

УДК 627.13

Воронина Юлия Евгеньевна¹, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений,

e-mail: yulez@yandex.ru

Шестова Марина Вадимовна¹, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений,

e-mail: shestowam@yandex.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ОБОСНОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИ ДОПУСТИМОЙ ГЛУБИНЫ НА ВЕРХНЕЙ КАМЕ ОТ С. БОНДЮГ ДО ПГТ. ТЮЛЬКИНО В РЕШЕНИИ ВОПРОСА УСТАНОВЛЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННЫХ ГЛУБИН УЧАСТКА.

Аннотация. Исследование направлено на определение гидравлически допустимой глубины исходя из особенностей морфологии русла р. Кама на участке с. Бондюг – пгт. Керчевский. Определение коэффициента руслового режима является наиболее важной характеристикой для нахождения максимально допустимой судоходной глубины на реке. Применение различных подходов к расчету позволяет всесторонне оценить возможности Верхней Камы в достижении требуемых параметров судового хода в период продления навигации.

Ключевые слова: гидравлически допустимая глубина, кривая связи расходов и уровней, посадка уровня воды, коэффициент руслового режима.

В естественных бесподпорных руслах рек, находящихся в устойчивом состоянии, имеются определенные резервы для роста судоходных глубин. Для их выявления требуется найти максимально возможные по гидравлическим условиям потока судоходные глубины. Увеличивать глубины допустимо лишь до тех пор, пока снижение уровня на опорном гидрологическом посту какого-либо плеса не превзойдет некоторой малой величины, например, средней ошибки при промерах (около 0,1 м) [1]. С целью возможности учета последствий от регулярного и значительного углубления группы перекатов введено понятие гидравлически допустимой глубины судового хода, при которой «посадка» уровня относительно невелика и существенно меньше получаемого приращения судоходной глубины и не оказывает заметного влияния на русловой режим реки. Транзитная глубина на плесе, при которой наблюдается такая посадка уровня, получила название гидравлически допустимой.

Для рек свойственны характерные особенности морфологии русла, а также неравномерность глубин по длине реки, обусловленная чередованием плесов и перекатов. Естественные русла имеют неправильную форму поперечного сечения, меняясь от параболического до почти трапецеидального, и, как правило, поперечный профиль русла является асимметричным.

Для исследуемого участка Верхней Камы через K_p устанавливается зависимость между расходом воды, глубиной и определяющими ее природными факторами, используя кривую связи расходов воды с уровнями $Q=f(H)$ [2].

