухому сезону. Например, для конкретных бассейнов Камчанг и Наммык этот коэффициент может быть принят постоянным в течение всего года и равным $C = 0,85$.

В малых речных бассейнах горных районов саморегулирующая способность рек невелика, и существенных различий между режимами речного стока и осадков не имеется, так как отклонение времени их формирования небольшое. В этом случае можно считать приблизительно постоянным коэффициент α , тогда $k = \text{const} = \bar{k}$, и уравнение (11) записывается

$$X_{IRR}^i = A^i - \bar{k} R^i \geq 0. \quad (12)$$

По формуле (12) при одной и той же независимой величине A при минимальном речном стоке необходимый объем воды на нужды орошения будет достигать максимума и, наоборот, при большой величине речного стока потребность в воде на орошение X_{IRR} стремится к нулю. Следовательно, в период сезона дождей, когда необходимость полива сельскохозяйственных культур отсутствует, эта связь может и не учитываться. Но в сухой сезон учет такой связи обязателен.

ВЫВОД

Полученная зависимость между объемами подачи воды на орошение и речным стоком может быть использована для выбора оптимальных параметров и режимов работы водохозяйственного комплекса в предгорных районах Вьетнама. Для ее адаптации к конкретным речным бассейнам требуются данные об индивидуальных для речного бассейна (или группы бассейнов того или иного региона) коэффициентах k , которые могут быть получены в результате

обработки и обобщения информации о расчетных потребностях в воде на орошение, осадках и речном стоке за вегетационные периоды года.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Crop** Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 / R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. – Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. – 280 с.
2. **Техника** орошения и осушения для сельскохозяйственных и продовольственных культур: TCVN 8641:2011. – Вьетнама: Ханой, 2011. – 41 с.
3. **Example** of the Use of Cropwat 8.0. – India: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. – 75 p.
4. **Инженерно-гидрологический** учебник. – Вьетнам: Вьетнамский ирригационный ун-т, 2005. – 263 с.
5. **Характеристики** гидрологии и водных ресурсов Вьетнама. – Ханой: Вьетнамское сельскохоз. изд-во, 2007. – 418 с.
6. **Данные** гидрологии и водопользования ирригационной системы Нгантьой – Камчанг. – Ханой: Вьетнамская консультативная компания об ирригационном строительстве (HEC), 2008. – 47 с.
7. **Данные** гидрологии проекта Наммык / Консультативная компания об энергетическом строительстве № 01 (PECC1). – Ханой, 2006. – 40 с.
8. **Колобаев, А. Н.** Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А. Н. Колобаев. – Минск: БНТУ, 2005. – 172 с.
9. **Ирригационное** планирование северной части центрального района Вьетнама. – Вьетнам: Вьетнамский ирригационный планированный ин-т (IWRP), 2011.
10. **Киен, Фам Нгок.** Особенности водохозяйственного комплекса в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама / Фам Нгок Киен // Доклад на Междунар. науч. конф. – Брест, 2014.

REFERENCES

1. **Allen, R. G.,** Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998) *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 280 p.
2. **Ministry** of Science and Technology, 2011, TCVN 8641:2011: *Hydraulic Structures. Irrigation and Drainage Techniques for Provisions Crops*. Vietnam, Hanoi. 41 p. (in Vietnamese).
3. **Example** of the Use of Cropwat 8.0. India, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1998. 75 p.
4. **Engineering** and Hydrological Textbook. Vietnam, Hanoi, Irrigation University, 2005. 263 p. (in Vietnamese).
5. **Characteristics** of Hydrology and Water Resources of Vietnam. Hanoi, Vietnamese Agricultural Publishing House, 2007. 418 p. (in Vietnamese).
6. **Hydrology** and Water Management Data for Irrigation System Ngan Tuoi – Kam Trang. Hanoi, Vietnamese Consultative Company for Irrigation Construction (HEC), 2008. 47 p. (in Vietnamese).
7. **Hydrology** Data for Nam Muc Project. Consultative Company for Power Engineering Construction No-01 (PECC1). Hanoi, 2006. 40 p. (in Vietnamese).
8. **Kolobaev, A. N.** (2005) *Sustainable Use and Protection of Water Resources*. Minsk: BNTU. 172 p. (in Russian).
9. **Irrigation** Planning of the Northern Part of Central Region in Vietnam. Vietnam, Vietnamese Irrigation Planning Institute (IWRP), 2011. (in Vietnamese).
10. **Kien, Pham Ngoc.** Peculiar Features of Water Resources System in River Basins of Submontane Regions in Vietnam. Report Presented on International Scientific Conference. Brest, 2014 (in Russian).

Поступила 18.12.2014

УДК 624.154.04:624.156.04]:624.131.213

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАЙНО-ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ КОРОТКИХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ г. МИНСКА

Канд. техн. наук, доц. СЕРНОВ В. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: sernoff2@yandex.ru

В последнее время в связи с увеличением этажности строящихся зданий в г. Минске и возрастанием нагрузок на основание все чаще применяются свайные фундаменты даже при залегании в верхней части основания относительно прочных грунтов. В таких случаях первоочередной задачей для проектировщиков становится максимальное исполь-