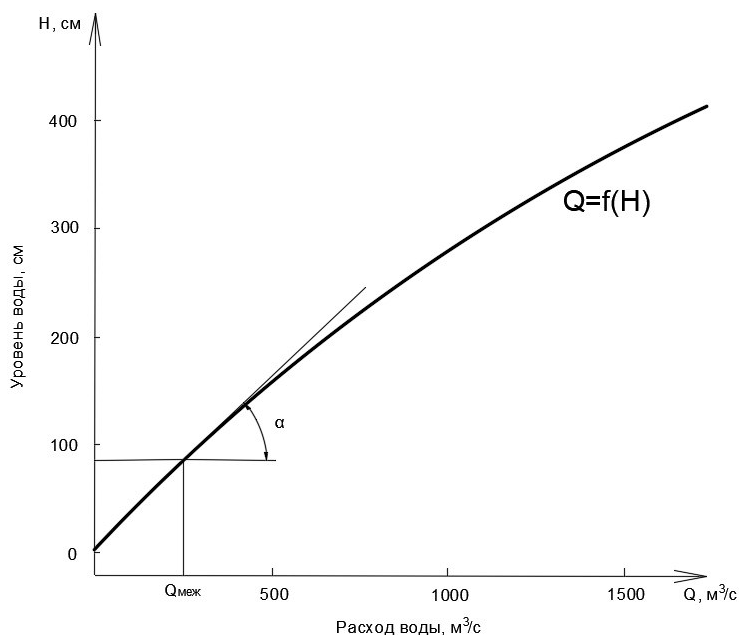


Рисунок 1 – Кривая связи $Q=f(H)$ по г/п Бондюг

На том участке реки, где сочетание грунтовых условий, изменчивости расходов, уклона свободной поверхности и др. создают предпосылки для значительной разработки русла в ширину, кривая связи расходов и уровней относительно более пологая. В том случае, когда поток стремится разработать русло в глубину, кривая относительно более крутая. Количественной оценкой крутизны кривой связи расходов с уровнями является тангенс угла α (см. рисунок 1), который равен производной расходов воды по уровню.

Особенности процесса выработки общих форм и размеров русла в соответствии с характером протекания водного стока во всех фазах гидрологического режима можно оценить по параметру A_{Π} , определяемому из условий пропуска по конкретной реке среднемеженного расхода при уровне $H_{\text{меж}}=f(Q_{\text{меж}})$, а среднеполоводного расхода – при уровне $H_{\text{пол}}=f(Q_{\text{пол}})$. Аналитическим расчетом Х.М. Полиным [3] установлено следующее выражение для A_{Π} (имеющего размерность скорости – м/с)

$$A_{\Pi} = \frac{Q'_{\text{CP}}}{4 \frac{Q_{\text{меж}}}{Q'_{\text{меж}}} + \Delta H} \quad (1)$$

где $Q_{\text{меж}}$ – меженный расход, средний за два наиболее маловодных месяца в навигационный период, м³/с;

$Q'_{\text{меж}}$ – первая производная меженного расхода по уровню (средняя интенсивность увеличения меженных расходов), м²/с, определяется по кривой $Q=f(H)$;

$\Delta H = H_{\text{пол}} - H_{\text{меж}}$ – интервал изменения уровней между половодьем и меженью, м.

$$Q'_{\text{CP}} = \frac{Q_{\text{пол}} - Q_{\text{меж}}}{H_{\text{пол}} - H_{\text{меж}}} \quad (2)$$

Величина, обратная A_{Π} принимается в качестве показателя реки и названа коэффициентом плеса K_{Π} .

$$K_{\Pi} = \frac{100 \cdot \left(4 \frac{Q_{\text{меж}}}{Q'_{\text{меж}}} + \Delta H \right)}{Q'_{\text{CP}}} \quad (3)$$

Коэффициент плеса K_{II} достаточно полно учитывает особенности гидравлического и руслового режима рек, поэтому он принят в качестве интегрального показателя руслового режима K_p для сравнительной оценки морфометрических, морфологических и русловых характеристик рек разного типа руслового режима. Применительно к участку Верхней Камы по расчетным данным принято [4]:

- средненавигационный период по г/п Бондюг за апрель — октябрь;
- среднемеженный расход (август-сентябрь) $192 \text{ м}^3/\text{с}$;
- среднемесячный расход в период половодья (май) $1651 \text{ м}^3/\text{с}$;
- отметки уровней $H_{меж}$ и $H_{пол}$ определяются непосредственно по кривой связи (рисунок 1).

Средняя интенсивность увеличения расходов воды в пределах уровней от $H_{МЕЖ}$ до $H_{ПОЛ}$ при $\Delta H=3,2 \text{ м}$ составляет $457 \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда показатель руслового режима K_p равен коэффициенту плеса $K_n=1,17$ (формула 3)

Через показатель K_p устанавливаются количественные характеристики водного стока, определяющие условия формирования рек определенного типа руслового режима. По полученному значению $K_p=1,17$ согласно [3] русло характеризуется как неустойчивое. Полученный результат для диапазона значений $K_p=1,1-1,8$ характерен для рек переходного типа руслового процесса (от свободного меандрирования к многорукавности), каким и является рассматриваемый участок реки Кама. причем, приближение значение k_p к нижней границе предела показывает на большее влияние разветвленного типа руслового процесса в реке.

Максимальная преобладающая глубина плесовых лощин не может быть использована для судоходства, требующего обеспечения максимальной глубины на всей ширине судового хода (судоходной прорези $V_{пр}$). Поэтому максимально возможная судоходная глубина $T_{сх}^{max}$ будет меньше, чем T_{max} , и степень этого уменьшения определяется формой русла плесовой лощины и шириной судоходной прорези. При этом предполагается, что выправительные работы в пределах плесовых лощин проводиться не будут. Следовательно, $T_{сх}^{max} = C \cdot T_{max}$, где C — коэффициент снижения максимальной глубины.

Х.М. Полиным, согласно натурным данным, достаточно точно описана связь K_p с максимальной глубиной в русле.

$$T_{max} = 0,44(K_p Q_{пр})^{1/3} \quad (4)$$

По расчету для участка р. Кама Бондюг – Керчевский при уровнях воды 80% обеспеченности $T_{max}=2,87 \text{ м}$. А с учетом коэффициента снижения максимальной глубины $T_{сх}^{max} = 2,48 \text{ м}$.

Для малых и средних по габаритам рек, таких как Кама в верхнем течении создание максимально возможных судоходных глубин связано со значительным понижением отметки гребня переката, на котором может потребоваться глубина в $1,5 \div 2$ раза больше естественной с созданием соответствующей ширины судоходной прорези. Из-за увеличения площади живого сечения на перекатах произойдет уполаживание уклона свободной поверхности, что обусловит общую посадку уровня воды на плесе и на перекате. Поэтому при определении перспектив судоходного освоения рек необходимо в расчетную величину $T_{сх}^{max}$ вносить поправку на снижение уровня $\Delta h_{снж}$.

С учетом указанного снижения $\Delta h_{снж}$ значение максимальных глубин составит $T_{сх}^{max} = 2,28 \text{ м}$.

Полученная расчетом максимальная судоходная глубина (в нашем случае $2,28 \text{ м}$) является гидравлически допустимой с точки зрения морфометрических и гидравлических характеристик реки и назначенная гарантированная глубина на участке $T_{Г} = 1,3 \text{ м}$ этому не противоречит.

В любом случае задача о целесообразности достижения максимально возможной глубины решается путем экономической оценки мероприятий по производству путевых работ на участке и технических возможностей Администрации бассейна.

Список литературы:

1. Гришанин К.В. Водные пути.// Учебник для ВУЗов/ К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
2. Руководство по методам расчета планирования и оценки эффективности путевых работ на свободных реках.// М.: Транспорт, 1978. – 104 с.
3. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. / Н.И. Маккавеев. – М.: Речиздат, 1949 г. – 202 с.
4. Отчет по научно-исследовательской работе. Выполнение научно-исследовательских работ по разработке обоснованных предложений о необходимости проведения путевых работ и оценке их влияния на гидрологический режим на участке р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамск (заключительный). Том 1 Характеристика участка р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамска. Исследование уровенного и руслового режимов и глубин на участке. – Н. Новгород, ВГУВТ, 2021 – 218 с.

JUSTIFICATION OF THE HYDRAULICALLY ALLOWABLE DEPTH ON THE UPPER KAMA FROM VILLAGE BONDYUG TO TOWN KERCHEVSKY IN SOLVING THE QUESTION OF ESTABLISHING THE GUARANTEED DEPTH OF THE PLOT.

Iuliya E. Voronina, Marina V. Shestova

Abstract. The study is aimed at determining the hydraulically permissible depth based on the morphology of the river bed. kama on village Bondyug – town Kerchevsky. The determination of the channel regime coefficient is the most important characteristic for finding the maximum allowable navigable depth on a river. The use of various approaches to the calculation makes it possible to comprehensively assess the capabilities of the Upper Kama in achieving the required parameters of the navigation during the extension of navigation.

Keywords: hydraulically admissible depth, flow-level relationship curve, water level drop, channel regime coefficient